

動的運動負荷心エコー図 法: 仰臥位エルゴメーター 運動負荷における方法の検 討

Dynamic exercise echo- cardiography

杉下 靖郎
小関 迪

Yasuro SUGISHITA
Susumu KOSEKI

Summary

In order to obtain information about left ventricular reserve, we have developed a new method of "dynamic exercise echocardiography".

The materials consisted of 33 healthy subjects. The exercise was performed in supine position on the bed designed by us for this new method, where the subject was fixed at their shoulders by attachments to prevent shaking of the body during the exercise. The shoulder attachments were movable and were regulated to suit with height. Echocardiographic parameters, such as left ventricular diameters, were measured at rest and during exercise when heart rate was 100, 120 per minute and higher. Cardiac output was calculated by Gibson's method. In some subjects, cardiac output was measured simultaneously by dye dilution method using indocyanine green.

In 31 out of 33 cases, in which clear echocardiogram was obtained at rest, good tracing was also obtained during the dynamic exercise. A good correlation was found between the values of cardiac output calculated from echocardiogram and those obtained by dye dilution method, at rest and during the exercise.

From this "dynamic exercise echocardiography", variable informations including left ventricular dimensions, can be obtained non-invasively, and cardiac reserve can be estimated without difficulties. This method is expected to be applied for clinical use.

Key words

Echocardiography Dynamic exercise Left ventricular dimension Left ventricular function
Left ventricular reserve Dye dilution method

はじめに

心疾患患者は常に絶対安静にしているのではなく、その程度に応じた日常生活が必要である。そのさいどの程度動いて良いかの判断は、安静時のみの心機能検査では不明であって、なんらかの負

荷(たとえば運動負荷)を加えて検査することによって初めて可能である。すなわち、心機能の予備力は、そのようにして知ることができる。従来、動的運動負荷中の非観血的な心機能測定法は無く、心カテーテルなどの観血的方法も、侵襲が大きく普遍的ではない。

筑波大学臨床医学系 内科
茨城県新治郡桜村大字妻木字天久保 (〒300-31)

Cardiovascular Division, Department of Medicine,
Institute of Clinical Medicine, The University of
Tsukuba, Saiki, Sakura-mura, Niihari-gun 300-31

Presented at the 13th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 25-26, 1976
Received for publication October 14, 1977

最近心エコー図を用いての左心機能測定が盛んに行われているが、我々は動的運動負荷中の左心機能測定にも、心エコー図法を導入することを試みた。ハンドグリップによる等尺性負荷に心エコー図法を用いて、心機能測定した報告¹⁾は、2, 3あるが、動的運動負荷中における心エコー図法は技術的に困難と考えられたのか報告はきわめて少ない。

Kraunz ら²⁾が運動負荷を行い、負荷前後に心エコー図法を用いて心機能測定した報告はあるが、その記録は心内膜が描出されておらず、現在の技術からみて評価に耐えるものではない。我々は特殊な装置および方法を考案して、左心機能予備力をみる目的で動的運動負荷中に心エコー図法による循環動態諸量を測定し、心拍出量については本法と色素希釈法の二法により算出された値の比較検討を行った。本法はさほど技術的困難もなく、十分臨床に応用しようとの結果を得たので報告する。

対 象

心疾患の無い19~71歳の一般男子13名、女子10名、運動選手男子4名、女子6名の計33名で

ある。

方 法

被検者に仰臥位にてモナークのエルゴメーターを用いて運動を行わせた。

負荷の方法は、体力、脚力に合わせて2分ごとに負荷量を漸増して、2~4分で心拍数が100/分になるようにした。一部の例では、さらに120、140と高心拍になるまで検討を続けた。

テレメーターで心拍数を監視し、安静時および運動により心拍数が100/分、120/分、あるいは130~140/分になったとき、超音波診断装置 Aloka 製 SSD-110 により、ポラロイドカメラまたはハニウェル製記録装置(湿式、乾式)で撮影した。

従来、動的運動負荷中の心エコー図法が手技的に困難とされたのは、運動中の体位(立位、坐位)、運動中の身体の揺れ動き、呼吸による肺の動きなどにより、鮮明な、しかも同一場所での心エコー図が得られないことであつたので、我々は Fig. 1 にみられるような特殊な台を考案し、仰臥位で被検者を身長に合わせて、両肩のところで固定し、運動による身体の揺れ動きを防いだ。

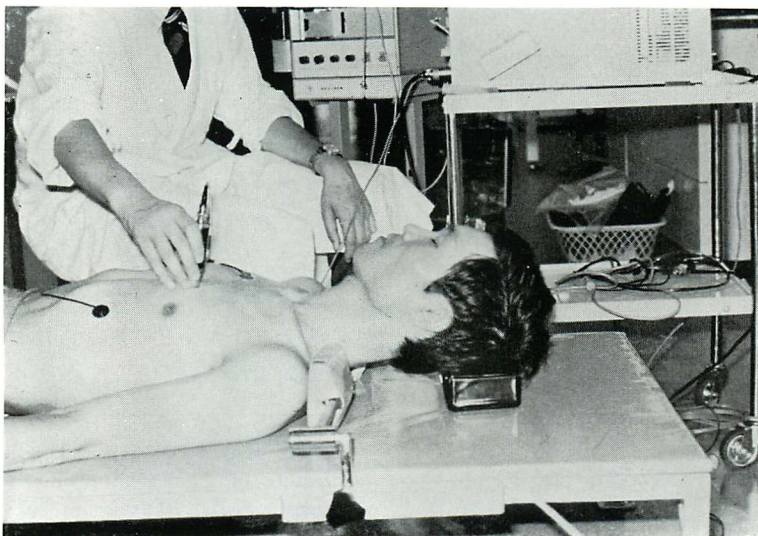


Fig. 1. Apparatus and procedure of dynamic exercise echocardiography.

肺の動きにより、心エコー図が不鮮明になることがあるため、呼気時に撮るようにし、また運動により心臓の動きが激しくなるため、安静時も運動中も撮影時には必ずスキャンを行い、心腔内同一場所で左室最大横径を撮影するよう努力した。

心エコー図計測は、拡張終期は心電図の R に一致した点、収縮終期は心電図の T 波の終りで最小内径を選び、心内膜エコーの上縁から中隔エコーの上縁までを測り、Gibson 法³⁾に従い左室容積を算定した。平均左室心筋短縮速度は $Dd-Ds/Dd \cdot ET$ (Dd と Ds : 左室拡張および収縮終期内径, ET : 駆出時間)とした。色素希釈法との比較では、対象の中から 19~30 歳までの男女 7 名について、肘静脈より 19G 50 cm のエラストマーを挿入留置し、仰臥位にて、モナークのエルゴメーターを用いて、脚力、体力に合わせた負荷量による段階負荷法による運動負荷を行った。

安静時または運動開始 3 分を経過し、恒常状態に達した時期と、一部 (Table 1, 例 1, 2, 3) は運動終了後 3 分に心エコー図撮影と色素希釈法による心拍出量測定を同時に行った。色素はインドシアニングリーンを用い、心拍出量測定には、日本光電製 MLC-400 希釈式心拍出量計算装置を用いた。さらに 1 名については、3 分ごとに負荷量を変える階段式恒常負荷漸増法により、安静時、運動開始 3 分、6 分、9 分に両方法による心拍出量測定を行い、高心拍数のときの両方法による比較も行った。

成 績

1. 動的運動負荷心エコー図の画像

安静時に鮮明な心エコー図が得られた 33 例中 31 例で、解析可能な動的運動負荷心エコー図が得られた。Fig. 2 は 21 歳女子の心エコー図で、安静時心拍数 58/分、運動中は心拍数 100/分、120/分時のものである。それぞれ僧帽弁後尖の腱索が見えかくれて、運動中の心エコー図も安静時と同一場所で最大横径をとらえていることがわかる。

Fig. 3 は 20 歳男子、Fig. 4 は 69 歳男子のものである。一般に老年になると安静時においても心エコー図が不鮮明になるが、本例においては運動中も安静時と同じ鮮明度の心エコー図が得られた。老年者に特有な心内膜などのエコーの反射がやや不鮮明なところがあるが、十分解析可能である。

2. 本法と色素希釈法との比較

我々は運動中においても安定した値を示すとされている色素希釈法と、我々の動的運動負荷心エコー図法との比較検討を行った (全例の心拍数が 100/分 に近い値になるよう負荷量を加減したが、Table 1 のように例 3, 5, 6, 7 は負荷量が少なく、心拍数が 100/分 に至らなかった)。

全例を通じて、例 1 の運動時に 2.70 l の差がみられたほかは、両方法により計算された心拍出量の間、運動中にとくに差が大きくなる傾向はみ

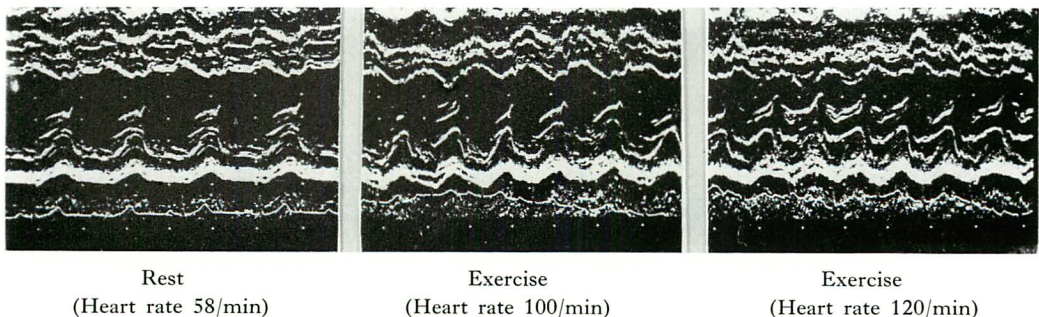
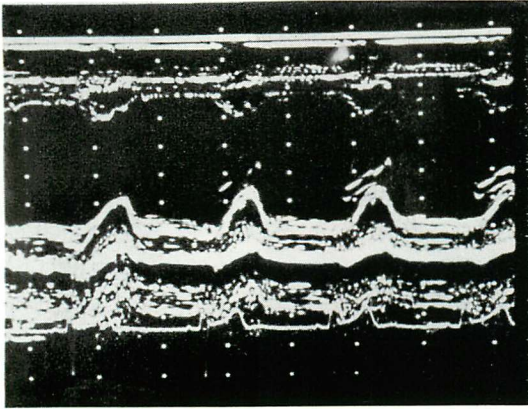
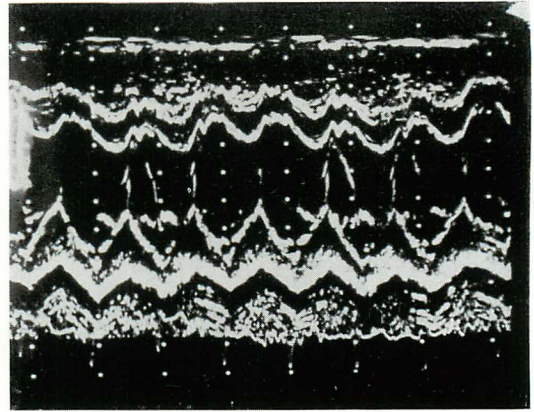


Fig. 2. UCG at rest and during exercise.
Case 1 (21 y., female).

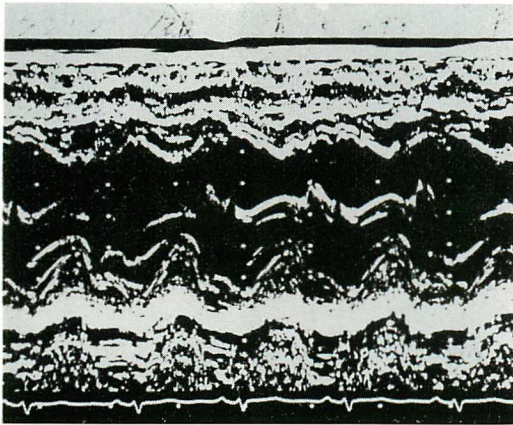


Rest
(Heart rate 60/min)

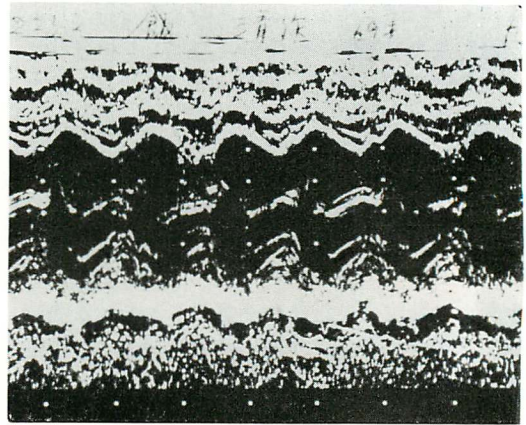


Exercise
(Heart rate 120/min)

Fig. 3. UCG at rest and during exercise.
Case 2 (20 y., male).



Rest
(Heart rate 75/min)



Exercise
(Heart rate 97/min)

Fig. 4. UCG at rest and during exercise.
Case 3 (69 y., male).

られなかった。

さらに1例については、3分ごとに負荷量を変える階段式恒常負荷漸増法により、安静時(心拍数 54/分)、3分経過後(心拍数 103/分)、6分後(心拍数 111/分)、9分後(心拍数 144/分)に同様の方法により比較を行った結果、9分後の時、両方法による差は 1.61 l であるが (Table 2)、こ

れは前記7例に行った成績中、安静時または負荷中にみられた差より、著しく大きいわけではない。

以上の検討の結果について、Table 1, Table 2 の全経過にわたる、両方法により算出された心拍出量について、回帰式を求めると、 $y=0.98x+0.32$ ($r^2=0.96$, $n=20$, $p<0.01$) となり非常に高い相関を示した (Fig. 5)。

Table 1. Hemodynamic parameters in dynamic exercise echocardiography, and comparison with dye dilution method

	HR	Dd	Ds	LVEDV	LVESV	SV	EF	mVCF	CO (l)		
									UCG	dye dilution	
	b/m	cm	cm	ml	ml	ml	%	circ/sec			
1	rest	73	5.1	3.6	148	56	92	62	1.18	6.72	7.74
	during exercise	95	5.0	3.3	141	45	96	68	1.36	9.12	11.82
	after exercise	66	5.5	3.7	179	60	119	66	1.21	7.85	8.12
2	rest	50	5.7	3.6	195	56	139	71	1.22	6.95	6.33
	during exercise	64	5.6	3.8	187	56	131	70	1.24	8.38	7.77
	after exercise	59	5.5	4.0	179	73	106	59	0.97	6.25	4.98
3	rest	58	5.2	3.4	156	50	106	68	1.03	6.15	6.81
	during exercise	93	4.7	2.7	120	27	93	77	1.59	8.65	8.71
4	rest	64	5.1	3.3	147	45	102	69	1.13	6.53	6.29
	during exercise	111	5.1	3.5	147	53	94	64	1.24	10.43	9.81
5	rest	61	6.2	4.4	241	93	148	61	1.04	9.03	7.59
	during exercise	72	6.0	4.0	222	73	149	67	1.19	10.33	9.62
6	rest	69	5.2	3.5	156	53	103	66	1.13	7.11	8.42
	during exercise	95	5.4	3.8	173	64	109	63	1.22	10.36	10.66
7	rest	58	5.7	3.8	190	63	127	67	1.05	7.37	5.69
	during exercise	76	5.6	3.4	182	49	133	77	1.46	10.10	9.18

HR: heart rate, Dd: left ventricular end-diastolic diameter, Ds: left ventricular end-systolic diameter, LVEDV: left ventricular end-diastolic volume, LVESV: left ventricular end-systolic volume, SV: stroke volume, EF: ejection fraction, mVCF: mean circumferential fiber shortening velocity, CO: cardiac output.

Table 2. Hemodynamic parameters in severe exercise

	HR	Dd	Ds	LVEDV	LVESV	SV	EF	mVCF	CO (l)	
									UCG	dye dilution
	b/m	cm	cm	ml	ml	ml	%	circ/sec		
rest	54	5.9	4.5	213	98	115	54	0.73	6.21	5.77
during exercise 3'	103	5.6	3.8	189	63	125	66	1.24	12.98	12.74
during exercise 6'	111	6.0	3.8	217	63	154	71	1.42	17.09	17.70
during exercise 9'	144	5.8	3.6	204	54	150	74	1.85	21.60	19.99

Abbreviations are the same as in Table 1.

考 案

左心機能予備力をみるためには、負荷試験が不

可欠であるが、動的負荷運動中に左心カテーテル法、左心造影法を実施することは患者の臨床検査として行う場合において、非常に困難を有する。

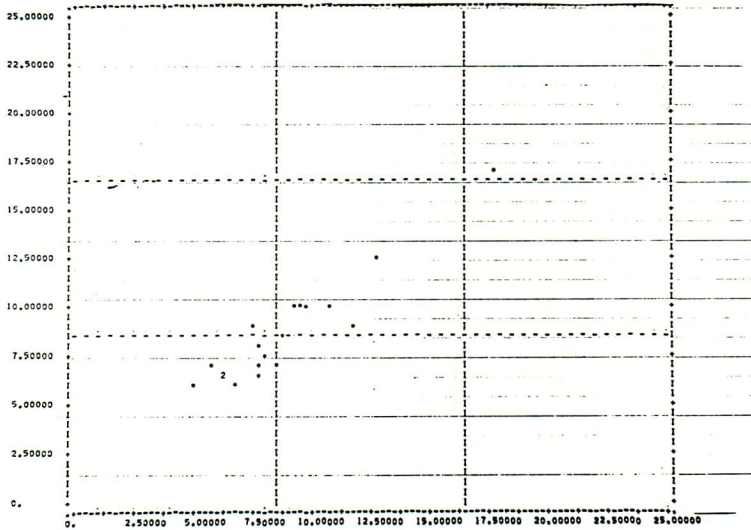


Fig. 5. Comparison of cardiac output by echocardiography (abscissa) and by dye-dilution method (ordinate) before and during exercise.

さらに、健康人あるいは潜在性心疾患の疑いのある者に、反復して行うことは不可能である。一方、非観血方法にも良い方法はみあたらなかった。そこで、我々は最近盛んに行われている、心エコー図より左心機能を求める方法を動的運動負荷中にも応用することを試みた。

1. 心エコー図による左心機能評価について

心エコー図より得られる左心機能に関係した指標には、つぎのごとき各種多様のものがある。すなわち、左室拡張終期内径 (Dd)、左室収縮終期内径 (Ds)、左室拡張終期容積 (LVEDV)、左室収縮終期容積 (LVESV)、左室駆出分画 (EF)、平均左室心筋短縮速度 (mVCF)、その他であり、これらの妥当性については諸家の報告がある⁴⁻⁷⁾。長さを直接測定するもの (Dd、Dsなど) については、僧帽弁を少しはずしたところで記録するという一般の基準が満たされ、その画像が明瞭である (すなわち後壁心内膜エコーおよび中隔エコーが明瞭に描出されている) ならば、指標として問題ないとされている。それに対し、左室容積を求める場合、長径が短径の2倍の回転楕円体を想定し、

心周期を通じてその比が変わらないという仮定があり、弁膜症などで極端な左室拡張のあるもの、虚血性心疾患で左室壁の dyskinesia のある場合は、計測値が実際値より大きくかけ離れることが考えられる。本研究においては、対象は心疾患の無いものであるため、容積算出は妥当と判断した。mVCFの算出には容積が関係しないので、左室拡張例でも使用可能であろう。

2. 動的運動負荷心エコー図法の手技について

動的運動負荷中に、心エコー図法を導入するにさいしての問題点としては、動的運動負荷中に心エコー図が鮮明に撮れるかという手技上の問題、判読に耐える心エコー図が得られたとしても、その心エコー図から測定した左心機能の指標の値が、安静時に比較して、心エコー図から左心機能の指標の値を算出するときの仮定からはずれていないか、の2点に絞られる。

後者に関しては、安静時に測定が可能であれば安静時と同じ仰臥位にして、心腔内同一場所で撮られた心エコー図であれば、心拍数の遅速にかかわらず安静時と全く同じ条件と考えた。

従来、動的運動負荷中に心エコー図法が行われなかったのは、むしろ手技上に困難があると想像されたためと推測される。

1) 体位は安静時に心エコー図を撮る場合と同じ、仰臥位にすれば撮影可能である。

2) 運動中身体の揺れ動きを防ぐため、特殊な台を考案し、被検者を両肩のところでしっかり固定した。身体を固定しても、運動により心拍数が増加すると心臓がおどり、胸壁上同一場所から探触子を当てていても、心腔内同一場所に超音波が当たらなくなることがあり、撮影時には安静時、運動中を問わずスキャンを行い、同一心腔内最大短径を撮るよう努力した。

3) 我々の動的運動負荷心エコー図法により計算された循環動態諸量の信頼性をみる目的で、動的負荷心エコー図法、色素希釈法の二方法により求めた心拍出量を比較した。安静時における比較は諸家が行っており、極端な場合を除き非常に良く相関するといわれているが、我々の検討でも、運動中、安静時ともに二方法により算出された心拍出量はともに良い相関を示した。左室心筋短縮速度の他の方法との比較は、左室造影を健康人に行うわけにはいかずなされていないが、妥当であろうと推測される。

3. 運動負荷方法の問題

我々は心拍数 100/分のレベルまで運動負荷を行った。それは3つの理由による。

1) 心エコー図撮影の障害となる肺の動きが運動中は増強し、運動中の心エコー図が不鮮明となることが多い。心拍数 100/分 くらいの運動においては肺の動きがあまり大きくなりないので、これを選んだ。

2) 心拍数 100/分 までの運動であれば、中、高年齢あるいは潜在性虚血性心疾患患者にも安全である。このレベルは、心疾患患者も日常生活で常に経験するレベルである。また、このレベルでも、我々の成績のごとく、心機能指標に十分の変化が現れている。

3) 最大酸素摂取量の 50～90% の範囲では、

心拍数と運動水準との間には直線関係があるといわれており、各症例ごとの心拍数が 100/分 という同一の運動水準の感じ方のレベルで比較検討することは、運動負荷試験においても、さらにその応用としての運動療法の効果判定においても、有用と考えられる。

以上本法は、十分臨床的に応用しようと考えられ、

- 1) 他の方法に比し、左室 dimension を含む左心機能に関して得られる情報が多いこと、
 - 2) 非観血的であり反復検査が可能なこと、
 - 3) 各心拍ごとの心臓の動きを直接目で確かめられること、
 - 4) 1心拍ごとの心機能を測定できること、
- など優れた面を持っており、広く臨床に応用されることが期待される。

ま と め

1) 我々は左心機能予備力をみる目的で、エルゴメーターによる動的運動中の心エコー図法を試みた。

2) 動的運動負荷の体位は、仰臥位にし、運動中の身体の揺れ動きを防ぐため、特殊な台を考案し、被検者の身長に合わせて両肩のところで固定した。

3) 運動中の心エコー図より計算された心拍出量は、色素希釈法による心拍出量と非常に高い相関を示した。

4) 左室 dimension その他の左室機能に関する多くの情報が、非観血的に簡便に得られ、それにより左心機能予備力が知られることから、今後臨床に広く用いられることが期待できる。

なお、健康人年齢別の動的運動負荷心エコー図法による心機能の測定、スポーツ心の動的運動負荷心エコー図法による左心機能の運動に対する反応性などについては、第 83 回日本循環器学会関東甲信越地方会、第 41 回日本循環器学会総会、第 32 回日本体力医学会で報告している。

ご校閲いただいた伊藤 巖教授に深謝します。

文 献

- 1) Stefadourous JA, Grossman W, Shaway ME, Stefadourous F, Witham AC: Non-invasive study of effect of isometric exercise on left ventricular performance on normal man. *Brit Heart J* **36**: 988, 1974
- 2) Kraunz RF, Kennedy JW: Ultrasonic determination of left ventricular wall motion in normal man. Studies at rest and after exercise. *Amer Heart J* **79**: 36, 1970
- 3) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
- 4) Feigenbaum, H: Use of ultrasound to measure left ventricular stroke volume. *Circulation* **35**: 1092, 1967
- 5) 町井 潔: 左心機能. 心臓の超音波検査法. 中外医学社, 東京, 1976, p. 166
- 6) Fortuin NJ: Evaluation of left ventricular function by echocardiography. *Circulation* **46**: 26, 1972
- 7) Fortuin NJ: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575, 1971