

Isometric handgrip 負荷： 心尖拍動図一次微分波による 心機能評価について

Isometric handgrip exercise： Evaluation of cardiac performance by the first derivative of apex- cardiogram

佐藤 清
杉本 恒明
紘野 謙介
浦岡 忠夫
渡部 秀人
石川 忠夫

Kiyoshi SATO
Tsuneaki SUGIMOTO
Kensuke KASENO
Tadao URAOKA
Hideto WATANABE
Tadao ISHIKAWA

Summary

The interval between Q wave of the electrocardiogram and the peak of the first derivative of the apexcardiogram (R to dA/dt) was determined at rest and during isometric handgrip exercise (H. G.) in 21 normal subjects (Normal), 14 patients with ischemic heart disease without history of congestive heart failure (IHD), and 10 patients with congestive heart failure (CHF). Handgrip was maintained at a load of one third of maximum voluntary contraction for three minutes. During H. G. heart rate increased by an average of 15% in normal, 9% in IHD and 26% in CHF. Systolic blood pressure elevated by an average of 22% in normal, 18% in IHD and 19% in CHF. At rest, R to dA/dt was 95.9 ± 18 msec in normal, 101 ± 16.6 msec in IHD, and 99.6 ± 16.2 msec in CHF. The differences in R to dA/dt between these three groups were not significant. During H. G., R to dA/dt shortened by 7.6 ± 10.4 msec in normal, by 10 ± 8.4 msec in IHD, but prolonged by 13.7 ± 12 msec in CHF. The change in R to dA/dt in the latter group differed significantly from those in the former two groups. Changes in R to dA/dt during H. G. were found not to be correlated to changes in BP and HR. We concluded that, although R to dA/dt per se is not a highly sensitive index, the study of the changes during H. G. provides a useful measure for serial clinical evaluation of cardiac performance.

Key words

handgrip exercise
apexcardiogram
R to dA/dt
cardiac performance

金沢大学 第一内科
金沢市宝町13-1 (〒920)

The First Department of Internal Medicine,
School of Medicine, Kanazawa University,
Takaramachi 13-1, Kanazawa, 920

はじめに

心機能の指標として, Mason ら¹⁾ は左室収縮のはじまりより左室内圧波の一次微分波の最大値までの時間 ($t-dP/dt$) を考え, これは前負荷, 後負荷に影響されず, 左室の最大張力発生までの時間をあらわすとした. しかし, この指標を求めるためには直接左室内圧波の記録が必要であることより, Reale²⁾ は左室内圧波の代用として心尖拍動図 (ACG) を用い, 心電図 R 波の頂きより ACG 一次微分波の最大値までの時間 ($t-\Delta ACG$) を求め, これが観血的方法より求めた $t-dP/dt$ と極めて密接な相関関係にあることをみた. また Vetter ら³⁾ は心電図上 Q 波より ACG 一次微分波の最大値までの時間 $R-dA/dt$ を先行 R-R で補正した $R-dA/dt/\sqrt{R-R}$ が, 観血的に求めた種々の左室機能を表わす指標とよく相関することをみた.

ところで, 障害心であっても, 心機能の低下が軽度で, 予備力の低下にとどまっていれば, 心機能の異常は必ずしもこれら心機能の指標の異常となつてあらわれない. この際, 運動を負荷して予備力を動員させることにより, 軽度の心機能の低下も, これら心機能の指標の異常として明らかにすることが可能となる. このための運動負荷の方法として近年 handgrip 運動負荷法が注目されている. この方法は負荷が静的に行われるため, 負荷中の諸指標の動きを知りうるという利点がある. そこで, 心機能の指標として $R-dA/dt$ を用い, 正常者と心疾患患者について, handgrip 運動負荷中の $R-dA/dt$ を安静時のそれと比較し, $R-dA/dt$ の心機能の指標としての有用性につき検討した.

対象と方法

対象は正常群 (Normal) 21 例 (平均年齢 30 才), 狭心症または心筋梗塞患者で, 今までに心不全を示したことの無い虚血性心疾患群 (IHD) 14 例 (平均年齢 64 才), 種々の心疾患患者で, 過去に心不全があったか, あるいは現在心不全が存在する心不全群 (CHF) 10 例 (平均年齢 49 才) の合計 45

例である.

心尖拍動図 (ACG) の記録は原則として半左側臥位にし, piezo electric transducer (フクダ電子製 TY-303) を最強心尖拍動触診部にバンドで密着固定した. ACG の一次微分波は, 時定数 1.0 msec の微分回路を用い記録した. 心電図を Q 波のある誘導にて記録した. 記録はフクダ電子製 MRR-150 Multiple Research Recorder により, 毎秒 100mm の速度で行った. 記録は安静時と handgrip 運動 3 分後の負荷中に行い, 同時に左腕にて血圧を測定した. Handgrip 運動負荷は SMEDLEY's Hand Dynamo Meter を用い, 右手にて最大握力の 1/3 を測定終了まで保持させた. $R-dA/dt$ の測定は Vetter ら³⁾ の方法により, 心電図 Q 波のはじまりより ACG の一次微分波の最大値までの時間を測定した.

成績

1) Handgrip 運動負荷による心拍数・血圧の変化

Handgrip 運動負荷により心拍数は Normal 群では 68/分から 78/分, IHD 群では 57/分から 62/分, CHF 群では 70/分から 87/分と増加した (Figure 1). 血圧は Normal 群では収縮期血圧 118 mmHg から 144mmHg, 拡張期血圧 76mmHg から 93 mmHg, IHD 群では収縮期血圧 141 mmHg から 166mmHg, 拡張期血圧 81mmHg から

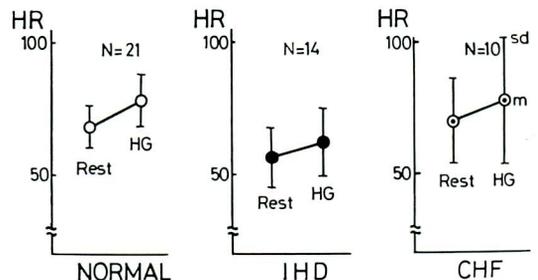


Figure 1. Changes in heart rate induced by handgrip exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, HG = handgrip.

ら 96mmHg, CHF 群では収縮期血圧 131 mmHg から 156mmHg, 拡張期血圧 83mmHg から 100 mmHg と昇圧した(Figure 2, 3). 心拍数, 血圧に関しては, 3群の間には, 負荷前, 負荷中, および負荷によるその変化は差はみられなかった.

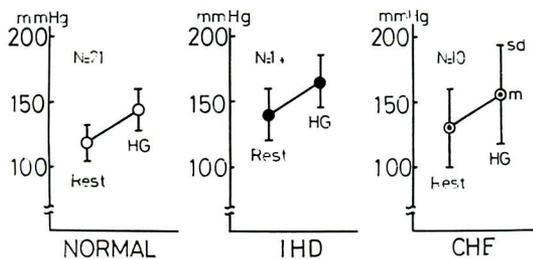


Figure 2. Changes in systolic blood pressure induced by handgrip exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, HG = handgrip.

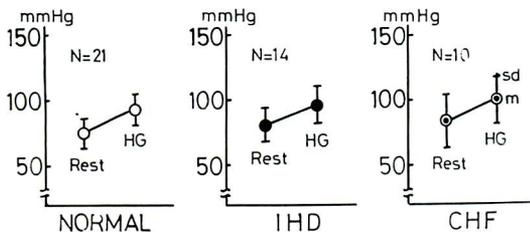


Figure 3. Changes in diastolic blood pressure induced by handgrip exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart disease, HG = handgrip.

2) 負荷前および負荷中の R-dA/dt

安静時の R-dA/dt は Normal 群 95.9 ± 18 msec, IHD 群 101 ± 16.6 msec, CHF 群 99.6 ± 16.2 msec であり, 3群の間で有意な違いはみられなかった (Figure 4). Handgrip 運動負荷中の R-dA/dt は Normal 群 87 ± 21 msec, IHD 群 92.4 ± 17.6 msec に比べて, CHF 群 113 ± 18.9 msec と延長を示したが, その違いは有意ではなかった (Figure 5).

3) Handgrip 運動負荷による R-dA/dt の変化量

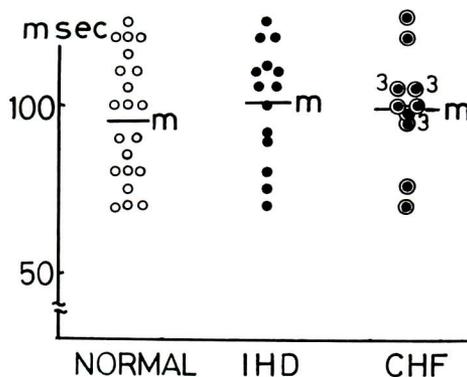


Figure 4. R to dA/dt at rest.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, 3 = New York Heart Association class III.

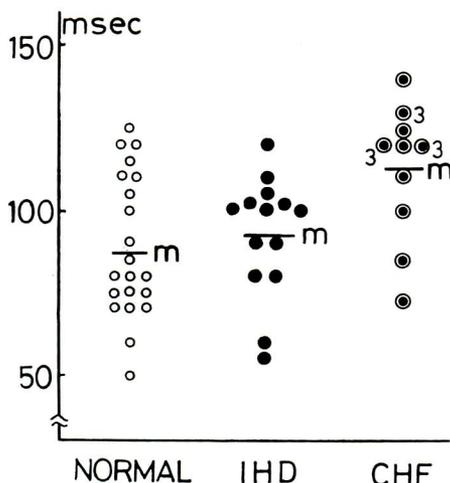


Figure 5. R to dA/dt during HG exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, 3 = New York Heart Association class III.

Handgrip 運動負荷中の R-dA/dt と安静時のそれとの差を 3群の間で比較すると, Normal 群, IHD 群では, 不変ないしは若干の短縮がみられ, 平均では Normal 群 7.6 ± 10.4 , IHD 群 10 ± 8.4 msec と短縮した. CHF 群では心不全重症度 NYHA 3度をしめした 3例において R-dA/dt は著明な延長をみたが, 残りの 7例では, 2例に延長, 5例では不変であり, 平均すると 13.7 ± 12 msec の延長であった(Figure 6). つぎに handgrip 運

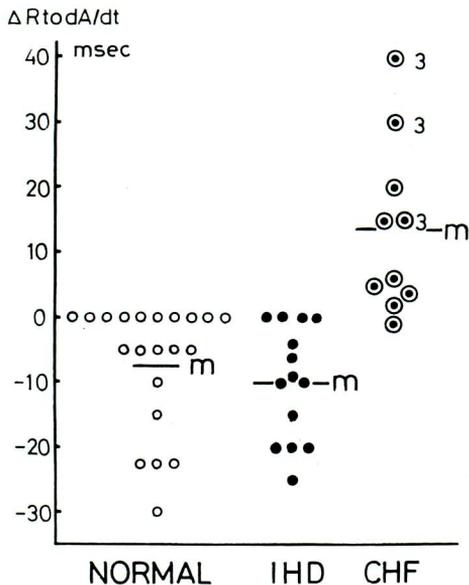


Figure 6. Changes in R to dA/dt during handgrip exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, 3 = New York Heart Association class III.

動負荷による R-dA/dt の変化量と心拍数, 収縮期血圧の変化量との関係についてみると, 3 群の何れにおいても心拍数の変化のために R-dA/dt が影響を受けたという傾向はみられたなかった (Figure 7). また収縮期血圧の上昇とも R-dA/dt は一定の関係を示さなかった (Figure 8).

考案

左室機能の指標としての R-dA/dt について Vetter ら³⁾ は $R-dA/dt/\sqrt{R-R}$ が正常群で 72 ± 12 msec, 左室不全群で 122 ± 23 msec と明らかに差があるという成績を示し, 千田ら⁴⁾ は心尖拍動図の微分波の立ち上がりから最大値までの時間 $t-\Delta ACG$ が健常群で 58.0 ± 1.1 msec に対して虚血性心疾患群で 71.3 ± 3.9 msec, うつ血性心不全群で 77.3 ± 17.8 msec と有意に延長するのを見ています. われわれは, 今回, R-dA/dt は安静時においては正常群, 虚血性心疾患群, 心不全群の何れにおいても有意な差はないことをみた. われ

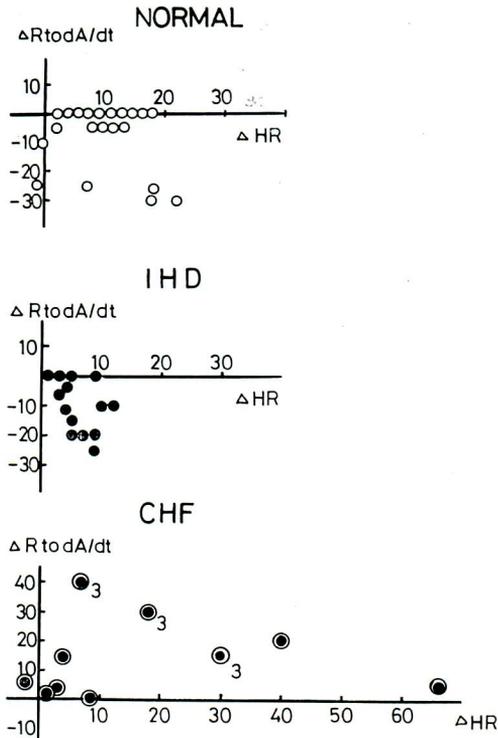


Figure 7. Changes in R to dA/dt and heart rate induced by handgrip exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, 3 = New York Heart Association class III.

われの成績とこれらのこれまでの観察との違いは 1 つには心不全の重症度の違いによると考え, このためいわば軽度心不全例の早期診断の試みとして, 運動負荷に対する R-dA/dt の変化を検討したのである.

Handgrip 運動負荷法は力学的運動負荷法と異なり, 使用する器具が簡単で容易に実施可能であること, 負荷が過負荷あるいは不可逆性の変化にいたることがなく安全であること, 運動負荷中の記録が可能であることなどの特色を有している. Handgrip 運動負荷による血行動態の変化は, 反射性の末梢血管抵抗増大による収縮筋群への灌流圧の上昇, すなわち血圧の上昇を主体とする.⁵⁾⁶⁾ この後負荷の増しは心拍出量の増大を伴うが, 1 回拍出量は変化せず, 心拍数の増加をみるという.

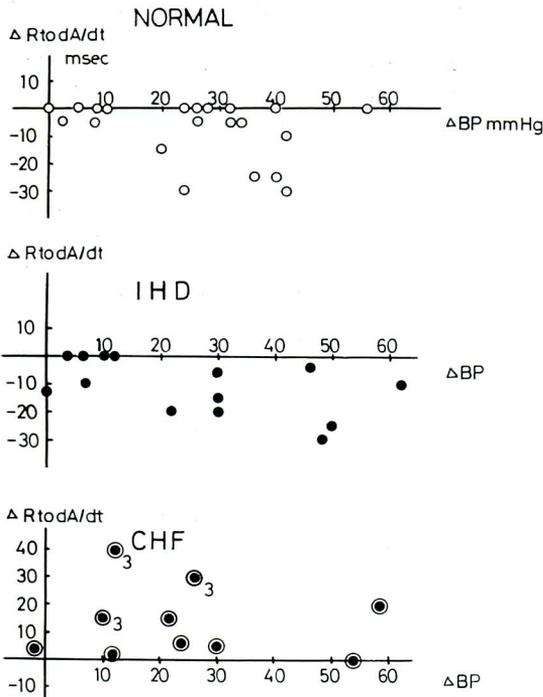


Figure 8. Changes in R to dA/dt and systolic blood pressure induced by handgrip exercise.

IHD = ischemic heart disease, CHF = congestive heart failure, 3 = New York Heart Association class III.

Handgrip 運動負荷による 血圧と心拍数の増加の程度は正常例と心疾患例との間では差がないといわれており,⁷⁾⁸⁾ Jacobs ら⁹⁾ は心疾患例で、最大握力の 25%、5 分間の運動負荷で、中間血圧の 14% の上昇、心拍数の 23% の増加をみている。われわれの場合、正常群、虚血性心疾患群、心不全群で、収縮期血圧はそれぞれ 22%、18%、19% の上昇で、3 群の間には有意な差がみられず、心拍数についても、正常群 15%、虚血性心疾患群 9%、心不全群 26% の増加であり、虚血性心疾患群をのぞき、ほぼ Jacobs ら⁹⁾ の成績と一致する。われわれの虚血性心疾患群での心拍数の増加が小さかった理由は明らかではないが、高令者が多かったため、最大握力の決め方が不正確になり、そのため、負荷の量が小さかったためかもしれない。

今回、われわれの試みた運動負荷による R-dA/dt

dt の変化とは、handgrip 運動負荷にさいしてのこのような循環動態の変化に対する左室機能の反応のちがいを検討することに他ならない。これについては心疾患群では正常群に比べ、handgrip 運動負荷により、左室拡張終期圧は上昇し、心係数はあまり増加をみず、1 回仕事係数は低下し、1 回仕事量の変化と左室拡張終期圧の変化の比 $\Delta W/\Delta LVEDP$ は小さくなるという成績がある。⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾ また、Krayenbuehl ら¹¹⁾ は handgrip 運動負荷に対する左室機能の変化を左室圧測定による t-dP/dt、dP/dt/P などについて検討し、正常群では t-dP/dt は handgrip 運動負荷により 72 ± 13 msec から 66 ± 11 msec へと短縮したが、左室負荷疾患群では 70 ± 14 msec より 68 ± 11 msec とほぼ不変であったのべ、正常群では handgrip 運動負荷により左室の収縮能は高まるが、左室負荷のある例では収縮能が高まりえないと解釈した。われわれはこの t-dP/dt に代るものとして R-dA/dt の handgrip 運動負荷による変化を観察し、正常群、虚血性心疾患群では負の方向に、心不全群では正の方向に変化することをみた。とくに心不全重症度 NYHA III 度の場合、R-dA/dt の延長は著明であった。このことは心疾患例のなかでも、臨床的にも明らかな心不全のある場合は、負荷により心機能が低下することがあることを示唆するものと思われる。

以上、われわれは R-dA/dt が安静時には異常を示さなくても、handgrip 運動負荷により増大する例は心不全を基礎にもつものであることを示した。しかしこの反応ははじめの予想に反して、心不全が臨床的にすでに明らかなもののみられ、とくに感度の高いものと思われなかった。Vetter らと異なり、われわれは、Reale、千田らがみたごとく、R-dA/dt は心拍数とは無関係であることを観察したが、このことも考え合せて、本法は治療効果の判定その他に有用ではあるが、とくに心機能を敏感に反映するものではないと思われた。

要 約

正常群(Normal)21例, 心不全を示したことの無い虚血性疾患群(IHD)14例, 過去に心不全があったか, あるいは現在心不全が存在する心不全群(CHF)10例について, 心電図Q波のはじまりより心尖拍動図の一次微分波の最大値までの時間(R-dA/dt)を安静時とHandgrip(H.G)負荷中に測定した。H.G負荷は最大握力の1/3を3分間保持とした。H.G負荷により心拍数は毎分Normal群15%, IHD群9%, CHF群26%増加した。収縮期血圧はNormal群22%, IHD群18%, CHF群19%上昇した。安静時R-dA/dtはNormal群 95.9 ± 18 msec, IHD群 101 ± 16.6 msec, CHF群 99.6 ± 16.2 msecであり, 3群の間に有意な差はなかった。H.G負荷によりR-dA/dtはNormal群 7.6 ± 10.4 msec, IHD群 10 ± 8.4 msec短縮したがCHF群では 13.7 ± 12 msec延長した。CHF群のR-dA/dtのこの変化は他の2群に比べて有意であった。R-dA/dtの変化は心拍数, 血圧の変化と一定の関係を示さなかった。以上よりR-dA/dtは感度の高い指標ではないが, HG負荷によるR-dA/btの変化をみることは経時的な心機能の臨床的評価に有用であると思われる。

武内重五郎教授のご検閲を感謝する。

文 献

1) Mason DT, Sonnenblick EH, Ross J, Covell JW, Braunwald E: Time to peak dp/dt: A useful measurement for evaluating the contractile state of the human heart. (Abstr). *Circulation* 32 (Suppl. II): II-145, 1965

2) Reale A: Evaluation of the contractile state of the human heart from the first derivative of apexcardiogram. *Circulation* 36: 933-941, 1967
3) Vetter WR, Sullivan RW, Hyatt KH: Assessment of quantitative apex cardiography a noninvasive index of left ventricular function. *Amer J Cardiol* 29: 667-671, 1972
4) Chida A, Hamabe A, Takahashi T, Kikuri T, Miyahara M: Clinical studies on the myocardial contractile state by the first derivative of apexcardiogram. *Cardiovasc Sound Bull* 3: 115-125, 1973
5) Donald KW, Lind AR, Flue D, MeNicol GW, Humphreys PW, Taylor SH, Stantion HP: Cardiovascular response to sustained static contraction. *Circulat Res* 21: 1-15-1-32, 1967
6) Kivowitz C, Parmley WW, Donaso R, Marcus H, Ganz W, Swan HJC: Effects of isometric exercise on cardiac performance. *Circulation* 44: 994-1002, 1971
7) Helfant HR, De Villa MA, Meister SG: Effect of sustained isometric handgrip exercise on left ventricular performance. *Circulation* 44: 982-993, 1971
8) 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: 48-54, 1972
9) Jacobs WF, Nutter, DO, Siegel W, Schlant RC, Hurst JW: Hemodynamic responses to isometric handgrip in patients with heart disease. *Circulation* 41, 42(Suppl): III-169, 1970
10) Amende I, Krayenbuehl HP, Rutishauser W, Wirz P: Left ventricular dynamics during handgrip. *Brit Heart J* 34: 688-695, 1972
11) Krayenbuehl HP, Rutishauser W, Schoenbeck M, Amende I: Evaluation of left ventricular function from isovolumic pressure measurements during isometric exercise. *Amer J Cardiol* 29: 323-330, 1972

討 論

千田(札幌医大第二内科): 先ほどの京大からの演題では, やはり同じくACGの微分波に関する報告でしたけれども, その場合にはpeak dA/dtのとり方を, 最大値でなく, ejectionに近い点でとるほうがいい成績が出るという報告でした。

しかし先生の場合には, やはり常に最大値をとって, その方が妥当だというふうにお考えですか。

演者(佐藤): 私たちが今回計測しましたのは, 最大値をとっております。それで今回の検討事項ですけれども, 主にhandgripによるその変化量,

変化の仕方ですね、絶対値でなくて、変化量を見たわけです。ですから中には正常群でも、たとえば 12msec 以上延びるような例がありまして、臨床的に心不全の 3 度くらいにある人と同じくらい延長していました。正常でもそういう例があったわけです。ですから一番初めにスライドでお見せしましたように、安静時の $R-dA/dt$ については 3 群の間に差はなかったのですが、測定を一定にする意味で一応最大値をとったということです。それともう 1 つは、ノッチが入りますので、I 音に対応するノッチをできるだけ測定に入れれないという事もあります。

千田：それから心拍数の件ですけれども、Vetter は 12 例の対象例で心拍との関連を検討して、きれいな相関があるということで、先行 \sqrt{RR} で割って求めているわけですが、それを先生の場合行っておりませんから、正常値が少し高く出ますですね。Vetter のは 72 msec ですね。

演者：そうです。正常は 72 msec です。

千田：IHSS と CHF できれいに延長したという成績ですね。それで先生の場合には、心拍数の検討、たとえば CHF だとか hyperthyroidism で、心拍数が 100 以上になるという例もあると思えますけれども、そういう頻脈の場合の心拍数の影響は検討されていらっしゃるわけではないのですか。

演者：今回は、最後に出したスライドで示しましたように、心拍数と一定の関係がなかったので、心拍数、つまり RR での補正は今回はいたしておりません。たとえば Vetter らの方法によって先行 \sqrt{RR} で割りますと、handgrip で非常に頻脈になった場合に、その $(R-dA/dT)/\sqrt{RR}$ は非常に大きくなるわけですね。そうすると handgrip の反応の仕方によって、正常群の中でもものすごい高い例が出るわけです。計算してみますとですね。それでまだ例数が少ないのですが、一応心拍数の関係を見ましたが、一定の傾向が出ませんでしたので、今回は \sqrt{RR} で心拍数の補正はしないで、データを出したということです。

千田：今回の isometric handgrip に関しまして

は、確かに補正しないという先生の方法は分かりましたけれども、もし各疾患、特に頻脈性の疾患の病態生理だとか心機能とか、そういうものを検討する場合には、やはり頻脈の場合における心拍数の影響というものも、一応は検討しておく必要があるんじゃないかというふうに思うのですがね。

仁村（阪大阿部内科）：本論から少し外れるかもしれませんが、ただいま正常でも非常に延びるという人があるということを知って、それから思いついたのですけれども、この種の検査というものは、handgrip に限らず、一般に運動負荷全部同じことであろうと思うのですけれども、かなりの鍛練の影響というのが入っているのではないかと。平生から鍛練をしている人としていない人とは違うと思うのですけれども、そういう点の分析はお考えになっているのでしょうか。運動負荷の影響が現われる場合に、平生から鍛練をしてる人と、していない人とはかなり response の仕方が違うのじゃないかと思うのです。逆に言いますと、病的の人で response が大きいように見えておっても、それは病気のためではなくて、平生安静にしているために、鍛練されていないからというようなことが考えられると思うのですがね。そういう点の分析は、どういうふうにお考えになっておりますか。

演者：その点についてですが、初めの 2 枚のスライドで、一応 handgrip 中の血圧と心拍数の変化を 3 群で見たのですが、3 群の間には差がありませんでしたので、一応負荷としては同じ程度かかっているかというように考えたのです。ただ、心拍数で、IHD 群の増加が非常に少なかったと思うのですが、それは虚血性心疾患の患者さんの年齢が非常に高く、どうしても最大の握力が非常に低目に出たんじゃないかというふうに考えています。それで、したがって虚血性心疾患群の中で、心拍数は平均で 6 つほどしか増加しておりません。だからそういう老人では若い人と違って、負荷のかけ方が正確にいかないのじゃないかということは考えられます。これが又 handgrip 運動

負荷の1つの weak point じゃないかと考えておられます。

坂本(東大第二内科): 仁村先生がいまおっしゃったのは、同じ人でも、何度も練習した場合と、そうでない場合の差ということではございませんか。

仁村: 平生運動している人とそうでない人との差ということです。

坂本: それは何の試験でもそうですが、心音図の場合でも、いろいろなテストの場合、練習させないとうまくいかないし、いきなりやっても駄目なことが少なくないという印象を持っております。Valsalva の試験などその典型です。handgrip でもやはり同じじゃないかと思えます。handgrip を自分でやってみますと、3分間じっと握っているというのは非常に難しいですね。自分でやってみるとわかります。だから、まして CHF の人は、非常に辛いんじゃないかという気がしますけれども……。

演者: そうですね。痛くなるわけですね。疲れるというよりか……。ですから handgrip の握力計を使うというのが、ほんとうに isometric exercise の方法として妥当かどうかというのもやはり問題があるのではないか……。というのは、疲れるというよりか、金属ですから、非常に手が痛くなってやめてしまう。力が落ちていくような印象を受けております。

坂本: そうですね。それともう1つは、筋肉生理学から言っても、たとえば Master の twostep test みたいに動いて検査するものと、それから持続的に1つの緊張を持たせる場合とでは、疲れ方が非常に違う。手を振っていても、たとえば1時間手を振っているのは簡単にできるのですけれども、10分間手を上げたままにいるということとはとてもできないので、それと同じようなことから、

この方法は画一的に行うにはなかなか難しいように思います。impression だけでものを書いて申しわけないのですけれども……。

藤井(心臓血管研究所): 私たちも atraumatic でなくて、動脈圧を直接測定し、それから色素稀釈法の両方で handgrip の検討をやりまして、一部循環器学会の方に出しましたけれども、その際、いまおっしゃいましたように、最初は最大握力の1/2を3分間という負荷量にしていたわけですが、ところが特に私たちの場合、老人が多かったりするというので、そういう負荷を維持するのが非常に難しいような例が多いようです。それから確かに inotrope というような変化は一応考慮外に置いたとして、afterload だけの変化を見てみると、最大握力の半分ですととってみて、30秒から45秒のあたりで大体一定値に達しているようなんです。いろんな報告を見ると、どんどん上がりっぱなしで、時間の経過に伴って上がっていくという報告もあるし、いろいろなものがあるわけですが、直接動脈圧で見ていると、この afterload はわりに reflex 的なもので起こっているようで、早い時間に一応の一定値に達しているようなんです。それで現在は最大握力の半分で1分間と決めてしまっていて、それで一応 afterload の増加としては constant に近い状態になっていると考えてやっているわけです。最大握力の1/3で3分間というのは、いままでの報告の方法論からとってやられたわけですか。

演者: それもありますが、怒責を防ぐという意味で30%としたわけですが、50%ですと、どうですか、何かちょっと気張る人がいてうまくないのではないですか。

藤井: そうですね。30%と50%で確かにどれくらいの差があるか、難しい問題ですけれども……。