一定強度の長時間運動中に起こる心周期分画の変動

鍋倉 賢治* 後藤 真二** 永井 純*** 池上 晴夫***

SYSTOLIC AND DIASTOLIC TIME INTERVALS DURING PROLONGED EXERCISE OF A CONSTANT INTENSITY

YOSHIHARU NABEKURA, SHINJI GOTO, JUN NAGAI and HARUO Ikegami

Abstract

The purpose of this study was to elucidate the changes in systolic and diastolic time intervals which accrue along with increase of HR during a prolonged exercise.

Fifteen male collegiate distance runners performed bicycle ergometer exercise of 70% maximal oxygen intake for 60 minutes. Electrocardiogram, phonocardiogram, pulse wave using ear densitogram and its derivative were recorded throughout the exercise, and then HR, STI, DT (diastolic time) and QS_2/DT were calculated from the tracings.

The results obtained are as follows:

1. At the initial phase of the exercise, DT decreased markedly to result in rapid increase of QS_2/DT . When HR was between 130~150 beats/min, however, the rate of decrease of QS_2 was greater than that of DT, so QS_2/DT showed a tendency to decrease. When HR was more than 150, QS_2 reached a plateau but DT still continued to decrease, and QS_2/DT turned to increase again.

2. LVET decreased slowly throughout the exercise, whereas PEP decreased rapidly within initial two minutes and kept a steady state thereafter. The change in QS_2 after two minutes of exercise seemed to depend on LVET.

3. LVETi and QS_2i showed a similar change as that in QS_2/DT but the change in QS_2i was less obvious than that in LVETi.

4. PEPi and PEP/LVET decreased rapidly in the initial two minutes, thereafter they continued to increase more slowly with increase of HR until the end of exercise.

Conclusively, HR continued to increase monotonously during prolonged exercise of a constant intensity, while systolic and diastolic time intervals varied the directions and patterns of their changes during the exercise.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1988, 37: 263-272)

key words: 1) prolonged exercise, 2) STI, 3) total electromechanical systole, 4) diastolic time, 5) QS_2/DT

I. 緒 言

運動を長時間続けていると、強度が一定であるにもかかわらず心拍数 (HR) は徐々に増加する現象が広く認められている。これは一回拍出量 (SV) の減少、体温の上昇、血圧の低下等に対する代償

的な応答であると考えられている^{6,7,12,13,24)}。

運動によって HR が増大すると、一般に全収縮期 (QS_2) に比べて拡張期 (DT) がより著しく短縮して、心周期に占める DT の割合は小さくなる^{2,8,31)}。DT は、血液が心室へ流入する時期であり^{8,30)}、また冠状動脈血流の大部分は DT の期間

*筑波大学体育科学研究科 茨城県つくば市 University of Tsukuba, Doctoral Program in Health and Sports Science, Tsukuba-city, Ibaraki (305)

**共愛学園女子短期大学 群馬県前橋市 Kyou-Ai Gakuen Women's Junior College, Maebashi-city, Gunma (379-21)

***筑波大学体育科学系 University of Tsukuba, Institute of Health and Sports Science

中に流れるとされている^{2,27)}. そのため, DT の極端な短縮は心機能にとってマイナス因子になる可能性が考えられる.

運動の持続に伴って HR がさらに漸増する場合には, QS_2 が短縮するのか, DT が短縮するのか,あるいは両者が短縮するとしてどのような割合で短縮するのか, 等の点に関しては, あまり明らかにされていない.

そこで本研究では, 最大酸素摂取量の70%の負荷で60分間の自転車運動を行わせた時の心電図, 心音図及び耳朶脈波図を測定した. そして, 長時間の運動中の HR の漸増に伴う心周期分画がいかに変化するかを明らかにするために, 左室収縮時間 (STI), DT 及び QS_2 と DT との比の変化を測定し検討した.

II. 方 法

A. 被検者

男子大学生長距離選手15名を被検者とした. その年齢, 体重及び身長の平均値及び標準偏差は, それぞれ 20.1 ± 0.8 才, 59.2 ± 4.9 kg 及び 170.7 ± 4.3 cm であった. あらかじめ別の日に測定した自転車運動による最大酸素摂取量は, 58.1 ± 4.9 ml/kg/min であった.

B. 実験手順

運動前に肘静脈より 2ml の血液を採血した後, 座位安静を保ち, この間に安静時の測定を行った. 運動には, 自転車エルゴメーター (Jonas Oglænd 社, エルゴメーター-990) を用いて, ペダル回転数 60 rpm で最大酸素摂取量の70%の強度の運動を60分間行わせた. 全員の負荷強度の平均値及び標準偏差は, 1075 ± 127 kpm/min であった. 運動終了後 3 分以内に, 2 回目の採血を行った. また, 運動中の発汗量を推定するために, 運動の前後に体重を測定した (精度 ± 20 g).

C. 測定及び分析

安静時及び運動中に, 心電図, 心音図, 耳朶脈波図及びその微分波を, データレコーダー (共和電業社, RTP-501 AL) に連続収録した. 心電図は, 胸部双極誘導法で, Q波が明瞭になるような位置に電極を置いて記録した. 心音図は, 胸骨左

縁第3~4肋間付近で, 第2音が明瞭な位置にマイクロフォンを置き, 上からゴム製バンドで固定して記録した. 耳朶脈波図は, その微分波の立ち上がり及び最下点が最も明瞭に得られるように, 耳朶に光電式ピックアップを装着して記録した.

収録した心電図, 心音図, 耳朶脈波図及びその微分波を, 電磁オシログラフ (共和電業社, RMV-520 P) を用いて, 紙速 100 mm/sec で現像し, 分析に供した. 分析は, 運動前の安静時, 運動30秒, 1分, 2分, 5分, 10分, 15分, 20分, 25分, 30分, 40分, 50分及び60分目について行った.

すなわち, Fig.1 に示したように心電図の隣り合う二つの R 波の間隔をもって RR とし, 心電図の Q 波の起始点から, 心音図の第2音の開始点までを QS_2 とし, そして耳朶脈微分波の急峻な立ち上がり点から, 陰極ピークの最下点までをもって左室駆出時間 (LVET) とした^{15,22)}. 分析は, 原則として安静時には連続10拍について, また運動時には連続5拍について計測し, その平均値を測定値とした. 測定した RR, QS_2 及び LVET から, 以下のパラメーターを算出した. すなわち,

Fig. 1. A sample of the recorded traces of phonocardiogram (PCG), ear densitogram derivative (EDD) and electrocardiogram (ECG).

RR : RR interval

QS_2 : total electromechanical systole

LVET : left ventricular ejection time

Paper speed : 100 mm/sec

HR, DT ($DT=RR-QS_2$), 前駆出期 ($PEP=QS_2-LVET$), $PET/LVET$ 及び QS_2/DT である。さらに, 以下に示した Weissler の補正式^{34,35)} によって, QS_{2i} , $LVETi$ 及び $PEPi$ を算出した。

$$QS_{2i} = QS_2 + 2.1 * HR$$

$$LVETi = LVET + 1.7 * HR$$

$$PEPi = PEP + 0.4 * HR$$

また, 採血した血液から, 乳酸分析器 (Roche 社, Model 640) によって血中乳酸値を, また遠心分離法によってヘマトクリット値を測定した。

実験中の室温は19~22℃の間にあった。

平均値の差の検定には, Paired T-Test を行い, $P<0.05$ をもって有意とした。また, 勾配の差の検定には, 共分散分析を行い, F 分布の上側 $P<0.05$ をもって有意とした。

III. 結 果

Fig. 2~3 に, 運動中の HR, STI, DT 及び QS_2/DT の経時変化を全員の平均値で示した。

HR は, 安静時には 64.4 拍であったが, 運動を

Fig. 2. Time courses of HR, QS_2 , DT, LVET and PEP at rest and during exercise.

始めると最初の2分間に急増し, 以後時間と共に緩やかに増加し続け, 運動終了時には159.0 拍に達した (Fig. 2)。

DT は, 運動によって著しく短縮した。特に運動初期の短縮が顕著であり, 運動2分目以降は極めて軽度な短縮にとどまった。すなわち, 安静時に560 msecであったDTは運動2分目に178 msecとなり, 運動終了時には149 msecとなつて, 最初の2分間の変化量は運動による全変化量の93%に相当した。DTと比較すると, QS_2 の変化は比較的緩やかであり, 運動30分目ではほぼ一定値に達し, 以後ほとんど変化しなかった。運動終了時の QS_2 (228 msec) は, 安静値 (372 msec) の61%であった。LVETは, 運動初期に一旦軽度延長するが, 以後運動終了時まで緩やかに短縮し, そのパターンは QS_2 のそれによく似ていた。PEPは, 運動2分目までに著しく短縮し, 以後

Fig. 3. Time courses of QS_2/DT , QS_{2i} , $LVETi$, $PEPi$ and $PEP/LVET$ at rest and during exercise.

Significant differences ($p<0.05$) from values at 2 minutes (*) and at 20 minutes (★) of exercise.

56~60 msec の間ではほぼ一定値を保った。

Fig. 3 は, QS_2/DT , STI の各補正值及び PEP/LVET の経時変化である。 QS_2/DT は, 安静値 (0.66) に比べると運動時には非常に増大した。その変化は, 初期に急激であり運動 2 分目にピーク (1.60) を示し, 以後 20 分目 (1.44) まで減少した。20 分目以降は, 再び増加に転じ, 運動終了時まで徐々に増大した。図中の * 印は運動 2 分目の値との有意差を, また ★ 印は 20 分目の値との有意差を示している。LVETi は, QS_2/DT と同様に運動初期に急増して 2 分目にピーク (448 msec) となり, 以後 20 分目まで減少した後, 再び増加に転じた。 QS_2i は, LVETi と似た変化パターンを示したが, 運動 2 分目から 20 分目までの変化は LVETi に比べて軽かった。PEPi は, 2 分目までに著しく減少し, 以後運動終了時まで増加傾向を示した。しかし, 15 分目以降の増加は極めて軽度なものであった。PEP/LVET の変化は, PEPi のそれと同様であった。

Fig. 4~6 に, 各パラメーターと HR との関係を示した全員の平均値で示した。

Fig. 4 は, QS_2/DT と HR との関係である。 QS_2/DT は, 運動初期には HR の増大に伴って急増し, HR が約 130 拍 (運動 2 分目) の時にピークとなり, 以後 HR が約 150 拍 (20 分目) になるま

Fig. 4. QS_2/DT is plotted against HR at rest and during exercise.

Table 1. HR, QS_2/DT and time at the point of I and II.

	I	II
n	12	13
HR (beats/min)	134.0 ± 8.1	148.7 ± 8.7
QS_2/DT	1.64 ± 0.13	1.42 ± 0.15
Time (min)	2.8 ± 1.3	20.8 ± 5.8

n : number of subjects, QS_2 : total systole, DT : total diastole, Time : period between the point of I or II and beginning of exercise, point of I : the point where QS_2/DT turns the direction of change from increase to decrease, point of II : the point where QS_2/DT turns the direction of change from decrease to increase

では減少した。そして 150 拍を越えると, 再び増加する傾向を示した。HR が 130 拍の時にみられたピークを第 I 点とすると, 第 I 点の認められた被検者は, 15 名中 12 名であり, その点における平均の HR 及び QS_2/DT はそれぞれ 134.0 ± 8.1 拍及び 1.64 ± 0.13 であった (表 1)。また第 I 点の時間は, 9 名が運動 2 分目であり, 残りの 3 名が 5 分目であった。同様に, 第 I 点以後に減少した QS_2/DT が再び増加傾向に転ずる点を第 II 点とすると, 第 II 点の認められた被検者は 13 名であり, その平均の HR 及び QS_2/DT はそれぞれ 148.7 ± 8.7 拍及び 1.42 ± 0.15 であった。また第 II 点の時間は, 1 名が運動 10 分目, 3 名が 15 分目, 4 名が 20 分目, 3 名が 25 分目及び 2 名が 30 分目であり, 平均すると 20.8 ± 5.8 分であった。

Fig. 5 は, QS_2 及び DT と HR との関係である。 QS_2 及び DT は, 共に HR の増加に伴って短縮したが, 両者の変化のパターンは異なっていた。HR が約 65 (安静値)~130 拍の間で, DT は著しい短縮を示し, 130~150 拍の範囲では勾配が緩やかになり, さらに 150 拍を越えると, 再び勾配が大きくなった。これに対して, QS_2 は 65~130 拍の HR の範囲で比較的緩やかな勾配を示したが, 130~150 拍の間では若干急になり, 150 拍を越えると, 再び緩やかになった。HR を 65~130 拍, 130~150 拍及び 150 拍以上の 3 つの区間にわけて直線回帰式を作り, その勾配を比較した。その結果, DT の勾配はそれぞれ -1.6, -0.7 及び -1.7

であり、いずれの間にも有意な差が認められた。同様に、 QS_2 の勾配はそれぞれ-1.3, -2.4及び-0.8であり、これらの間にも有意な差が認められた。また、各区間の QS_2 と DT の勾配の差も有意であった。すなわち、 QS_2 及び DT は、共に HR に対して一定の割合で変化するのではなく、 QS_2/DT でみられた第Ⅰ点及び第Ⅱ点を境にして勾配が変化し、かつ QS_2 と DT では、その変化が対照的であった。

Fig. 6 は、STI の各補正值及び PEP/LVET と

HR との関係を示している。各パラメーターは、 QS_2/DT でみられた第Ⅰ点及び第Ⅱ点を境にして変動のパターンを変えた。LVETi は QS_2/DT と極めて類似した変化を示した。PEPi は HR の増加に伴って減少したが、130拍を越えると緩やかな増加傾向に変わった。HR が150拍に至るまでは、LVETi と PEPi の変化は対照的であり、このため両者の和である QS_2i には、第Ⅰ点に相当するピークは明確でなかった。しかし、HR が150拍以上になると、LVETi と PEPi はいずれも増

Fig. 5. QS_2 and DT which are plotted against HR at rest and during exercise.

Fig. 6. QS_2i , LVETi, PEPi and PEP/LVET which are plotted against HR at rest and during exercise.

Table 2. Body weight, blood lactate (La) and hematocrit (Hct) before and after exercise and changes in them (Δ).
* $p < 0.05$

	before	after	Δ
Weight (kg)	59.740 ± 4.575	58.725 ± 4.520	-1.015 ± 0.233
La (mmol/l)	0.97 ± 0.14	$1.73 \pm 0.59^*$	$+0.76 \pm 0.59$
Hct (%)	46.0 ± 2.4	48.8 ± 2.7	$+2.8 \pm 1.8$

加傾向を示すため, QS_2i も顕著に増加した. $PEP/LVET$ は, $PEPi$ と同様な変化を示した.

運動中の体重減少量は 1.015 ± 0.233 kg であった. 血中乳酸値は, 安静値の 0.97 ± 0.14 mmol/l から, 1.73 ± 0.59 mmol/l まで, わずかに増加した. また, ヘマトクリット値は, $46.0 \pm 2.4\%$ から $48.8 \pm 2.7\%$ に増加した(表 2).

IV. 考 察

QS_2/DT は, 心周期に占める全収縮期と拡張期の比である. 今回の結果から, 運動時には HR の増大に伴ってこの比も増大するが, 60分間の運動中にみられたこの比の変動は単調なものではなく, 運動時間帯によって特徴的な変化を示すことが明らかになった. すなわち, QS_2/DT は運動初期に急増した後, 2分目から20分目の間に減少し, 20分目以後には再び増大した. この結果, 2分目には山が, 20分目には谷が形成された.

運動を始めてから2分目までの QS_2 及び DT の経時変化をみると, 後者の短縮は特に顕著であって, 運動中の全短縮の93%がこの2分間に起こったのに対して, QS_2 の短縮は比較的緩やかであった. したがって, 運動2分目までの QS_2/DT の増加の原因は, DT の著しい短縮によるものであるといえる. しかし, この時点における PEP と $LVET$ をみると, 前者は急減しているのに対して, 後者は一旦延長した後 QS_2 と同様のパターンで緩やかに短縮している. この $LVET$ の緩やかな短縮が QS_2 の緩徐な短縮の原因となり, これがさらに QS_2/DT の急増の一因になっていると考えられる.

2分目から20分目の間の変化をみると, DT は一転して軽微な短縮傾向を示したのに比べて, QS_2 は緩やかではあるが明らかな短縮傾向を示した. この結果, 2分目から20分目の間に, QS_2 の短縮が DT の短縮より相対的に大きくなって QS_2/DT は減少した. この場合にも QS_2 と $LVET$ の短縮パターンが極めて類似していて, QS_2 の短縮傾向は主に $LVET$ のそれによって決定されていることを示唆している. QS_2/DT が減少した原因としては, DT の短縮傾向が何らかの原因で抑

制されたために, QS_2 の短縮が促進されたか, あるいは QS_2 の短縮が起こったために, DT の短縮が軽度ですんだためかいずれかであると考えられるが, その機構は明らかではない.

運動20分目以降の変化をみると, QS_2 は30分でプラトーに達しているのに対して, DT は軽度ではあるが運動終了時までほぼ一定の割合で短縮し続けた. この結果, QS_2/DT は増加した. その原因としては, 何らかの原因によって QS_2 の短縮が抑制されたために, DT が短縮せざるを得なかったか, あるいは DT の短縮が起こったために QS_2 は変化せずにすんだためかいずれかであると考えられるが, ここでもその機構は明らかではない.

運動を始めて2分目まで, すなわち HR が130拍になるまでに認められた他の所見としては, $LVETi$ 及び QS_2i の著しい増加と, $PEPi$ 及び $PEP/LVET$ の顕著な減少である. 一般に直立姿勢で運動を行うと, 筋ポンプ作用によって静脈還流が促進される^{21,33)}. 同時に運動時には交感神経緊張が高まり, inotropic 作用が増大する^{25,28)}. これらの結果, 運動中に SV は増加する^{4,16)}. これまでも, 運動時に $LVETi$ が増大することは報告されていて, その原因として SV の増加があげられている. Buch et al³⁾ は, 利尿剤を用いて静脈還流量を減少させた結果, $PEPi$ が増加することを報告している. 反対に静脈還流改善による前負荷の増大は $PEPi$ の減少の原因ともなる. さらに, 心機能の改善あるいは inotropic 作用の増大により $PEPi$ 及び $PEP/LVET$ は減少することが報告されている^{9,10,18,32,35)}. したがって, 今回みられた運動2分目までの $PEPi$ 及び $PEP/LVET$ の減少と $LVETi$ の増加には, 静脈還流の改善と inotropic 作用の増強などによる SV の増大が原因として関与しているものと考えられる. $LVETi$ の増加は $LVET$ の緩徐な減少と表裏の関係にあり, かつ QS_2 の短縮パターンが $LVET$ のそれによって決定されていて, これが QS_2/DT の急増をもたらすものと考ええると, 運動2分目までの QS_2/DT の急増には静脈還流改善による SV の増大が, その重要な原因となった可能性が大きい.

運動2分目以降, すなわち HR が130拍以上で

は、PEPi 及び PEP/LVET は運動終了時まで増加する傾向を示した。これに対して LVETi は、HR が130~150拍の間では減少し、以後運動終了時まで一転して増加する傾向に変わった。

強度の強い運動を長時間継続すると、著しい体温上昇を伴う²⁰⁾。このため、皮膚血管が拡張して皮膚血流量が増大する。この結果、心臓への静脈還流量が減り、SV は減少する^{5,6,7,13,23,24)}。またそのような運動時には、血漿量も減少する^{6,11,19,24)}。今回の結果でもヘマトクリット値が46.0%から48.8%に増大し、血漿量の減少を示唆した。体重は約1kg減少し、これは大部分発汗によるものと考えられる。したがって、ヘマトクリット値の増大は、主に発汗による脱水の結果であると考えられる。血漿量の減少は、SV が減少する一因になりうる。前述したように、LVETi と SV の強い関係を支持する報告は多い。また PEPi は、静脈還流量ないし前負荷に強く影響される。したがって、HR が130~150拍の間でみられた QS₂ の漸減傾向、LVETi の減少及び PEPi の増加などは静脈還流量あるいは SV の減少を反映している可能性もあり、その SV の減少の原因の一つとして発汗による血漿量減少が挙げられる。しかし、ヘマトクリット値がどの時点で変化したのかは今回の実験では明らかでないので、ヘマトクリット値の経時変化を検討する必要がある。

一方、Ekelund⁹⁾、Hartley¹²⁾ 及び Saltin and Stenberg²⁴⁾ は、運動が長時間におよぶと前述した皮膚血管拡張によって総末梢抵抗が減少し、その結果運動初期に上昇した血圧は徐々に低下することを報告した。血圧の低下は、QS₂i や LVETi の減少に関与する²⁶⁾。したがって、HR が130~150拍の間で SV が減少しなくても、血圧の低下によって QS₂i 及び LVETi は減少する可能性も否定できない。

今回の実験で、運動中に SV や血圧は徐々に減少したか、あるいは少なくとも増加することはないものかと仮定すると、HR が150拍以上の時にみられた LVETi 及び QS₂i の増大は、SV や血圧以外の影響によることになる。Wolfe et al³⁶⁾ は、同一の LVET の場合、心筋の収縮性の高い方が

SV が大きいと報告している。逆に考えると、SV や血圧が一定の時に心筋収縮性が低下すれば、LVETi は増大することになる。Boudoulas et al¹⁾ によると、薬理的に inotropic 作用をブロックして検討した結果、QS₂i と inotropic 作用との間に負の相関関係があったという。しかし、運動時のように SV や血圧が増大する場合には、inotropic 作用が増強しても、QS₂i は増加することはありうると考えられる。そのため、負の相関関係は、SV や血圧が増大しないという条件のときに成立するものと考えられる。したがって、前述したように、HR が150拍以上の時、SV 及び血圧の増大はなかったものと仮定すると、この場合の QS₂i 及び LVETi の増加は心筋収縮性の低下の可能性を示唆するものと考えることができる。

経時変化でみると、DT は運動2分目から終了時までほぼ一定の割合で短縮し続けたが、QS₂ は20分目以降徐々にプラトーに達した。このため、20分目以降の HR の増加は主に DT の短縮によるものといえる。この結果、HR との関係から DT をみると、130~150拍の間の勾配は小さいが、150拍以上になると勾配が大きくなった。DT の短縮は、心室への血液流入時間の短縮を意味する。DT があまり短縮されると、心室の拡張速度が加速されない限り拡張末期容積が減少し、スターリングの法則から心筋の収縮力が低下する可能性がある。

反対に、Maher et al¹⁷⁾ は仰臥位での長時間運動中に inotropic 作用は徐々に亢進すると報告している。しかしこれは、運動中に PEP が短縮傾向を続けたことから推論しているものであって、十分な根拠に基づくものとはいえない。しかし、今回の実験で、運動20分目以降に心室の拡張速度が増大したと仮定すると、心筋収縮力の低下なしに DT のみが短縮した可能性は否定できない。

HR が150拍以上の時にみられた QS₂/DT の増大、DT の減少、LVETi 及び QS₂i の増加等の生理的意義に関しては、今回の実験結果から結論を下すことは困難である。今後は、SV 及び血圧も同時に測定した上でさらに検討をすすめる必要がある。

V. ま と め

男子大学生長距離選手15名に対して, 最大酸素摂取量の70%の負荷で, 60分間の自転車運動を行わせた. 運動中の心電図, 心音図, 耳朶脈波図及びその微分波から, HR, STI, DT 及び QS_2/DT を測定して, HR 及び時間に対する各パラメーターの変化を明らかにすることを目的とした. 得られた結果は, 以下の通りであった.

1. 運動を始めると, QS_2 に比べて DT は著しく短縮して, QS_2/DT は急増した. しかし, HR が130 (運動2分目) ~150(20分目) 拍の間では, DT の短縮に比べて QS_2 の短縮が相対的に大きくなり, QS_2/DT は減少傾向を示した. さらに, HR が150拍を越えると, QS_2 は徐々にプラトーに達するが DT はなお減少し続けるために, QS_2/DT は再び増加する傾向に変わった.

2. LVET は比較的緩徐に短縮し続けるのに対して, PEP は運動初期の2分間に急減し, 以後は一定値を保った. したがって2分目以降の QS_2 の変化は LVET によって規定され, 両者は酷似していた.

3. LVETi 及び QS_2i は, QS_2/DT と同様な変化を示したが, LVETi に比べ QS_2i の変化は小さかった.

4. PEPi 及び PEP/LVET は, 運動を始めて HR が130拍になるまでに著しく減少した後, HR の増大に伴って緩やかに増加する傾向を示した.

このように, 長時間の運動中 QS_2/DT , STI 及び DT は一様な変化を示すのではなく, ある点を境に増加・減少のパターンを変える傾向が認められた. これが HR を基準にして起こる現象であるのか, それとも時間を基準にしているのか, またその生理的意義については, 今後さらに検討していく必要があるものと考えられる.

(受付 昭和62年11月2日)

References

- 1) Boudoulas, H., Beaver, B. M., Kates, R. E. and Lewis, R. P. (1978) : Pharmacodynamics of inotropic and chronotropic responses to oral therapy with propranolol. *Chest*, **73**, 146-153.
- 2) Boudoulas, H., Rittgers, S. E., Lewis, R. P., Leier, C. V. and Weissler, A. M. (1979) : Changes in diastolic time with various pharmacologic agents. Implication for myocardial perfusion. *Circulation*, **60**, 164-169.
- 3) Buch, J., Egeblad, H., Hansen, P. B., Kjaergard, H., Waldorff, S. and Steiness, E. (1980) : Correlation between changes in systolic time intervals and left ventricular end-diastolic diameter after preload reduction. *Br. Heart J.*, **44**, 668-671.
- 4) Chapman, C. B., Fisher, J. N. and Sproule, B. J. (1960) : Behavior of stroke volume at rest and during exercise in human beings. *J. Clin. invest.*, **39**, 1208-1213.
- 5) Ekelund, L. G. (1966) : Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise in the supine position. *Acta Physiol. Scand.*, **68**, 382-396.
- 6) Ekelund, L. G. (1967) : Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise of moderate intensity in the sitting position. *Acta Physiol. Scand.*, **69**, 327-340.
- 7) Ekelund, L. G., Holmgren, A. and Ovenfors, C. O. (1967) : Heart volume during prolonged exercise in the supine and sitting position. *Acta Physiol. Scand.*, **70**, 88-98.
- 8) Ferro, G., Giunta, A., Maione, S., Carella, G., Genovese, A. and Chiariello, M. (1984) : Diastolic time during exercise in normal subjects and in patients with coronary artery disease. *Cardiology*, **71**, 266-272.
- 9) Garrard, C. L., Jr., Weissler, A. M. and Dodge, H. T. (1970) : The relationship of alterations in systolic time intervals to ejection fraction in patients with cardiac disease. *Circulation*, **42**, 455-462.
- 10) Gollan, F., Kizakevich, P. N. and McDermott, J. (1978) : Continuous electrode monitoring of systolic time intervals during exercise. *Br. Heart J.*, **40**, 1390-1396.
- 11) Harrison, M. H., Edwards, R. J. and Leitch, D. R. (1975) : Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. *J. Appl. Physiol.*, **39**, 925-931.
- 12) Hartley, L. H. (1977) : Central circulatory func-

- tion during prolonged exercise. *Ann. NY. Acad. Sci.*, **301**, 189-194.
- 13) 平木場浩二, 浅野勝巳(1983): 持久性走者の長時間運動時における呼吸循環応答特性. *体力科学*, **32**, 293-301.
 - 14) Kobayashi, K., Kotilainen, P. W., Haffty, B. G., Moreau, K. A., Bishop, R. L. and Spodick, D. H. (1978): Cardiac responses during uninterrupted treadmill exercise and recovery—Measurement by systolic time intervals—. *Chest*, **74**, 265-270.
 - 15) Lance, V. Q. and Spodick, D. H. (1977): Systolic time intervals utilizing ear densitography. *Am. Heart J.*, **94**, 62-66.
 - 16) Loeppky, J. A., Greene, E. R., Hoekenga, D. E., Caprihan, A. and Luft, U. C. (1981): Beat-by-beat stroke volume assessment by pulsed doppler in upright and supine exercise. *J. Appl. Physiol.*, **50**, 1173-1182.
 - 17) Maher, J. T., Beller, G. A., Ransil, B. J. and Hartley, L. H. (1974): Systolic time intervals during submaximal and maximal exercise in man. *Am. Heart J.*, **87**, 334-342.
 - 18) McConahay, D. R., Martin, C. M. and Cheitlin, M. D. (1972): Resting and exercise systolic time intervals. *Circulation*, **45**, 592-601.
 - 19) Nadel, E. R. (1980): Circulatory and thermal regulations during exercise. *Federation Proc.*, **39**, 1491-1497.
 - 20) 小川徳雄(1985): 運動と体温. *臨床スポーツ医学*, **2**, 241-250.
 - 21) Pollack, A. A. and Wood, E. H. (1949): Venous pressure in the saphenous vein at the ankle in man during exercise and changes in posture. *J. Appl. Physiol.*, **1**, 649-662.
 - 22) Quarry-Pigott, V., Chirife, R. and Spodick, D. H. (1973): Ejection time by ear densitogram and its derivative—Clinical and physiologic applications—. *Circulation*, **48**, 239-246.
 - 23) Rowell, L. B., Marx, H. J., Bruce, R. A., Conn, R. D. and Kusumi, F. (1966): Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *J. Clin. Invest.*, **45**, 1801-1816.
 - 24) Saltin, B. and Stenberg, J. (1964): Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, **19**, 833-838.
 - 25) Sharma, B., Goodwin, J. F., Raphael, M. J., Steiner, R. E., Rainbow, R. G. and Taylor, S. H. (1976): Left ventricular angiography on exercise. A new method of assessing left ventricular function in ischaemic heart disease. *Br. Heart J.*, **38**, 59-70.
 - 26) Shaver, J. A., Kroets, F. W., Leonard, J. J. and Paley, H. W. (1968): The effect of steady-state increases in systemic arterial pressure on the duration of left ventricular ejection time. *J. Clin. Invest.*, **47**, 217-230.
 - 27) Smith, J. J. and Kampine, J. P. (村松 準訳)(1983): 循環の生理, 第1版. 医学書院社, 東京, 184-192.
 - 28) Sonnenblick, E. H., Braunwald, E., Williams, J. F. Jr. and Glick, G. (1965): Effects of exercise on myocardial force-velocity relations in intact unanesthetized man: Relative roles of changes in heart rate, sympathetic activity, and ventricular dimensions. *J. Clin. Invest.*, **44**, 2051-2062.
 - 29) Sugiura, T., Doi, Y. L., Haffty, B. G., Moreau, K. A., Bishop, R. L., Singh, J. B. and Spodick, D. H. (1981): Noninvasive assessment of left ventricular performance in patients with ischemic heart disease: Ear densitographic study during uninterrupted treadmill exercise. *Am. J. Cardiol.*, **48**, 101-105.
 - 30) Sugiura, T., Iwasaka, T., Doi, Y. L., Haffty, B. G., Inada, M. and Spodick, D. H. (1984): Diastolic time during recovery from upright exercise in persons without heart disease. *Am. J. Cardiol.*, **54**, 168-170.
 - 31) Sugiura, T., Iwasaka, T., Takahashi, N., Matsutani, M., Takayama, Y., Inada, M. and Spodick, D. H. (1987): Effect of exercise on ventricular diastolic time in coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.*, **59**, 1089-1092.
 - 32) Talley, R. C., Meyer, J. F. and McNay, J. L. (1971): Evaluation of the pre-ejection period as an estimate of myocardial contractility in dogs. *Am. J. Cardiol.*, **27**, 384-391.
 - 33) Wang, Y., Marshall, R. J. and Shepherd, J. T. (1960): The effect of changes in posture and of

- graded exercise on stroke volume in man. *J. Clin. Invest.*, **39**, 1051-1061.
- 34) Weissler, A. M., Harris, W. S. and Schoenfeld, C. D. (1968) : Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation*, **37**, 149-159.
- 35) Weissler, A. M., Harris, W. S. and Schoenfeld, C. D. (1969) : Bedside technics for the evaluation of ventricular function in man. *Am. J. Cardiol.*, **23**, 577-583.
- 36) Wolfe, L. A., Cunningham, D. A., Davis, G. M. and Rosenfeld, H. (1978) : Relationship between maximal oxygen uptake and left ventricular function in exercise. *J. Appl. Physiol.*, **44**, 44-49.
- 37) Xenakis, A. P., Quarry, V. M. and Spodick, D. H. (1975) : Immediate cardiac response to exercise : physiologic investigation by systolic time intervals at graded work loads. *Am. Heart J.*, **89**, 178-185.