

左室の収縮速度と弛緩速度との関係：第1報。健常若年者による動的運動負荷心エコー図法による検討

The relationship between rate of left ventricular contraction and rate of left ventricular relaxation: Studies in normal young male subjects by dynamic exercise echocardiography

松田 光生
杉下 靖郎
小関 迪
伊藤 巖

Mitsuo MATSUDA
Yasuro SUGISHITA
Susumu KOSEKI
Iwao ITO

Summary

The relationship between left ventricular circumferential fiber shortening velocity in ejection phase [VCF(S)] and left ventricular circumferential fiber lengthening velocity in rapid filling phase [VCF(D)] was studied in normal young male subjects using echocardiography.

In 14 subjects (Group 1) mean VCF(S) and mean VCF(D) were obtained at rest. In 8 subjects (Group 2) peak VCF(S) and peak VCF(D) were estimated at rest, during ergometric bicycle exercise, and at the time when heart rate returned to the resting level after exercise.

A close positive correlation between mean VCF(S) and mean VCF(D) was observed in Group 1. Peak VCF(D) correlated significantly with peak VCF(S) at rest in Group 2. Ergometric exercise increased peak VCF(S) and peak VCF(D). Increases in peak VCF(D) were greater than those in peak VCF(S), and peak VCF(D)/peak VCF(S) showed significant increments during exercise. The increases in peak VCF(D)/peak VCF(S) remained after exercise.

It was suggested that myocardial contraction and myocardial relaxation were influenced in a different manner by ergometric exercise.

Key words

Mean circumferential fiber shortening velocity Mean circumferential fiber lengthening velocity Peak circumferential fiber shortening velocity Peak circumferential fiber lengthening velocity Ergometric bicycle exercise

筑波大学臨床医学系 内科
茨城県新治郡桜村 (〒300-31)

Department of Internal Medicine, Institute of Clinical Medicine, The University of Tsukuba, Sakura-Mura, Niihari-Gun, Ibaraki Prefecture 300-31

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
Received for publication January 22, 1979

はじめに

左室壁の拡張早期(急速流入期)における拡張速度は、左室の拡張期血液充満にとって、ことに運動中の頻拍により拡張期が短縮する場合に、重要な意義を持つものと考えられる。

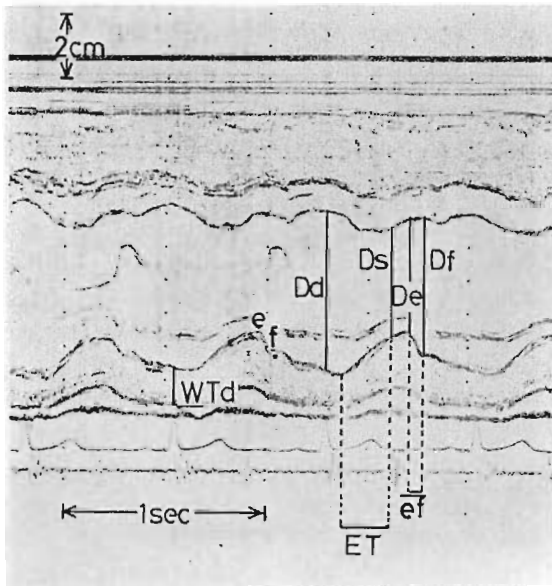
動的運動負荷心エコー図法¹⁾により、駆出期の左室円周短縮速度が増加することが報告されている²⁾が、今回は安静時における左室円周短縮速度と、急速流入期の左室円周拡張速度との関係を検討するとともに、動的運動負荷による左室円周拡張速度と左室円周短縮速度との変化を対比させて検討した。

対象と方法

対象は Group 1 として、安静時のみに心エコー図を記録した健常若年男子 14 例 (年齢 19~30

歳), および Group 2 として、安静時および動的運動負荷中に心エコー図を記録した健常若年男子 8 例 (19~24 歳) である。

Group 1 においては、安静時に仰臥位で、左室エコー図を僧帽弁腱索部位において記録した。装置は UCG 記録装置 (Aloka 製 SSD-110) および 2.25 MHz の探触子を用い、紙送り速度は 2.5 cm/sec または 5.0 cm/sec とし、ポラロイドカメラを使用した。左室エコー図から、拡張終期内径 (Dd), 収縮終期内径 (Ds), 急速流入期の開始点 e における内径 (De), 急速流入期の終了点 f における内径 (Df), 左室駆出時間 (ET), 急速流入時間 (ef) を計測した (Fig. 1)。これらの計測値から、左室の駆出期平均円周短縮速度 [mVcf(S)], および急速流入期円周拡張速度 [mVcf(D)] をつぎのように算出した。



$$mVcf(S) = \frac{Dd - Ds}{ET \cdot Dd} \text{ circ./sec}$$

$$mVcf(D) = \frac{Df - De}{ef(Df + De)/2} \text{ circ./sec}$$

Fig. 1. Example of a left ventricular echogram.

Dd=left ventricular dimension at the end-diastole; Ds=left ventricular dimension at the end-systole; De=left ventricular dimension at the beginning of rapid filling; Df=left ventricular dimension at the termination of rapid filling; ET=left ventricular ejection time; ef=left ventricular rapid filling period; mVcf(S)=mean circumferential fiber shortening velocity in ejection phase; mVcf(D)=mean circumferential fiber lengthening velocity in rapid filling phase.

$$mV_{CF}(S) = \frac{D_d - D_s}{ET \cdot D_d}$$

$$mV_{CF}(D) = \frac{D_f - D_e}{ef \cdot (D_f + D_e) / 2}$$

Group 2 においては、仰臥位で、安静時に左室エコー図を記録し、ついでエルゴメーターを用いた段階的負荷漸増法により、心拍数が 100 beats/min 前後になったとき、および負荷終了後 3~4 分後に心拍数がほぼ負荷前の水準に戻ったときに記録した。装置は UCG 記録装置 (Aloka 製 SSD-110) と、2.25 MHz の探触子、および連続記録装置 (Honeywell 製) を用い、紙送り速度 100 mm/sec で行った。運動負荷は本法のために作製した台¹⁾の上に被検者を仰臥位にして肩のところで固定した状態で、自転車エルゴメーター (モナーク製) を用いて行った。テレメーター (フクダ電子製) を用いて心電図をモニターし、心拍数が 100 beats/min になるまで運動を行わせ、その間心エコー図を連続記録した。負荷運動量は多くは 0.5 kP、40 回転/min で始め、その後 30 秒ごとに 0.5 kP 増加させた。

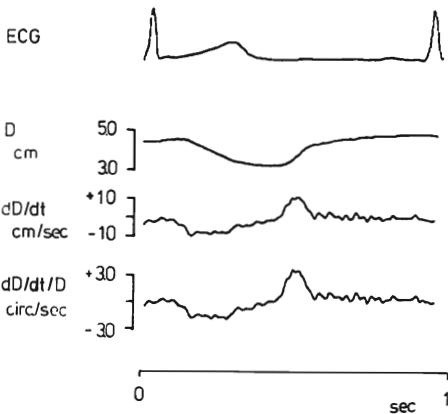


Fig. 2. Computer output of left ventricular dimension and its rate of change throughout a single cardiac cycle.

Zero time corresponds to the peak of the R wave of the electrocardiogram.

D=left ventricular dimension; dD/dt=rate of change of dimension; dD/dt/D=normalized rate of change of dimension.

得られた記録から、カソールを用いて心室中隔左室心内膜面と左室後壁心内膜面を、同時記録した心電図と心音図とともに、X-Y digitizer (Tektronix 4953) により電子計算機 (YHP 21MX) に読みとった。サンプリング点は1心周期に約 150 点であり、これを一次近似を用いて約 500 点とした。読みとったデータから、電子計算機 (YHP 21MX) を用いて、内径 (D)、内径の変化速度 (dD/dt)、および内径変化速度を内径で補正したもの (dD/dt·1/D) を経時的に描かせた (Fig. 2)。これとは別に、dD/dt·1/D の値を 0.003 秒ごとにプリンターに打ち出し、収縮期および拡張期における dD/dt·1/D の極値を pV_{CF}(S)、および pV_{CF}(D) として得た。

統計的分析は t 検定による。

成績

Group 1 において、安静時の mV_{CF}(S) と mV_{CF}(D) の間には有意の正の相関関係 (r=

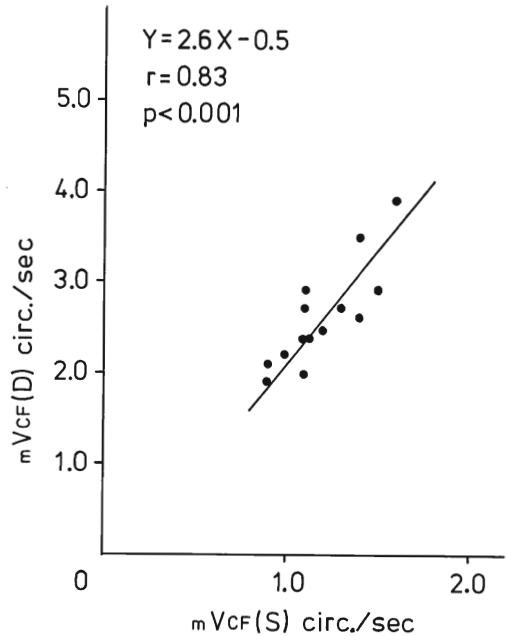


Fig. 3. Relationship between mV_{CF}(S) and mV_{CF}(D) at rest.

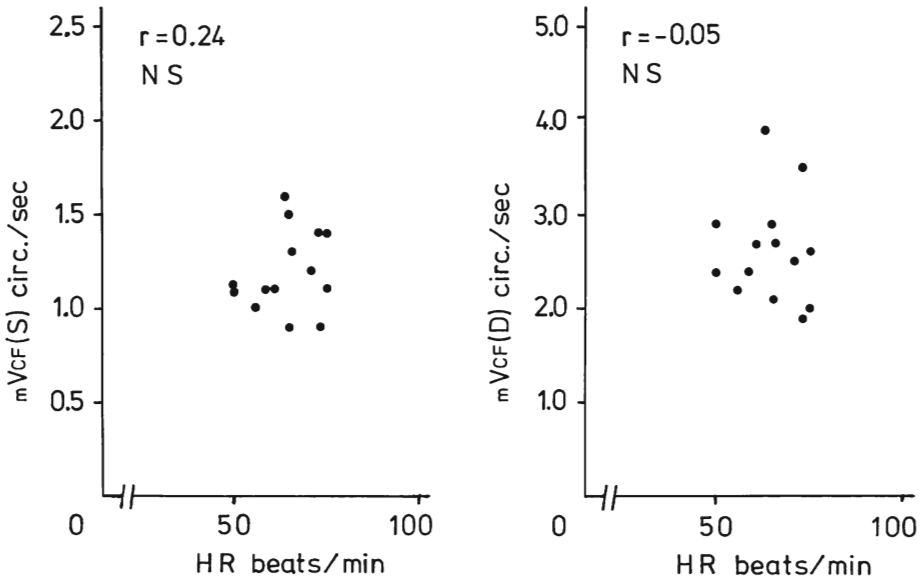


Fig. 4. Relationship between heart rate and mVCF at rest.

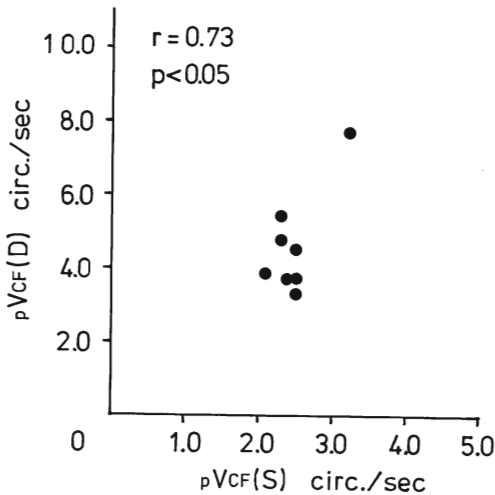


Fig. 5. Relationship between pVCF(S) and pVCF(D) at rest.

pVCF(S)=peak circumferential fiber shortening velocity in ejection phase; pVCF(D)=peak circumferential fiber lengthening velocity in rapid filling phase.

0.83, $p<0.001$) が認められた (Fig. 3). 心拍数と mVCF(S), および心拍数と mVCF(D) の間には, 有意の相関関係は認められなかった ($r=0.24$, NS, および $r=-0.05$, NS). Group 2 における安静時の pVCF(S) と pVCF(D) の間においても, 症例数は少ないが, 有意の正相関関係が認められた ($r=0.73$, $p<0.05$: Fig. 5).

Group 2 における安静時, 動的運動負荷中および負荷終了後における pVCF(S) と pVCF(D) の推移を Fig. 6 に示す. 負荷中 pVCF(S) と pVCF(D) はともに増大するが ($p<0.025$, および $p<0.001$), pVCF(D) の変化がより大であると思われた. また負荷終了 3~4 分後, この時期には心拍数はほぼ負荷前の値に復しているが, pVCF(S) がほぼ負荷前の値に復しているのに対し, pVCF(D) は依然として負荷前の値に比し高値を保っていた ($p<0.05$). pVCF(D) と pVCF(S) との比の推移をみると, 負荷中 pVCF(D)/pVCF(S) が増大し ($p<0.01$), 負荷終了後も高値を続けていた ($p<0.01$) (Fig. 7).

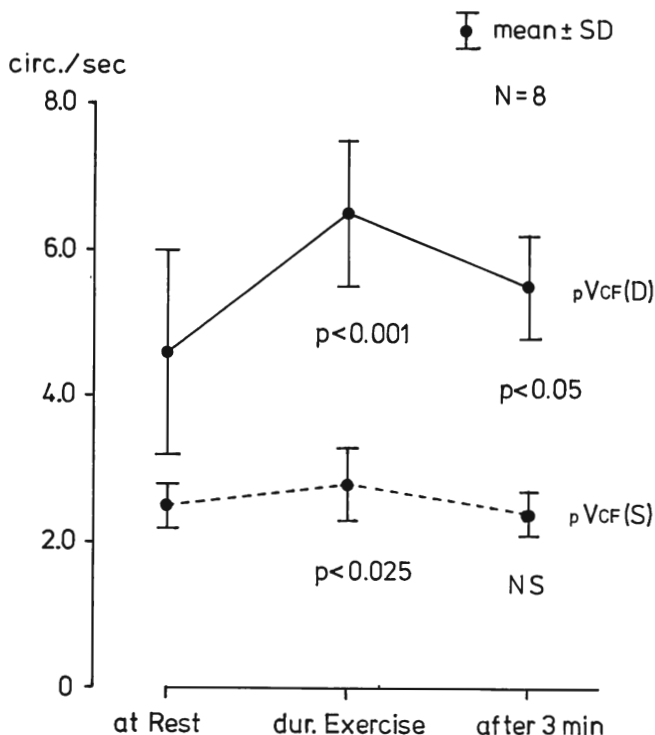


Fig. 6. pVcf(S) and pVcf(D) during and after exercise.

考 察

急速流入期における左室の拡張は、単なる房室圧較差による受動的なものではなく、収縮によって心室壁に蓄えられたエネルギーが拡張期に解放されることによる、elastic recoilに基づくものであるという説^{3,4)}がある。実際、Brecherら⁵⁾によって、拡張初期に左室内に陰圧が生じることが確かめられている。安静時の Vcf(S) と Vcf(D) との間に、一次的な正の相関関係が認められたことは、この elastic recoil 説から、収縮と拡張の協調の反映であるとして説明しようと考えられる。しかし動的運動負荷中に、pVcf(D) の増大が pVcf(S) の増大を上まわり、また pVcf(D)/pVcf(S) が負荷終了後も増大を持続したことは、単に elastic recoil によるとするのみでは、説明することが難しいと思われる。

最近、Grassiら⁶⁾はラットの摘出心を用いて、左室の等尺性および等張性の収縮速度と拡張速度を観察し、いずれの場合にも、イソプロテレノールにより収縮速度と拡張速度が増大するが、拡張速度の増大がより著しかったと報告している。

我々の得た結果と、この報告から推論すると、運動負荷により交感神経系ないし体液中のカテコラミンの作用が増大し^{7,8)}、その結果心筋の弛緩速度が収縮速度をうわまわって増大した、との解釈ができると思われる。

急速流入期における左室の拡張速度に影響を与えうる因子としては、心筋の弛緩速度のほかに、心筋の慣性、弾性、粘性、および静脈還流などが考えられる。このうち、慣性は負荷中もほぼ一定と考えて良いと思われる。弾性および粘性については、Templetonら^{9,10)}によれば心筋の dynamic stiffness (すなわち弾性および粘性) と張力の関係、

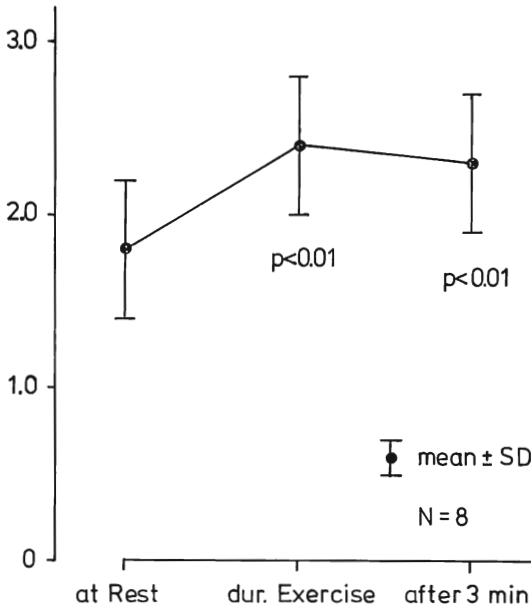


Fig. 7. pVCF(D)/pVCF(S) during and after exercise.

The increases in pVCF(D) are greater than those in pVCF(S) during exercise, and the increments in pVCF(D)/pVCF(S) remain unaltered after exercise.

および心室の dynamic stiffness と心内圧の関係は、収縮期と弛緩期を通じて一定であるとされている。また Taubert¹¹⁾ らの報告によれば、カテコラミン、カルシウムなどによる inotropic state の変化は、収縮期および拡張期の心筋の粘性および弾性に影響を与えないとされている。運動負荷中の静脈還流の増大により左房圧の上昇が生じ、その結果急速流入期における左室の拡張速度が増加した可能性は否定できないが、しかしこのような機序によっては、負荷終了後心拍数が平常に復した後も、拡張速度の増大が持続したことを説明できないと思われる。

いずれにせよ、運動負荷中に左室の急速流入期拡張速度が増加することは、生体にとって頻拍による拡張期の短縮にさいして、血液充満を保つ上に有利に働くと考えられる。

要 約

駆出期における左室円周短縮速度 [Vcf(S)] と、急速流入期における左室円周拡張速度との関係を、健常若年男子において心エコー図により検討した。

Group 1 (14例) では、安静時における mean Vcf(S) と mean Vcf(D) を求め、Group 2 (8例) では、安静時、エルゴメーターによる動的運動負荷を行い、心拍数が 100 beats/min 前後に達した時、および負荷中止後心拍数が安静時の水準に復した時の peak Vcf(S)、および peak Vcf(D) を求めた。

1) 安静時において mean Vcf(S) と mean Vcf(D)、および peak Vcf(S) と peak Vcf(D) の間に、それぞれ有意の正の相関関係を認めた。

2) 動的運動負荷により、peak Vcf(S) と peak Vcf(D) が増加したが、peak Vcf(D) の増加がより著しく、peak Vcf(D)/peak Vcf(S) が増加した。またこの両者の比の増加は負荷終了後も持続した。

3) 動的負荷による影響が、心筋の収縮過程と弛緩過程に対して異なっていることが示唆された。

電子計算機による心エコー図の解析にあたり御協力いただいた筑波大学基礎医学系医工学 赤塚孝雄博士、ならびに電子計算機室 笠木公一氏に感謝します。

文 献

- 1) 杉下靖郎, 小関 迪: 動的運動負荷における超音波心エコー図法. (第1報)一仰臥位エルゴメーター運動負荷における方法の検討. 第13回臨床心音図研究会発表, 1976
- 2) Sugishita Y, Koseki S, Shintomi Y: Exercise and echocardiography. Dynamic exercise echocardiography. Jap Circulat J 43: 205, 1979
- 3) Brecher GA, Kolder H, Horres AD: Ventricular volume of nonbeating excised dog hearts in the state of elastic equilibrium. Circulat Res 19: 1080, 1966
- 4) Horwitz LD, Bishop VS: Left ventricular pressure-dimension relationships in the conscious dog. Cardiovas Res 6: 163, 1972
- 5) Brecher GA: Experimental evidence of ventricular

- diastolic suction. *Circulat Res* **4**: 513, 1956
- 6) Grassi De Gende AO, Pérez Alzueta AD, Cingolani HE: Effect of isoproterenol on relation between maximal rate of contraction and maximal rate of relaxation. *Amer J Physiol* **233**: H404, 1977
 - 7) Robinson BF, Epstein SE, Beiser GD, Braunwald E: Control of heart rate by the autonomic nervous system. Studies in man on the interrelation between baroreceptor mechanisms and exercise. *Circulat Res* **19**: 400, 1966
 - 8) Christensen NJ, Brandsborg O: The relationship between plasma catecholamine concentration and pulse rate during exercise and standing. *Europ J Clin Invest* **3**: 299, 1973
 - 9) Templeton GH, Donald III TC, Mitchell JH, Hefner LL: Dynamic stiffness of papillary muscle during contraction and relaxation. *Amer J Physiol* **224**: 692, 1973
 - 10) Templeton GH, Ecker RR, Mitchell JH: Left ventricular stiffness during diastole and systole: The influence of changes in volume and inotropic state. *Cardiovas Res* **6**: 95, 1972
 - 11) Taubert K, Willerson JT, Shapiro W, Templeton GH: Contraction and resting stiffness of isolated cardiac muscle: Effects of inotropic agents. *Amer J Physiol* **232**: H275, 1977