

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

A comparison between
systolic time intervals
at rest and during hand-
grip isometric exercise

本宮 武司
佐野 忠弘*
石黒 昭義**
山県 史朗**
佐久間 昭***

Takeshi MOTOMIYA
Tadahiro SANO*
Akiyoshi ISHIGURO**
Shiro YAMAGATA**
Akira SAKUMA***

Summary

It has been shown that systolic time intervals (STI's) measured by noninvasive technique correlate well with more direct internal measurements of the left ventricular function. Generally most techniques employed for investigating cardiac function include a study on both resting and exercise states.

The purpose of the present study was to describe the response of the STI's during the sustained handgrip isometric exercise and to establish multiple regression equations both at rest and during exercise in normal subjects.

Materials and methods. In 107 healthy subjects, 74 males and 33 females (43 ± 10.3 yrs) were measured STI's in supine position at rest and shortly before the termination of 50% maximal handgrip exercise performed for the period of 2 minutes avoiding Valsalva maneuver.

Results: Multiple regression analyses of STI's, heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), sex, age and handgrip force as being explanatory variables were carried out. In Table 2 were given the multiple regression equations and R^2 values. At rest, HR was found to be the most important factor in the equations of QS_2 , ET, PEP and ICT, and DBP in the equation of PEP/ET. During handgrip exercise, HR possessed the highest correlation with all STI's. The relationships

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3-18-22 (〒113)

* 東京都職員共済青山病院内科

** 大宮赤十字病院内科

*** 東京医科歯科大学難治疾患研究所臨床薬理

Division of Cardiology Research, Tokyo Metro-
politan Institute of Medical Science, 3-18 Honko-
magone, Bunkyo-ku, Tokyo, 113

* Department of Medicine, Aoyama Tokyo Metro-
politan Hospital

** Department of Medicine, Omiya Red Cross Hos-
pital

*** Department of Clinical Pharmacology, Medical
Research Institute, Tokyo Medical and Dental
University

between HR and STI's under the conditions of rest and isometric exercise were shown in Figure 1, 2, 3 and 4 and equations for HR correction were shown in Table 3. Handgrip exercise produced no change in QS_2 , decrease in ET and increase in PEP, ICT and PEP/ET as compared with values at rest.

Discussion: Abbreviation in ET produced by handgrip exercise is most likely due to increase in HR and decrease in stroke volume overwhelming the effect of increase in blood pressure. Increase in PEP, ICT and PEP/ET were probably explained by both acute rise in afterload and decrease in stroke volume.

QS_2 and ET were influenced by HR to a great extent and correction by HR seemed important. Sex and BP also can not be ignored in QS_2 and ET. PEP and ICT at rest were influenced not only by HR but also by BP. PEP/ET at rest was not affected by HR but by BP.

PEP, ICT and PEP/ET during handgrip exercise were influenced by HR, BP, age, grip force and also sex. The regression equations of STI's were different between at rest and during handgrip exercise. Adjustment of STI's for influencing factors should be done following the different equations depending on the physical conditions.

Key words

STI

handgrip isometric exercise

はじめに

Systolic time intervals (STI) の諸計測値は、心カテ法で求めた心機能指標と比較的良好な相関を示すとはいえ、体外計測という間接的手段のためにより多くの因子により複雑に影響を受けていると考えられる。これら生体因子を踏まえた安静時 STI の正常値に関しては多くの報告がある。¹⁾⁻⁷⁾

心機能の評価は心予備力の評価を含めた判定法が好ましく、その一方法として運動負荷がある。安静時に得た心機能諸値は必ずしも正常者と病者の鑑別に敏感でなく、最近負荷心機能の報告が増えてきている。⁸⁾⁻¹²⁾ しかし運動負荷心機能の大多数の報告では心拍数などの影響因子の補正に際し、安静時に得た回帰式を利用しており、その妥当性には問題がある。

運動には力学的 (dynamic) 運動, 等尺性 (isometric) 運動および両者の合併した運動があり、各々の運動の STI に及ぼす影響に関してはいまだ意見の一致を得ていず、¹³⁾⁻¹⁶⁾ 運動負荷時の STI 正常値に関して 2~3 の報告があるが、その検討は充分ではない。¹⁷⁾⁻¹⁹⁾ そこで我々は、簡便でどこ

でも施行できる握力による等尺性運動負荷時の STI を、安静時 STI とともに、これに影響するであろう生体諸因子をとりあげて、重回帰分析の手法を用い正常値設定の基礎的検索を行った。

対象と方法 (Table 1)

人間ドック入院の健康人 107 例, 18~80 才 (43 ± 10.3 才, 平均値 ± 標準偏差). 男 74 例, 女 33 例に食後少なくとも 2 時間以上経過した禁煙, 空腹時に空調室内で 15 分以上, 坐位または臥位で安静の後, 仰臥位で非観血的に心機能と血圧を記録, 測定. しかる後に Valsalva 効果を避けるため半開口の呼吸を持続させたまま Smedley 握力計を用いて最大握力を測定, その 50% 握力 (Valsalva 効

Table 1. Subjects characterization

TOTAL No.	107,	18 - 80 (43.0 ± 10.28 YRS)
MALE	74,	18 - 80 (41.9 ± 10.04 YRS)
FEMALE	33,	22 - 69 (45.4 ± 10.57 YRS)
HEART RATE (BEATS/MIN)		63.4 ± 9.04
SYSTOLIC BLOOD PRESSURE (mmHg)		122.6 ± 12.56
DIASTOLIC BLOOD PRESSURE		73.5 ± 10.42
50% MAX HANDGRIP (Kg)		13.1 ± 3.87

果を伴う力を許した最大握力の30~40%に相当)で2分間等尺性運動を行い、終了直前に心機図と血圧を記録測定した。心機図は心電図、心音図、頸動脈波をフクダ製 polygraph MCM-8000 に入れ、紙送り速度 100 mm/sec で記録した。なお心電図は通常第2誘導、心音図はフクダ製加速度マイク MA-250 をI音、II音の最も良く聴取できる部位、通常第4肋間胸骨左縁に両面接着テープで固定し、50, 160, 315 Hz の3フィルターを通して録音。頸動脈波はトランスジューサーTY-303 を使用し、右総頸動脈上で用手固定し記録した。

QS₂ は ECG の QRS の開始点より心音図II音大動脈成分まで、QS₁ はI音僧帽弁成分までの時間、ET は接線法で求めた頸動脈波の急速な立ち上り点より切痕底までとした。PEP は QS₂-ET、ICT は PEP-QS₁ とし、心拍数は心電図上の RR 間隔より求め、各々原則として連続する7心拍の平均値として算出した。なお記録は全て同一人が行い、計測に不適当な記録は削除した。計測は3名で行ったが、その内の1名が全てを再検討し、個人間の測定誤差を小さくした。

分析方法および統計処理：QS₂、LVET、PEP、ICT、PEP/ET の5つの目的(被説明)変量に関して年齢、性別、心拍数(HR)、収縮期および拡張期血圧(SBP、DBP)、また運動時 STI に関しては握力の強さ kg を加えて説明変数とし重回帰分析を行った。その際説明能力の高い偏相関の高い因子を選択するために、stepwise の前進後退法を採用し、新しく選択した因子の回帰分散が残差(誤差)分散の2倍以上であれば、つまり Fin 値が2以上であればその因子を取込み、その段階で Fout 値が2以下であるものが認められるなら切捨てるという約束で小型コンピューターを用いて解析した。

なお目的変量と1つの因子間の単相関係数を r とし、その際の関与率を r² で示した。つまり r² は目的変量の変動のうちその説明因子との直線関係において説明できる部分の割合である。また目的

変量と1組にした2つ以上の因子との直線的な関連性を示す重相関係数を R とし、重関与率を R² で示した。

無相関であれば R² (ないし r²) は 0、完全相関であれば 1 であるから、我々は R² (ないし r²) が 0.5 以下の場合にはさしあたり実用的には大きな意味を持たないものとして扱った。

結果および考察

安静時および握力運動負荷時 STI 諸値に関して関与率の高い生体因子の順に並べた重回帰式を Table 2 に示した。STI 補正式は STI 測定値に

Table 2. Multiple regression analysis of systolic time intervals at rest and during handgrip isometric exercise

AT REST	
QS ₂	= -2.1 HR -10.2 SEX +0.6 DBP -0.2 SBP + 507 (R ² =0.741)
ET	= -1.6 HR -9.2 SEX + 396 (R ² =0.665)
PEP	= -0.5 HR +0.6 DBP -0.3 SBP + 118 (R ² =0.236)
ICT	= -0.4 HR +0.4 DBP -0.2 SBP + 58 (R ² =0.183)
PEP/ET	= +0.002 DBP -0.001 SBP + 0.31 (R ² =0.117)
DURING HANDGRIP EXERCISE	
QS ₂	= -2.1 HR -9.0 SEX +0.6 DBP -1.1 GRIP -0.3 AGE + 506 (R ² =0.819)
ET	= -1.3 HR -10.9 SEX +0.2 SBP + 364 (R ² =0.634)
PEP	= -0.7 HR +0.8 DBP -0.2 SBP -1.2 GRIP -0.4 AGE + 144 (R ² =0.523)
ICT	= -0.6 HR +0.5 DBP -0.4 AGE -0.9 GRIP + 70 (R ² =0.413)
PEP/ET	= -0.001 HR +0.003 DBP -0.001 SBP -0.001 AGE -0.005 GRIP +0.023 SEX + 0.42 (R ² =0.287)

* SEX : Male = 1, Female = 0

各影響因子とその係数を乗じたものを加減した式となるが、その際の符号は回帰式に示された符号の逆となる。例えば QS₂ index = +2.1 HR + 10.2 Sex - 0.6 DBP + 0.2 SBP + QS₂。

安静時 QS₂ の重回帰式は重関与率 R²=0.741、重相関係数 R=0.861、F 値は 72.84 と非常に大きい。例えば HR が 10/分増加すると、平均的にいえば QS₂ は 21 msec 減少し、男の場合は女に比して 10.2 msec 減少、DBP が 10 mmHg 上昇すれば 6 msec 増加、SBP が 10 mmHg 上昇すれば 2 msec 減少することが示された。

ET は R²=0.665、R=0.815、F=103.41 であ

る. たとえば HR が 10/分増加すると ET は 16 msec 減少する. 性別は男=1, 女=0 なので男ならば -9.2 msec という定数として取扱える. PEP についてみると $R^2=0.236$, $R=0.486$, $F=10.58$, $p<0.005$ で有意であるが, 相関性が低いことを示している. ICT では $R^2=0.183$ $F=7.67$ $p<0.01$. PEP/ET は血圧の関与があるのみで HR は影響因子としては切捨てられている. たとえば DBP が 10 mmHg 上昇すれば 0.02 増加, SBP が 10 mmHg 上昇すれば 0.01 減少することを示した. $R^2=0.117$, $R=0.342$, $F=6.91$, $p<0.01$ で有意だが大変低い相関性である.

等尺性運動負荷時では, QS_2 に関しては $R^2=0.819$, $R=0.905$, $F=91.39$ で高度の重相関性を示した. たとえば HR が 10/分増加すると QS_2 は 21 msec 減少し, DBP が 10 mmHg 上昇すれば 6 msec 増加, 握力負荷が 10 kg 増加すれば 11 msec 減少, 年齢が 10 歳増すと QS_2 は 3 msec 減少, また男では 9 msec 女より減少することを示している. ET については $R^2=0.634$, $R=0.794$, $F=59.36$ と良好な相関性を示した. PEP についてみると $R^2=0.523$, $R=0.723$, $F=22.19$ とやはり比較的高い相関性を示した. ICT は $R^2=0.413$, $R=0.643$, $F=17.94$ で比較的低い重相関を示し

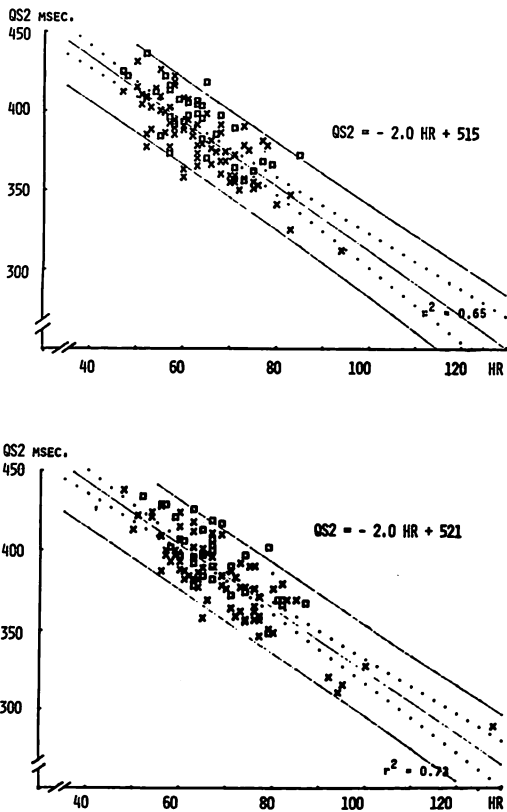


Figure 1. Relationship between QS_2 and heart rate at rest (top) and during handgrip exercise (bottom).

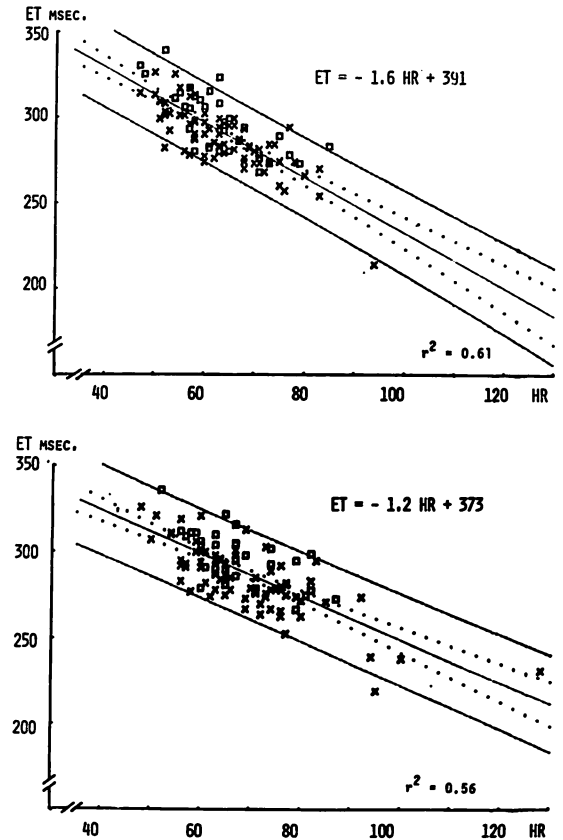


Figure 2. Relationship between left ventricular ejection time (LJET) and heart rate at rest (top) and during handgrip exercise (bottom).

た. PEP/ET は $R^2=0.287$, $R=0.536$, $F=6.70$, $p<0.025$ と有意だが低い相関性を得た.

QS_2 と最も単相関の大きな心拍数 HR との関係を見ると (Figure 1), 回帰式 $QS_2 = -2.0 \text{ HR} + 515$ を得, 点数は回帰直線の 95% 信頼限界を示し, その外の実線は個々の値の 95% 予測限界を示す. HR が 50~100/分では予測限界はほぼ直線とみなしうるので, HR の平均値 63.4 での 95% 予測限界 ($\pm 1.96 \text{ S.D.}$) を延長して縦軸との切点を正常 QS_2 index の上限, 下限と規定した (515

$\pm 45 \text{ msec}$). 関与率 $r^2=0.65$, 相関係数 $r=0.81$, $F=193$ で相関性は高い. 関与率が第 2 位の性別 (Sex) を入れると $R^2=0.70$ に上昇, 第 3 位の DBP を入れると $R^2=0.73$ に上昇し第 4 位の SBP を入れると R^2 は 0.74 で第 2 位の性別以下の生体因子を入れることでの重関与率の上昇は小幅であり, 実用上は HR のみの補正であっても大過はないと考えられる.

等尺性運動負荷時では $QS_2 = -2.0 \text{ HR} + 521$, $r^2=0.73$, $r=0.85$, $F=277.65$ で相関は良好. QS_2

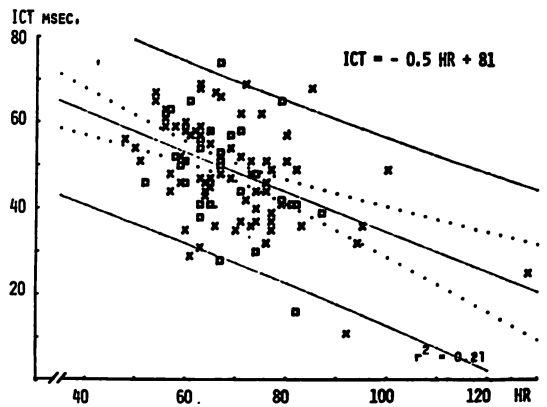
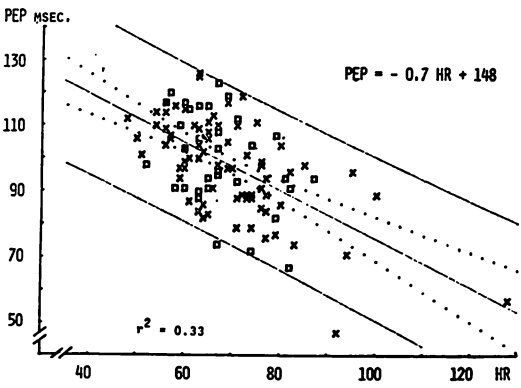
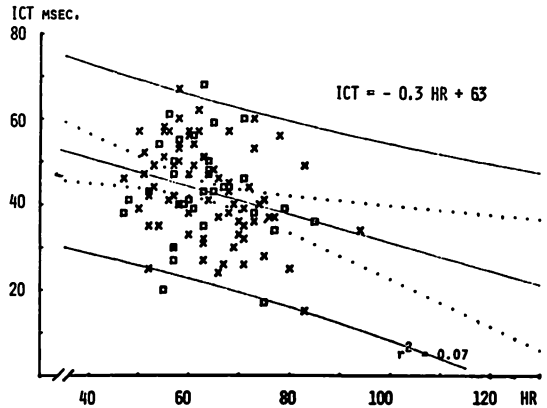
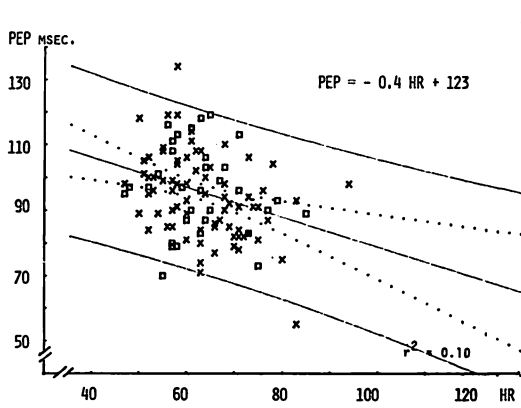


Figure 3. Relationship between pre-ejection period (PEP) and heart rate at rest (top) and during handgrip exercise (bottom).

Figure 4. Relationship between isovolumic contraction time (ICT) and heart rate at rest (top) and during handgrip exercise (bottom).

index=521±52. Sex 以下の因子を加えることでの重関与率の上昇は小幅である。

安静時 LVET と HR の相関をみると (Figure 2), 回帰式 $ET = -1.6 HR + 391$, $r^2 = 0.61$, $F = 164.87$ で相関性は高い. $ET \text{ index} = 391 \pm 36$. Sex を因子として加えることでの R^2 の増分は 0.05 と小である. 運動負荷時 $ET = -1.2 HR + 373$, $r^2 = 0.56$, $F = 131.74$. Sex を入れると $R^2 = 0.62$, SBP が入ると $R^2 = 0.63$, HR 補正した $ET \text{ index}$ の正常範囲は $373 \pm 37 \text{ msec}$.

安静時 $PEP = -0.4 HR + 123$, $r^2 = 0.10$, $F = 11.14$, $p < 0.05$. $PEP \text{ index} = 123 \pm 25 \text{ msec}$. 相関が低く実用上 HR その他の補正は必ずしも要しないと考えられる. 握力負荷時 $PEP = -0.7 HR + 148$, $r^2 = 0.33$, $r = -0.57$, $F = 51.32$, HR による $PEP \text{ index}$ の正常範囲は 148 ± 28 (Figure 3).

安静時 $ICT = -0.3 HR + 63$, $r^2 = 0.07$, $F = 7.86$, $p < 0.01$. HR での $ICT \text{ index} = 63 \pm 22$. 握力負荷時 $ICT = -0.5 HR + 81$, $r^2 = 0.21$, $F = 27.53$, $ICT \text{ index} = 81 \pm 23$ いずれも相関は低く実用上補正の必要性は少ない (Figure 4).

PEP/ET は安静時では第 1 位の相関は DBP でその相関は有意ながら極めて低く, HR は相関を示さなかった. 運動時は $PEP/ET = -0.001 HR + 0.42$, $r^2 = 0.06$, $F = 7.03$, $p < 0.01$. 実用上補正の必要性は少ない. 正常範囲は各々 $PEP/ET = 0.33 \pm 0.10$, 負荷時では HR による $PEP/ET \text{ index} = 0.42 \pm 0.10$.

以上のように HR は安静時 PEP/ET を除いたすべての STI パラメーターに最も重要な影響因

Table 3. Equations for heart rate corrected systolic time intervals (STI indices)

at Rest	during Isometric Exercise
$QS2i = + 2.0 HR + QS2$	$QS2i = + 2.0 HR + QS2$
$ETi = + 1.6 HR + ET$	$ETi = + 1.2 HR + ET$
$PEPi = + 0.4 HR + PEP$	$PEPi = + 0.7 HR + PEP$
$ICTi = + 0.3 HR + ICT$	$ICTi = + 0.5 HR + ICT$

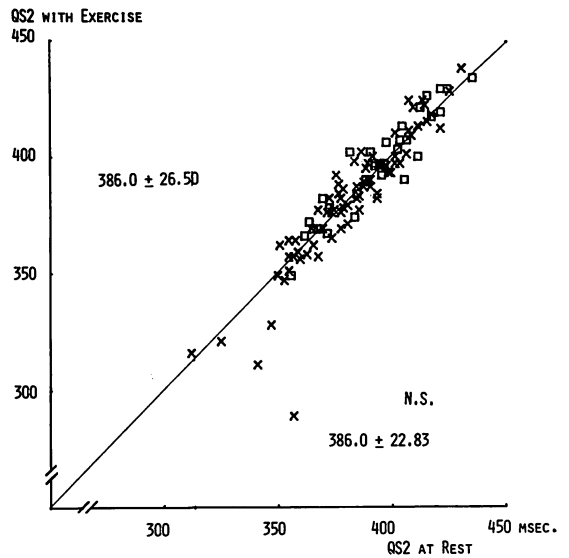


Figure 5. Comparison of QS_2 at rest and during handgrip exercise.

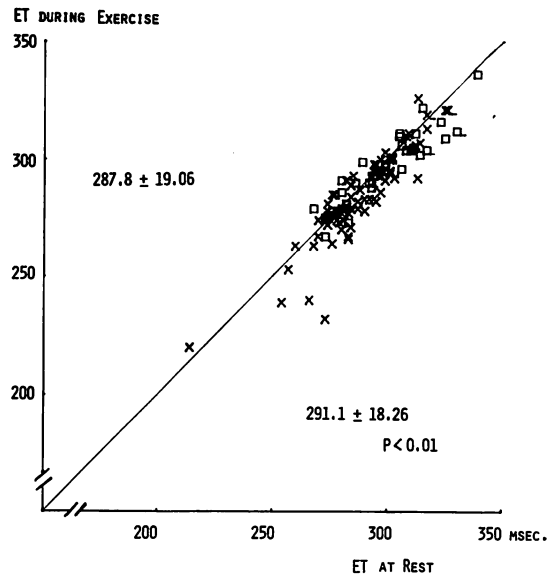


Figure 6. Comparison of LVET at rest and during handgrip exercise.

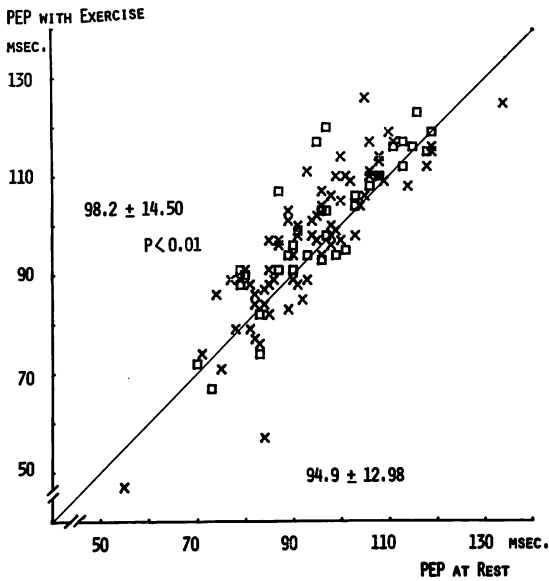


Figure 7. Comparison of PEP at rest and during handgrip exercise.

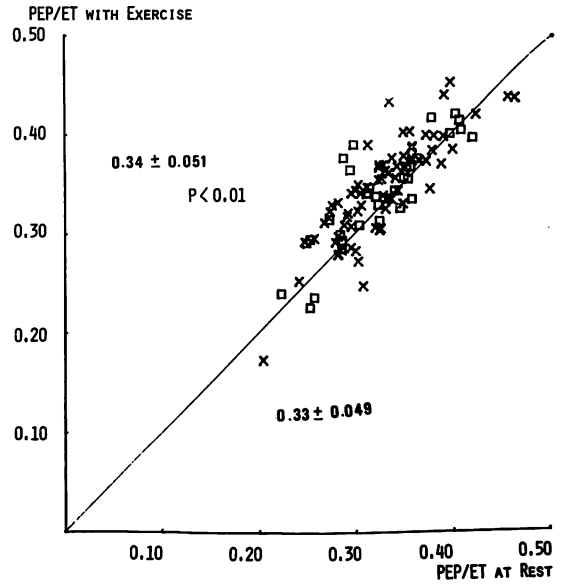


Figure 9. Comparison of PEP/ET at rest and during handgrip exercise.

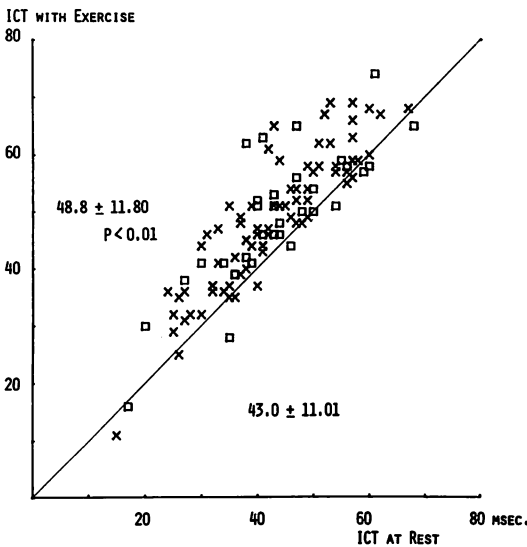


Figure 8. Comparison of ICT at rest and during handgrip exercise.

子と考えられるため、実用的と考えられる心拍数補正式を **Table 3** に示した。

次に安静時と 50% 握力負荷 2 分間時の STI の差異を健常者 107 例で検討した。この際、散布図を作り単純な符号検定による分析を行った。

QS₂ を横軸に安静時値を縦軸に負荷時値をとると (**Figure 5**)、分布は 45° 線上にあり有意の差は認められなかった ($p > 0.1$)。

ET (**Figure 6**) は安静時 291.1 ± 18.26 msec、負荷時 287.8 ± 19.06 msec で握力負荷時は有意な短縮を認めた ($p < 0.01$)。

PEP (**Figure 7**) は安静時 94.9 ± 12.98 msec、負荷時 98.2 ± 14.50 msec を示し、負荷時は有意の延長を示した ($p < 0.01$)。

ICT (**Figure 8**) は安静時 43.0 ± 11.01 msec、負荷時 48.8 ± 11.80 msec で負荷時は有意な延長を示した ($p < 0.01$)。

PEP/ET (**Figure 9**) は安静時 0.33 ± 0.049 、負

荷時 0.34 ± 0.051 と負荷時に増加を認めた ($p < 0.01$).

結 語

1. 健常人107例(男74, 女33)を対象に, 安静時における STI 諸値について, これらに影響する生体諸因子をとりあげ重回帰分析によって正常値設定の基礎的解析を行った. 一般に用いられている HR との相関をみると, QS_2 , ET ではその関与率は高く, HR による補正の必要性は明らかであった. 回帰式の質の向上には性別, さらに QS_2 では BP の考慮も必要となる. PEP, ICT, PEP/ET は HR のみならず他の諸因子を考慮しても関与率は低く, HR, BP などの影響は無視できないとしても実用上の補正の意味は低い.

2. 握力負荷時 STI の重回帰分析については QS_2 , ET では HR の関与が高く補正が必要と考えられる. さらに忠実性を求めるならば性別, BP, また握力, 年齢因子での補正も必要となる. PEP については安静時と比較して HR の関与率が高く, 補正の妥当性がある. ICT および PEP/ET は, HR やその他の因子の関与率が低く比較的独立である.

3. QS_2 を除く ET, PEP, ICT, PEP/ET は安静時と握力負荷時では様相が異なり, 負荷時に対して安静時の回帰式を流用することは正しくない. HR のみを用いた実用的な STI 諸値に対する補正式を作製した (Table 3).

4. 安静時と握力負荷時における STI 諸値を比較してみると, QS_2 では変化はないが, ET では明らかに握力負荷時に減少し, PEP, ICT, PEP/ET では明らかに増加することを認めた.

文 献

- 1) Willems J, Kesteloot H: The left ventricular ejection time: Its relation to heart rate, mechanical systole and some anthropometric data. *Acta Cardiol* **22**: 401, 1967
- 2) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* **37**: 149, 1968
- 3) Spodick DH, Dorr CA, Calabrese BF: Detection of cardiac abnormality by clinical measurement of left ventricular ejection time. *JAMA* **209**: 239, 1969
- 4) 沢山俊民, 仁木偉瑳夫: 心臓病診断の技術, 心機能による. 金芳堂, 京都, 1970
- 5) Willems MD, Roelandt J, Geest HD, Kesteloot H, Joossens JV: The left ventricular ejection time in elderly subjects. *Circulation* **42**: 37, 1970
- 6) 厚美利行, 松田政勝, 本田由美子: Systolic time intervals の正常値について. *臨床心音図* **2**: 367, 1972
- 7) 前田如矢, 谷 勲, 大城 忠, 高杉東一, 矢辺千春, 背古和人: Systolic time intervals の基礎的問題点. *脈波* **3**: 276, 1973
- 8) Aronow WS, Bowyer AF, Kaplan MA: External isovolumic contraction times and left ventricular ejection time/external isovolumic contraction time ratios at rest and after exercise in coronary heart disease. *Circulation* **43**: 59, 1971
- 9) Whitsett TC, Naughton J: The effect of exercise on systolic time intervals in sedentary and active individuals and rehabilitated patients with heart disease. *Am J Cardiol* **27**: 352, 1971
- 10) 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
- 11) Siegel W, Gilbert CA, Nutter DO, Schlant RC, Hurst JW: Use of isometric handgrip for indirect assessment of left ventricular function in patients with coronary atherosclerotic heart disease. *Am J Cardiol* **30**: 48, 1972
- 12) 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
- 13) Aronow WS: Isovolumic contraction and left ventricular ejection times. *Am J Cardiol* **26**: 238, 1970
- 14) Frank MN, Haberern N: The effect of handgrip and exercise on systolic time intervals in human subjects. *Am J Med Sci* **261**: 219, 1971
- 15) Pigott VM, Spodick DH, Rectra EH, Khan AH: Cardiocirculatory responses to exercise: physiologic study by noninvasive techniques. *Am Heart J* **82**: 632, 1971
- 16) Quarry, VM Spodick DH: Cardiac responses to isometric exercise. Comparative effects with different postures and levels of exertion. *Circulation* **49**: 905, 1974

- 17) 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. *Am Heart J* **85**: 227, 1973
- 18) 村山正博, 加藤亮子, 春見建一, 村尾 覚: 運動負荷による ST-T 変化と左室駆出時間との関連について. *心臓* **6**: 135, 1974
- 19) Maher JT, Beller GA, Ransel BJ, Hartley LH: Systolic time intervals during submaximal and maximal exercise in man. *Am Heart J* **87**: 334, 1974