

中等度・短期間の運動が自律神経機能 および心機能に及ぼす影響の経時的変化

東京慈恵会医科大学 田中悦子
(共同研究者) 同 栗原 敏

Effects of Dynamic Exercise Training on The Autonomic Nervous System and Cardiovascular System in Healthy Young Men

by

Etsuko Tanaka, Satoshi Kurihara
*Department of Physiology (II),
The Jikei University School of Medicine*

ABSTRACT

Effects of dynamic exercise training on the autonomic nervous system and cardiovascular system were examined in healthy young men. We investigated to clarify whether short-term training could alter the parasympathetic activity and the heart rate. We also investigated whether the negative chronotropic effect was associated with the changes of the left ventricular size and functions.

Four subjects (mean age: 21 yr) were trained for 2 weeks using treadmill (60% maximum exercise for 1 hour a day). The following parameters were measured before and after 1 and 2 weeks training: 24 hr-ECG and -blood pressure, 12-leads ECG at rest, echocardiography. The autonomic nervous functions were estimated from spectral analysis for the variability of R-R interval. Parasympathetic activity was assessed from the high-frequency (0.15 – 0.40 Hz) power spectral density (msec^2) (HF) and the sympathetic activity was from the ratio of the low-frequency (0.04 – 0.15 Hz) power spectral density (msec^2) (LF) to HF (LF/HF). We also tested the responses of heart rate,

blood pressure, HF and LF/HF during exercise before and after 1 and 2 weeks training.

Heart rate decreased and HF increased during sleeping time and during exercise after the training for 1 and 2 weeks. These changes were associated with the increase of left ventricular diastolic dimension, stroke volume, fractional shortening, and systolic blood pressure. However, ventricular wall thickness at rest did not alter.

These data suggest that 7 days dynamic exercise training can enhance parasympathetic activity of the heart, which is associated with the increases in left ventricular size and systolic function at rest.

要 旨

運動を継続することによってもたらされる心臓副交感神経機能の亢進が、短期間の運動によっても出現するか、また心臓の形態や収縮機能の変化を伴うか否かを検討した。

健康人を対象に、トレッドミル装置を用いて負荷強度が最大運動の60%に相当する運動を毎日1時間、14日間行い、トレーニング前、トレーニング7日目、および14日目に下記の検査を行った。24時間血圧、24時間心電図を記録し、心電図R-R間隔変動の周波数解析から自律神経機能を算出した。心エコー・ドプラー法を用いて左室径、心室壁厚、左室駆出率、左室短縮率、1回心拍出量を測定した。さらに、トレーニングと同じ10分間の運動負荷を経時的に行い、反応の変化を調べた。

安静時および運動中の心臓副交感神経機能は亢進し、心拍数は減少した。これらの変化はトレーニング後7日目より生じ、心臓の拡大と1回心拍出量の増加、心収縮力の増強を伴っていた。

運動による心臓副交感神経機能亢進のメカニズムは不明であり、今後の研究が期待される。

緒 言

生活習慣病、特に心筋梗塞症発症に対する運動の予防効果には、心臓副交感神経機能の賦活

を介したものが含まれている。運動による副交感神経機能亢進は、アスリートに高頻度に見られるように、運動を継続した時に観察される training vagotonyとしてよく知られている。生活習慣病、あるいはそのリスクの高い人に運動処方をする場合、運動強度および運動期間が問題になるが、運動を開始してから自律神経系および心・血管系に効果が現れるまでの期間、また効果発現のメカニズムはいまだ不明である。

そこで、健康人に動的運動によるトレーニングを負荷し、心電図、血圧、および自律神経機能を経時的に測定し、中等度の運動を開始してからこれらの機能変化が生じるまでの時間と、心エコーによる心臓の形態や収縮機能の変化を伴うか否かを検討した。

1. 方 法

対象は、1-2回/週、軽度の運動を行っている健康な男性4名、年齢20~22才、平均21才である。

各被験者にあらかじめトレッドミル運動負荷試験を行い、最大運動の60%に相当する負荷強度(最大心拍数の70%)を求め、これをトレーニングの運動強度とした。10分ごとに1分間の休憩をして合計1時間のトレーニングを毎日、14日間行った。

トレーニング前、トレーニング7日目、および14日目に以下の項目の測定を行った。第1に、血圧の24時間記録(30分~1時間間隔)を行い、最

高血圧 (SBP) と最低血圧 (DBP) 値の夜間睡眠中および1日の平均値を算出した。心電図R-R間隔の24時間記録を行い、夜間睡眠中と1日の平均心拍数を算出した。心拍数 (HR) と血圧は、各被験者ごとにトレーニング7日目、14日目それぞれの平均値とトレーニング前の平均値との差を算出し、この差の4名の平均値を求めた。さらに、最大エントロピー法を用いた15分ごとの心電図R-R間隔変動の周波数解析から、自律神経機能を求めた。高周波数領域のパワー値合計 (HF msec²) を心臓副交感神経の指標として、低周波

数領域のパワー値合計 (LF msec²) とHFとの比、LF/HFを交感神経機能の指標として求めた。HFおよびLF/HFは、各被験者ごとにトレーニング7日目、14日目それぞれの平均値とトレーニング前の平均値との比を算出し、さらにこの比の4名の平均を求めた。第2に、心エコーより左室拡張終期径 (LVIDd)、左室収縮終期径 (LVIDs)、左室後壁厚 (LVPW)、心室中隔壁厚 (IVS)、左室駆出率 (LVEF)、左室短縮率 (FS) 左室心筋重量 (LVM) を、またドプラー法により1回心拍出量 (SV) を測定した。第3に、15分間安静に

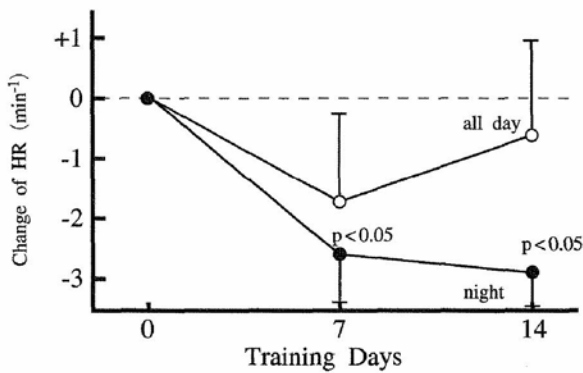


図 1-A

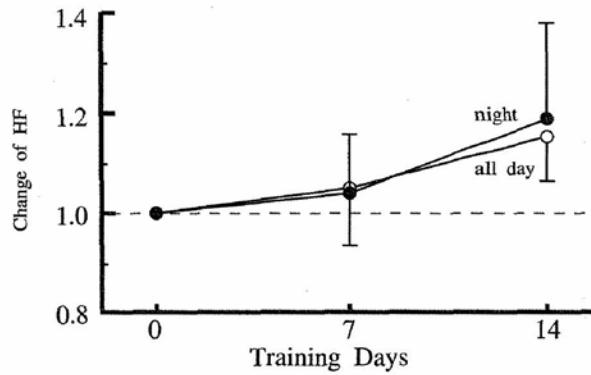


図 1-D

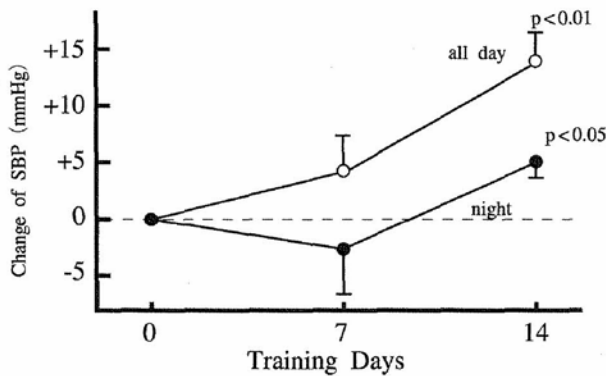


図 1-B

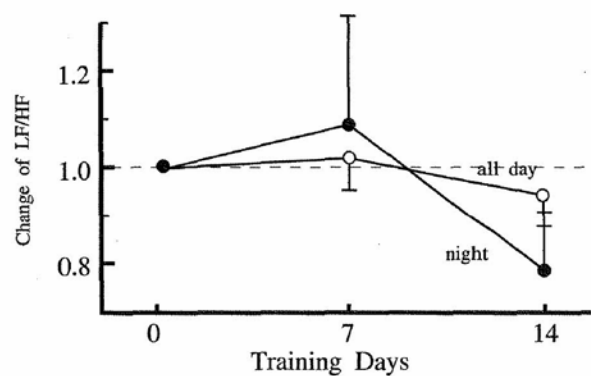


図 1-E

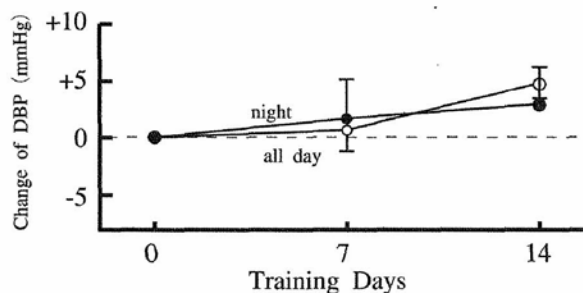


図 1-C

図 1 1日の平均心拍数、血圧、および自律神経機能のトレーニング経過に伴う変化

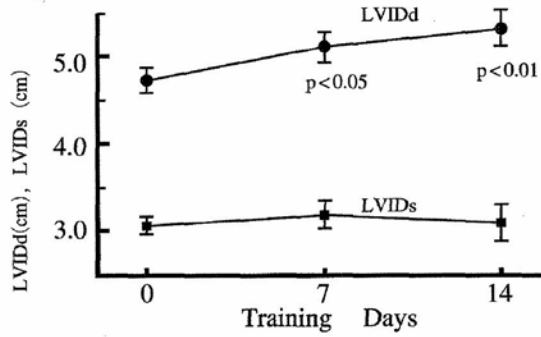


図 2-A

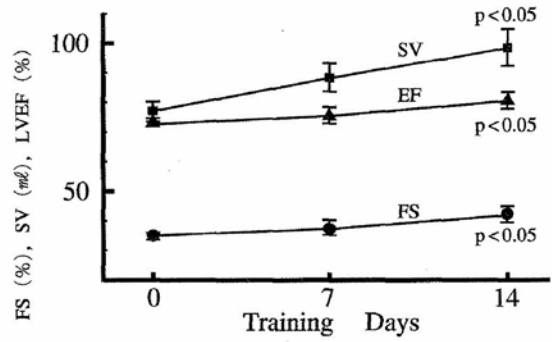


図 2-C

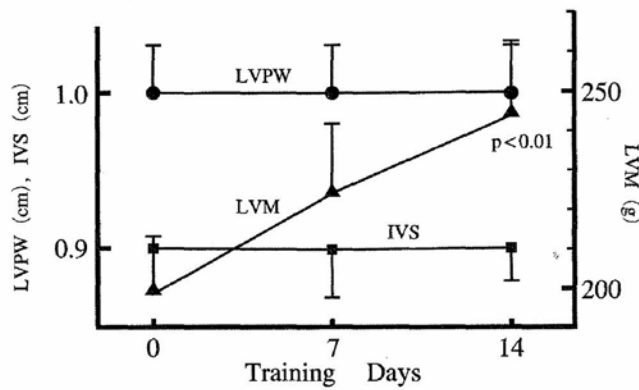


図 2-B

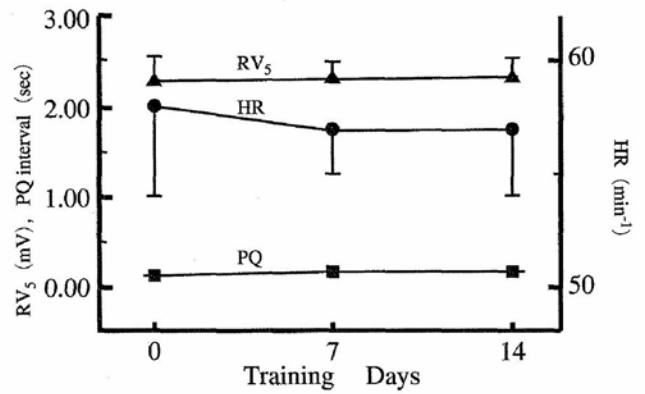


図 2-D

図 2 心エコーおよび心電図所見のトレーニング経過に伴う変化

した後の12誘導心電図より、HR、PQ間隔、V₅誘導のR波高を測定した。第4に、最大運動の60%の運動強度で10分間、トレッドミルを用いた運動負荷を行い、30秒~1分間ごとの血圧、HR、自律神経機能を測定した。各被験者ごとに、運動前、運動中、運動後のそれぞれの平均値を算出し、トレーニング7日目、14日目とトレーニング前との差を求めた。さらに、それぞれの値の4名の平均を算出した。

2. 結果

2.1 1日の平均心拍数、血圧、自律神経機能のトレーニング経過に伴う変化

中等度の動的運動のトレーニング7日目より、HR、特に夜間平均HRはトレーニング前より2-3/分減少した(図1-A)。DBPは有意な変化は見られなかったが、SBPはトレーニング前に比べ、5~14mmHg増加した(図1-B&C)。HFの4名の平

均値はトレーニングの経過とともに増加し、LF/HFは減少したが、統計学的な有意差は見られなかった(図1-D&E)。

2.2 心エコーおよび心電図所見のトレーニング経過に伴う変化

LVIDsの変化は見られなかったが、LVIDdはトレーニング7日目より増加し、14日目にはさらに増加した(図2-A)。LVPWおよびIVSはいずれもトレーニング経過に伴う変化は見られなかったが、LVMは、トレーニングの経過とともに漸増した(図2-B)。Mモード心エコーより計算された、FSおよびLVEFはいずれもトレーニングの経過に伴って増加した。ドプラー法により求めたSVも漸増した(図2-C)。

安静時心電図所見であるHR、PQ間隔、V₅誘導のR波高は、いずれも有意な変化が見られなかった(図2-D)。

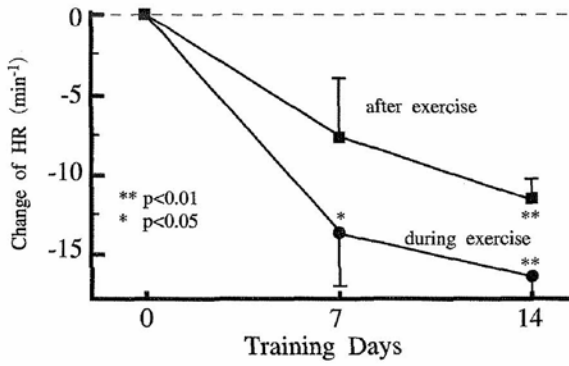


図 3-A

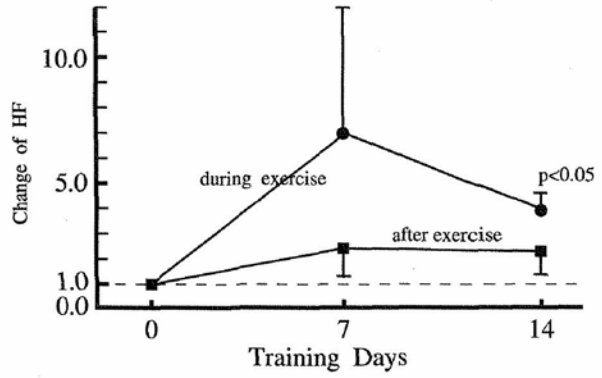


図 3-D

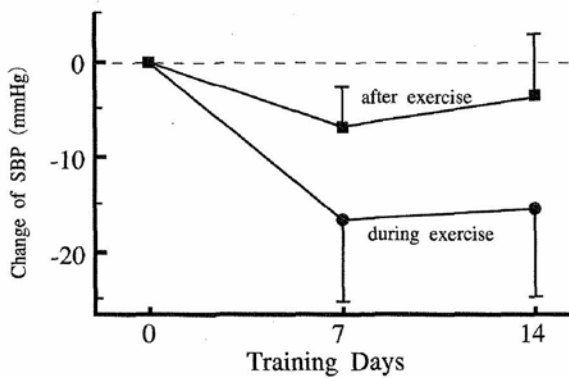


図 3-B

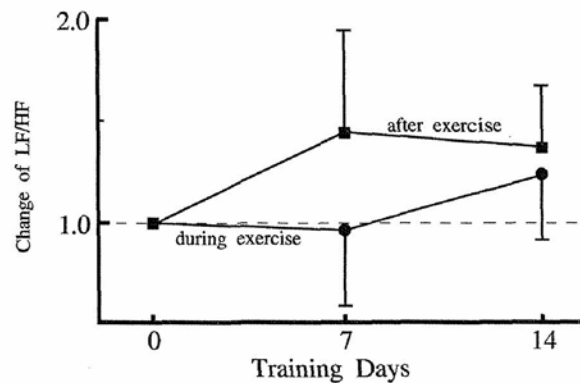


図 3-E

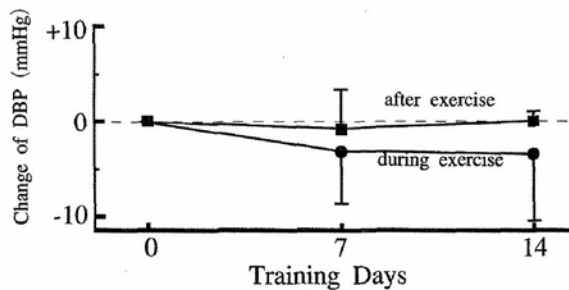


図 3-C

図 3 運動負荷に対する反応のトレーニング経過に伴う変化

2. 3 運動負荷に対する反応のトレーニング経過に伴う変化

同一強度の運動に対するHRは、運動中、運動後それぞれについて、最高17/分、12/分減少した。これらの変化は、トレーニング7日目から見られ、14日目に増強した（図3-A）。血圧は、DBPは変化が見られなかった。SBPの平均値はトレーニング前に比ベトレーニング7日目、14日目では運動中、運動後ともに低下したが、統計学的な有意差はなかった（図3-B&C）。自律神経機能

では、LF/HFはほとんど変化が見られなかったが、HFは、トレーニング7日目より特に運動中に増加した（図3-D&E）。

3. 考 察

3. 1 短期間トレーニングの安静時（24時間）自律神経機能および心・血管系に対する陰性変時作用

長期間のトレーニングの心臓副交感神経機能に対する影響および陰性変時作用はよく知られてい

る。諸家の報告は次のようなものがある。アスリートはそうでない人に比べて心臓副交感神経機能が亢進している¹⁻³⁾。8ヶ月のトレーニングにより固有HRは変わらないがHRは減少した⁴⁾。

これに対し、短期間トレーニングによる効果に関する報告は少ない。Mierらによる10日間の自転車エルゴメーターによるトレーニングの検討では、安静時のHRは有意な変化を示さなかった⁵⁾。しかし本研究では、トレッドミル装置を用いた中等度のトレーニングにより、7日目より夜間睡眠中のHRの減少が見られた。さらに自律神経機能では、心臓副交感神経機能の亢進および交感神経機能の低下傾向が見られた(図1)。したがって、中等度の動的運動による1週間のトレーニングによって心臓副交感神経機能が変化し得ると考えられる。一方、この短期間トレーニングによる陰性変時作用は、主に洞房結節機能(HR)に反映され、アスリートや長期間トレーニング後に高頻度に見られるような房室結節機能(PQ間隔)には影響が見られなかった(図2-D)。

3. 2 短期間トレーニングが心臓の形態、心機能に及ぼす効果

アスリートに見られる心肥大と心拡大はスポーツ心臓としてよく知られる⁶⁻⁸⁾ところだが、短期間トレーニングによる影響に関する報告は少ない。Mierらの研究では、短期間トレーニングによりLVPWは増加せず、LVIDdおよびLVIDsの増加が見られたという⁵⁾。本研究では、短期間、中等度の運動によりトレーニング7日目からLVIDdの増加が認められ、漸増した。左室の拡大が影響するLVEF、SVに加えて、左室の収縮機能を反映するFSも増加した。トレーニングによって安静時の交感神経機能は低下傾向を示している(図1-D)ことから、心収縮力の増強は、スターリング機構によって説明されると考えられる。また、トレーニングによるSBPの上昇(図1-B)は、SVの増大によると考えられる。心エコー所見からLVPW、

IVSの肥厚は見られず、心筋肥大の電氣的指標である心電図V₅誘導のR波高の増加も見られなかった(図2)。循環血液量の増加に伴う心拡大に加えて、安静時における心収縮力の増大が示唆された。

3. 3 トレーニングが運動時自律神経機能および心・血管系に及ぼす影響

本研究では、同一強度の運動に対し、トレーニング前に比べトレーニング後には運動中の心臓副交感神経機能の抑制が減少し、HRの増加が抑えられた(図3)。Tulppoらの報告では、トレーニングをしていないヒトではしているヒトに比べて自転車による運動負荷時の心臓副交感神経機能(1拍ごとのR-R間隔変動の標準偏差より求めた)が抑制されている⁹⁾。Mierらの研究によると、トレーニング後運動負荷時の最高HRはトレーニング前に比べて減少し、SVは増加したという。そして、それは血液量の増大と β 受容体刺激に対する心筋の反応性の増加によると考察している⁵⁾。また、ネコに1日45分間の水泳を1週間に5回20週行わせたところ、外来のカテコラミンによる収縮能の増加の程度が増強した¹⁰⁾。これらの陰性変時作用と陽性変力作用は、諸家の報告によると次のように説明される。トレーニングにより左室の β 受容体数は変わらないが右心房のそれは減少した¹¹⁾。ピークの運動負荷時の血中ノルエピネフリン濃度はトレーニング後に増加し、同一強度の β 受容体刺激に対する反応性が増加した¹²⁾。

3. 4 トレーニングによる心臓副交感神経機能亢進の機序

本研究では、中等度の動的運動による短期間トレーニングにより、安静時および運動中の心臓副交感神経機能がトレーニング前に比べて亢進し、HRの減少が観察された。これらの変化はトレーニング7日目より見られ、左室の拡大と1回拍出量の増加を伴った。心臓副交感神経機能亢進の機序は、次の2つの可能性が考えられる:1) トレーニ

ングにより循環血液量が増加し、心臓が拡大して1回拍出量が増すために反応性に徐脈になる。2) トレーニングにより何らかの機序で直接心臓副交感神経機能が增強され、徐脈になる。これらのうちのいずれであるかを論じる根拠は、本研究および諸家の報告の中には見られず、今後の研究が必要である。

4. 総括

健康人を対象とした中等度の動的運動によるトレーニングにより、安静時および運動中の心臓副交感神経機能は亢進し、HRは減少した。これらの変化はトレーニング後7日目より生じ、心臓の拡大とSVの増加、心収縮性の増強を伴っていた。運動による心臓副交感神経機能亢進のメカニズムは不明であり、今後の研究が期待される。

文献

- 1) Goldsmith R L, Bigger J T Jr, Steinman F R C, and Fleiss J L ; Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men, *J. Am. Coll. Cardiol.*, **20**, 552-558 (1992)
- 2) 石田利一郎, 岡田正彦 ; スポーツにおけるトレーニング効果判定を目的とした心拍変動のスペクトル解析, *臨床病理*, **45**, 685-688 (1997)
- 3) Shin K, Minamitani H, Onishi S, Yamazaki H, and Lee M ; Autonomic differences between athletes and nonathletes., spectral analysis approach, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **29**, 1482-1490 (1997)
- 4) Shi X, Stevens G H J, Foresman B H, Stein S A, and Raven P B ; Autonomic nervous system control of the heart., endurance exercise training. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **27**, 1406-1413 (1995)
- 5) Mier C M, Turner M J, Ehsant A A, and Spina R J ; Cardiovascular adaptations to 10 days of cycle exercise, *J. Appl. Physiol.*, **83**, 1900-1906 (1997)
- 6) 大西祥平 ; スポーツ心臓の形態についての横断的および縦断的検討, *慶應医学*, **70**, 549-559 (1993)
- 7) Scheuer J, and Tipton C M ; Cardiovascular adaptations to physical training, *Ann. Rev. Physiol.*, **39**, 221-251 (1977)
- 8) Cooper G IV ; Cardiocyte adaptation to chronically altered load, *Ann. Rev. Physiol.*, **49**, 501-518 (1987)
- 9) Tulppo M P, Makikallio T H, Seppanen T, Laukkanen R T, and Huikuri H V ; Vagal modulation of heart rate during exercise, effects of age and physical fitness, *Am. J. Physiol.*, **274**, H424-H429 (1998)
- 10) Wyatt H L, Chuck L, Rabinowitz B, Tyberg J V, and Parmley W W ; Enhanced cardiac response to catecholamines in physically trained cats, *Am. J. Physiol.*, **234**, H608-H613 (1978)
- 11) Hammond H K, White H C, Brunton L L, and Longhurst J C ; Association of decreased myocardial β -receptors and chronotropic response to isoproterenol and exercise in pigs following chronic dynamic exercise, *Circ. Res.*, **60**, 720-726 (1987)
- 12) Molé P A ; Increased contractile potential of papillary muscles from exercise-trained rat hearts, *Am. J. Physiol.*, **234**, H421-H425 (1978)