

## 加圧脈波による動脈硬化診断

三上正俊, 鍵谷昭文\*, 小澤禎治\*\*

## はじめに

本邦の死亡率1位は全癌であるが、2位の心疾患と3位の脳血管障害を合すれば丁度同数になる。しかし医療費は後者が前者の6倍である。また心疾患といっても大部分は動脈硬化に起因する心筋梗塞、狭心症などであるから「寝たきり」が如何に医療費を食い荒らしているかが分かる。だから動脈硬化の程度の早期発見は急務であるが、加圧脈波法は計器が廉価で手技簡単ながら正確、鋭敏で、馴れば即時診断が可能だから特に集団検診に適している。そして自分が動脈硬化のどの位置に属するかを知るの第一に重要である。また同じ計器で自律神経失調症とショックの即時診断も可能である。

## I. 加齢による正常波から硬性波への変化 (Fig. 1)

## 1. 正常波

指先容積脈波形の基本は正常波であり、他の異常波形はすべて正常波と比較しての差異を論じるものであるが、最大の特徴は脈波の立ち上がりから頂点までの頂点時間 crest time, CT の極めて短いことと, tidal wave, T wave の出現である。そして指先容積脈波の正常波は17歳から30歳までの若年健康者の基礎波と定義されているが、実際に30歳代になると約半数が、40歳代になると大部分が大動脈硬化型の硬性波に移行してしまう。

## 2. 加齢による波形の変化

Fig. 1 上段は正常波で左が paper speed 25 mm/sec,

右が paper speed 50 mm/sec である。加齢とともに大動脈硬化が進むと中段のように正常波の頂点 P が丸みを帯びてくる。これが正常波から硬性波への移行形 (中間形) で複合波 (compound wave, combined wave) という。大動脈硬化が更に進むと下段の如く脈波の立ち上がりは急であるが頂点に近づくにつれて急に伸展抵抗が増すため、上昇脚は上に凸のカーブを描いて頂点に達する。そのため頂点時間 CT が延長し、T 波は消失する。切痕 C は著明である。これが硬性波 sclerotic wave で大動脈硬化の典型波とされる。

## 3. 機能的血管収縮

しかし若年健康者でもこれと同じ波形が機能的血管収縮により生じる。たとえば急に冷たい部屋に入る、緊張する、また分娩後の産褥婦に高率に硬性波が発生するが放置してもやがて正常波に戻るなどである<sup>1,2)</sup>。これらは若年型緊張波と呼ばれるが波形から両者の区別はつかない。

## II. 異常波形 (abnormal wave) (Fig. 2)

Fig. 2 は主な異常波形である。

## 1. 拡張波 (dilated wave) (Fig. 2a)

拡張波は血管が拡張位にあることを示す。T 波が不明になり、切痕は深くなる。切痕は血管が拡張位にあるほど深くなり、普通切痕の高さが波高の2/3以下のときに拡張波とする。これは貧血、うっ血性心不全、気管支喘息などで見られるが、健康人でも発熱時、スポーツ後、風呂上りなどで見られる。また妊婦に高率に出現して妊娠後期の波形は正常波と拡張波に2分されるほどである<sup>3)</sup>。

## 2. 硬性波 (sclerotic wave) (Fig. 2b)

前述の如く大動脈硬化の典型とされ、かなり高率に見られるので臨床的にも重要である。機能的血管収縮

青森敬仁会病院内科

\*弘前大学医学部保健学科

\*\*日本臨床生理学会評議員

(受領：平成16年12月24日)

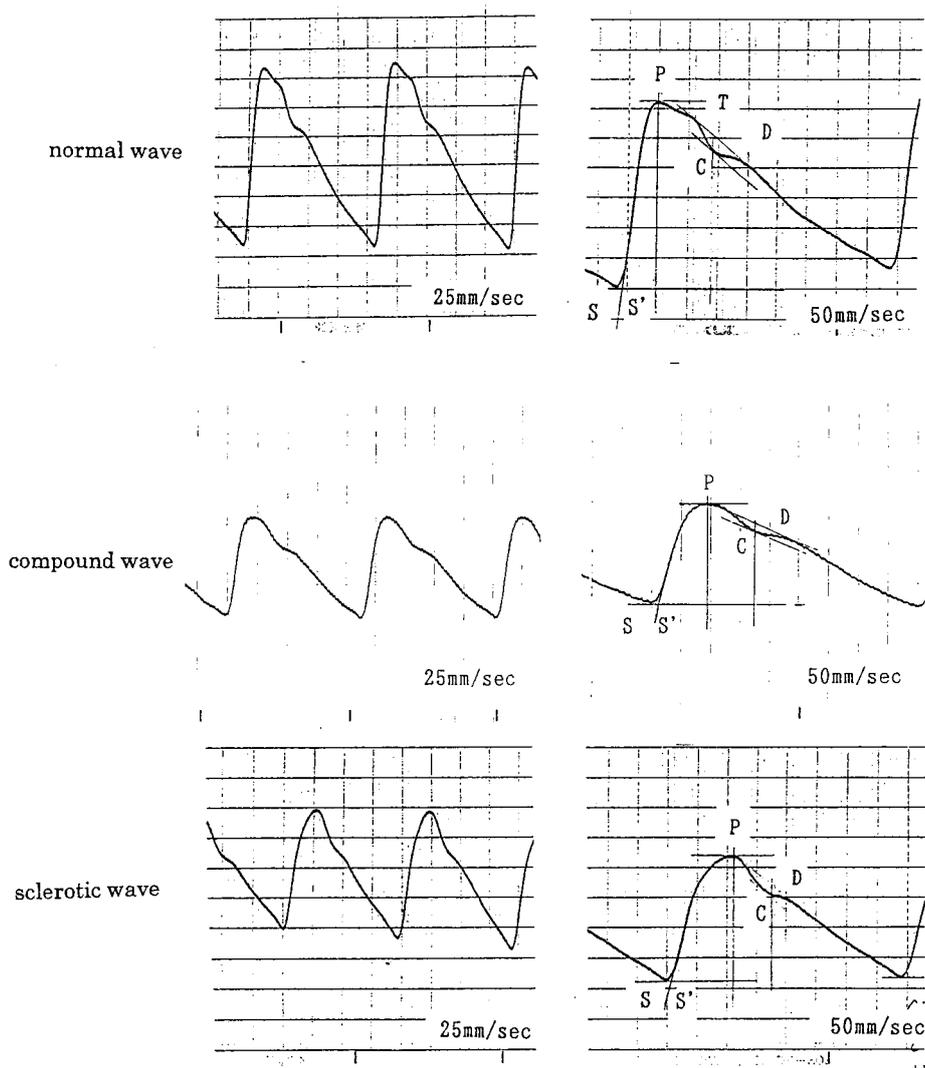


Fig. 1 The change from normal wave to sclerotic wave with ageing. S: seeing start-up point, S': real start-up point. P: peak, T: tidal wave, C: incisura, D: diastolic wave, SP: crest time CT, S'P: up-stroke time UT, S'C: ejection time ET.

による波形との区別はそのままではできないが、しかし一般には40歳以上の硬性波は再現性が強く自然に正常波に戻ることは少ない。

### 3. 前隆波 (anacrotic wave) (Fig. 2c)

これは脈波の立ち上がりから頂点に到る途中に隆起、前隆が見られるもので、やはり頂点時間 CT は延長する。心収縮力が低下して血管抵抗が比較的増加した潜在性心不全のパターンであるが一見正常な若年者にも出現する。例えば産褥婦にかなり高率に見られるが産褥期が過ぎれば殆どが正常波に回復する<sup>12)</sup>。

### 4. 緊張波 contracted wave (三角波 delta wave, 単相波 monophasic wave) (Fig. 2d)

動脈硬化が末梢細動脈にも及んだもので、硬性波の切痕が漸次上昇して浅く不明瞭になっていく。細動脈

硬化が高度になると遂には切痕が下降脚上に載って消失した形の三角波の波形になる。治療にもかなり抵抗し、加圧脈波でも異常波形にとどまることが多い。

### 5. 台形波 (trapezoid wave) (Fig. 2e)

縮期峰が弛期峰と連なり平らな波頂を呈するもので高年者の高度動脈硬化に出やすく、波頂は水平状、すなわち基線に平行であるが、やや弛期峰に向けて傾くこともある。これは動脈硬化があまりにも高度になって硬管の性格を帯び、血流が頂点付近で拍動流の形態を失って定常流のパターンに近づいたものである。

### 6. プラトー波 (plateau wave) (Fig. 2f)

波高の著しく低下したものでショックや危篤時など心拍量や心筋収縮力の著明な減少、低下したときに見られる心性プラトー波と、末梢循環不全による末梢

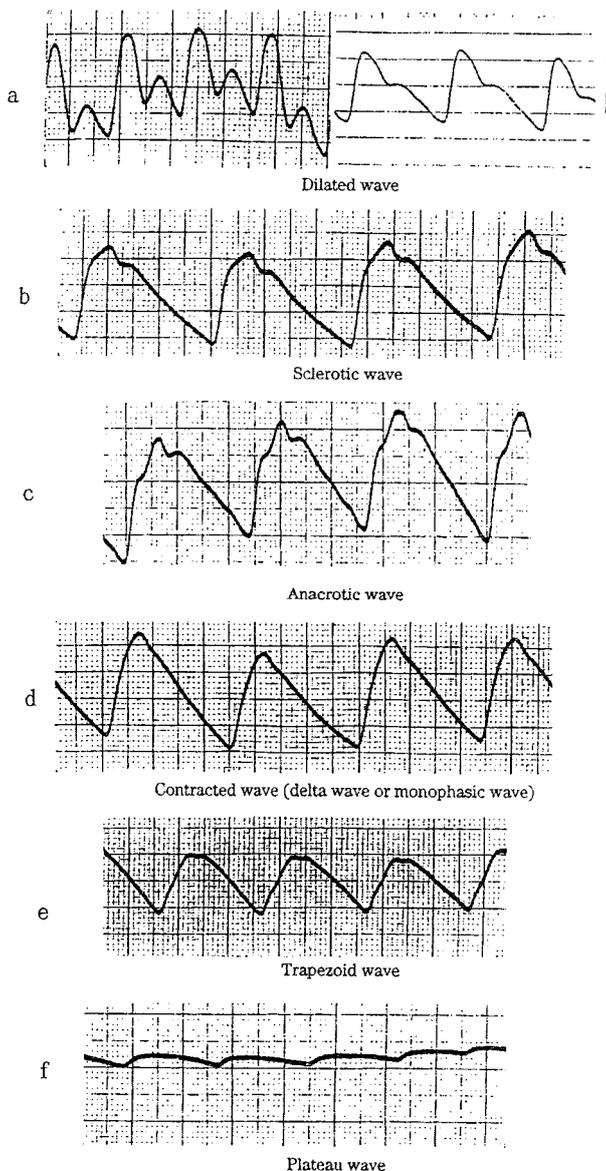


Fig. 2 Main abnormal waves.

性プラトー波があるが一般状態から両者の区別は容易である。産科の出血性プラトー波は血圧が低下するかなり前に出現して危険を予知するから特に臨床価値が大きい。この同じ理論は外傷や交通事故の出血にも適用できる。

### III. 加圧脈波法

#### 1. 理論と手技

気温  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、安静 1 分後、仰臥位、または椅子に座り、指先は心臓の高さで記録する。そして例えば Fig. 1 の下段、硬性波の患者の上腕に血圧計のカフを巻き、最低血圧で加圧しながら脈波を記録すると、波高が低下してくると同時に脈波の立ち上りから頂点ま

での頂点時間 crest time, CT が短縮して波形が上段の正常波や中段の複合波に近づいてくる。この場合、該部以下の血管の動脈硬化の軽度のものほど CT が短縮し、高度のものほど短縮し難いから CT 値からその程度を知り得る (吉村正治, 1969)<sup>4</sup>。またフーリエ解析からも証明された (小澤禎治, 2001)<sup>5</sup>。しかし CT は心拍数の影響を受けるから Bazett の補正式 = 実測値  $\sqrt{\text{RR}}$  で補正した数値を用いる。RR は心電図の RR 間隔である脈波単独記録のみのときは脈間隔 (S-S) を代用する。短縮の原因は加圧により NO などの化学物質が血液中に発生して血管が拡張するからである<sup>6,7</sup>。

#### 2. 診断

正常：加圧前の波形が正常波を正常とする。Fig. 3 は 28 歳、女性。上段は paper speed 25 mm/sec, 下段は paper speed 50 mm/sec で典型的な正常波である。

軽度：加圧前の異常波、例えば硬性波や前隆波が加圧により正常波に移行するものを軽度とする。Fig. 4 は 27 歳、男性。a, a' は paper speed 25 mm/sec で、b, b' は paper speed 50 mm/sec である。a, b は加圧前で波形は硬性波である。a', b' は加圧後で正常波に移行している。BP: 128/76, HR: 83, CT: 0.258 sec, CTc: 0.110 sec である。軽度は理論的に動脈硬化が大動脈に限定しているか、または単なる機能的血管収縮によるもので、臨床的な意味はない。正常とともに青信号である。

中度：加圧前の異常波が加圧により複合波にまで移行するものを中度とする。Fig. 5 は 59 歳、男性。a, a' は paper speed 25 mm/sec で、b, b' は paper speed 50 mm/sec である。a, b は加圧前で硬性波である。a', b' は加圧後で複合波に移行している。BP: 119/78, HR: 65, CT: 0.250 sec, CTc: 0.156 sec である。これは動脈硬化がすでに末梢細動脈にまで及んだものであり<sup>4</sup>、他の検査法も参考にして必要があれば治療する。治療にはよく反応してかなりの率で軽度に回復する。黄信号である。

なお Fig. 4 の軽度と Fig. 5 の中度の加圧前波形は共に硬性波で波形からだけではどちらの動脈硬化がより高度であるかは分からない。CT も前者が 0.258 sec, 後者が CT: 0.250 sec で殆ど同じである。しかし加圧後の波形の変化は正常波と複合波で明確であり、かつ前者の CTc: 0.110 sec, 後者の CTc: 0.156 sec で数値の差も明らかである。

重度：Fig. 6 は 47 歳、男性。上、下段とも paper

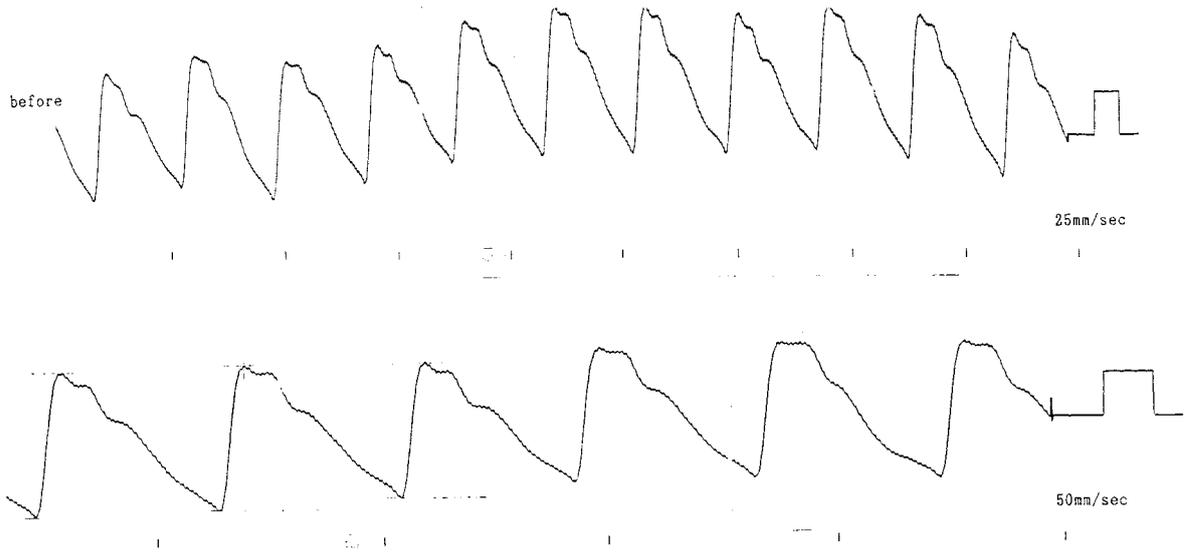


Fig. 3 Normal wave. In a case of 28 years old female before adpressure. Upper: paper speed 25 mm/sec. Lower: Paper speed 50 mm/sec.

Table 1 Degree of the arteriosclerosis in 426 cases.

Age	20 reign	30 reign	40 reign	50 reign	60 reign	70 reign	80 reign	90 reign	Total
± 1SD	26.5 ± 1.9	34.6 ± 3.0	45.0 ± 2.2	54.4 ± 2.4	64.2 ± 2.5	75.5 ± 2.5	82.4 ± 2.2	94.1 ± 3.5	
Normal	14(77.8%)	9(50.0%)	7(10.8%)	4(3.9%)					34
Mild	4(22.2%)	7(38.9%)	34(52.3%)	35(34.3%)	24(27.6%)	26(28.9%)	6(15.4%)		136
Moderate		2(11.1%)	17(26.1%)	38(37.2%)	31(35.6%)	22(24.4%)	16(41.0%)	2(28.6%)	128
Severe			7(10.8%)	25(24.5%)	32(36.8%)	42(46.7%)	17(43.6%)	5(71.4%)	128
Total	18	18	65	102	87	90	39	7	426

The % inside parenthesis is the wave patterns in the period. The appearande rate of 30 reign of severe grade are importance clinically although they are low.

speed 50 mm/sec で加圧前は硬性波の切痕が上昇して浅くなった硬性波と単相波の複合波，単硬性波のパターンで CTc : 0.240 sec である。下段は加圧後で切痕の明瞭な硬性波のパターンである。BP : 130/80, HR : 60, CTc : 0.240 sec で CTc は短縮していない。このように加圧しても CT の短縮がごく僅かか，またはほとんど短縮しないものを動脈硬化重度とする。つまり加圧後脈波が硬性波や前隆波の段階にとどまる。これは動脈硬化がかなり進んだもので，他の検査がすべて陰性でも加圧脈波が重度のときはすぐに治療する。治療にかなり抵抗するが時に中度に移行，回復する。赤信号である。

#### IV. IMT (intima-media-thickness) との比較

Fig. 7 は Fig. 6 と同じ患者の頸動脈の IMT の評価表

であるが「血管年齢は 44 歳で，血管の厚さは正常の範囲です」とある。これは加圧脈波による重度の診断とは大きな差がある。しかし正常と異常の標準値の決定法に差があれば「加圧脈波が動脈硬化診断には IMT よりはるかに鋭敏だ」とは言いきれない。医師が予後を考えて患者や家族に実際より重く症状を告げることが一般に必要なである。しかし診断結果が違いすぎても困る。

この差は IMT が血管年齢を暦年齢に関連づけているのも一因と思われる。動脈硬化度を血管年齢で表現するのは非常に分かりやすい。暦年齢が 47 歳で血管年齢が 44 歳であれば当然正常になるだろう。

他方，脈波は正常でないものを異常としており，正常波は 17 ~ 30 歳の健康若年者の基礎波と定義されて正常波でないものは異常波である。例えば Table 1 は

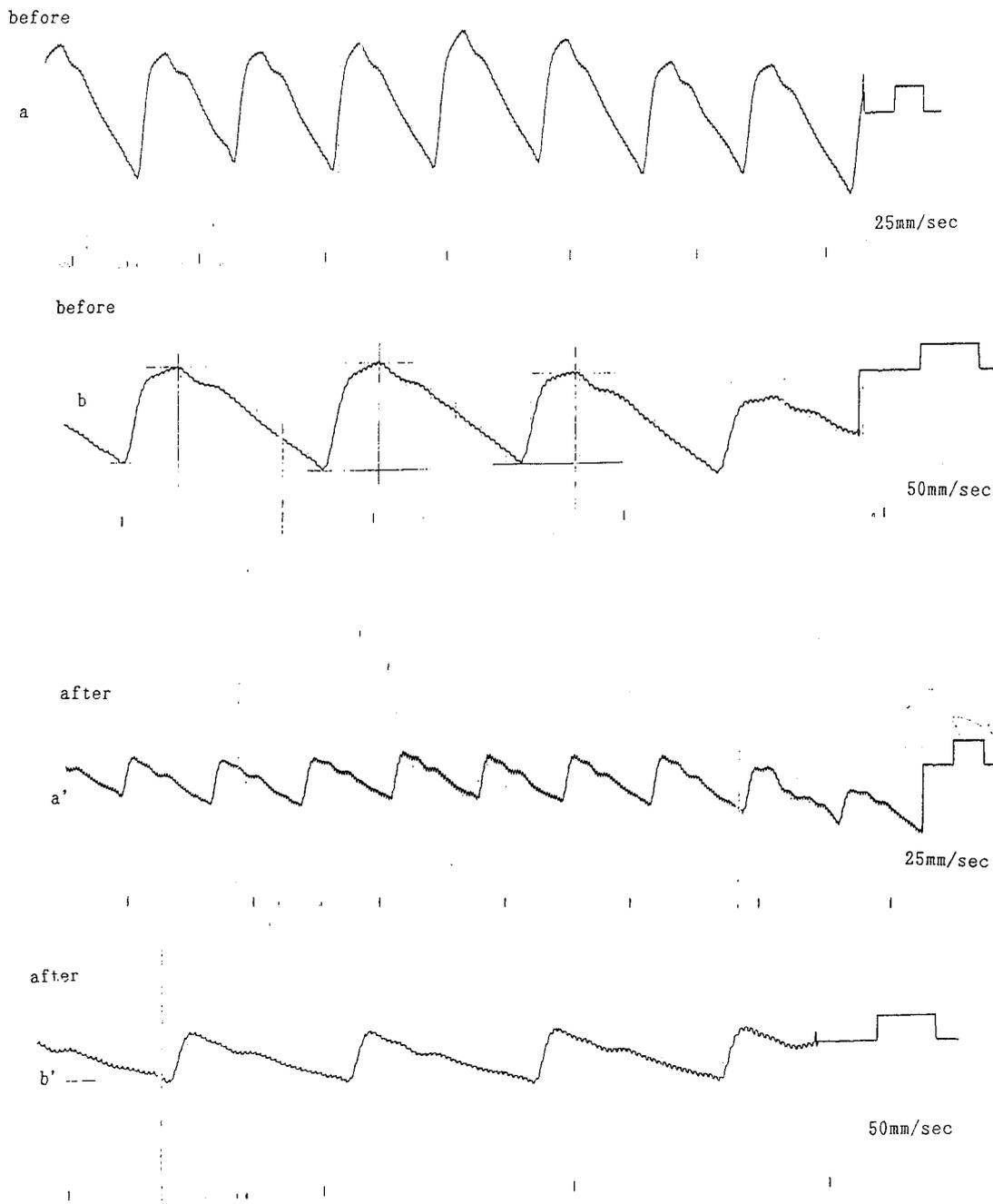
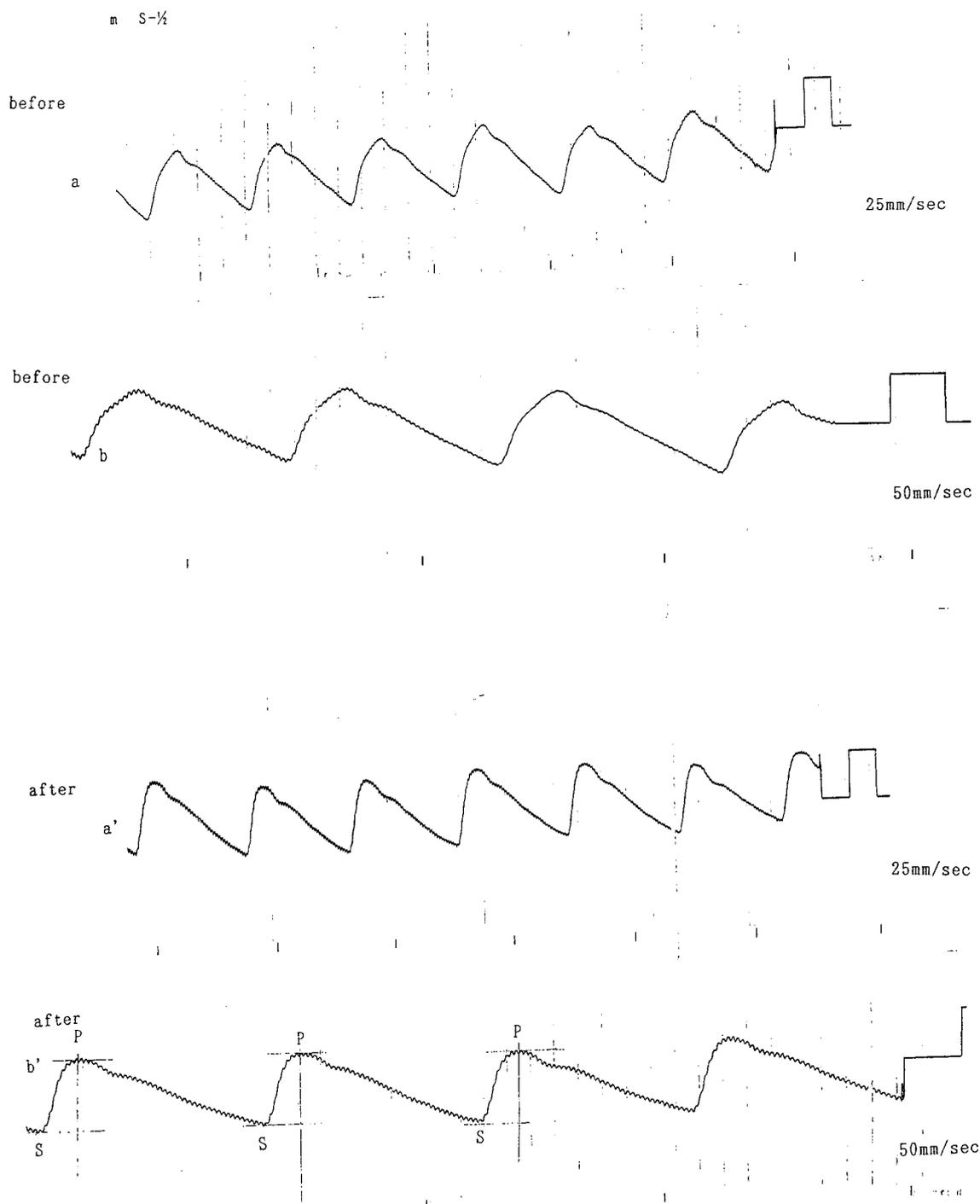


Fig. 4 Mild arteriosclerosis. In a case of 27 years old male. Before adpression (a and b): sclerotic wave. After adpression (a' and b'): normal wave. BP: 128/76, HR: 83, CT: 0.258 sec, CTc: 0.110 sec.

健康な生活を営んでいる 426 例の加圧脈波による集団検診の成績で、Fig. 8 はそのグラフであるが、正常は 30 代で 50.0% に半減し、40 代で 10.8% にすぎない。そして 40 代では軽度が過半数であるから「軽度もその年代の正常」としても臨床的にも脈波学的にも問題はない。

ただ我々は「加齢によるものでも正常でないものは異常」と考えている。それは、生活習慣から高血圧、

高コレステロール、タバコ、糖尿病が動脈硬化の 4 大悪人呼ばわりされているが最大の因子は加齢だからである。もっとも実際の集団検診では「あなたの動脈硬化は軽度」と告げれば中年女性でも歓声をあげるし、中には踊りだす人もいる。50 代でも軽度が 34.3%、中度が 37.2%、合すれば 71.5% であるから「50 代では軽度と中度はともに正常である」と言えなくはないが中度を正常に含めるのには抵抗がある。そして 60



**Fig. 5** Moderate arteriosclerosis. In a case of 59 years old male. Before adpressure (a and b): sclerotic wave. After adpressure (a' and b'): compound wave. BP: 119/78, HR: 65, CT: 0.250 sec, CTc: 0.156 sec.

代以上では重度が最多出現率だからといって「重度が正常」にはならない。つまり標準が違うと一方が正しく他方が誤りにはならない。ただ Table 1 と Fig. 8 から明らかなのは正常の 50 代までの急速な減少と、重度の 40 代からの確実な増加である。

加圧脈波の重症度分類は眼底所見とよく合う<sup>8)</sup>。

**V. 数値による分類 (吉村正治・三上正俊・鍵谷昭文・小澤禎治, 2000)<sup>4,9)</sup>**

正常は原波形から、軽度も加圧脈波を見ただけで診断できるが、中度と重度は予後でも治療でも臨床的意義が大きいから厳密には数値で両者を区別する。

1. 頂点時間 crest time, CT と昇脚時間 up-stroke

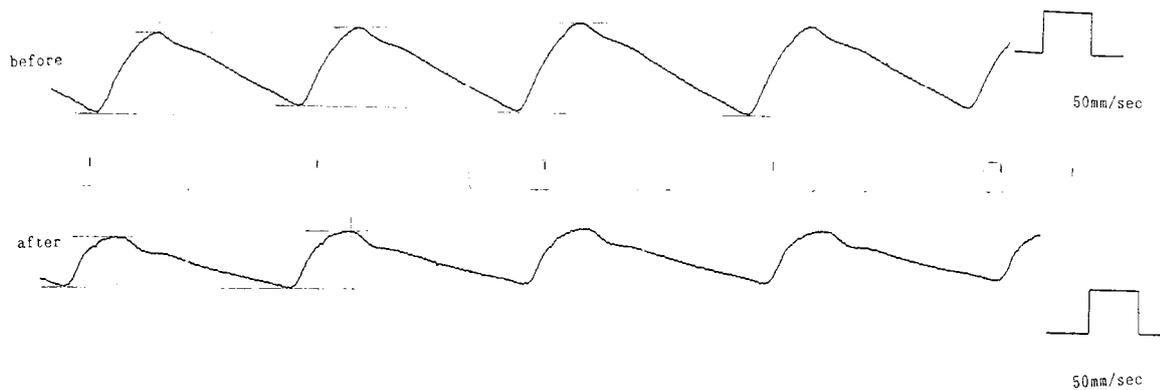


Fig. 6 Severe arteriosclerosis. In a case of 47 years old male. Before adpressure (upper): monosclerotic wave. After adpressure (lower): sclerotic wave. BP: 120/80, HR: 60, CT: 0.240 sec, CTc: 0.240 sec.

#### time, UT の区別

この区別は重要であるがかなり厄介なのでもう一度、Fig. 1 で説明すると、Fig. 1 の正常波、複合波、硬性波とも真の立ち上りはSでなくてS'であり、S'Pが真の昇脚時間UTである。このSS'間隔は頸動脈圧波では左室の等容縮期 isovolumetric contraction time, ICTの一部で大動脈圧の僅かな上昇により生じたものでほぼICTの昇圧期に等しいとされる<sup>10</sup>。

容積脈波では脈波伝達過程における歪みとされる。S'点の決め方は脈波の立ち上り点の直線的昇脚部に直線を引き、この直線と脈波曲線との分岐部をS'とする。SからS'までがSS'時間となる。

実は容積脈波におけるこのSS'時間についての明確な定義はないがやはりICTの一部と考えられる。指先容積脈波のSS'は正常波では0.02 sec位だが異常波形では0.04 secに近づくこともある。心機図によるICTの正常値 =  $0.07 \pm 0.02$  secであるが、これが短いほど左室内圧上昇が早いことを意味するから容積脈波の正常波のSS'が異常波のSS'より短縮していても差し支えはない。しかし鉛筆と定規によるものではやはりメノコ計測になり、主観にも左右されるのでここでは正常波で測られた0.02 secをSS'時間とした。だから動脈硬化診断には加圧によるUTの短縮を計測するのがより理論的であるが手間も時間もかかるので、加圧脈波ではCTの短縮度により動脈硬化度を診断する。UT正常値 =  $0.13 \pm 0.01$  secであるからCT正常値 =  $0.13 + 0.02$  sec = 0.150 secとし、加圧脈波によるCT補正值CTcが0.150 secまでを軽度にした。また経験的に硬性波や前隆波のCT > 0.201 secであるからCTc > 0.201 secを重度にした。したがって中度

はCTc = 0.151 - 0.200 secになる。

2. 計測の実際はFig. 9のフクダM・E製Cardi Scaleを利用してpaper speed 50 mm/secで行う。この定規の下部の②50 mm/secを記録した脈波に当てると自動的に心拍数HRが出る。次に上部⑤PQ 50 mm/secの目盛りがあり、これにより頂点時間CT値の0.01 secまでの計測が肉眼で可能である。普通は3個のCTを読み、その平均値を実測値とする。

Fig. 5の中度で手技の実際を説明すると、4段目の加圧後のb'でまず脈波の立ち上り点をSとする。次に脈波曲線の最高点が基線との平行線と接する点を頂点Pとする。SP間隔が頂点時間CTで、加圧後の3個のCT平均値 = 0.150 secである。HR: 65である。次にTable 2の上部、四角枠内の心拍数: 65に対応する $\sqrt{RR}$ 値は0.960である。したがってBazettの式による補正值 =  $0.150 \text{ sec} / 0.960 = 0.156 \text{ sec}$ となり、下部の分類から動脈硬化は中度と診断する。加圧前のbのCTc値を求める必要はない。

3. Fig. 6の同方法により求められたCTc = 0.240 secで動脈硬化は重度になる。

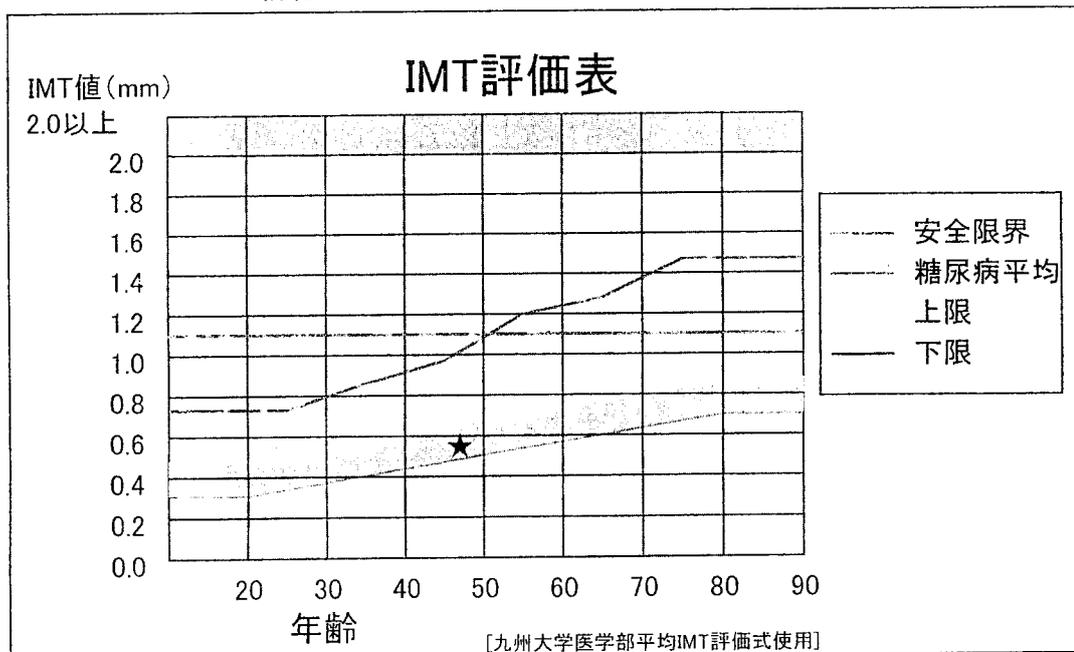
4. 加圧前波形が台形波を動脈硬化最重度とする。ダブル赤信号である。しかし集団検診でこの波形が出るのは稀である。

#### VI. 使用機器

我々が使用した脈波計はフクダM・E製Model 551Dで、記録用心電計はCardisuny 501Xであるが、これ等は現在製造中止されている。フクダ電子製の総合校正脈波計PT300は市販されており、これを一素子心電計FX-2111に連結して記録する。ただし頂点時間



評価IMT測定部位:総頸動脈・左前側面



被験者データ:

ID番号: 生年月日:1956/  
氏名: 性別:男  
最終測定日の年齢:47歳 体重:0kg 身長:0cm

評価データ:

部位:総頸動脈左前側面 評価:0.55 mm 評価基準:平均評価IMT

コメント:

あなたの血管年齢は44歳です。  
血管のしは正常の範囲です。

- 血管の厚さは正常範囲ですがやや高めです。今後も健康に留意しましょう。
- 血管が少し厚くなっています。動脈硬化に気を付けましょう。
- 血管は正常な肥厚を超えています。生活習慣病の健診を受けましょう。

図7 47歳、男性のIMT評価表

Fig. 7 The estimation due to IMT of the common carotid artery in a case of 47 years old male.

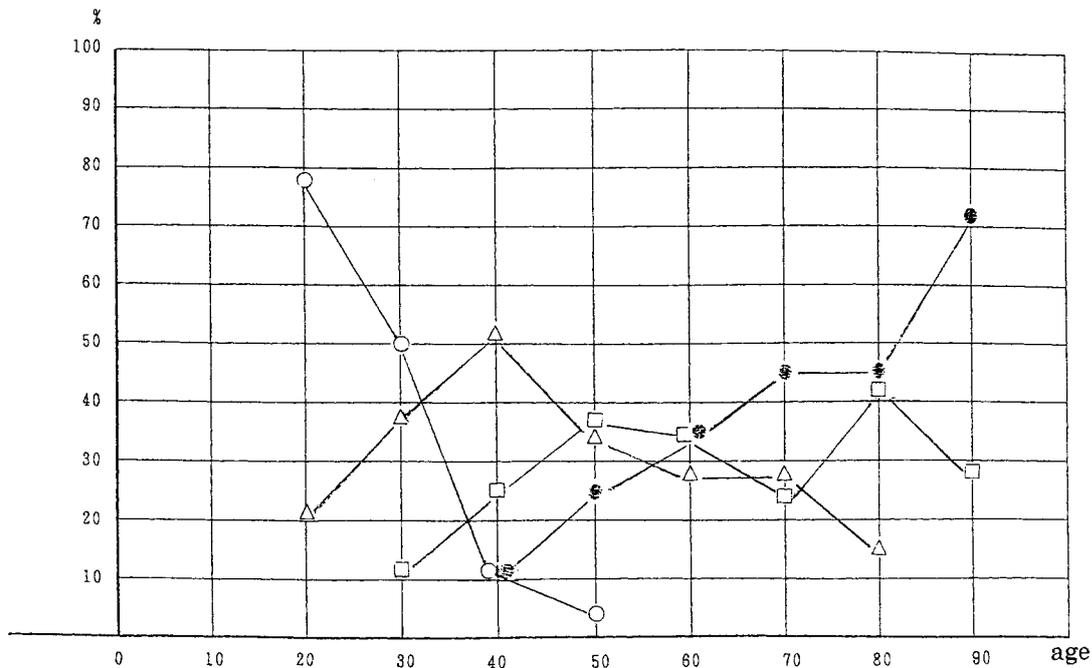


Fig. 8 The changes of arteriosclerosis degree with the ageing of the appearance rate. Normal decreases rapidly with ageing from 39 years old reign. Severe almost increases. Certainly from the 40 years old reign. normal: -○-, mild: -△-, moderate: -□-, sevre: -●-.

Table 2 The  $\sqrt{RR}$  value corresponding to HR.

HR	$\sqrt{RR}$	HR	$\sqrt{RR}$	HR	$\sqrt{RR}$	HR	$\sqrt{RR}$
		60	1.000				
		61	0.991	71	0.919	81	0.860
		62	0.983	72	0.912	82	0.855
		63	0.971	73	0.906	83	0.850
		64	0.968	74	0.900	84	0.845
		65	0.960	75	0.894	85	0.840
55	1.04	66	0.953	76	0.888	86	0.835
56	1.03	67	0.946	77	0.882	87	0.830
57	1.02	68	0.939	78	0.877	88	0.825
58	1.01	69	0.932	79	0.871	89	0.821
59	1.00	70	0.925	80	0.866	90	0.816

Severity grade distribution of arteriosclerosis by adpresso-PTG. Normal: normal wave. Mild: before adpressure: abnormal wave, after adpressure: normal wave. Moderate: before adpressure: abnormal wave, after adpressure: compound wave or CTc: 0.151-0.200 sec. severe: CTc > 0.201 sec (Masaharu Yoshimura, Masatoshi Mikami, Akifumi Kagiya, Teiji Ozawa. 2000).

crest time CT の測定には別にフクダ M・E 製 Cardi Scale が必要である。

1. 加圧脈波による動脈硬化診断の正常、軽度、最重度は馴れば一目瞭然である。中度と重度は厳密には計算して決定するが、大まかには加圧後に複合波が中度、硬性波や前隆波にとどまるものは重度である。

2. さらに指先容積脈波では自律神経失調症の診断は馴れば波形を一見しただけで出来る。

3. ショックの早期診断も簡単、容易である。心性ショック、出血性ショックでは瞬時的、確な診断が要求されるが、容積脈波は血圧低下のかなり早期に波高が低下して危険を予知するので臨床価値は極めて高

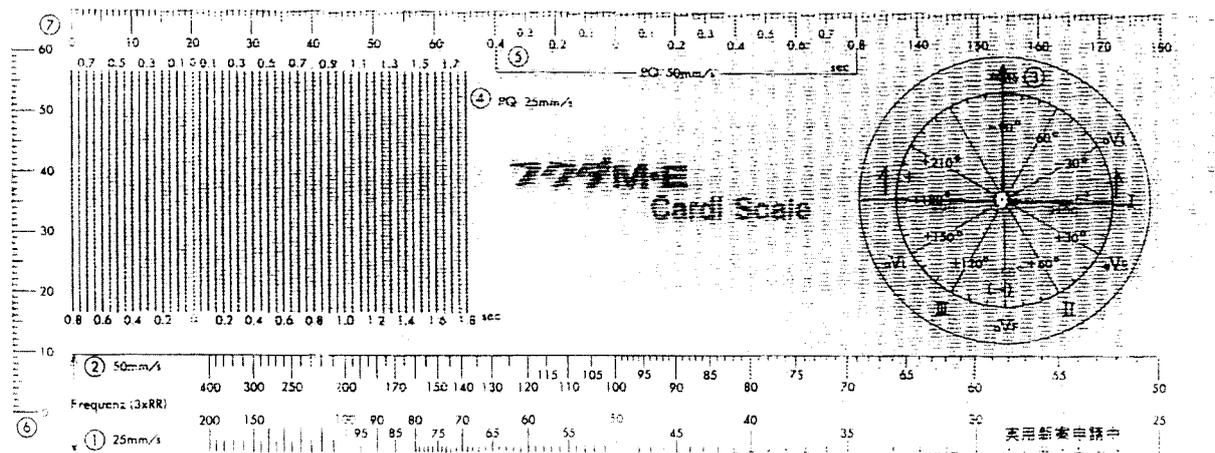


Fig. 9 Scale for pulse wave measuring. When ② 50 mm/sec is put in the 3 pulse waves, HR is recorded automatically. When ⑤ PQ 50 mm/sec is put in the 3 pulse waves, we read CT time of 3 pulse waves by utilizing the graduations. It makes the real value that measures the mean value.

い。この診断も一日瞭然である。

そしてこの指先容積脈波による3つの診断法とも手技は簡単、診断は馴れば一日瞭然である。

4. 心不全時の薬剤効果の判定、特にジキタリスの至適投与量の決定に重要である。また不整脈の詳細な力学的解析も可能である。

ただ欠点としては手技が容易であるのに理論がかなり難解であり、また他の計器のように自動化、コンピュータ化されておらず、記録には別に用意した心電計を使用しなければならない。これらを一体化、自動化した計器の開発が望まれる。

## 文 献

- 1) 三上正俊, 宮内茂樹, 鈴木雅洲: 産褥時の脈波 (その1), 周産期脈波学, 東京医学社, 東京, 1968, **1**: 247-265
- 2) 鍵谷昭文, 品川信良: 産褥時の脈波 (その2), 周産期脈波学, 東京医学社, 東京, 1968, **1**: pp 266-269
- 3) 三上正俊, 鈴木雅洲, 品川信良: 妊婦の脈波 (その1),

周産期脈波学, 東京医学社, 東京, 1968, **1**: pp 141-164

- 4) 吉村正治: 脈波とその臨床 (28). *The Med Electro Times* 1969, **11**: 212
- 5) 小澤禎治: 加圧脈波のフーリエ解析. 第31回加速度脈波・脈波研究会, 2001, pp 21-51
- 6) Furchgott RF, Zawadzki JV: The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine. *Nature* 1980, **288**: 373-376
- 7) Palmer RMJ, Ferrige AG, Moncada S: Nitric oxide release accounts for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor. *Nature* 1987, **327**: 524-526
- 8) 三上正俊, 宮内茂樹, 鈴木雅洲: 妊娠中毒症の脈波 (その5), 周産期脈波学, 東京医学社, 東京, 1982, **1**: pp 460-481
- 9) 三上正俊: 加圧脈波による最も簡単、正確な動脈硬化診断法. 第29回加速度脈波・脈波研究会特別講演, 2000, pp 1-15
- 10) Gaderman E, Jangmann H: Klinische arterien pulsschreibung. Lehrbuch und Atlas der unblutigen Sphygmographie, Johan Ambros, Barth Munchen, 1964