

## 心機図による非観血的心機能評価とその問題点

## Problems in the non-invasive evaluation of cardiac function by mechanocardiography

宿谷 正毅  
増田 善昭

Masaki SHUKUYA  
Yoshiaki MASUDA

### Summary

Simultaneous recording of the left ventricular and aortic root pressures, carotid pulse wave, electrocardiogram (ECG), phonocardiogram (PCG) and apex cardiogram disclosed that the left ventricular ejection time (ET) measured externally was correlated closely with the one measured internally ( $r=0.91$ ) and the initial point of the left ventricular pressure curve coincided with the C point of the apex cardiogram. The STI measured externally was correlated well with the directly measured STI of the left ventricle, though the absolute values were different. Therefore, the STI obtained non-invasively was clinically useful to predict true STI of the left ventricle.

Correlation between STI and the cardiac index (CI) determined by Fick's method was investigated in 24 cardiac patients without mitral or aortic regurgitation or shunt disease. The correlation coefficients between CI and preejection period (PEP), stroke volume (SV) and ET, stroke index (SI) and ET were  $-0.51$ ,  $0.496$  and  $0.476$ , respectively. Our results disclosed that, though STI was related to cardiac output (CO) and ejection fraction (EF), the correlation coefficients were too low to predict CO and EF directly from the STI, and it was suggested that the STI was influenced by many other factors.

In 15 anesthetized dogs, the effects of heart rate, preload and afterload on the STI were studied by changing each parameter independently. ET was shortened with increasing heart rate and afterload, while it was prolonged with increasing preload. PEP was related directly to afterload and inversely to preload. PEP was not so affected by heart rate as ET. Thus, the STI was influenced by heart rate, preload and afterload in addition to myocardial contractility. Therefore, cardiac function known from the STI should be carefully evaluated after due consideration to these parameters.

### Key words

Non-invasive mechanocardiography  
Afterload

Systolic time intervals

Cardiac output

Preload

### はじめに

患者に危険や苦痛をあたえることなく簡単に検

査ができるという点で、非観血的な心機図法の臨床的価値は大きい。一方、観血法との対比により、心機図法の限界とその応用範囲もしだいに明

千葉大学医学部 第三内科  
千葉市亥鼻 1-8-1 (〒280)

The Third Department of Internal Medicine,  
Chiba University School of Medicine, Inohana 1-8-1,  
Chiba 280

Presented at the 19th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 20-21, 1979

Received for publication March 14, 1980

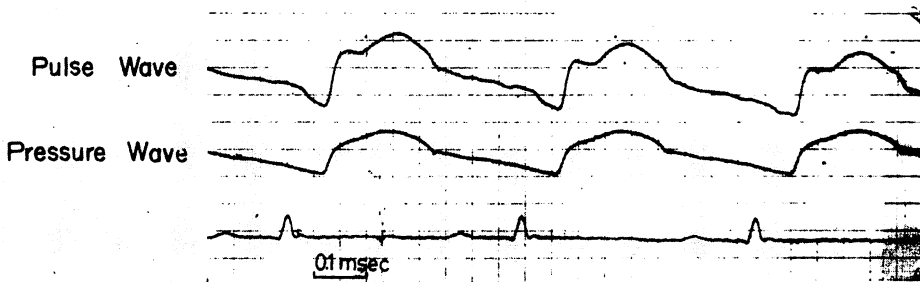
確にされつつあり, 過去において一部にみられた過大評価が反省されていることも事実である. 今回は, 主として心機図から求められる左室収縮期心時相値 STI の臨床的有用性と, その限界について述べる.

### 観血法との対比

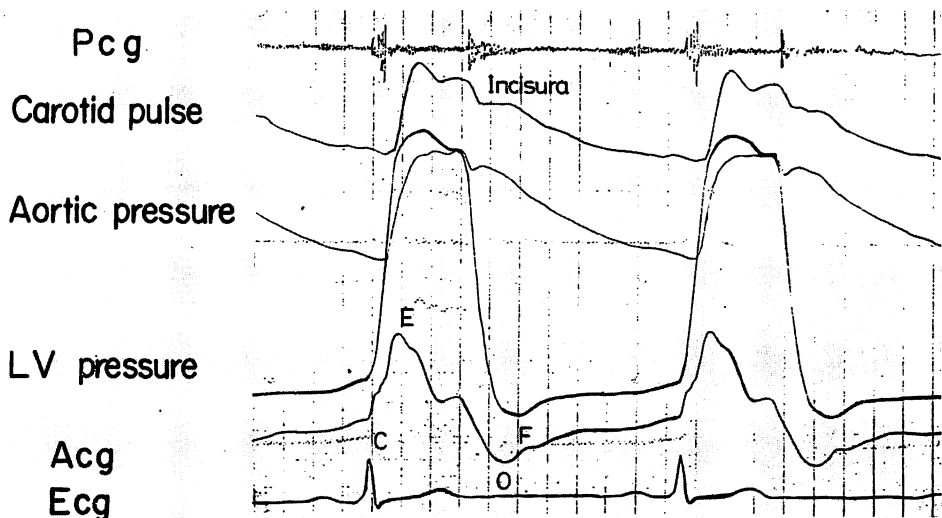
はじめに, 基礎的問題として観血法と非観血法による同時記録から, 両者の波形および時相について, 相互の関係を検討した.

**Fig. 1** はイヌの胸部大動脈を露出し, 圧波と脈波を同一部で同時記録したものである. 圧波記録には, カテ先マイクロマンメーターを, 脈波記録には直接接点型の Infracor 脈波計を使用した. 図のごとく, 圧波と脈波の波形は, 全体としてよく類似するが, 脈波では上昇脚の肩および収縮後期の波形がより著明である. 立ち上がり点および切痕の2点について圧波と脈波の時間的關係をみると, 1~4 msec 圧波が脈波に先行していた.

つぎに, ヒトの左室内圧, 大動脈基部圧と, 頸



**Fig. 1.** Simultaneous recording of the pressure wave and pulse wave obtained from the thoracic aorta of an anesthetized dog (11 kg).



**Fig. 2.** Simultaneous recording of left ventricular and aortic root pressures by micro-manometer and non-invasive mechanocardiogram (S.F., 24-year-old male, juvenil hypertension).

Pcg=phonocardiogram; LV=left ventricular; Acg=apex cardiogram; Ecg=electrocardiogram.

動脈脈波. 心尖拍動曲線を同時記録して比較すると, Fig. 2のごとく, 心尖拍動曲線(ACG)の収縮期立ち上がり点(C点)は左室圧曲線の立ち上がり点と時間的にほぼ一致していた. すなわち心尖拍動曲線のC点は左室の機械的収縮の開始点として用いると考えられる. 頸動脈脈波は, 大動脈基部圧波にわずかに遅れ, ほぼ類似した経過をとった. この時間的ずれは, 大動脈基部から頸動脈の脈波採取部位への波の伝播に要する時間(pulse transmission time)を示し, 心機図では心音図のII音大動脈成分から頸動脈脈波の切痕までの時間(Ia-In)として測定できる.

我々はUCGの大動脈弁開放開始点から頸動脈脈波の立ち上がり点までの時間(Ao-U), 大動脈弁閉鎖完了点から頸動脈脈波の切痕までの時間(Ac-In)を測定し, これを従来方法であるIa-Inと比較した結果, Ac-InはIa-Inにほぼ一致するが, Ao-UはAc-In, Ia-Inより大きな値を示した. これは拡張末期の圧の低い脈波立ち上がり部分と, 収縮末期の圧の高い切痕部分での脈波伝播速度の差によるものと思われ, 大動脈の圧波が全く一様に伝播するものではないことを示している. 頸動脈脈波から計測した駆血期ETと大動脈基部圧波から求めたETの間には,  $r=0.99$ の高い相関があることがすでに報告されているが<sup>1)</sup>, 我々の計測でも,  $r=0.91$ の良好な相関があった. さらに我々が脈波によるETと, UCGの大動脈弁の開放から閉鎖までの時間を比較した結果では, 前述した伝播時間の関係で, 脈波によるETはUCGから求めたETより平均10 msec小さいものの,  $r=0.98$ の相関があった<sup>2)</sup>.

つぎに, 頸動脈脈波と大動脈基部圧波の波形を比較すると, 脈波では切痕などの高周波成分の減少, tidal waveの増大などの点で, 大動脈基部圧波と異なり, 圧波の伝播に伴い, 波形の変化のおこることが示された. 左室圧曲線と心尖拍動曲線に関しても, 波形は必ずしも一致はしなかった. 以上の事実から, 心電図, 心音図, 頸動脈脈波を

同時記録することにより, 心電図のQ波から心音図のII音大動脈成分までの時間を, 電気・機械的左室収縮時間, 脈波の立ち上がりから切痕までを左室駆血期ET, 両者の差を前駆血期PEPとして求めた値は, 大動脈基部あるいは左室内現象とよく合致し, 臨床応用への妥当性が裏づけられた.

PEPは左室の電氣的興奮の開始から機械的収縮開始までの時間(電気, 機械的潜伏期, electro-mechanical latent time)と, 等容性収縮期(ICT)に分けられる. このさい, 左室の機械的収縮の開始を非観血法でどのように知るかが問題となるが, Holldack<sup>3)</sup>はこれをI音主成分の始まりとし, Oreshkovら<sup>4)</sup>は心尖拍動曲線のC点とした. すなわち, Holldackの方法によれば, PEPはQ-I間隔とICTに分けられ, Oreshkovの方法によればPEPはQ-C間隔とICTに分けられる. この2つのICTは異なる方法で得られるため, ここでは便宜上, 頸動脈脈波を必要とする前者のICTをICTcar, ACGを必要とする後者のICTをICTacgと呼び以下区別することにした. 前述のように, 左室圧上昇脚の開始点はACGのC点に時間的にほぼ一致するゆえ, ICTを知る

Table 1. Correlation between STI and cardiac output

CI	LVET	$r=0.08$	
	LVETc	$r=0.417$	$p<0.05$
	PEP	$r=-0.510$	$p<0.02$
	ET/PEP	$r=0.43$	$p<0.05$
SI	LVET	$r=0.476$	$p<0.02$
	LVETc	$r=0.457$	$p<0.02$
	PEP	$r=-0.320$	
	ET/PEP	$r=0.443$	$p<0.05$
SV	LVET	$r=0.496$	$p<0.02$
	LVETc	$r=0.402$	
	PEP	$r=-0.340$	
	ET/PEP	$r=0.452$	$p<0.05$

CI=cardiac index; SI=stroke index; SV=stroke volume.

には ICTacg がより望ましく, 本報告では ICTacg を用いた. しかし, ICTacg には心電図, 心音図, 頸動脈脈波, 心尖拍動曲線の4種の曲線の同時記録を要し, 3種の曲線で済む ICTcar に比較し, 技術的に面倒な点もあり, 臨床的には ICTcar で代用することが多い.

**頸動脈脈波より測定される左室収縮期  
心時相と心機能**

頸動脈脈波を利用して求めた STI が, どの程度に心機能を反映するかを検討した. 右心カテー

テルを施行し, 直接 Fick 法により心拍出量を測定した各種入院患者のうち, 不整脈, シヤント性心疾患, 大動脈弁閉鎖不全症, 僧帽弁閉鎖不全症を除いた24例の心係数 CI, 一回拍出量 SV, 一回拍出量係数 SVI を心機能の指標とし, 同時記録した心機図からの STI と比較した. 結果は **Table 1** のように, CI は PEP と逆相関, ET/PEP と正相関, SV は ET および ET/PEP と正相関が認められた. これまでにも STI と心拍出量または駆出分画を比較した多くの報告があるが, 初期の報告では STI とこれらの値の相関が

**Table 2. Correlation between STI measured noninvasively and cardiac indices obtained from invasive method**

Author	Date	Coefficient of correlation	No of subject	Method	
Weissler <sup>5)</sup>	1969	ETc & CI	+0.62	Hypertension	Dye dilution
		ETc & SI	+0.60	IHD	
		PEPc & CI	-0.72	Cardiomyopathy	
		PEPc & SI	-0.80	(n=34)	
		PEP/ET & CI	-0.71		
		PEP/ET & SI	-0.82		
Garrard <sup>6)</sup>	1970	PEP/ET & EF	-0.72	IHD (n=15)	Ventriculography
			-0.83	Mitral (n=36)	
			-0.93	Others (n=14)	
			-0.91	(Total n=65)	
		PEPc & EF	-0.77		
		ETc & EF	-0.60		
Sawayama <sup>7)</sup>	1973	ETc & SV	+0.65	Mitral valve disease	Fick method
		PEPc & CO	-0.61	IHD	
		PEPc & CI	-0.51	(n=24)	
		PEPc & SV	-0.62		
		ET/PEP & SV	+0.82		
		ET/PEP & SI	+0.61		
Masuda	1973	ET & SV	+0.50	Cardiac diseases	Fick method
		ET & SI	+0.48	without MR, AR	
		PEP & CI	-0.51	and shunt disease	
		ET/PEP & SV	+0.45	(n=24)	
		ET/PEP & SI	+0.44		
		ET/PEP & CI	+0.43		
Eddleman <sup>8)</sup>	1977	PEP & EF	-0.45	IHD	Ventriculography
		ET & EF	+0.44	(n=224)	
		PEP/ET & EF	-0.55		

きわめて良いものの、最近のものでは我々の例も含め、初期の報告ほど相関は良いものではない (Table 2).

対象および方法による差もあるかと思われるが、以上の結果は STI が直接的に心拍出量あるいは駆出分画を反映するものではなく、多くの因子により左右されることを意味するように思われる。

そこで動物実験により、心拍数、preload, afterload をおのおの独立に、任意に制御することにより、それぞれの STI への影響を観察した。方法は 15 頭の雑種成犬を用い、ネンプタル麻酔後、心拍数は右房 pacing と迷走神経刺激を併用して、血圧は Krayer の大動脈 clamp 法で、また、静脈還流量は中心静脈への血漿代用剤の補液により、それらをそれぞれ別個に変化させることにより、各因子がどのように STI に影響するかを調べた。

心拍数と大動脈拡張期圧を一定に保ち、静脈還流量を変化させることにより、一回拍出量を変化させ、そのさいの ET と PEP の変化をみると、Fig. 3 のように、ET は一回拍出量の増加と

ともに延長し、PEP は逆に短縮した。

大動脈拡張期圧、静脈還流量を一定にし、心拍数を変えると、Fig. 4 のように、心拍数の増加により ET は短縮した。しかし、その短縮の程度は心拍数の増加による一回拍出量の低下のみでは説明しえないほど大きく、ET は心拍数の変化に直接影響される部分もあると考えられる。心拍数同一部分で、拡張期圧の ET への影響をみると、ET は拡張期圧が高くなると短縮した。一方、PEP は心拍数を一定にし、拡張期圧を変化させると、圧の上昇とともに延長した。同一拡張期圧の部分で、心拍数の違いによる PEP の差は少なく、ET と異なり、PEP は心拍数による影響はあまり受けないといえる (Fig. 5).

このような事実は、臨床的にも人工 pacing のさいに認められる。Fig. 6 は右室 pacing で、pacing rate を変化させたさいの ET, PEP を示しており、ET は pacing rate の増加とともに短縮するが、PEP はほぼ不変である。心拍数の増加により PEP が短縮するという従来 of Weissler らの報告は、頻脈のさいに多くの場合同時に存在

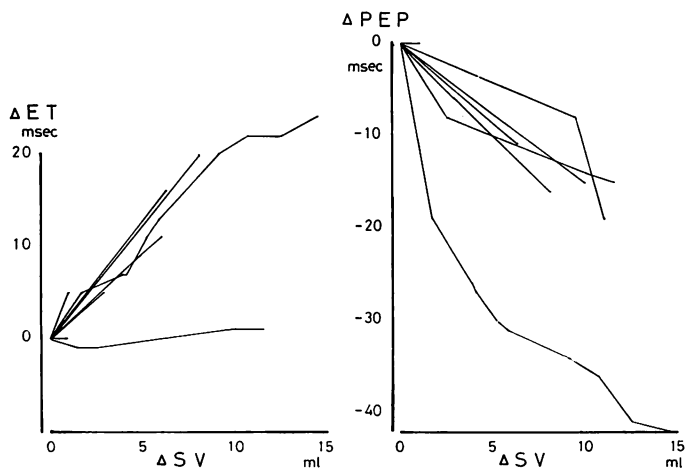
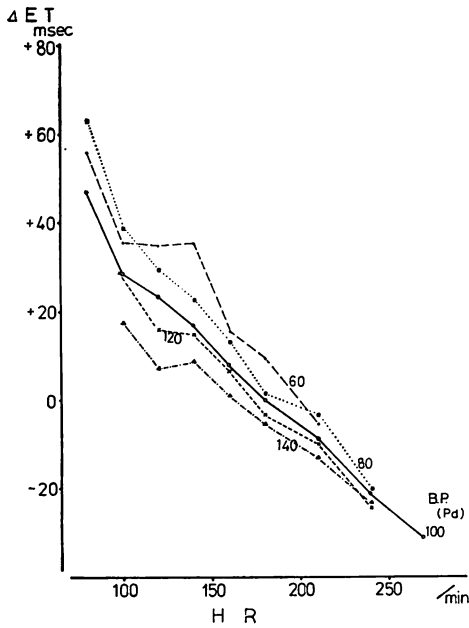


Fig. 3. Changes in STI in various venous return at constant heart rate and diastolic aortic pressure.

Stroke volume (SV) correlates directly with ejection time (ET) and inversely with prejection period (PEP).

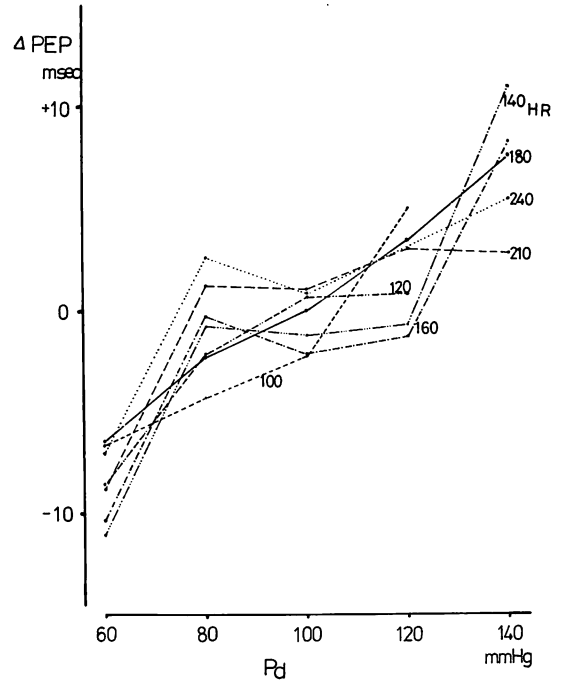


**Fig. 4. Relationship between ET and heart rate (HR) at various diastolic aortic pressure (Pd).**

At constant venous return and diastolic aortic pressure, ET is shortened with increasing heart rate.

する交感神経の興奮の影響を除外していないためと考えられる。以上の動物実験の結果は、一回拍出量の増加、すなわち preload の増加は、ET の延長、PEP の短縮をおこし、大動脈拡張期圧の上昇、すなわち、afterload の増加により ET は短縮、PEP の延長がおこり、さらに心拍数の増加は ET の短縮をおこさせるものの、PEP には直接影響がないことを示している。

このように、STI は心拍数、preload、afterload の変化により直接的に影響を受けて変化するが、実際の臨床では、これらの影響要素に加え、さらに心筋の収縮性、自律神経の緊張の状態、体液性の因子等、多くの要素が複雑にからみあって STI の各値を変化させている。そこで、つぎに各種心疾患について、STI が心筋の収縮性あるいは血行動態の特徴をどのように反映しうるかを検討した。



**Fig. 5. Relationship between PEP and diastolic aortic pressure (Pd) at various heart rate (HR).**

PEP varies inversely as diastolic aortic pressure is elevated at the constant heart rate.

高送血性心疾患あるいは preload の増加する代表的疾患である動脈管開存症、貧血、甲状腺機能亢進症における STI の各値は、Fig. 7 に示すように、動脈管開存症、貧血では、ET が健常例に比較してわずかに延長し、PEP は有意に短縮していた。一方、甲状腺機能亢進症では、ET および PEP はいずれも短縮し、とくに PEP の短縮が他 2 疾患よりも顕著であった。ET は心拍数の影響を考慮し、われわれが健常者、安静時の ET と心拍数の関係から求めた補正式 ( $ET_c = ET + 1.54HR$ ) を用い、 $ET_c$  で比較したが、他の 2 疾患のように有意な延長は認められなかった (Fig. 8)。これは、心拍出量の増大、PEP の著明な短縮をあわせ考えると、心筋収縮性の増加が駆血速度も増加させ、preload の増加にもかかわらず、ET の延長を相殺したためと考えられる。

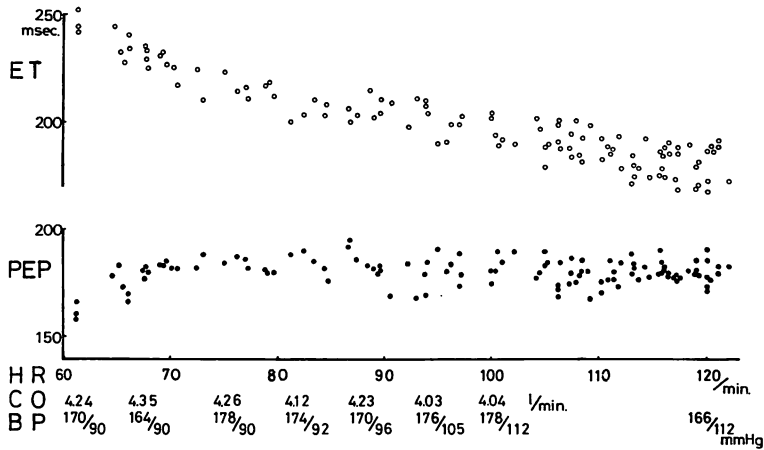


Fig. 6. Relationship between STI and heart rate (HR) in a patient with right ventricular pacing.

CO=cardiac output; BP=blood pressure.

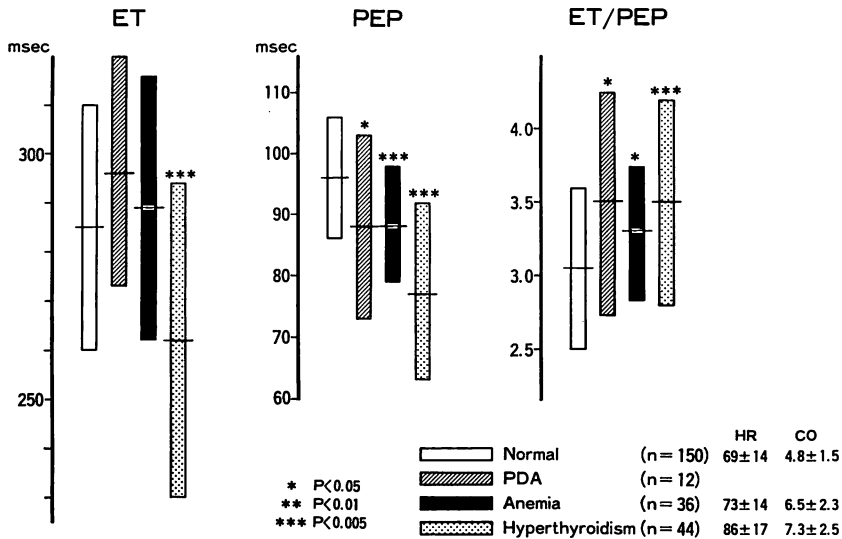


Fig. 7. The characteristics of STI in the cardiac diseases with volume overload.

Fig. 9 は afterload の加わる代表疾患として、高血圧症と大動脈弁狭窄症の STI をみたものである。高血圧症では、動物実験でみられたと同様に、拡張期が高いほど ET は短かく、PEP は延長していた。その結果 ET/PEP は、拡張期圧の上昇に伴い有意に低下した。一方、大動脈弁狭窄

症では弁開放以後に左室に負荷が加わるため、ET は延長し、PEP は短縮した。したがって、両疾患ともに左室圧負荷疾患ではあるが、負荷の原因の違いにより、影響を受ける心時相にも差があり、その結果として ET/PEP はまったく相反する変化を示した。

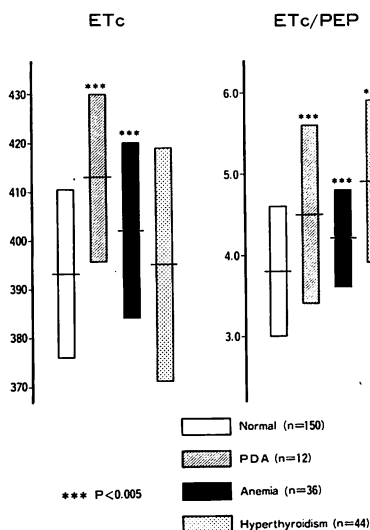


Fig. 8. Comparison of ETc (ET corrected with heart rate) among PDA, anemia and hyperthyroidism.

つぎに、心機能低下疾患として、うっ血型心筋症および心筋梗塞症の STI を健常群と比較した。Fig. 10 に示すようにうっ血型心筋症では、心拍数が健常者よりも多少頻脈ではあるものの、それを考慮しても著明な ET の短縮があり、PEP は延長していた。心筋梗塞群では、全体でみるとうっ血型心筋症ほど著明ではないが、ET の短縮、PEP の延長が認められた。しかしこの群では梗塞の部位、その範囲の違いにより、当然心機能にも差があり、STI では健常群との差を認めない例も多かった。以上のように、STI は心筋収縮性の違いも反映するが、臨床的には同時に存在する心拍数の違い、preload, afterload の程度の違いに強く影響される。

したがって、これらの因子に明らかな差のある疾患、あるいは同一疾患でも条件が大きく異なる個体間での心機能を STI から判定し、比較することには、かなりの注意が必要となる。しかし、条件のほぼ等しい症例間、あるいは临床上とくに

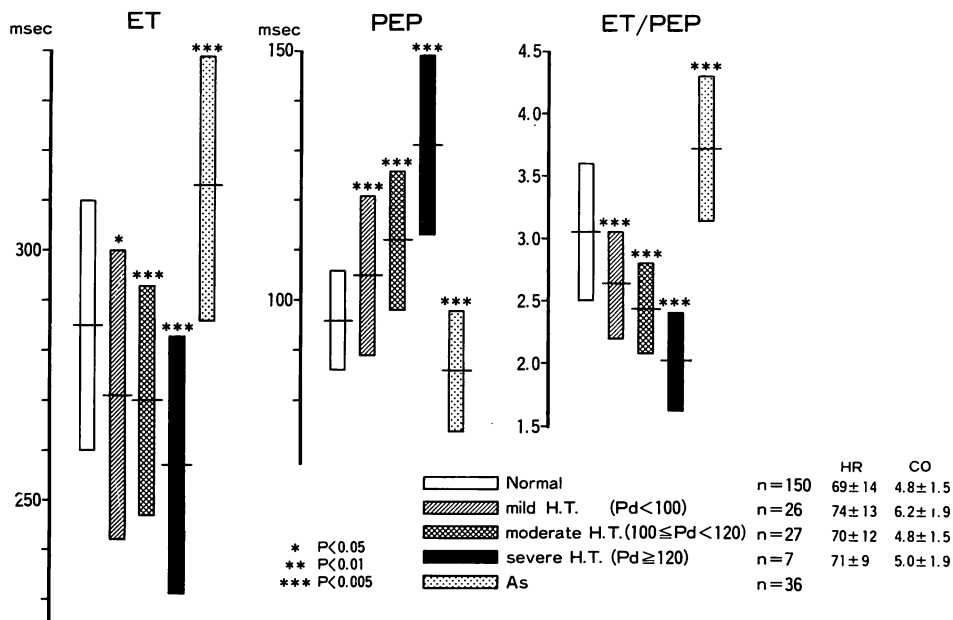


Fig. 9. Comparison of STI in hypertension and aortic valve stenosis, both of which are the diseases with pressure overload (afterload).



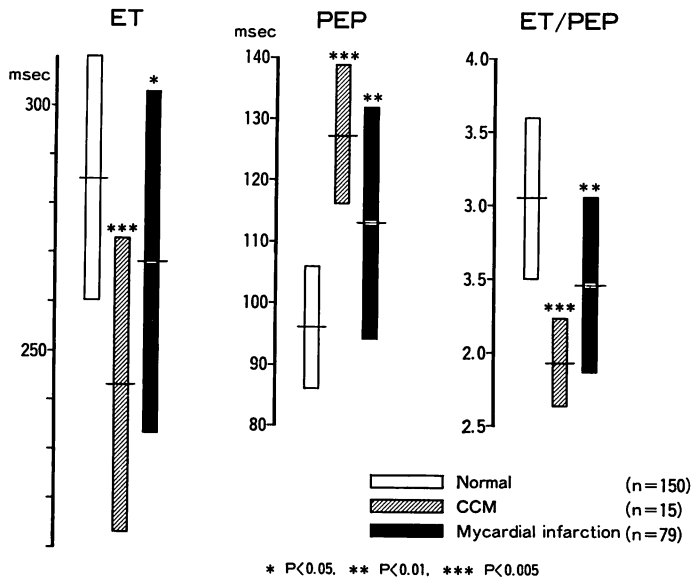


Fig. 10. STI in congestive cardiomyopathy (CCM) and myocardial infarction which are the representative cardiac disorders with impaired myocardial contractility.

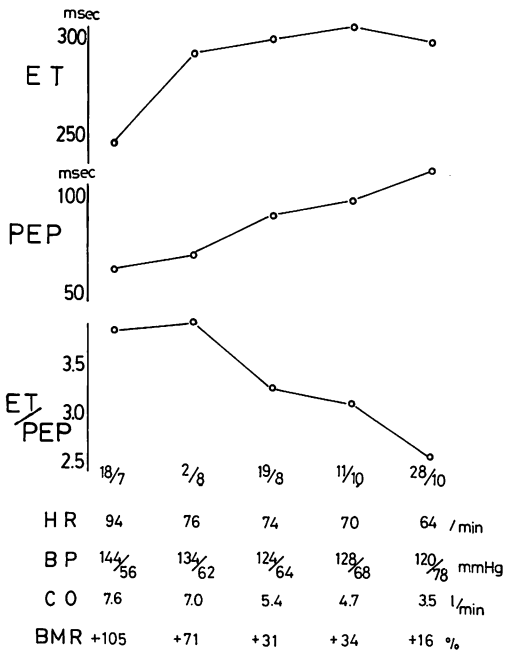


Fig. 11. Serial changes in STI in a patient with hyperthyroidism (T.M., 34-year-old female).

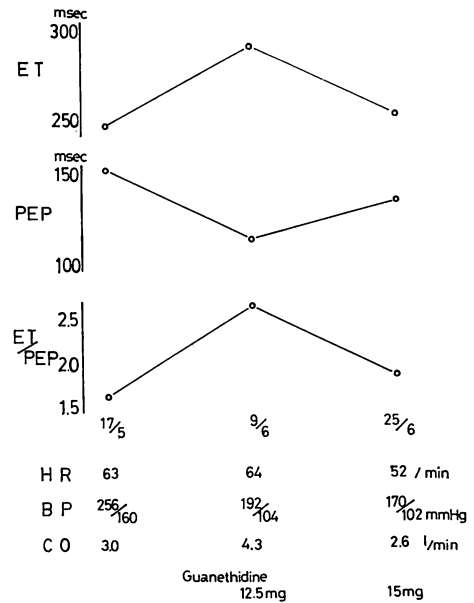


Fig. 12. Serial changes in STI in a patient with hypertensive cardiac disease and hypertensive encephalopathy (M.Y., 51-year-old male).

必要性の多い, 同一個人の経過を追っての心機能の観察には, 観血法の煩雑さや危険性に比較すると STI の有用性は大きい。

**Fig. 11** は甲状腺機能亢進症例の治療に伴う STI の経時的変化過程である。治療開始時の BMR 高値の時期には, ET の短縮, PEP の著明な短縮がみられ, ET は頻拍の影響を心拍数で補正しても延長を認めなかった。すなわちこの時期の STI はサイロキシンによるカテコラミン感受性の増大により, 心筋の陽性変力作用が増し, 収縮速度をはやめ, さらに静脈還流量の増加が加わって, PEP は著明に短縮し, ET も短縮していると解釈される。そして, 治療とともに, 血行動態の変化をよく反映して, STI も変化していった。

**Fig. 12** は高血圧性心疾患に高血圧性脳症を合併した症例の STI の経時的変化である。治療前の血圧 256/160 mmHg のさいには PEP は著明に延長し, ET は短縮, ET/PEP は著しい圧負荷と心拍出量の低下により正常域をはるかに下まわっていた。治療により, 血圧が 192/104 mmHg に下がった時点では, 心拍出量も増し, STI の各値は正常化の傾向をとった。しかし, さらに血圧を下げるべく降圧剤を増量した結果, PEP は再び延長し, ET/PEP は減少した。この時点では心拍出量も減少し, この症例にとって至適血圧以下であり, いわゆる floor state にあると解釈される。

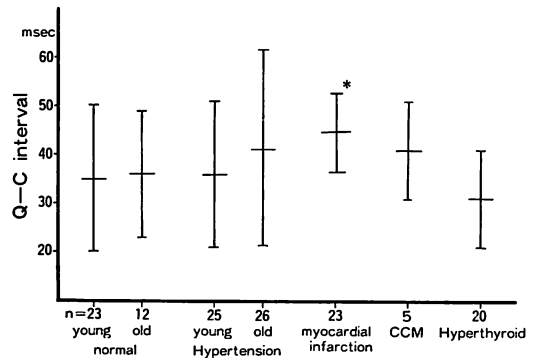
### 心尖拍動曲線より測定される心時相

以上は頸動脈脈波を利用した左室収縮期心時相値の分析についてであるが, つぎに, 心尖拍動曲線から求められる各パラメーターの, 各種心疾患にみられる差異について簡単に述べる。

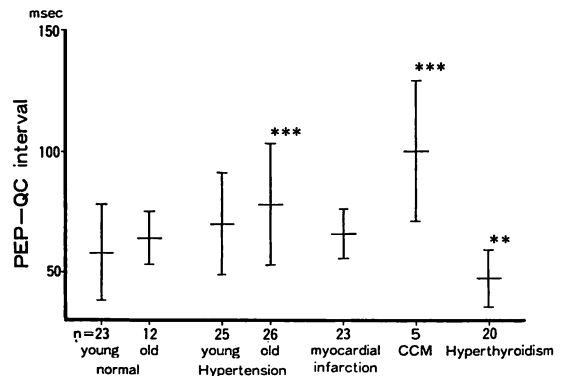
前駆血時間 PEP の要素である electromechanical latent time は, Q 波開始から心尖拍動曲線の立ち上がり点までの Q・C 時間で表わすのが, 心内現象と一致することは前に述べた。Fig. 13 にみられるように, この値は心筋梗塞群でわずかに

延長しているが, 年齢および各心疾患の間にはほとんど差がない。等容性収縮期を現わす ICTagc は高血圧症, うっ血型心筋症では延長し, 甲状腺機能亢進症では短縮, 心筋梗塞ではわずかに延長がみられた (Fig. 14)。

心尖拍動曲線の 0 点は従来僧帽弁開放に一致すると考えられ, したがって, II-O 時間は等容性拡張期を示すとされていた。しかし, UCG の僧帽弁開閉運動と心尖拍動曲線の同時記録からは, 0 点は僧帽弁開放の開始と最大開放の間の, より後者に近い点にある。したがって, II-O 時間には等容性拡張期に, さらに僧帽弁の開放開始から最大開放までにはほぼ等しい時間 70 msec 前後が



**Fig. 13. Comparison of Q-C interval between normal and various cardiac diseases.**



**Fig. 14. Comparison of PEP-QC interval (ICTagc) between normal and various cardiac diseases.**

加算されている。各種心疾患について II-O 時間をみると、健常例でも加齢とともに延長し、高血圧症、心筋梗塞症、うっ血型心筋症では、健常例に比し、著明に延長しており、心筋の拡張能の変

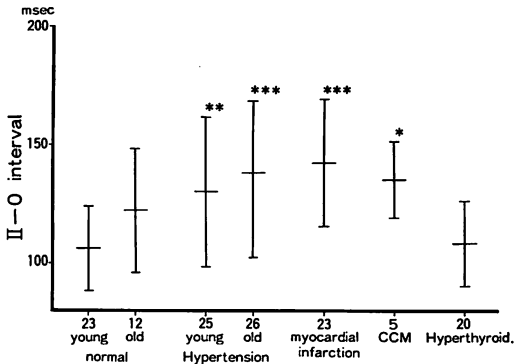


Fig. 15. Comparison of II-O interval between normal and various cardiac diseases.

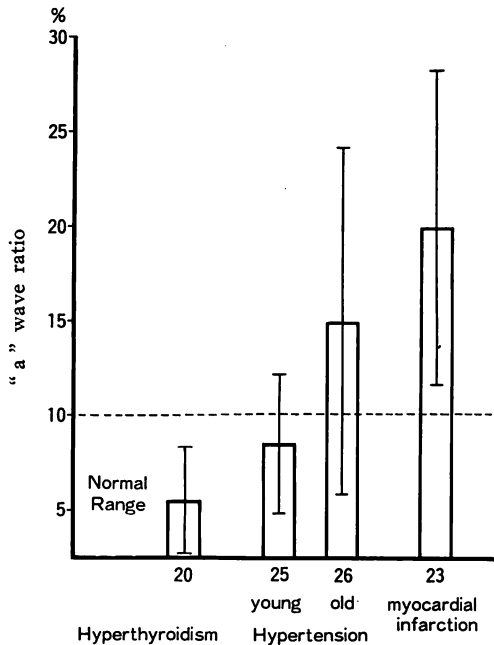


Fig. 16. The normal range of "a" wave ratio in the Acg and comparison of the mean values among hyperthyroidism, hypertension and myocardial infarction.

Dashed line indicates the upper normal limits.

化を反映していると考えられる (Fig. 15).

心尖拍動曲線の波形からは、とくに心室瘤を主として、心筋収縮様式の変化、あるいは左室の拡大、肥大、さらには心機能を推定することが行われる。なかでも収縮早期にみられる a 波の波高あるいは全波高に対する a 波波高の率は、左室の収縮期負荷に伴う左房負荷、左室の緊張低下、コンプライアンスの低下時に増加し、左心機能の指標として繁用されている。この a 波率を健常例および各心疾患群についてみると、Fig. 16 のように、壮年以後の高血圧症および心筋梗塞群で有意に高かった。

### まとめ

心機図法により得られる左室収縮期心時相値は、左室圧曲線、大動脈基部圧波から求めた値とよく一致しているが、それらの数値は従来いわれているほど直接心拍出量、駆出分画などを表現するものではなく、Figs. 17, 18 のように、多くの因子により左右された。したがって、STI から心機能を判定するさいには、背景にある影響因子を十分に考慮する必要がある。しかし、観血法による心機能検査では、観血という stress が必ず加わる一方、必要な時に常に実施可能とは限らない。この点で、判定にある程度の困難さは伴うものの、安全に、簡便に、かつ繰り返し実施できる非観血法による STI の分析は、臨床的にますます普及するものと考えられる。

### 要約

1) 左室圧、大動脈基部圧と非観血法による心機図(頸動脈脈波、心電図、心音図、心尖拍動曲線)を同時記録した結果、非観血法により計測した左室駆出時間は、観血法で求めた値と密接な相関関係があり、相関係数は 0.91 であった。また、左室圧曲線の上昇開始点は心尖拍動曲線の C 点と一致していた。絶対値では一致しないが、非観血法による収縮期心時相値は観血法により直接求めた左室の収縮期時相と良く相関した。したがっ

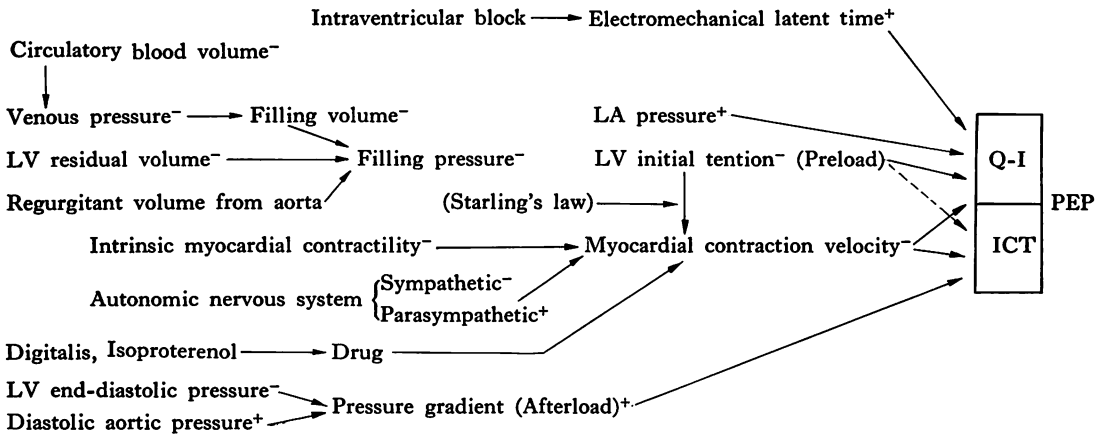


Fig. 17. Factors influencing PEP.

+ = direct correlation ; - = inverse correlation.

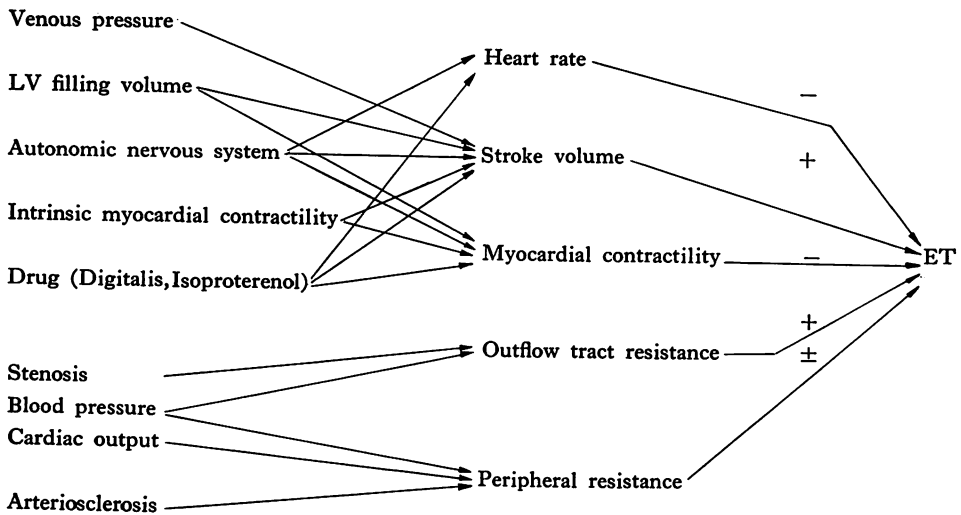


Fig. 18. Factors influencing ET.

+ = direct correlation ; - = inverse correlation.

て、非観血法による収縮期心時相値は、臨床的に左室の本来の収縮期時相を知るうえで有用である。

2) 収縮期心時相値と、Fick 法で求めた心機能の指標を、僧帽弁閉鎖不全症、大動脈弁閉鎖不全症およびシャント性心疾患を除いた、24 例の心疾患患者を対象として検討した。CI と PEP、

SV と ET、SI と ET の相関係数は、それぞれの -0.51, 0.496, 0.476 であった。

Weissler ら、Garrard らは、過去に STI は心拍出量、駆出分画と有意な相関があると報告した。我々の結果、あるいは最近のいくつかの報告では、STI は心拍出量、駆出分画と相関はある

ものの、その相関係数は低く、STI から直接心拍出量、駆出分画を推定することは困難である。このことは STI が、他の多くの因子の影響を受けることを示唆している。

3) 15 頭の麻酔犬を使って、心拍数、preload, afterload をそれぞれ独立して変化させることにより、各因子の STI におよぼす影響を調べた。ET は心拍数、afterload の増加により短縮し、preload の増加により延長した。PEP は afterload と正相関、preload と逆相関の関係にあった。PEP は ET ほど心拍数の影響は受けなかった。このように、STI は心筋収縮性以外に心拍数、preload, afterload に影響を受けた。それ故、STI から心機能を評価するさいには、これらの因子に対する十分な考慮を払わなければならない。

#### 文 献

- 1) Martin CE, Shaver JA, Thompson ME, Reddy PS, Leonard JJ: Direct correlation of external systolic time intervals with internal indices of left ventricular function in man. *Circulation* **44**: 419-431, 1971
- 2) 稲垣義明, 増田善昭, 小沢 俊: 特集: 心エコー図と他の生体情報との関連. 心機図との関連. *超音波医学* **6**: 89-95, 1979
- 3) Holldack K: Die Bedeutung der Umformungs- und Druckanstiegszeit für die Herzdynamik. *Dtsch Arch klin Med* **198**: 71-91, 1951
- 4) Oreshkov V: Indirect measurement of isovolumetric contraction time on the basis of polygraphic tracing. *Cardiologia* **47**: 315-322, 1965
- 5) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Bedside techniques for evaluation of ventricular function in man. *Amer J Cardiol* **23**: 577-583, 1965
- 6) Garrard CL, Weissler AM, Dodge HT: The relationship of alteration in patients with cardiac disease. *Circulation* **42**: 455-462, 1972
- 7) 沢山俊民, 勝目 紘, 鼠尾祥三, 唐原 優: 心機図による左室収縮時間と心内現象との対比. *臨床心音図* **3**: 141-149, 1973
- 8) Eddleman EE, Swatzeel RH, Bancroft WH, Baldone JC, Tucker MS: The use of the systolic time intervals for predicting left ventricular ejection fraction in ischemic heart disease. *Amer Heart J* **93**: 450-454, 1977