

左房収縮期時相に及ぼす影響因子：
年齢および心電図時相との関係

The Influence of Electrical Time Interval Indices and Aging on the Left Atrial Systolic Time Intervals

竹内陽史郎*
横田 慶之
川合 宏哉
津村 康弘
中谷 真
志手 淳也
横山 光宏

Yoshio TAKEUCHI*
Yoshiyuki YOKOTA
Hiroya KAWAI
Yasuhiro TSUMURA
Makoto NAKATANI
Junya SHITE
Mitsuhiro YOKOYAMA

Abstract

The influence of aging and heart rate on left ventricular systolic time intervals is well known, but the effects on left atrial systolic time intervals, a new index of left atrial function, remain unknown. The influence of aging and heart rate on left atrial systolic time intervals was investigated in 43 normal subjects (13-72 years of age) by Doppler echocardiography. Atrial pre-ejection period, atrial ejection time, and corrected atrial pre-ejection period were obtained by transmitral Doppler echocardiography. Simple regression analysis showed atrial pre-ejection period significantly correlated with P wave duration (PP; $r=0.78$), and PR interval (PR; $r=0.60$), but not with RR interval (RR). However, multiple regression analysis showed atrial pre-ejection period significantly correlated only with PP. Simple regression analysis found atrial ejection time significantly correlated with PP ($r=0.38$), and PR ($r=0.39$), but not with RR. However, multiple regression analysis found atrial ejection time did not correlate with any factor significantly. Aging was significantly correlated with corrected atrial pre-ejection period ($r=-0.37$), but not with corrected atrial ejection time and atrial pre-ejection period. Atrial ejection time significantly correlated with corrected atrial pre-ejection period ($r=-0.37$), but not with atrial pre-ejection period. Corrected atrial pre-ejection period is a clinically useful index of left atrial systolic function.

Key Words

aging, Doppler ultrasound, electrocardiography, atrial function (left atrial systolic time intervals)

はじめに

対象と方法

左室機能の指標として古くから用いられてきた左室収縮期時相 (Weisler index)¹⁻³⁾への加齢と心拍数の影響は、すでによく知られている。しかし、新しい左房機能の指標として近年用いられ始めている左房収縮期時相^{4,6)}への影響に関しては、いまだ明らかではない。今回われわれは、健常例における加齢と心電図時相 (心電図 P 波幅, PR 間隔, RR 間隔) の左房時相への影響を検討するために本研究を行った。

対象は問診, 聴打診, 心電図, 胸部 X 線検査, ならびに心エコー図検査で器質的心疾患を認めず, 心エコー図および同期心電図の良好な記録の得られた 43 例 (男 23 例, 女 20 例, 年齢 13-72 歳, 平均年齢 40 ± 17 歳) である (Table 1)。

全例正常洞調律であり, 左側臥位で心エコー図検査を行った。心尖部アプローチより僧帽弁輪部左室流入血流をパルス・ドップラー法により紙送り速度

神戸大学医学部 第一内科：〒650 神戸市中央区楠町 7-5-2; *(現)高槻病院 循環器内科：〒569 高槻市古曽部町 1-3-13
The First Department of Internal Medicine, Kobe University School of Medicine, Kobe; *Department of Cardiology, Takatsuki Hospital, Takatsuki
Address for reprints: TAKEUCHI Y, MD, Department of Cardiology, Takatsuki Hospital, Kosobe-cho 1-3-13, Takatsuki 569
Received for publication March 10, 1994; accepted February 2, 1995

Table 1 Characteristics and atrial systolic time intervals

No.	Patient	Age (yrs)	Gender	APEP (msec)	AET (msec)	APEPc	PP (msec)	PR (msec)	RR (msec)
1	NM	45	F	91	101	0.82	112	164	948
2	YK	63	F	94	126	0.81	116	170	1,178
3	KT	32	F	93	97	0.85	109	170	1,170
4	YK	72	M	99	119	0.83	119	125	986
5	KE	46	M	95	109	0.96	99	144	1,132
6	MI	55	M	98	145	0.80	122	192	972
7	OS	67	M	87	119	0.81	107	184	944
8	OT	36	M	74	119	0.76	97	198	896
9	MS	22	M	85	100	0.81	105	140	700
10	KN	29	F	75	102	0.90	83	134	730
11	ES	32	M	103	110	0.82	126	194	1,180
12	SY	28	M	84	126	0.80	105	164	804
13	YM	17	F	94	109	0.92	103	184	1,096
14	IM	43	F	102	121	0.89	114	172	840
15	TT	16	M	81	86	0.85	95	122	1,035
16	TH	40	F	81	132	0.80	101	156	1,053
17	MH	14	M	93	115	0.93	100	180	1,119
18	TM	25	M	93	111	0.86	108	170	1,176
19	IA	21	F	80	111	0.82	98	164	923
20	SY	38	M	93	103	0.88	106	148	940
21	SY	13	F	88	106	0.83	106	134	945
22	NK	57	F	83	123	0.76	109	144	952
23	YS	72	M	100	113	0.82	122	170	730
24	MM	58	F	82	123	0.76	108	168	1,017
25	SM	55	F	96	123	0.86	112	144	930
26	NF	47	F	89	96	0.79	113	134	700
27	AT	47	F	98	122	0.84	116	176	970
28	MY	68	F	100	122	0.88	114	176	978
29	NS	56	F	84	125	0.73	115	140	1,098
30	YM	23	F	78	91	0.91	85	120	1,052
31	KS	54	F	94	105	0.85	110	142	862
32	OK	28	M	84	100	0.86	98	148	888
33	HK	34	F	101	107	0.87	116	182	1,102
34	SH	34	M	87	111	0.82	106	156	1,162
35	SA	28	M	92	115	0.87	105	160	1,044
36	OT	39	M	85	117	0.76	111	144	720
37	YY	61	M	86	107	0.82	105	144	942
38	NY	66	M	95	95	0.84	113	160	1,040
39	MY	20	M	97	106	0.85	114	150	896
40	MM	52	F	80	121	0.87	92	124	880
41	NT	21	M	85	128	0.83	103	160	1,080
42	NM	31	M	86	104	0.83	104	155	1,022
43	TY	30	M	92	102	0.87	106	156	880
Mean		40		90	113	0.84	107	159	979
±SD		17		8	12	0.05	9	21	140

AET=atrial ejection time; APEP=atrial pre-ejection period; APEPc=corrected atrial pre-ejection period; F=female; M=male; PP=P wave duration; PR=PR interval; RR=RR interval

100 mm/sec で記録し, Abe ら⁴⁾の方法に基づき左房の前駆出時間 (left atrial pre-ejection period: APEP), 駆出時間 (left atrial ejection time: AET) を求めた. また, 同期心電図 II 誘導を拡大記録 (1 mV/10 cm) し, 心電図 P 波幅 (PP), PR 間隔 (PR), RR 間隔 (RR) を求め, APEP を PP で除して修正左房前駆出時間 (corrected atrial pre-ejection period: APEPc) を算出した (Fig. 1).

使用装置は東芝製心エコー装置 SSH-165A, 2.5 MHz セクタースキャン探触子を用い, 心房収縮期波の立ち上がりと消失を明瞭に記録するため, ドップラーフィルターは 200 Hz とした.

統計学的には一次回帰ならびに多変量解析 (Durbin-Watson 検定) を用い, $p < 0.05$ をもって有意差の判定とした.

結 果

1. 左房収縮期時相と心電図時相との関係 (Table 2)

心房前駆出期の左房時相指標である APEP は RR 間隔とは相関せず, PP ($r=0.78$), および PR ($r=0.60$) と有意な一次相関を認めた. しかし, この 2 者を多変量解析したところ, APEP は PP とのみ有意な相関を示した. 心房駆出期の左房時相指標である AET は RR 間隔とは相関せず, PP ($r=0.38$), および PR ($r=0.39$) と粗な一次相関を認めたが, 多変量解析上いずれも有意な相関は示さなかった.

2. 左房収縮期時相と年齢との関係 (Fig. 2)

APEP は年齢とは相関を示さず ($r=0.24, p=0.12$), AET は年齢と正の相関傾向 ($r=0.30, p < 0.1$) を認めたが, APEP を PP で除して補正した APEPc は, 逆に年齢と負の相関 ($r=-0.37, p < 0.05$) を認めた.

3. 左房時相諸指標間の関係 (Fig. 3)

APEP と AET との間には有意な相関を認めなかったが, APEPc は AET との間には有意な負の相関 ($r=-0.37, p < 0.05$) を認めた.

4. 結果の再現性について (Table 3)

43 例中 31 例で, 2 人の検者による左房収縮期時相の再現性に関する検討を行った. 左房の APEP, AET, APEPc の各検者間の相関はそれぞれ $r=0.92, p < 0.001$; $r=0.90, p < 0.001$; $r=0.94, p < 0.001$ であり, 標準誤差

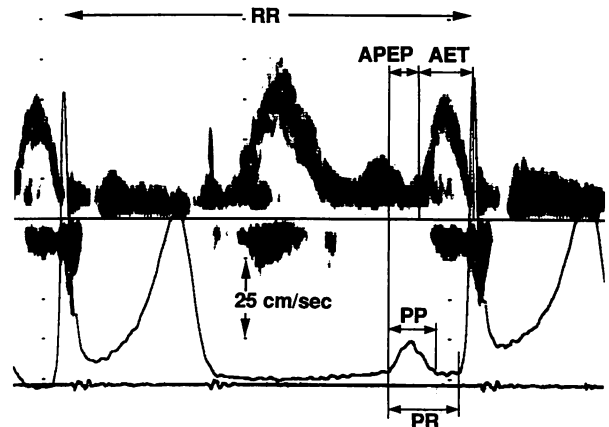


Fig. 1 Measurements of transmitral Doppler echocardiography Abbreviations as in Table 1.

Table 2 Correlation matrix between left atrial systolic time intervals and electrocardiographic indexes

	Simple regression analysis		Multiple regression analysis	
	Coefficient	Probability	Coefficient	Probability
APEP				
PP	0.78	<0.001	0.62	<0.001
PR	0.60	0.003	0.03	0.47
RR	NS	NS	—	—
AET				
PP	0.38	0.03	0.27	0.2
PR	0.39	0.01	0.19	0.06
RR	NS	NS	—	—

NS=not significant. Other abbreviations as in Table 1.

はそれぞれ 3.1, 4.7, 0.02 msec で, いずれも比較的高い再現性を示したが, ことに APEPc は誤差を誤差で除するためか, 最も高い再現性を示した.

考 案

1. 本研究の背景

世界で最も早く左房収縮期時相を用いた左房機能の定量的評価がなされたのは, 1988 年の Abe ら⁴⁾の報告であると思われるが, 1987 年, 近藤らが第 50 回日本超音波医学会ですでに報告している⁷⁾. しかし, 近藤らは Abe らと異なり, APEP, AET およびその比である LAET/LAPEP をはじめから陳旧性心筋梗塞例という疾患心で検討したため, 心房機能の亢進の必要な疾患心において LAPEP は延長または不変, LAET は短縮または不変, 結果として LAET/LAPEP が短縮していると報告した. しかし, Abe らは同じく左房時相を高血

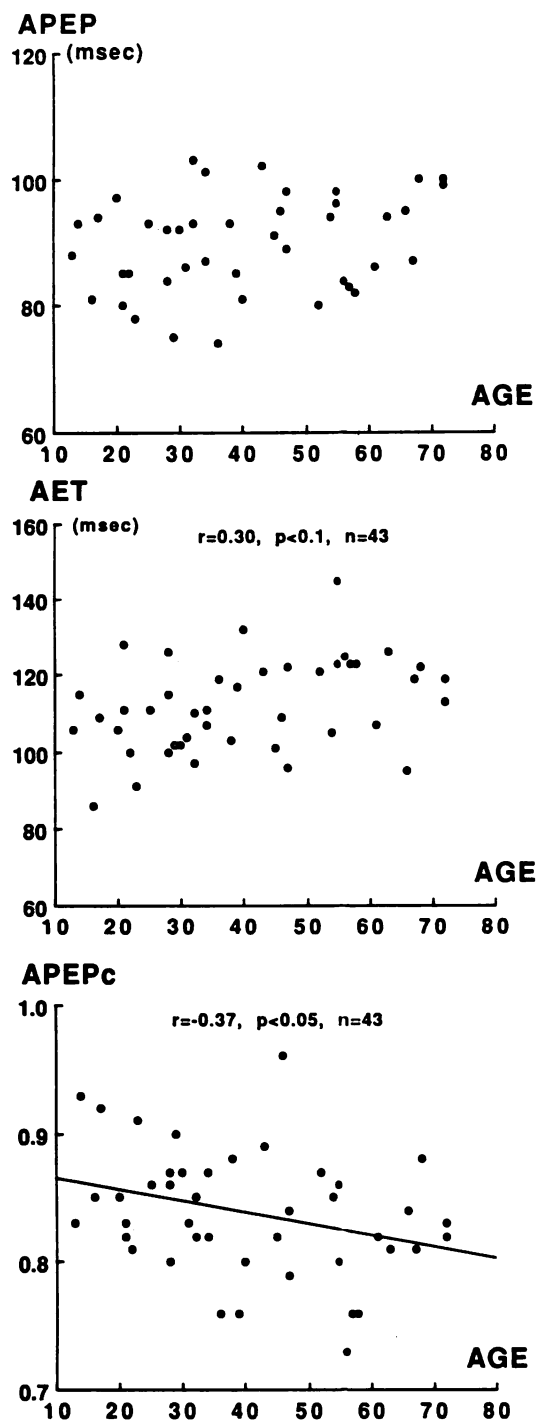


Fig. 2 Relationships between left atrial systolic time intervals and age

Upper: Correlation between APEP and age
 Middle: Correlation between AET and age
 Lower: Correlation between APEPc and age
 Abbreviations as in Table 1.

圧心に適応し、APEPは4音のある(すなわち心房機能の亢進した)高血圧心が、ないものより短縮すると報告した。さらにAbeらは、APEPをPPで除したAPEPc

という指標を世界で初めて使用し、この指標がAPEPよりもよいことをデータで示した。しかし、なぜPPで除したかという点については詳細には述べておらず、また正常例でどのような傾向を示すのかの検討もなされていない。

そこでわれわれは、正常例における左房時相指標の関係を検討し、Abeらの用いたAPEPcがなぜAPEPをPPで除したのか、その理論的根拠を考案するため本研究を始めた。

2. 左房時相の概念

左室機能の指標として古くより用いられてきた左室収縮期時相¹⁻³⁾は、左室のPEPと左室ETとにより構成される。Yang⁸⁾によれば、左室のPEPは電気的収縮開始より左室圧上昇までの時間(electromechanical interval: いわゆるQ-I時間)と左室圧が大動脈圧を凌駕し、前方駆出開始までの時間(pressure rising time: いわゆるisovolumic contraction time)とにより構成される。拡張期大動脈圧と左室拡張末期圧との差をpressure rising timeで除すると、左室収縮能指標である等容収縮期左室圧勾配(dP/dt)が求められるため、pressure rising timeは左室収縮能を反映するとされる^{1,3,8-10)}。そのため、古くから心機図などの研究において、左室前駆出時間(PEP)は dP/dt の効果が反映され、心機能低下で延長、心機能亢進では短縮すると説明されているが^{1,3,8-10)}先に述べたように、拡張期大動脈圧と左室拡張末期圧の影響も受ける。

一方、近年、新しい左房機能の指標として用いられ始めている左房収縮期時相も、同様にAPEPとAETより構成される。このAPEPも同様にelectromechanical intervalとpressure rising timeとにより構成されると考えられるが、左房収縮能を反映するpressure rising time時相の左房圧勾配(LAdP/dt)は拡張中期の左室左房圧がほぼ同等であるため、左室の場合よりもより強くpressure rising timeに反映すると考えられる(Fig. 4)。すなわち、APEPは左房収縮能の指標であるpressure rising timeと伝導の指標であるelectromechanical intervalの2成分からなると考えられ、electromechanical intervalの成分と臨床的に考えられるPPで補正すれば、よりよい左房収縮能指標となることが推測される。

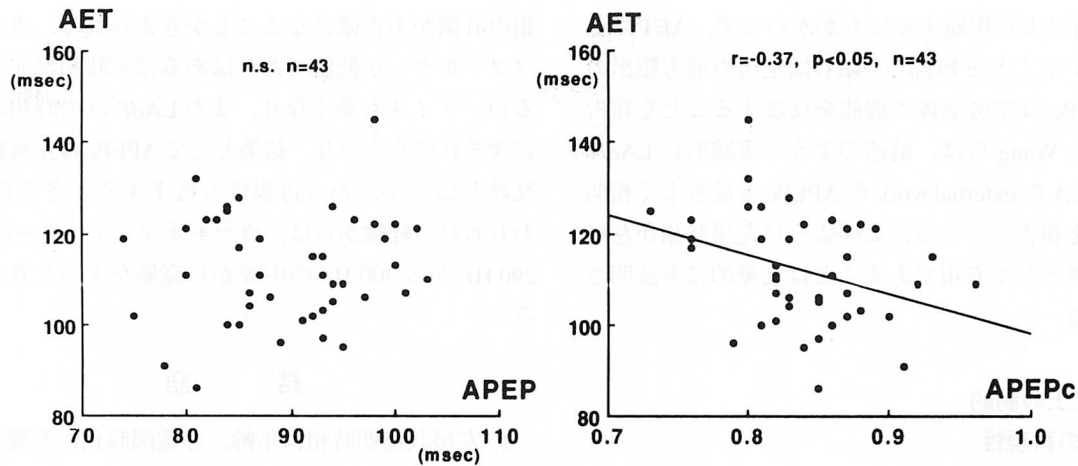


Fig. 3 Inter-relationships of left atrial systolic time intervals

Left : Correlation between APEP and AET
 Right : Correlation between APEPc and AET
 Abbreviations as in Table 1.

Table 3 Reproducibility of left atrial systolic time intervals

	r value	p value	SEE (msec)
APEP	0.92	<0.001	3.1
AET	0.90	<0.001	4.7
APEPc	0.94	<0.001	0.02

SEE=standard error estimation. Other abbreviations as in Table 1.

3. 年齢と左房時相との関係

加齢により左房寄与は増大することが知られている。本研究において、加齢により AET は増大したが、APEP は短縮せず、逆に延長の傾向を示した。これは加齢による心房伝導時間の増大によると考えられ、これが心電図指標、とくに PP に反映され、APEP と PP の間に良好な正の相関を示したものと考えられた。すなわち APEP は心房伝導時間 (PP) により補正することで、よりよい左房収縮能指標となりうると考えられる。この APEP を心房伝導時間により補正した APEPc は加齢により短縮し、心房 Starling 機序により増大すると考えられる AET と負の相関を示し、よりよく左房機能を反映し、臨床的にも簡便に得られ有用であると考えられた。

4. 左房機能と左房時相との関係

Abe ら以後、われわれ^{5,11-13)}を含め左房時相を用いて左房機能の研究を行った報告としては、岡本ら^{6,14)}、近藤ら¹⁵⁾、Wang ら¹⁶⁾の報告がある。このうち岡本らは観血的血行動態指標を用い、近藤らは下半身陰圧負荷に

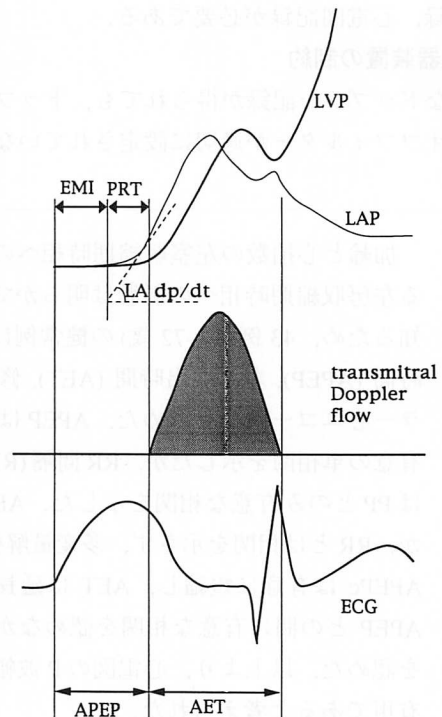


Fig. 4 Schematic illustration of the relationship between left ventricular and atrial pressures and atrial ejection flow

EMI=electromechanical interval; LAdP/dt=left atrial pressure rise; LAP=left atrial pressure; LVP=left ventricular pressure; PRT=pressure rising time; ECG=electrocardiogram. Other abbreviations as in Table 1.

より左房圧が上昇するような負荷では APEP、または APEPc が左房の Starling の法則に基づき短縮することを示した。またわれわれは、経食道心エコー図法を用い、左房後負荷の上昇した条件では、APEPc が Star-

lingの法則により短縮するにもかかわらず、AETはむしろ短縮することを報告し、AETは左房の前方駆出のみを、APEPcは左房全体の機能を反映することを報告した。またWangらは、前述のように実験的に $LAdP/dt$ およびLAのexternal workがAPEPcと最もよく相関することを報告している。このように左房時相が左房機能の指標として有用であることは文献的にも証明されつつある。

5. 研究上の制約

1) 計測の再現性

計測の再現性については今回のわれわれの報告のほかにも報告¹¹⁾があるように、臨床的には再現性があると考えられるが、Abeらの報告にもあるように、計測は数ミリ秒の単位となるため、まず注意深いドップラー記録、心電図記録が必要である。

2) 機器装置の制約

明瞭なドップラー記録が得られても、ドップラーのカットオフフィルターが適切に設定されていないと時

相の計測が不正確になることが考えられる。カットオフフィルターが低値であればあるほど時相は完全となるが、ノイズも多くなり、また $LAdP/dt$ の時相が計測に含まれにくくなり、結果としてAPEPcは左房機能を反映しにくく、かつ再現性も低下すると考えられる。われわれの経験からは、カットオフフィルターは200–290 Hz から 400 Hz の中等から高値がよいと考えられる。

結 語

1. 左房収縮期時相は年齢、心電図時相に影響を受けるが、とくに左房前駆出時間 (APEP) は、心房伝導時間に影響を受けるためP波幅 (PP) による補正が必要である。

2. PPにより補正された修正左房前駆出時間 (APEPc) は左房収縮能を反映し、臨床的に簡便に得られる左房前駆出期の左房収縮能の一指標として有用であると考えられた。

要 約

加齢と心拍数の左室収縮期時相への影響はよく知られているが、新しい左房機能の指標である左房収縮期時相への影響は明らかではない。加齢と心電図時相の左房収縮期時相への影響を知るため、43例(13–72歳)の健常例にドップラー心エコー図検査を行い検討した。左房前駆出時間 (APEP)、左房駆出時間 (AET)、修正左房前駆出時間 (APEPc) を僧帽弁輪部パルス・ドップラー心エコー図より求めた。APEPは心電図P波幅 (PP) と $r=0.78$ 、PR間隔 (PR) と $r=0.60$ の有意の単相関を示したが、RR間隔 (RR) とは相関を示さなかった。しかし多変量解析ではAPEPはPPとのみ有意な相関を示した。AETはPPと $r=0.38$ 、PRと $r=0.39$ の有意の単相関を示したが、RRとは相関を示さず、多変量解析ではいずれとも有意な相関を認めなかった。加齢によりAPEPcは有意に短縮し、AETは延長傾向を示したが、APEPは変動を認めなかった。AETはAPEPとの間に有意な相関を認めなかったが、APEPcとの間には $r=-0.37$ の有意の負の相関を認めた。以上より、心電図のP波幅により補正したAPEPcは左房収縮能の指標として臨床上有用であると考えられた。

J Cardiol 1995; 25: 255–261

文 献

- 1) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* 1968; 37: 149–152
- 2) 村松 準: 左室収縮期時相分析. *in* 心機能とその指標 (沖野 遥編), 第1版. 南江堂, 東京, 1983; pp 129–136
- 3) Blumberger K: Die Wirkungen des peripherischen Kreislaufs auf die zeitliche Dynamik des Herzens beim Menschen. *Verh d Kreislaufforsch* 1956; 22: 79–96
- 4) Abe H, Yokouchi M, Deguchi F, Saitoh F, Yoshimi H, Arakaki Y, Natsume T, Kawano Y, Yoshida K, Kuramochi M, Ito K, Omae T: Measurement of left atrial systolic time intervals in hypertensive patients using Doppler echocardiography: Relation to fourth heart sound and left ventricular wall thickness. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 800–805
- 5) Takeuchi Y, Yokota Y, Miki T, Tsumura Y, Nakatani M, Ueno H, Nomura H, Usuki S, Emoto R, Fukuzaki H: Left ventricular filling dynamics during atrial contraction in dilated cardiomyopa-

- thy: Assessment by angiotensin II loading echocardiography. *Jpn J Med Ultrasonics* 1990; **17**: 29-35
- 6) Okamoto M, Tsubokura T, Yokote Y, Nakagawa H, Morichika N, Amioka H, Yamagata T, Tsuchioka Y, Matsuura H, Kajiyama G: Left atrial systolic time intervals: Their relations to left atrial preload, afterload and acute left ventricular pressure loading. *J Cardiol* 1990; **20**: 177-183 (in Japanese)
 - 7) 近藤信介, 宮沢幸世, 市川 崇, 西本良博, 増田善昭, 稲垣義明: 超音波 Doppler 法を利用した左房収縮期時相の測定. *日超医講演論文集* 1987; **50**: 871-872
 - 8) Yang SS: Noninvasive data relevant to cardiac hemodynamics. *in* From Cardiac Catheterization to Hemodynamic Parameters (ed by Yang SS), 3rd Ed. FA Davis Co, Philadelphia, 1988; pp 321-329
 - 9) Landry AB, Goodyer AVN: Rate of rise of left ventricular pressure: Indirect measurement and physiologic significance. *Am J Cardiol* 1965; **15**: 660-664
 - 10) Reitan JA, Smith NT, Borison VS, Kadis LB: The cardiac pre-ejection period: A correlate of peak ascending aortic blood flow acceleration. *Anesthesiology* 1972; **36**: 76-80
 - 11) Takeuchi Y, Yokota Y, Tsumura Y, Nakatani M, Kawai H, Shite J, Fukuzaki H: Left atrial ejection performance in heart failure as assessed by transesophageal Doppler echocardiography. *J Cardiol* 1992; **22**: 193-200 (in Japanese)
 - 12) Takeuchi Y, Yokota Y, Kawai H, Miki T, Tsumura Y, Nakatani M, Shite J, Shimizu M, Honda Y, Yokoyama M: Left ventricular and left atrial ejection performance in heart failure: Assessment by angiotensin II loading echocardiography. *J Cardiol* 1993; **23** (Suppl XXXVI): 49-59 (in Japanese)
 - 13) Takeuchi Y, Yokota Y, Takarada A, Miki T, Tsumura Y, Nakatani M, Kawai H, Shite J, Yokoyama M: Left atrial ejection performance in patients with BB' step formation on mitral valve echocardiograms: Assessment by transesophageal Doppler echocardiography. *J Cardiol* 1993; **23** (Suppl XXXVI): 41-48 (in Japanese)
 - 14) Okamoto M, Nakagawa H, Amioka H, Yamagata T, Morichika N, Kawagoe T, Honda T, Matsuura H, Kajiyama G: Determinants of left atrial systolic time intervals: Assessment by pulsed Doppler echocardiography. *Jpn Circ J* 1991; **55**: 232-237
 - 15) 近藤誠宏, 川島成乃亮, 西庵克彦, 御幡千里, 池岡清光, 小亀孝夫, 松森佳子, 王朝成, 藤谷和夫, 岩崎忠昭: 超音波パルス・ドップラ法を用いた肥大型心筋症の左房収縮特性についての検討: 正常心との比較検討. *日超医講演論文集* 1988; **53**: 439-440
 - 16) Wang YP, Takenaka K, Sakamoto T, Amano W, Watanabe F, Igarashi T, Suzuki J, Aoki T, Sonoda M, Mashita M, Tomaru T, Uchida Y, Toyooka T, Omata M: Effects of volume loading, propranolol, and heart rate changes on pump function and systolic time intervals of the left atrium in open chest dogs. *Acta Cardiol* 1993; **3**: 245-262