

静的運動がパワーリフティング運動家の左心機能に及ぼす影響

松田光生・芳賀脩光・喜多尾浩代*・野坂俊弥*
小島龍平**・杉下靖郎***・福島秀夫・柄田幸徳

Effect of static exercise on left ventricular function in power lifters

Mitsuo MATSUDA, Shukou HAGA, Hiroyo KITAO*, Toshiya NOSAKA*
Ryuhei KOJIMA**, Yasuro SUGISHITA***, Hideo FUKUSHIMA
Yukinori TOMODA

SUMMARY

To investigate the effect of static exercise on the left ventricular function in subjects with exercise induced left ventricular hypertrophy, we estimated hemodynamic parameters in 70 male power lifters (aged 17-51 yrs) during the isometric exercise test performed by the weight sustaining method loading a weight equal to 25% of the maximal voluntary hand grip contraction for 3 minutes. The following indices were measured by using echocardiography: the left ventricular (LV) wall thickness in diastole (WTd: interventricular wall thickness + posterior wall thickness), stroke volume (SV), cardiac index (CI: cardiac output/body surface area), LV early diastolic filling volume (FV) and filling fraction (FF: FV/LV end-diastolic volume) during the first 0.1 sec of diastole, FV/SV, fractional shortening of LV internal diameter (FS: shortening/end-diastolic diameter), and fractional lengthening of LV internal diameter (FL: lengthening/shortening). Plasma catecholamine levels at rest and during exercise were measured in 18 subjects.

Fourteen of 70 subjects (20%) showed left ventricular hypertrophy (LVH: WTd>22mm). During static exercise there were significant increases in the heart rate, systolic blood pressure (SBP), CI in the both hypertrophic and nonhypertrophic groups. The SV did not change statistically in the both groups. The increases in the FV, FF, and FV/SV were significant in subjects without LVH, whereas not statistically significant in subjects with LVH. There were no significant differences between the two groups in the values of the SV, CI, FV, FF, and FV/SV at rest and during exercise. The significantly higher SBP were manifested in the hypertrophic group comparing with the non-hypertrophic group at rest and during exercise. Plasma levels of adrenalin and noradrenalin in 18 subjects were significantly increased during exercise. In subjects without LVH, the FS did not change during exercise, and the FL were significantly increased. In subjects with LVH, however, the FS was

decreased significantly during exercise, and the increase in the FL was not statistically significant.

We conclude that the left ventricular hypertrophy in subjects involved in power training may not disturb the left ventricular pump function at rest and during mild static exercise. We, however, can not exclude the possibility that

* 筑波大学体育研究科

** 昭和大学医学部

*** 筑波大学臨床医学系

* Master's Program of Physical Education,
the University of Tsukuba

** Syowa University School of Medicine

*** Institute of Clinical Medicine, the University
of Tsukuba

the left ventricular systolic and diastolic function in subjects with left ventricular hypertrophy might be deteriorated to some degree, and the impairment of the pump function would be manifested during the strenuous exercise.

Key words: isometric exercise test, echocardiography, left ventricular hypertrophy, left ventricular function, catecholamine

はじめに

運動中に起こる突然死は、頻度は少ないが、その意外性から当事者および関係者にとっては、大きな問題である。運動中の突然死のうち、中・高年者に起こるものは、その大部分が冠動脈硬化症にもとづく、心臓発作によるものであるとされている。しかし若年者に起こるものでは、特発性心筋症など器質的疾患を持つものの他に、原因が不明で、急性心機能不全などと診断されている例も多い。学校での事故例の報告¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾から、昭和57—59年に体育授業および部活動の際に起こった突然死のうち、既往歴ないし剖検から診断のはっきりしているもののみを集計してみると、心機能不全に分類される例は30% (18例) に及んだ。このような例における事故の真の原因は、いまだ解明されていないが、可能性としては不整脈、急性の左室ポンプ機能失調などが考えられる。

Waller 等²⁰⁾による、スポーツマンにおける運動中の突然死報告例の集計を検討してみると、27% (24人/87人) が明らかな器質的疾患がないとされている。ただしこのうち10人に左室の肥大が見られたという。事故が起こった際の競技種目では、ランニング (26人)、球技 (28人) が多いが、レスリング (6人)、重量挙げ (2人) における事故率は、競技人口からすると高いのではないかと思われる。レスリング、重量挙げなどは、静的な等尺性運動を主体にする運動の代表的な種目である。心エコー図を用いた研究¹³⁾によると、このような運動では左室壁が肥大するという。運動トレーニングを継続することにより大きくなった心臓は、「スポーツ心臓」と呼ばれている。「スポーツ心臓」は運動中の血行動態に適応した状態であるとみなされ¹⁹⁾、一般的には無害なものであるとされている。一方で、左室肥大などの形態変化により何らかの不利なことが生じていて、その結果運動中に事故につながるような血行動態上の異常が起こり、それが Waller 等の集計に反映されているの

かも知れない。

この点に注目して、我々はすでに、静的運動を主体にトレーニングを続けているパワーリフターにおける、左室ポンプ機能を検討し、報告した¹⁰⁾。その検討では、左室肥大例と非肥大例の間に、安静中の左室ポンプ機能の差は認められなかった。本研究では、先の検討をさらに進め、肥大型の「スポーツ心臓」における運動中の左心機能を検討することを目的にして、パワートレーニングを継続している運動家の左室の形態と、等尺性運動負荷中の血行動態を、心エコー図法を用いて評価した。

方 法

対象：70人の男性パワーリフティング運動家 (17—51歳) を対象とした。運動歴は2カ月から252カ月にわたり、練習時間は1週間に4時間から15時間であった。

等尺性負荷テスト：被験者を仰臥位にして15分間以上の安静後、あらかじめ測定した右手最大握力の25%の重量負荷を、滑車式負荷装置により3分間右手に加え、等尺性握力負荷を行った。

計測：等尺性握力負荷直前および負荷終了前の20秒間に血圧の測定、および心エコー図による左室壁厚および左室内径の計測を行った。血圧はカフ式血圧計を用い、左上肢にて聴診法により測定した。心エコー図は、3MHzの探触子を持つ機械走査型装置 (アロカ製 SSD—81、またはフクダ電子製 SSD—118 F)、および連続記録装置 (フクダ電子 RF—81) を用いて記録した。胸骨左縁において左室断層図を描出し、僧帽弁腱索部位にビーム方向を設定した後に、左室Mモードエコー図を心電図および心音図とともに、紙送り速度 50mm/sec にて記録した。

得られた記録から、心室中隔と左室後壁の厚さを心電図P波の開始時点において測定し、両者の和を左室壁厚とした。左室拡張終期内径 (Dd) は心電図R波の頂点で、収縮終期内径 (Ds) は心音

図第2音の開始点で測定した。心音図第2音から0.1秒後における内径を計測し Df とした。

被験者のうち18例については、安静中および負荷終了直後における血漿カテコラミン濃度を測定した。採血は肘静脈に翼状針を留置して、20分間の安静後および負荷終了直後に行った。冷却遠沈により分離した血漿を、 -80°C にて保存した。血漿アドレナリンおよびノルアドレナリン濃度の測定は高速液体クロマトグラフィー法によった。

血行動態の評価：各心時相において、左室内径から Pombo¹⁷⁾法により左室内容積を計算し、負荷前および負荷中における血行動態の評価を行った。左室一回拍出量 (stroke volume) および拡張早期の0.1秒間における左室充満量 (filling volume) は次式のように求めた。

$$\text{Stroke Volume} = Dd^3 - Ds^3$$

$$\text{Filling Volume} = Df^3 - Ds^3$$

心拍出量 (cardiac output) は、左室一回拍出量と心拍数 (HR) から求め、身長と体重からノモグラムを用いて求めた体表面積 (BSA) で補正して、心係数 (cardiac index) として表した。

$$\text{Cardiac Index} = (Dd^3 - Ds^3) \times \text{HR} / \text{BSA}$$

拡張早期左室充満量は左室の大きさに影響を受けることが考えられるので、充満量を左室拡張終期容積で補正した指数として、拡張早期左室充満率を次式のように定義した。

$$\text{Filling Fraction} = (Df^3 - Ds^3) / Dd^3 \times 100$$

統計的解析：t 検定を用いて、対応のある平均値の差、および各群間の平均値の差の検定を行った。有意水準は5%とした。

成 績

左室壁厚は13mmから30mmの範囲にあった。心室中隔と後壁の壁厚の差が2mmを越えるような不均一肥大を示す例はなかった。一般健康成人における心室中隔と左室後壁の壁厚の正常上限値は、それぞれ11mmとされるので¹⁾、被験者のうち左室壁厚が22mmを越える例を肥大群、22mm以下の例を非肥大群とした。肥大群は14例(20%)で壁厚の平均値は24.4mm、非肥大群は56例で壁厚の平均値は19.5mmであった(表1)。両群における年齢、体表面積、運動歴および1週間の練習時間には、有意の差が認められなかった(表1)。

安静時の血行動態には、収縮期血圧を除き、肥大群と非肥大群の間における差は認められなかった。すなわち心拍数、心係数、左室一回拍出量、拡張早期左室充満量、充満率、および拡張早期充満量が一回拍出量(全充満量)に占める割合には、有意の差が認められなかった(表2)。収縮期血圧は、肥大群における平均値が131.1mmHg(標準偏差=10.6)であり、非肥大群における118.6mmHg(10.6)に比べて有意に高かった(表2)。

3分間の等尺性握力負荷により、両群の心拍数、収縮期血圧、および心係数は有意に増加した(表2)。両群における左室一回拍出量には有意の増加が認められなかった。心係数の増加は主として心拍数の増加によっていた。これらの指数に関して、両群間に収縮期血圧を除き、有意差は認められなかった。肥大群における収縮期血圧の平均値は

Table 1 Characteristics in each group

	LVH	non-LVH	P
No.	14	56	
WTd (mm)	24.4±2.1	19.6±2.1	
Age (yrs)	27.8±8.5	25.8±8.6	NS
Body surface area (sqM)	1.84±0.16	1.78±0.12	NS
Training period (mo)	62.0±54.3	43.4±58.3	NS
Training frequency (hrs/wk)	6.9±5.0	7.1±2.7	NS

Values are mean±SD. Each group consists of male subjects.

WTd: Left ventricular wall thickness in end-diastole (interventricular wall thickness±posterior wall thickness); LVH: Subjects with left ventricular hypertrophy (WTd>22mm); non-LVH: Subjects without left ventricular hypertrophy (Wd≤22mm).

Table 2 Hemodynamic parameters in each group

	LVH (n=14)	non-LVH (n=56)	P
Heart rate (beats/min)			
at rest	68.2±10.4	66.8±8.0	NS
during exercise	77.9± 8.7	74.4±9.3	NS
P	<0.01	<0.001	
Systolic blood pressure (mmHg)			
at rest	131.1±10.6	118.6±10.6	<0.01
during exercise	145.9±11.5	134.4±13.1	<0.01
P	<0.05	<0.001	
Cardiac index (l/min/sqM)			
at rest	3.02±0.60	3.06±0.87	NS
during exercise	3.51±0.96	3.50±1.01	NS
P	<0.05	<0.001	
Stroke volume (ml)			
at rest	82.8±19.5	82.9±24.7	NS
during exercise	82.1±20.8	85.2±25.4	NS
P	NS	NS	
Filling volume (ml)			
at rest	21.9±9.3	20.9±9.1	NS
during exercise	23.6±8.6	23.4±10.2	NS
P	NS	<0.001	
Filling fraction (%)			
at rest	18.4±7.3	17.8±7.1	NS
during exercise	19.0±6.2	19.3±7.6	NS
P	NS	<0.01	
Filling volume/Stroke volume			
at rest	0.266±0.095	0.258±0.108	NS
during exercise	0.292±0.091	0.279±0.106	NS
P	NS	<0.01	

Values are mean±SD.

145.9mmHg(11.5)であり、非肥大群の平均値 134.4mmHg (13.1) に比較して有意に高かった (表 2)。拡張早期左室充満量、および充満率は非肥大群において有意に増加した(表 2)。また拡張早期充満量が一回拍出量 (全充満量) に占める割合も有意に増大した。いっぽう肥大群におけるこれらの拡張期の指数は、増加の傾向を示したが、その増加は統計学的には有意なものではなかった。しかし肥大群と非肥大群の間には、これらの拡張期の指数に有意の差は認められなかった (表 2)。

図 1 に、全被験者における等尺性負荷にともなう左室内径の変動を示す。各時相における内径とも、変化量は小であるが有意に増大していた。内径の駆出期短縮率{(Dd-Ds)/Dd}は、減少傾向にあったが有意ではなかった。いっぽう左室内径が拡張早期に増大した長さ、駆出期に短縮した長

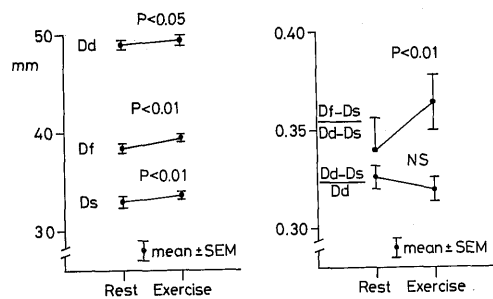


Fig. 1 Rest and exercise left ventricular dimensions (left), and fractional shortening and fractional lengthening of left ventricular dimension (right) in 70 subjects. Dd : end-diastolic dimension, Ds : end-systolic dimension, Df : dimension at 0.1 sec after end-systole.

さの比 $\{(Df-Ds)/(Dd-Ds)\}$ をみると、その値は有意に増大していた。内径の変動を各群についても、ほぼ同様の傾向が示された(表3)。ただし肥大群においては、内径短縮率の減少が有意であった。また内径の拡張早期増大と駆出期短縮の比は、増大傾向を示したが、統計学的に有意なものではなかった。

血漿カテコラミン濃度を測定した18例のうち、左室壁の肥大は2例に認められたのみであったため、群間の比較は行わなかった。血漿中のアドレナリンおよびノルアドレナリン濃度は、等尺性負荷により有意に増加した(図2)。

考 案

持続的な等尺性運動負荷は、心機能の評価のために運動負荷試験として用いられることがある。それはこの方法は容易に行うことができること、負荷により心血管系の反応が速やかに生じること、体動がなく血行動態の持続的観察が容易であることなどによる。本研究で等尺性負荷を用いた

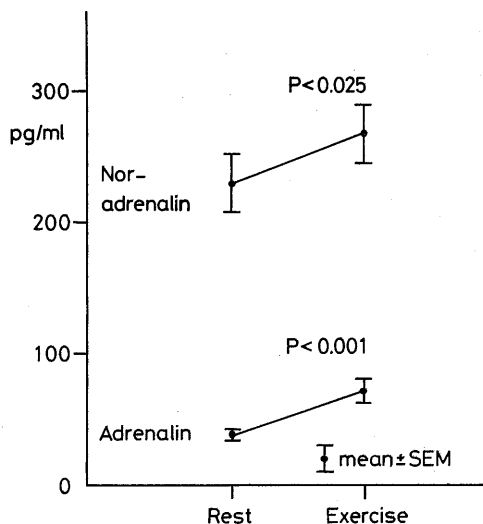


Fig. 2 Rest and exercise plasma levels of catecholamine in 18 subjects.

Table 3 Left ventricular dimensions at rest and during exercise

	LVH (n=14)	non-LVH (n=56)	P
Dd (mm)			
at rest	49.3±4.2	48.9±4.5	NS
during exercise	49.8±3.7	49.4±4.4	NS
P	NS	<0.05	
Ds (mm)			
at rest	33.6±4.1	32.8±3.8	NS
during exercise	34.9±2.9	33.3±3.5	NS
P	<0.01	NS	
Df (mm)			
at rest	39.1±3.9	38.2±4.1	NS
during exercise	40.4±3.1	39.1±3.7	NS
P	<0.01	<0.01	
Fractional shortening			
at rest	0.319±0.045	0.328±0.048	NS
during exercise	0.299±0.038	0.326±0.049	NS
P	<0.01	NS	
Fractional lengthening			
at rest	0.346±0.112	0.339±0.117	NS
during exercise	0.369±0.102	0.363±0.119	NS
P	NS	<0.01	

Values are mean±SD. Dd: left ventricular end-diastolic dimension, Ds: left ventricular end-systolic dimension, Df: left ventricular dimension at 0.1sec after end-systole, Fractional shortening: $(Dd-Ds)/Dd$, Fractional lengthening: $(Df-Ds)/(Dd-Ds)$.

のは、以上のような理由に加えて、対象にした被験者が日常トレーニングしている運動種目と同種の運動を負荷として加え、それによる反応を観察するためである。等尺性負荷のためには、通常握力計が用いられる。その場合被験者は一定の目盛を維持するため努力しなければならず、心理的因子やいきみによるバルサルバ現象の介入も無視できない。そのために滑車を用いた受働的重量負荷が考案されていて³⁾、本研究でもその方法を用いた。

等尺性負荷では、血圧が著明に上昇し、心拍数と心拍出量は軽度ないし中等度増加する⁶⁾。心臓カテーテル法による検討では、心拍出量の増加は一回拍出量の増加にはよらず、心拍数の増加に起因する¹¹⁾。等尺性運動の初期には、主として迷走神経の抑制により心拍数が増加し、つぎに交感神経の活動により心拍数と血圧の上昇が生じるとされる²⁾。流血中のカテコラミンは運動の開始とともに速やかに上昇する⁵⁾。反応の大きさは、主として筋肉の発生する張力の相対的な大きさと運動の持続時間によって決り、活動筋の大きさにはあまりよらない⁷⁾。したがって握力負荷のような小筋群を用いた負荷試験によっても、パワーリフティングの練習や試合に際して生じる血行動態上の変化を、ある程度は推察することが可能であろうと思われる。

最大筋力の15%程度以上の筋力を用いる負荷では、血圧は運動の持続とともに上昇するが、数分以内に疲労により運動は中断される⁷⁾。最大握力の30%の握力による仰臥位運動負荷試験では、血圧の増加は4分後に17/14mmHgの程度とされる¹⁰⁾。本研究における血圧の変動は、ほぼこれに匹敵している。本研究では、左室壁の肥大の有無により被験者を二群に分けて検討した。肥大群における安静時の収縮期血圧は、非肥大群に比較して有意に高かった。また運動による血圧の上昇分は、ほぼ同程度であり、その結果負荷中の血圧も肥大群において有意に高くなった。このことから、安静中の血圧が高い場合には、等尺性運動中の血圧が高く、そのためにトレーニングによる左室壁の肥大が生じ易いという可能性が考えられる。

等尺性負荷による心拍数の軽度上昇、一回拍出量の増加をともなわない心拍出量の増加などの変化も、これまでの報告に示されたものと同様の結果であった。パワーリフターにおいて、安静中の

心拍出量には左室の肥大の有無による差は見られないことはすでに報告した¹⁰⁾。本研究においても、安静中のみならず等尺性運動負荷中の心係数、および左室一回拍出量に肥大の有無による差は認められなかった。拡張期早期左室充満量、および充満率にも、すでに報告したように肥大の有無による差は認められなかった。また拡張早期の充満量が全充満量に占める割合にも有意差は認められなかった。等尺性負荷により、非肥大群においてはこれらの指数は有意に増大したが、肥大群における増大は統計学的に有意なものではなかった。ただし負荷中の指数の値そのものには、両群間に有意差はなかった。

血漿カテコラミン濃度が、等尺性負荷により上昇した。本研究においても、負荷中には交感神経系の活動の増大が生じていたと思われる。いっぽう、心筋の収縮性を評価する指標として一般に用いられている左室内径短縮率は、増加せず、むしろ減少傾向を示した。また左室拡張終期内径は、僅かではあるが、増加した。内径短縮率のような駆出期における指標は、一般に心筋の基礎収縮力の他に、後負荷による影響を強く受ける。したがって、等尺性負荷中の血圧上昇による後負荷の増大が、交感神経系の活動増大による心筋の収縮力増大を打ち消すことにより、内径短縮率の増大が生じなかったものと思われる。等尺性負荷中において、左室一回拍出量は、左室の拡張終期径が増大することにより維持されているといえる。

内径が拡張早期に延長した長さ、駆出期に短縮した長さの比をとると、この比は等尺性負荷により増加した。心筋が収縮後に弛緩する速度と、延長する速度は、心筋の短縮および短縮速度によることが知られている²¹⁾⁴⁾。すなわち、短縮量ないし短縮速度が大きいほど、圧の下降と拡張の速度が大きい。本研究においては、負荷により左室収縮終期内径が増大し、内径短縮率が減少傾向にあったにもかかわらず、拡張早期の内径の延長が増大した。この結果、拡張早期における左室充満量が、増加ないし増加傾向を示し、全充満に占める拡張早期充満の比重が増した。心拍数の増加による心時相の短縮は、主として拡張期に起こる。その際、拡張期の短縮に伴って、左室の血液充満が減少する可能性がある。心拍数の増加が著しい動的運動中には、拡張早期の充満が増大することにより、拡張期の短縮が代償されることが示され

ている⁹⁾が、静的運動中にも同様の代償が生じていることが、本研究により明らかになった。拡張早期の充満の増大が生じる機序は不明だが、カテコラミンの増大が示す、交感神経系の活動の増大が関与している¹²⁾のかも知れない。

内径短縮率の変動を詳細に見ると、非肥大群においては負荷による変動がないが、肥大群においては有意に減少している。いっぽう、拡張早期の内径の延長量と収縮期の短縮量の比は、非肥大群においては負荷により有意に増加するが、肥大群においては増加はするが有意ではない。このような差が何により生じるのかは不明である。肥大群においては、負荷中の血圧が高いから、短縮率に対する後負荷の影響が強く表れるという可能性はある。しかし後負荷は、血圧のみではなく、内径と壁厚にも規定される。肥大群では、血圧の上昇による後負荷(壁応力)の増大を代償するように、壁の肥大が生じていると考えられる。また練習中などに見られる血圧上昇は300mmHgを越えるような著しいものである⁹⁾。したがってそのような状態に適応している肥大が、本研究において見られた程度の血圧の上昇を代償することができないとは考えにくい。さらに内径の大きさ、負荷による血圧の上昇の程度にも、両群間に大きな差はない。いずれにせよ、この負荷による変動の僅かな差異が真に意味のあるものであるかさらに検討を要するが、肥大群においては、心筋に軽度の機能不全が存在するという可能性が否定できない。本研究においては、安静中にも運動中にも、ポンプ機能としての心拍出量、一回拍出量、および拡張早期充満量には、肥大の有無による差は認められなかったのであるから、この差異にはあまり病的意義がないとも考えられる。ただ上述したように、実際のパワーリフティングにおいては、著しい血圧の上昇が起こるのであるから、この僅かな差異が拡大して、肥大群においては、ポンプ機能の失調が生じ得る可能性があることは否定できない。血圧の高い人が強度の高い静的運動を行う際には、高度の血圧上昇が生じる可能性があり、それ自体が危険な因子であるが、さらに左室壁の肥大を生じている人では、軽度ではあるが左心機能に異常が生じている可能性があることを留意すべきであろう。

本研究に要した費用の一部は、科学研究費補助

金一般研究(B)、課題番号62480444、および筑波大学学内プロジェクト研究助成金によるものである。

引用文献

- 1) Feigenbaum, H.: Echocardiography. 3rd Edition: 550, Lea and Febiger, 1981.
- 2) Freychuss, U.: Elicitation of heart rate and blood pressure increase on muscle contraction. *J. Appl. Physiol.*, 28: 758-763, 1970.
- 3) 藤原秀臣, 谷口興一, 飯泉智弘, 丹羽明博, 鯉坂隆一, 家坂義人, 新富芳明, 武内重五郎: 等尺性負荷による循環諸指標の評価. *心臓* 10: 791-797, 1978.
- 4) Grassi, A. O., De Gende, A. O., Poerez Alzueta A. D., Cingolani, H. E.: Effect of isoproterenol on relation between maximal rate of contraction and maximal rate of relaxation. *Am. J. Physiol.* 233: H404-409, 1977.
- 5) Koslowski, S.: Plasma catecholamines during sustained isometric exercise. *Clin. Sci. Mol. Med.* 45: 723-731, 1973.
- 6) Lind, A. R., Taylor, S. H., Humphreys, P. W., Kennelly, B. N., Donald, K. W.: Circulatory effects of sustained voluntary muscle contraction. *Clin. Sci.* 27: 229-244, 1964.
- 7) Lind, A. R., McNicol, G. W.: Muscular factor which determine the cardiovascular responses to sustained and rhythmic exercise. *Can. Med. Assoc. J.* 96, 706-713, 1967.
- 8) MacDougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., Moroz, J. R., Sutton, J. R.: Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 58: 785-790, 1985.
- 9) Matsuda, M., Sugishita, Y., Koseki, S., Ito, I., Akatsuka, T., Takamatsu, K.: Effect of exercise on left ventricular diastolic filling in athletes and nonathletes. *J. Appl. Physiol.* 55: 323-328, 1983.
- 10) 松田光生, 芳賀脩光, 野坂俊弥, 喜多尾浩代, 小島龍平, 杉下靖郎, 福島秀夫, 鞆田幸徳: パワーリフティング運動家における左室肥大と左室拡張機能. *筑波大学体育科学系紀要* 10: 221-225, 1987.
- 11) 宮沢光端, 本名孝夫, 池田成昭, 白土邦男, 高橋良一, 渋谷英雄, 大谷昌平, 林健郎, 立木楷, 石川欽司, 香取 瞭: Isometric Handgrip による左室機能の評価. *心臓* 7: 657-662, 1975.
- 12) Morad, M., Weiss, J., Cleemann, L.: The inotropic action of adrenaline on cardiac

- muscle: Does it relax or potentiate tension? *Eur. J. Cardiol.* 7, Suppl.: 53-62, 1978.
- 13) Morganroth, J., Maron, B. J., Henry, W. L., Epstein S. E.: Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann. Intern. Med.* 82: 521-524, 1975.
 - 14) 日本学校健康会: 障害・死亡事件事例集及び障害・死亡事故防止の留意点: 153-169, 1984。
 - 15) 日本学校健康会: 学校での事故の事例と防止の留意点—死亡・障害—: 61-78, 1985。
 - 16) 日本体育・学校健康センター: 学校での事故の事例と防止の留意点—死亡・障害—: 57-77, 1986。
 - 17) Pombo, J. F., Troy, B. L., Russel, R.O.Jr.: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* 43: 480-490, 1971.
 - 18) Quarry, V. M., Spodick, D. H.: Comparative effects with different postures and levels of exertion. *Circulation* 49: 905-920, 1974.
 - 19) Sugishita, Y., Koseki, S., Matsuda, M., Yamaguchi, T., Ito, I.: Myocardial mechanics of athlete's heart, comparisons with diseased hearts. *Am. Heart J.* 105: 273-280, 1983.
 - 20) Waller, B. F.: Exercise-related sudden death in young (age \leq 30years) and old (age $>$ 30years) conditioned subjects. Wenger, N. K. ed: Exercise and the heart. 2nd Edition: 9-73, F. A. Davis Company, Philadelphia, 1985.
 - 21) Wiegner, A. W., Bing, O. H. L.: Isometric relaxation of rat myocardium at end-systolic fiber length. *Circ. Res.* 43: 865-869, 1978.