

等尺性運動負荷の左心機能 に及ぼす影響: 多元補正式を 用いた握力負荷心機図法

Cardiocirculatory re- sponses to sustained iso- metric handgrip exer- cise: Exercise systolic time intervals

本宮 武司

佐野 忠弘*

佐久間 昭**

Takeshi MOTOMIYA

Tadahiro SANO*

Akira SAKUMA**

Summary

The hemodynamic effects of sustained isometric handgrip exercise (IHE) at 50 per cent maximal voluntary contraction for the period of 2 minutes were determined by means of systolic time intervals (STIs) in 44 younger normal controls (YN), 63 oldern ormal controls (ON), 26 patients with essential hypertension, WHO stage 1 and 2 (HY), and 29 patients with ischemic heart disease (IHD). Characteristics of the subjects are shown in Table 1. STIs used in this study were left ventricular ejection time (LVET), pre-ejection period (PEP) and ratio of pre-ejection period to ejection time (PEP/VLET). These 3 measures were also corrected for the heart rate, STI index (HR) using equations shown in Table 2 and for multiple influencing factors, STI index (MF) using equations shown in Table 3.

The ON group is the reference group and the STIs at rest and changes in response to IHE were compared with other groups. Comparison was also made with those of YN. For the statistical analysis Scheffé's method was applied to compare responses between 4 groups.

Results: Table 4 comprises the data on the entire study groups. The resting recordings did not show any significant difference in the heart rate and the STIs in ON as compared with YN, HY and IHD (Figure 1). The changes in heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) from the resting control are illustrated in Figure 2. In each of the groups IHE resulted in increased HR, SBP and DBP and the increase in the SBP was much more prominent in HY as compared with YN and ON ($p < 0.01$ and 0.05 , respectively). Changes in the STIs induced by IHE are shown in Figure 3. The LVET decreased in YN, ON and IHD groups and increased in HY. The decrease in the LVET was more prominent in YN as compared with ON ($p < 0.05$). The LVETi (HR) and LVETi (MF) decreased in all 4 groups and the decrease was much less prominent in HY as compared with ON ($p < 0.05$ each). The PEP increased in YN, ON and IHD and decreased in HY and the change from the resting value for HY as compared with ON was statistically significant ($p < 0.01$). The PEPi (HR) and the PEPi (MF) both increased in all 4 groups and the increase in the PEPi (MF) was much less prominent in HY as compared with ON ($p < 0.01$). PEP/LVET increased in YN, ON and IHD and decreased in HY and the change for HY as compared with ON was statistically significant ($p < 0.01$). PEP/LVETi (MF) increased by IHE in all 4 groups and the increase was much less prominent in HY as compared with ON ($p < 0.01$).

東京都臨床医学総合研究所 循環器部
東京都文京区本駒込3-18 (〒113)

* 東京都職員共済青山病院 内科

**東京医科歯科大学難治疾患研究所臨床薬理

Division of Cardiovascular Research, Tokyo Metropolitan Institute of Medical Science, Honkomagome 3-18, Bunkyo-ku, Tokyo 113

*Department of Medicine, Aoyama Tokyo Metropolitan Hospital, **Department of Clinical Pharmacology, Medical Research Institute, Tokyo Medical and Dental University

The resting STIs did not disclose any difference between ON and patients with HY and IHD. The IHE produced the changes in the STIs suggesting hyperkinetic circulatory state in HY group. It is generally agreed that patients in early stage of essential hypertension have an increased cardiac function. The IHE test at 50 per cent maximal voluntary constriction did not disclose any difference in the STIs and the STI indices for IHD as compared with YN and ON. This might be explained by a bias of the IHD group consisting of mild cases with NYHA functional class 1 and 2 and the Prinzmetal's variant form of angina which might have different cardiovascular response to the IHE compared to the classical atherosclerotic coronary heart disease.

The STIs corrected for the multiple factors disclosed the difference between the groups better than the STIs or the STIs corrected for the HR (STIi). The appropriateness to correct the STIs for the heart rate or other multiple influencing factors as STI indices for the comparison of the data at rest and during the IHE remains in question as the regression coefficients are different between at rest and during the IHE. However, as far as referring the changes in the STIs, interpretation of changes in the STI indices should make sense.

Key words

handgrip test and left ventricular function
essential hypertension and ischemic heart disease

はじめに

心機能の評価には心予備力を含めた判定法が好ましく, その方法の1つに運動負荷がある. 繁用されている Master 階段試験や, トレッドミル, エルゴメーター試験における運動は力学的(dynamic)運動であるが, 運動時の体位が立位または坐位であり, 体動のために技術的に良好な心音心機図記録を得ることが困難で, もっぱら高価な臥位型エルゴメーターを使用することになる.

これに対して, 握力試験などの等尺性(isometric)運動は, 仰臥位で被検者の体動がきわめて少

なく, かつ安価な握力計で簡便に施行出来る利点がある.

左室収縮時間(systolic time intervals, STI)は Weissler¹⁾により再評価されて以来心疾患に関して多くの報告があり,²⁾⁻⁶⁾運動負荷STIの報告も多くなってきた.⁷⁾⁻¹⁶⁾しかし, 非観血的に求めたSTIは観血的に得た心機能諸指標と必ずしも相関しないとの報告¹⁷⁾や, 等尺性運動負荷STIは病態間の比較に敏感でないとの報告¹⁸⁾⁻²⁰⁾もあり, 我々は握力による等尺性運動負荷が若年健常者, 中老年健常者, 本態性高血圧者, 虚血性心疾患者の比較に際しSTIの差異を惹起すか否かを検討

Table 1. Classification of materials

		Sex		Age
		M	F	mean ± S.D.
Normal control				
Young (age: 18 to 39)	n=44	34	10	34 ± 4.6
Middle to old (age: 40 to 80)	n=63	40	23	49 ± 8.1
Essential hypertension	n=26	17	9	51 ± 9.5
Ischemic heart disease	n=29	17	12	58 ± 11.4
1. Effort angina	10	5	5	
2. Myocardial infarction	2	1	1	
3. Intermediate type	5	4	1	
4. IHD with no pain	12	7	5	

し、握力負荷心機図法が心疾患のスクリーニングテストとして有用か否かの検討を行った。

対象と方法

若年健常群 (younger normal, YN) 44 例, 中年健常群 (older normal, ON) 63 例, 降圧剤未投与または投与の中断している WHO 分類第 1 期および 2 期の本態性高血圧症 (HY) 26 例, New York Heart Association 能力分類 1 ないし 2 度の虚血性心疾患 (IHD) 29 例を対象とした (Table 1). 全例洞調律でジギタリス, β ブロッカーなどの投与はされていない。

全例空腹時, 禁煙にして空調室内で 15 分以上坐位にて安静の後, 仰臥位でスモドレー握力計を用い最大握力の 50% 握力で Valsalva maneuver を避けて 2 分間等尺性運動を行い, 負荷前安静時と負荷終了直前の 2 回血圧の測定と心音心機図の記録を行った。

STI は紙送り速度毎秒 100 mm で同時記録した心電図 (第 2 誘導), 心音図, 頸動脈波から連

続した 7 心拍の平均値として求めた。

測定した STI は Weissler の計測法に従い, 左室駆出時間 (LVET), 駆出前期 (PEP), およびそれらの比 (PEP/LVET) と各々を安静時用, 握力負荷時用に作られた心拍補正式 (Table 2) に入れて得た STI index (HR), および心拍数, 血圧, 年齢, 性別, 握力の大きさによる多元補正式 (Table 3) に入れて得た STI index (MF) を算出した。

YN, ON, HY および IHD 4 群間の心拍数, 血圧および STI の比較に際しての有意性の検定は Scheffé の多重比較法にしたがった。

Table 2. Equations for heart rate correction of the STIs or STI index (HR) at rest and during isometric handgrip exercise²⁵⁾

At rest	During isometric exercise
$QS_{2i} = +2.0 \text{ HR} + QS_2$	$QS_{2i} = +2.0 \text{ HR} + QS_2$
$ET_i = +1.6 \text{ HR} + ET$	$ET_i = 1.2 \text{ HR} + ET$
$PEP_i = +0.4 \text{ HR} + PEP$	$PEP_i = +0.7 \text{ HR} + PEP$
$ICT_i = +0.3 \text{ HR} + ICT$	$ICT_i = +0.5 \text{ HR} + ICT$

Table 3. Equations for multiple factors adjustment of the STIs or STI index (MF) at rest and during isometric handgrip exercise

At rest
$QS_{2i} = +2.1 \text{ HR} + 10.2 \text{ Sex} - 0.6 \text{ DBP} + 0.2 \text{ SBP} + QS_2$
$ET_i = +1.6 \text{ HR} + 9.2 \text{ Sex} + ET$
$PEP_i = +0.5 \text{ HR} - 0.6 \text{ DBP} + 0.3 \text{ SBP} + PEP$
$PEP/ET_i = -0.002 \text{ DBP} + 0.001 \text{ SBP} + PEP/ET$
During handgrip exercise
$QS_{2i} = +2.1 \text{ HR} + 9.0 \text{ Sex} - 0.6 \text{ DBP} + 1.1 \text{ Grip} + 0.3 \text{ Age} + QS_2$
$ET_i = +1.2 \text{ HR} + 10.1 \text{ Sex} + ET$
$PEP_i = +0.7 \text{ HR} - 0.8 \text{ DBP} + 0.2 \text{ SBP} + 1.2 \text{ Grip} + 0.4 \text{ Age} + PEP$
$PEP/ET_i = +0.001 \text{ HR} - 0.003 \text{ DBP} + 0.001 \text{ SBP} + 0.001 \text{ Age} + 0.005 \text{ Grip} - 0.023 \text{ Sex} + PEP/ET$

* Sex: male=1, female=0

Table 4. Data on entire study group

Variables	Rest (mean±SE)	p (vs ON)	Changes by IHE (mean±SE)	p (vs ON)	p (vs YN)
HR beats/min					
ON	65.5±1.2		+4.6±1.0		NS
HY	67.6±2.2	NS	+8.1±1.2	NS	NS
IHD	69.3±2.7	NS	+6.6±1.0	NS	NS
YN	60.3±1.2	NS	+6.3±0.7	NS	
SBP mmHg					
ON	124.6±1.6		+15.6±1.6		NS
HY	177.9±4.4	<0.01	+25.2±3.4	<0.05	<0.01
IHD	154.3±3.6	<0.01	+19.5±1.7	NS	NS
YN	119.7±1.7	NS	+13.7±1.3	NS	
DBP mmHg					
ON	76.2±1.2		+11.3±0.9		NS
HY	104.9±2.4	<0.01	+17.3±3.1	NS	NS
IHD	89.8±2.2	<0.01	+11.9±1.4	NS	NS
YN	69.5±1.6	<0.05	+13.3±1.0	NS	
LVET msec					
ON	288.4±2.5		-1.8±1.0		<0.05
HY	290.1±4.7	NS	+0.7±1.6	NS	<0.01
IHD	290.4±6.2	NS	-3.2±2.2	NS	NS
YN	294.9±2.4	NS	-5.7±1.1	<0.05	
LVETi (HR) msec					
ON	393.3±1.6		-22.3±0.9		NS
HY	398.2±2.8	NS	-16.4±1.9	<0.05	NS
IHD	401.2±3.7	NS	-23.0±2.1	NS	NS
YN	391.5±1.5	NS	-22.4±1.3	NS	
LVETi (MF) msec					
ON	399.1±1.5		-21.7±0.9		NS
HY	404.3±2.7	NS	-15.8±1.9	<0.05	NS
IHD	406.6±3.4	NS	-22.3±2.1	NS	NS
YN	398.5±1.4	NS	-21.5±1.3	NS	
PEP msec					
ON	95.2±1.6		+2.4±1.0		NS
HY	99.2±2.2	NS	-5.4±1.4	<0.01	<0.01
IHD	98.0±3.4	NS	+0.6±1.4	NS	<0.01
YN	94.4±2.1	NS	+5.2±1.0	NS	
PEPi (HR) msec					
ON	121.4±1.5		+25.3±0.9		NS
HY	126.3±2.4	NS	+20.6±1.6	NS	<0.01
IHD	125.7±3.1	NS	+25.9±1.6	NS	NS
YN	118.4±1.9	NS	+27.3±1.1	NS	
PEPi (MF) msec					
ON	119.7±1.4		+19.4±1.0		NS
HY	123.4±2.7	NS	+2.8±2.1	<0.01	<0.01
IHD	125.1±2.8	NS	+17.5±2.1	NS	NS
YN	118.7±1.8	NS	+18.5±1.3	NS	
PEP/LVET					
ON	0.331±0.006		+0.009±0.004		<0.05
HY	0.344±0.010	NS	-0.019±0.006	<0.01	<0.01
IHD	0.336±0.014	NS	+0.010±0.007	NS	NS
YN	0.320±0.007	NS	+0.023±0.004	<0.05	
PEP/LVETi (MF)					
ON	0.304±0.006		+0.081±0.004		NS
HY	0.312±0.009	NS	+0.028±0.008	<0.01	<0.01
IHD	0.314±0.012	NS	+0.080±0.007	NS	NS
YN	0.301±0.007	NS	+0.083±0.005	NS	

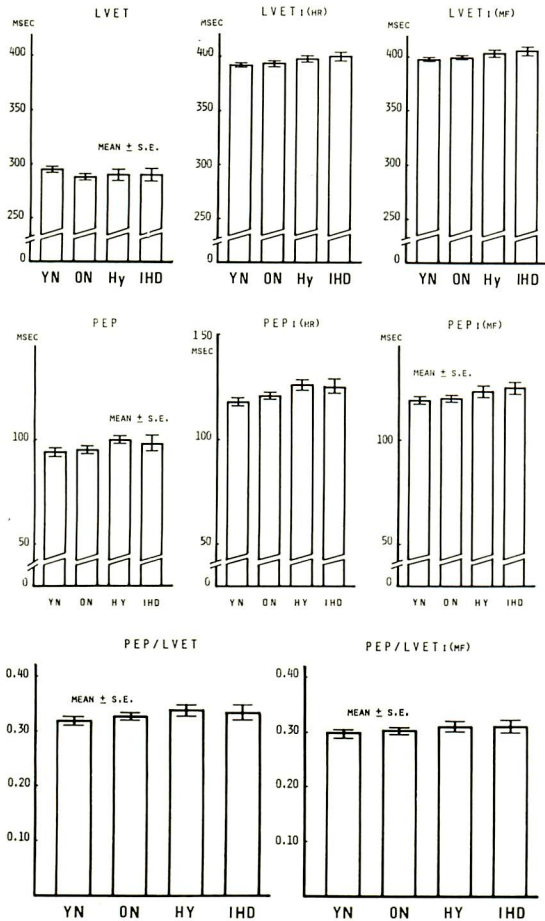


Figure 1. Resting systolic time intervals (STIs), STI indices (HR) and STI indices (MF) in younger normal (YN), older normal (ON), essential hypertension (HY) and ischemic heart disease (IHD).

成 績

安静時心拍数, 血圧, STI, STI index (HR), STI index (MF) および握力負荷による安静時値よりの各々の変動分 Δ は中老年健常群 (ON) を対照として他の 3 群と比較, 変動分 (Δ) については若年健常群 (YN) を対照とした比較を行った (Table 4).

安静時には 4 群間で LVET, PEP, PEP/LVET および各々の心拍補正值, 多因子補正值に全

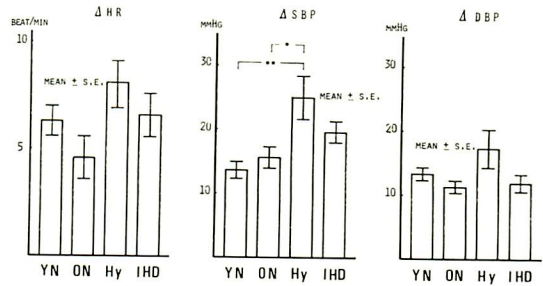


Figure 2. Changes in heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) from control during 50% maximal isometric handgrip exercise (*: $p < 0.05$ and **: $p < 0.01$).

く差を認めなかった (Figure 1).

握力負荷による心拍数 (HR), 収縮期血圧 (SBP) および拡張期血圧 (DBP) の安静時値よりの変動分 Δ を 4 群間で比較すると HR および DBP には差を認めなかったが, SBP は高血圧群において握力負荷による上昇分が健常 2 群よりいずれも大であった (Figure 2).

握力負荷による STI の安静時値よりの変動分 Δ STI, Δ STI index (HR) および Δ STI index (MF) は Figure 3 に示した.

LVET は握力負荷により YN, ON 両健常群および IHD 群では安静時値より短縮し, Δ LVET は負となり, HY 群ではわずかな延長を示し ON 群との比較では YN 群が有意により大きな短縮を示した ($p < 0.05$). LVETi (HR), LVETi (MF) は握力負荷によりほぼ同等な変化を示し, 4 群すべてで Δ LVETi (HR), LVETi (MF) は負となった. ON 群と比較して HY 群での短縮の程度が有意に小さかった ($p < 0.05$).

PEP は負荷により YN, ON, IHD 群で延長, HY 群では短縮し Δ PEP は各々正と負となり ON 群と HY 群の差は有意であった ($p < 0.01$). PEPi (HR), PEPi (MF) は負荷により 4 群ともに延長し, 安静時値よりの変動 Δ はいずれも正となった. ON 群と他の 3 群の比較では Δ PEPi (HR) では有意の差は認められなかったが, Δ PEPi (M

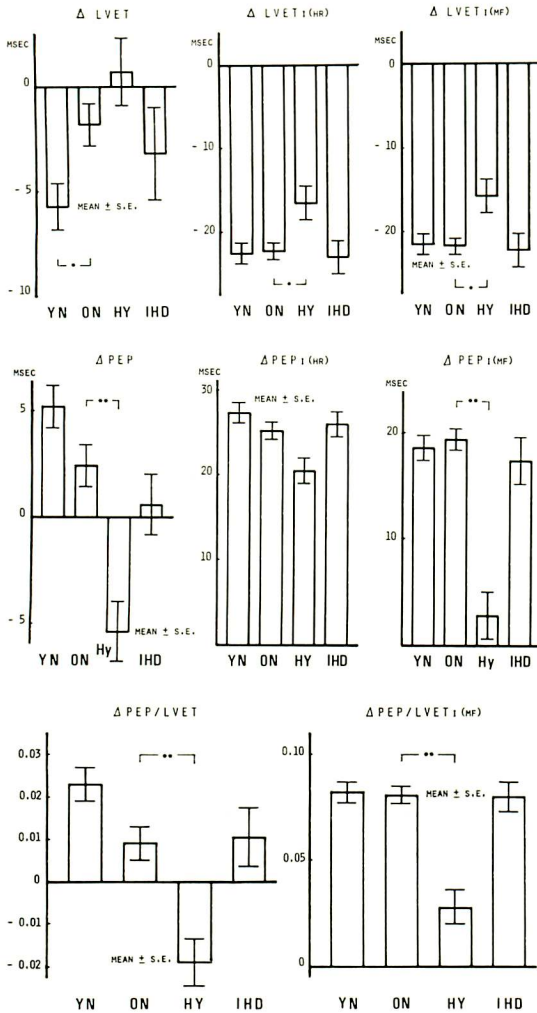


Figure 3. Changes in STIs, STI indices (HR) and STI indices (MF) from control during 50% maximal handgrip exercise in YN, ON, HY and IHD.

F) では HY 群での延長の程度が有意に小さかった ($p < 0.01$).

PEP/LVET は YN, ON, IHD 群で負荷により増加, 安静時値よりの変動 Δ は正となり, HY 群では減少, Δ は負となり HY 群では ON 群と比較してその差は有意であった ($p < 0.01$). PEP/LVETi (MF) は 4 群ともに増加し, Δ は正とな

り HY 群の Δ は ON 群と比較して有意に小さかった ($p < 0.01$).

考 案

等尺性握力負荷を一定時間持続すると開始直後から心拍数の増加, 血圧上昇, 心拍出量の増加と心収縮力の増強を生じ, 負荷を停止するときわめてすみやかに安静時値に復元する.¹³⁾¹⁴⁾ 分時拍出量の増加は主に心拍数の増加によるものであり, 1 回拍出量は最大握力の 10~20% 負荷では安静時と比較して不変だが, 50%以上の負荷ではしばしば減少する.²¹⁾ また, その際全末梢血管抵抗に変化は認められていない.¹³⁾²²⁾

等尺性運動負荷を心予備力の悪い症例に施行すると LVEDP の上昇, stroke index, stroke work の減少を生じ正常群との差を惹起する.²³⁾²⁴⁾

一般に安静時の PEP 延長および PEP/LVET の増大は明らかな左心不全時や心筋梗塞など左心機能低下状態で認められ, LVET の短縮を伴うといわれている.^{1)~3)} LVET は 1 回拍出量の増加, 徐脈, after load すなわち血圧の著しい上昇で延長し, 1 回拍出量低下, 頻脈で短縮する. PEP は血圧の上昇, 左室内圧上昇速度の低下, 分時拍出量の低下などで延長する.^{1)~3)} また PEP/LVET は駆出分画と負の高い相関を有している.⁶⁾

一方, STI は非観血的な体外計測値であるため心拍数, 血圧など意外にも年齢, 性別など種々の因子により影響を受けている. そのためそれら主要な因子の影響を補正することが STI 値の相互の比較には便利であり, 多くの補正式が提唱され, 一般には Weissler の心拍数補正式³⁾ が最も広く用いられている.

本研究では, 日本人で我々²⁵⁾が求めた安静時および握力負荷時の心拍数補正および心拍数, 血圧, 性別, 年齢, 握力の大きさによる多因子補正をした 2 種類の STI index を, 補正なしの STI とともに比較したが, 安静時と握力負荷時とでは STI の分布, すなわち回帰係数が異なるため, 各 STI 軸の切点, すなわち心拍数および他の影響

因子が0の予測値で相互の比較をし、とくに安静時と握力負荷時のSTI indexの差 Δ を意味付ける妥当性には問題が残ると考えられる。

さて安静時STIおよびSTI indexには中老年健常群(ON)と比較して他の3群いずれも差異は全く認められなかった。

握力負荷によるSTIの変化についてSiegelら¹⁸⁾の報告があるが、50%握力負荷を行い、安静時および負荷時STIをWeissler³⁾の心拍数補正を用いて比較した結果では虚血性心疾患を健常群と区別し得ないという。また、最近のKinoら²⁰⁾の報告でも最大またはそれに近似の握力負荷にもかかわらず老年健常群と比較して冠硬化群、高血圧性心疾患群にSTI各指標で有意の差を求め得なかった。

今回の最大握力の50%握力負荷による安静時よりの変動をみると、 Δ HR、 Δ DBPは4群間に差はなく、 Δ SBPはHY群で、YN、ON両健常群より有意に大きかった。

Δ LVETはYN群で減少の程度がON群より有意に大きかったが、 Δ LVETi(HR)および Δ LVETi(MF)で両群の差が消失していることから、 Δ LVETでの差はYN群で認められる Δ HRのより大きな増加に帰せられる。 Δ LVETの方向が他の3群と異なったが有意の差ではなかったHY群は、 Δ LVET indexではON群と比較して有意の差となり、心拍出量の相対的な増加が考えられる。

Δ PEPはHY群でのみ負となり、ON群と比較して有意の差であり心機能の亢進を思わせる。心拍数補正した Δ PEPi(HR)では上記の差が消失したが、これはPEPを心拍数で補正するとむしろinotropic stateの表現を被い隠すとの考えを支持している。¹¹⁾²⁰⁾ Δ PEPi(MF)では2群間の有意の差が明らかに表現されている。IHD群とはいずれの指標でもON群との差は認められなかった。

Δ PEP/LVETではYN、ON、IHD群が正、HY群が負となりその差は有意であった。 Δ PEP/

LVETi(MF)では4群ともに正であるが、ON、HY 2群間の差は有意であり、HY群での心機能、少なくとも心ポンプ機能の亢進を示すと考えられる。

健常群(ON、YN)と比較して高血圧群(HY)が示した亢進した心機能状態を示すSTIの変化は、多くの症例が初期本態性高血圧症であるためhyperkinetic circulationの状態にあるためと考えられる。²⁶⁾

虚血性心疾患群(IHD)は負荷にもかかわらずON群との間にSTIの差を全く示さなかったのは今回の症例の心機能的能力がNYHAの1~2度の軽症であり、また典型的な冠動脈硬化症とは負荷反応性が異なる可能性のある比較的若年者のPrinzmetal型狭心症を含むためかも知れない。

要 約

最大握力の50%握力による等尺運動負荷が若年健常群(YN)、中老年健常群(ON)、本態性高血圧群(HY)、虚血性心疾患群(IHD)についてSTI、心拍数補正STIi(HR)および多因子補正STIi(MF)に引き起こす変化を比較検討し、握力負荷心機図法の有用性の検討を行った。使用した指標はLVET、PEP、PEP/LVETと各々の2種類の補正值で、安静時STIおよび各indexには4群間に全く差を認めなかった。

握力負荷による安静時値よりの変動 Δ に関してはON群との比較でHY群はSBPの上昇程度がより大きく($p < 0.05$)、LVETi(HR)、LVETi(MF)の短縮程度が小さく($p < 0.05$)、PEPの短縮($p < 0.01$)、PEPi(MF)の延長の程度が小($p < 0.01$)、PEP/LVETは減少($p < 0.01$)、PEP/LVETi(MF)の増加の程度がより小($p < 0.01$)を示し、健常群との比較で本態性高血圧群での心機能、少なくともポンプ機能の亢進が認められた。虚血性心疾患群では健常群と比較して差を認めなかった。

以上より、多因子補正STIを安静時と負荷時の比較のために行うことは、その妥当性に疑問が残るとはいえ、補正のないSTIと比較しながら用

いる限りにおいてその解釈を誤る可能性は少なく、かつ病態間の差をより鋭敏に反映し、有用と考えられる。

文 献

- 1) Weissler AM, Peeler RG, Roehll WH Jr: Relationship between left ventricular ejection time, stroke volume and heart rate in normal individuals and patients with cardiovascular disease. *Amer Heart J* **62**: 367, 1961
- 2) Weissler AM, Garrard CL: Systolic time intervals in cardiac disease. I and II. *Mod Concept Cardiovas Dis* **40**: 1 and 5, 1971
- 3) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld DC: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* **37**: 149, 1968
- 4) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Bedside technique for the evaluation of ventricular function in man. *Amer J Cardiol* **23**: 577, 1969
- 5) Spodick DH, Dorr CA, Calabrese BF: Detection of cardiac abnormality by clinical measurement of left ventricular ejection time. *JAMA* **209**: 239, 1969
- 6) Garrard DL Jr, Weissler AM, Dodge HT: The relationship of alterations in systolic time intervals to ejection fraction in patients with cardiac disease. *Circulation* **42**: 455, 1970
- 7) Whitsett TC, Naughton J: The effect of exercise on systolic time intervals in sedentary and active individuals and rehabilitated patients with heart disease. *Amer J Cardiol* **27**: 352, 1971
- 8) Pouget JM, Harris WS, Mayron BR, Naughton JP: Abnormal responses of the systolic time intervals to exercise in patients with angina pectoris. *Circulation* **43**: 289, 1971
- 9) Aronow WS: Isovolumic contraction and left ventricular ejection times. *Amer J Cardiol* **26**: 238, 1970
- 10) Frank MN, Haberern N: The effect of handgrip and exercise on systolic time intervals in human subjects. *Amer J Med Sci* **261**: 219, 1971
- 11) Pigott VM, Spodick DH, Rectra EH, Khan AH: Cardiocirculatory responses to exercise: Physiologic study by noninvasive techniques. *Amer Heart J* **82**: 632, 1971
- 12) Lindquist VAY, Spangler RD, Blount SG Jr: A comparison between the effects of dynamic and isometric exercise as evaluated by the systolic time intervals in normal man. *Amer Heart J* **85**: 227, 1973
- 13) Grossman W, McLaurin LP, Saltz SB, Paraskos JA, Dalen JE, Dexter L: Changes in the inotropic state of the left ventricle during isometric exercise. *Brit Heart J* **35**: 697, 1973
- 14) Quarry VM, Spodick DM: Cardiac responses to isometric exercise. Comparative effects with different postures and levels of exertion. *Circulation* **49**: 905, 1974
- 15) Xenakins AP, Quarry VM, Spodick DH: Immediate cardiac response to exercise: Physiologic investigation by systolic time intervals at graded work loads. *Amer Heart J* **89**: 178, 1975
- 16) Maher JT, Beller GA, Ransil BJ, Hartley LH: Systolic time intervals during submaximal and maximal exercise in man. *Amer Heart J* **87**: 334, 1974
- 17) Hamosh P, Cohen JN, Engelman K, Broder MI, Freis ED: Systolic time intervals and left ventricular function in acute myocardial infarction. *Circulation* **45**: 375, 1972
- 18) Siegel W, Gilbert CA, Nutter DO, Schlant RC, Hurst JW: Use of isometric handgrip for the indirect assessment of left ventricular function in patients with coronary atherosclerotic heart disease. *Amer J Cardiol* **30**: 48, 1972
- 19) Ludbrook P, Karliner JS, O'Rourke RA: Effects of submaximal isometric handgrip on left ventricular size and wall motion. *Amer J Cardiol* **33**: 30, 1974
- 20) Kino M, Lance VQ, Shahamatpour A, Spodick DH: Effects of age on responses to isometric exercise. Isometric handgrip in noninvasive screening for cardiovascular disease. *Amer Heart J* **90**: 575, 1975
- 21) Donald KW, McNicol GW, Humphreys PW, Taylor SH, Staunton HP: Cardiovascular responses to sustained (static) contractions. *Circulat Res* **20** and **21** (Suppl 1): I-15, 1967
- 22) Lind AR, Taylor SH, Humphreys PW, Kennelly BM, Donald KW: The circulatory effects of sustained voluntary muscle contraction. *Clin Sci* **27**: 229, 1964
- 23) Helfant RH, deVilla MA, Meister SG: Effect of sustained isometric handgrip exercise on left ventricular performance. *Circulation* **44**: 982, 1971
- 24) Kivowitz C, Parmley WW, Donoso R, Marcus H, Ganz W, Swan HJC: Effects of isometric exercise on cardiac performance. The grip test. *Circulation* **44**: 994, 1971
- 25) 本宮武司, 佐野忠弘, 石黒昭義, 山県史朗, 佐久間昭: 運動負荷心機図法: 安静時および握力による等

尺性運動負荷時の正常値. J Cardiography 6: 121-128, 1976
26) Bello CT, Sevy RW, Harakal C: Varying hemo-

dynamic patterns in essential hypertension. Amer J Med Sc 250: 24, 1965