

非観血的な心機能評価について の臨床的研究

Clinical study of atraumatic cardiac function test: I. With special reference to the plethysmographic evaluation of left ventricular ejection time

—第1報 特に指尖脈波による左室駆出時間の検討—

山本 廣史
塩谷 邦彦
縄田 義夫
鳥井紳一郎
渡辺 友也*

Hiroshi YAMAMOTO
Kunihiko SHIOTANI
Yoshio NAWATA
Shinichiro TORII
Tomoya WATANABE*

Summary

Relationship between left ventricular ejection time derived from plethysmogram (ETp) and that from carotid pulse wave (ETc) was studied in a hundred cases of the aged (age: 57.5±15.2 year-old). It was confirmed that the close relationship was found between ETp and ETc.

1. Mean ET±S.D.:

$$ETp = 291.6 \pm 34.0 \text{ (msec)}$$

$$ETc = 289.0 \pm 36.8 \text{ (msec)}$$

2. Correlation of values between ETp and ETc:

$$r = 0.93 \text{ (} p < 0.001 \text{)}$$

$$\text{Regression equation: } ETp = 0.88 \times ETc + 22.6 \text{ (msec)}$$

3. In cases of shortened pulse transmission time and in those of elevated plethysmographic peripheral vascular resistance, the relation between ETp and ETc was especially close.

4. Plethysmographically, dicrotic notch was clearly identified except 6 cases.

Key words

digital plethysmography
carotid pulse tracing

九州厚生年金病院内科循環器科
北九州市八幡区岸の浦2-1-1 (〒806)
* 鞍手町立病院, 福岡 (〒80713)

Department of Medicine and Division of
Cardiology, Kyushu Kosei Nenkin Hospital,
Kishinoura 2-1-1, Yahata-ku, Kitakyushu,
806

* Kurate Choritsu Hospital, Fukuoka, 80713

まえがき

非観血的心機能評価については、心機図学的にもいろいろな方法が提唱されているにもかかわらず¹⁾、日常臨床に応用する立場に立つと、役に立つものは意外に少ない。その理由の多くは、推計学的には一応有意と考えられても、個々の症例に適用するには余りに誤差が大きすぎることに起因すると思われる。

そこでわれわれは、新たな心機能評価法を確立する仕事と平行して、すでに提唱されている諸方法の中から臨床的に応用出来そうなものを選び、negative dataを尊重する立場から諸検討を加えることとした。

非観血的心機能評価法の中で、左室駆出時間(left ventricular ejection time, LVET)は、心機図的測定の容易さ、再現性の裏付けを得て、すでに一定の評価を得ている^{2)~7)}。現在、頸動脈波(carotid pulse wave, CPW)が頻用されているが、波形をとり出す上で、心不全時の頸静脈波(jugular pulse wave)の混入、肺気腫例での呼吸の影響、頸動脈の硬化性変化の著明な時のピックアップの動揺等の因子のためかなり熟練を要し、さらに長時間の連続追跡に難点がある。その点、指尖脈波(digital plethysmogram)は上記の欠点をもたない反面、高年者(動脈硬化進展例)、心不全例などで、単相波(monophasic wave)、梯形波(trapezoid wave)、プラトー波(plateau wave)が出現しやすく、大動脈切痕(dicotic notch, DN)が不明瞭となり、左室駆出時間計測が難かしくなるという難点をもっている。

そこで、指尖脈波と頸動脈波を同時誘導し、両者で計測したLVETがどんな値を示すか、どういふ条件下でずれが生じるかを検討した。

症例と方法

症例は男子48人、女子52人の計100例である。年齢構成は25才から89才迄、平均 57.5 ± 15.2 才で、(男: 58.2 ± 14.6 才, 女: 56.6 ± 15.8 才)、主として高年者を対象としている。100症例のうち、心

臓血管系障害をもつものは男26人、女37人、計63症例で、そのうちの大半は本態性高血圧症および高血圧性心臓病であり、またリウマチ性心臓病2例、大動脈炎症候群1例が含まれている。

記録には、フクダ電子製 Cardiograph RS-432-DS型 4チャンネル記録計を用い、頸動脈波(CPW)、心音図(PCG)、心電図(ECG)を描かせ、同時に、フクダ電子製 photoplethysmograph Model PT-703を用いて指尖脈波を描かせた。

ECGとは主としてQ波の同定しやすい誘導、原則としてII誘導を撰び、PCGは大動脈弁閉鎖音(IIA)を明瞭にとらえうる胸壁上の部位および周波数帯をえらび、CPWは主として右側頸動脈拍動、plethysmogramは吉村らの提唱する方法⁸⁾に近い条件下で、右側で、何れも呼吸停止時に同時記録した。

またマンシエット法により血圧を、ECGより心拍数を、左室駆出時間をChirifeらの方法⁹⁾にあわせて頸動脈(ETc)と指尖脈波(ETp)から計測し、(ただし、われわれの場合は連続3心拍から平均値として表現)、脈波高はAC、DCの二段校正(AC: Amplitude Calibration, DC: Digital Calibration)値として表わし、末梢血管抵抗値は

$$\text{平均血圧} \times 4 / \text{補正後脈波高} \times \text{心拍数}$$
として計算した⁹⁾。脈波伝達時間は大動脈弁閉鎖音から指尖脈波上の大動脈切痕までの時間として計測した⁹⁾。

計測法をFigure 1に示す。

成績

6症例において、大動脈切痕(DN)の同定がやや困難であったが、全くDNの発見出来ない1例を除き、100例を推計処理した結果、下記のような成績をえた。

1. ETcとETpの関係

平均値±標準偏差(mean±SD)で示すと、

ETp (msec) ETc (msec)

男 287.6±35.0 284.5±38.1

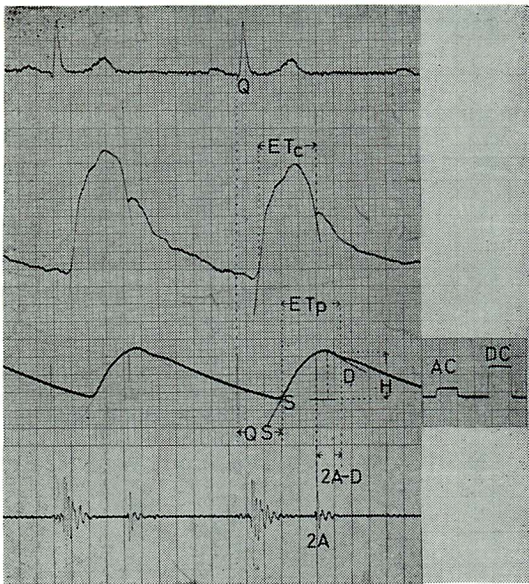


Figure 1. Method of measurement

From above, electrocardiogram (lead 2), carotid pulse tracing, digital plethysmogram, and phonocardiogram (4LSB). ETp : ejection time derived from digital plethysmogram, ETc : ejection time derived from carotid pulse tracing, 2A-D : pulse transmission time, AC : amplitude calibration, DC : digital calibration. Paper speed : 50 mm/sec.

女 295.2±33.1 293.2±35.1

全例 291.6±34.0 289.0±36.8

となり、測定範囲内ではETp と ETcは全体として非常によく一致することが分る。すなわち両者の分布の状態は、Figure 2 に示すように、よい相関を示しており、両者の相関係数 (r) は0.93, $p < 0.001$ である。また両者の関係を示す回帰方程式は、

$$ETp = 0.88 \times ETc + 22.6 \text{ (msec)}$$

で表わされ、ETp=ETc ではないことがわかる。Figure 2 で ⊗印で示した6症例では何れもETp とETc間のずれが大きいが、これらは、指尖脈波上、単相波、梯形波、プラトー波⁸⁾等、大動脈切痕の同定が困難であったものである。

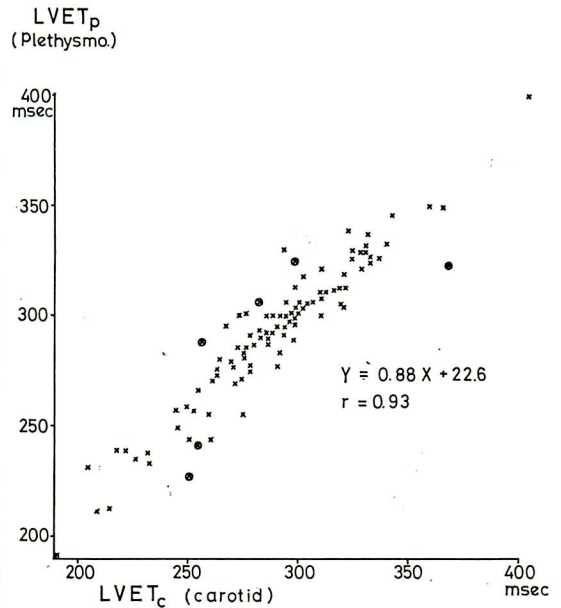


Figure 2. Comparison of ejection periods obtained from simultaneous carotid pulse tracing and digital plethysmogram

Close relationship exists between ETp and ETc ($r=0.92$), regression equation : $ETp = 0.88 \times ETc + 22.6$). Signals indicated by open circle are the cases of undetermined incisure on plethysmogram, so that the discrepancy of measurement values of ETp and ETc is relatively large.

2. ETpとETcのずれにおよぼす因子について

ETp と ETc の差をとると、両者間の差が 20 msec を超えるものが 12症例あった。そこで、ETp, ETc間にずれを生じさせる因子を検討するため、ずれが 10 msecをこえる 37症例について、年齢、性別、血圧、心拍数、補正後脈波高、digital calibration値、指尖脈波的末梢血管抵抗値、心血管系障害の有無、脈波伝達時間の諸因子と、ずれの関係を検討した。横軸に諸因子を、縦軸にずれの程度を、 $ETc > ETp$ のときにプラス値として図示した (Figure 3, 4, 5)。なお Chirifeらは carotid pulse から指尖脈波への変形を来す因子として 1. volume change, 2. elasticity

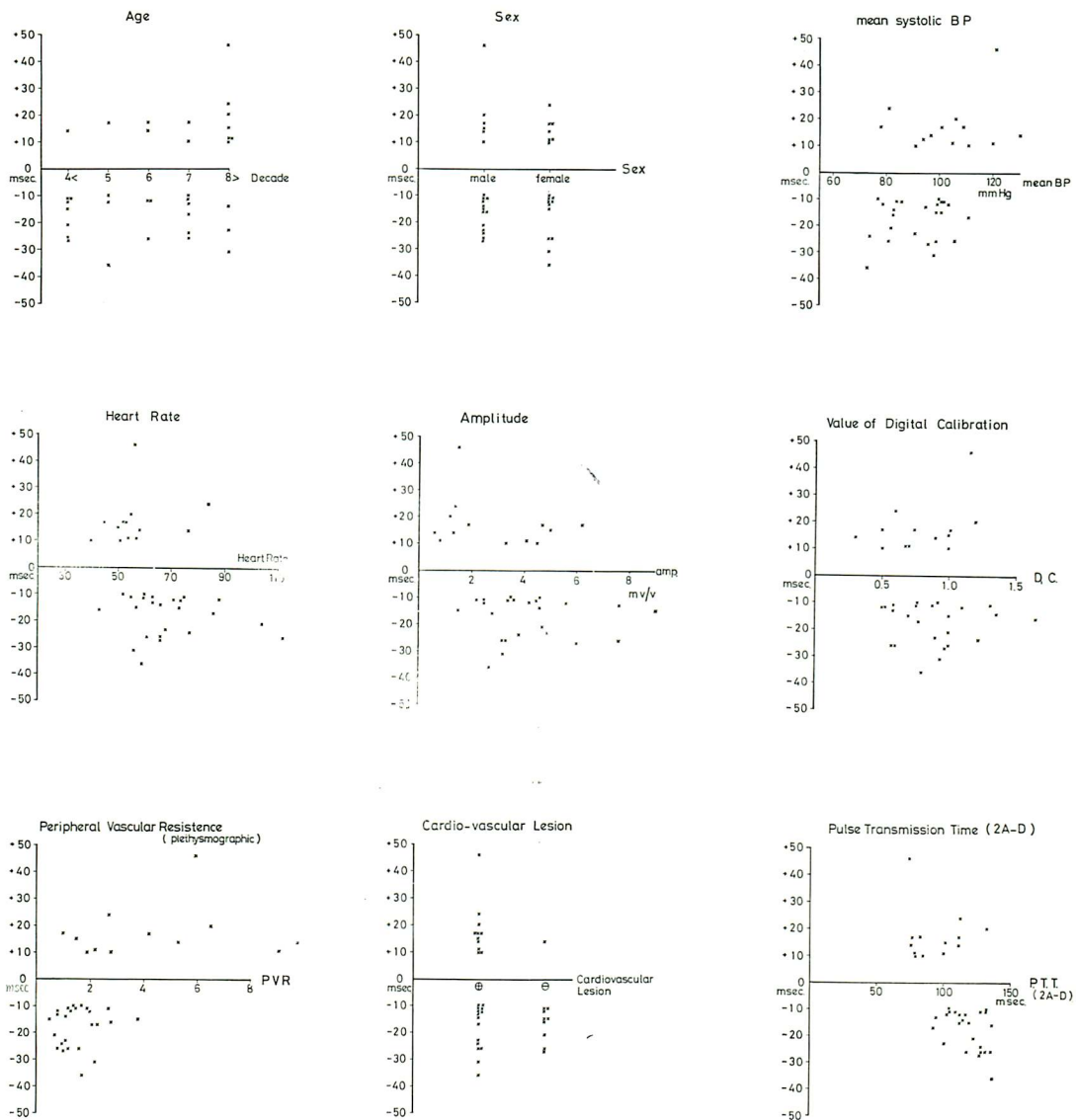


Figure 3. Distribution of discrepant value of ETc and ETp

Positive value means larger ETc ($ET_c > ET_p$). Analysis of this discrepancy disclosed no relationship existed in terms of age, sex, mean systolic blood pressure, heart rate. Also, no significant relationship in terms of amplitude of plethysmogram, value of digital calibration, and the presence of cardiovascular lesion. Peripheral vascular resistance calculated from plethysmogram disclosed that the discrepancy is minimal in cases with high resistance. In cases with longer ETp ($ET_p > ET_c$), the discrepancy is of small degree, if the transmission delay of plethysmogram (2A-D time) is short.

of the arterial wall, 3. inertial forces, 4. viscosity of the bloodの4つをあげている。

a) 年齢：平均年齢が 57.5才であるから、その前後で比較してみると

57才以下 16/43 (37%)

58才以上 21/57 (37%)

と全く等しい。したがって図の分布状態と考えあわせ有意の因子ではないと考えられた。(無論、われわれの症例が若年者について検討できる年齢構成をもたず、限られた範囲での検討である)。

b) 性：男子 19/48 (40%)、女子 18/52(35%)と有意の差はない。

c) 血圧：

$$(\text{平均血圧} = \frac{\text{収縮期圧} - \text{拡張期圧} + \text{拡張期圧}}{3})$$

平均血圧値の全体平均が 97.7mmHgであり、その前後で比較すると。

97mmHg未満：20/51 (39%)

98mmHg以上：17/49 (35%)

となり、図の分布状態と比較して、有意な因子とはいえない。

d) 心拍数：Figure 3にみるように、ETc>ETp 群は徐脈群に高頻度に分布するように思われる。ETc<ETp 群は幅広く分布し、有意な所見はない。

e) 補正後脈波高：Figure 4に示すように有意な因子とは思われない。

f) digital calibration (DC) 値：DC 値は著明な性差(男：0.96±0.21、女：0.68±0.16)を示したが、ずれとの間には Figure 4に示すように有意な関係はなかった。

g) 指尖脈波的末梢血管抵抗値⁸⁾：100例の平均値が2.51±1.74であり、その前後で、ETp とETcが10 msec 何上ずれるものの出現頻度をみると

2.51以下 28/67 (42%)

2.52以上 9/33 (27%)

と、むしろ末梢血管抵抗値の高いものの方がずれが少ない (Figure 4)。

h) 心血管系障害の有無：Figure 4にみるよ

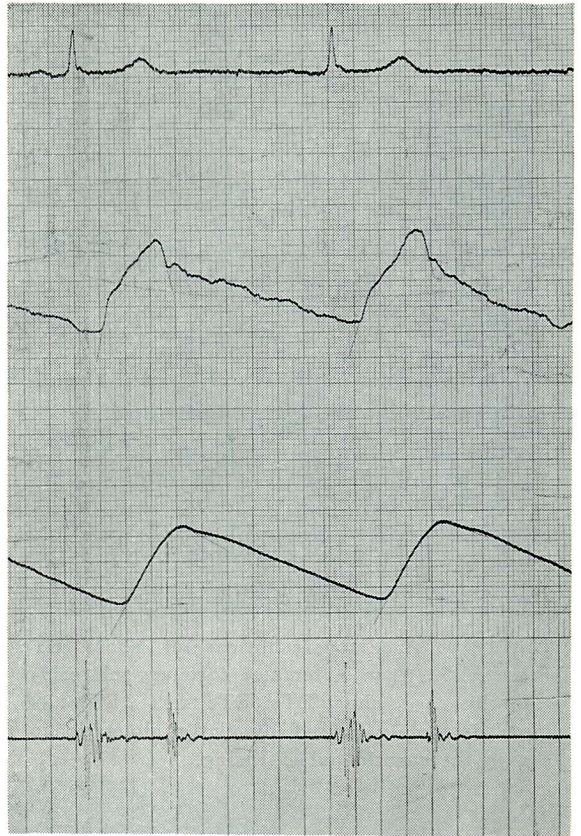


Figure 4. A case of large discrepant value of ETc and ETp (case I.N., 72 y.o. female, general sclerosis)

The main reason for this discrepancy (ETc : 257, ETp : 288 msec) was in the big difference in pulse transmission delay in the 1st and 2nd beats (60 msec).

うに心血管系障害の有無は有意な因子とはいえない。

i) 脈波伝達時間：Figure 3に示すように、ETp>ETc群において、107.1msec (100例の平均値)以上のものと以下のものについて、10msec以上ずれるものの出現頻度をみると、18:6であり、脈波伝達時間の短縮しているものの方がずれが少ない。

一方 ETc<ETp 群では一定の傾向はみられない。

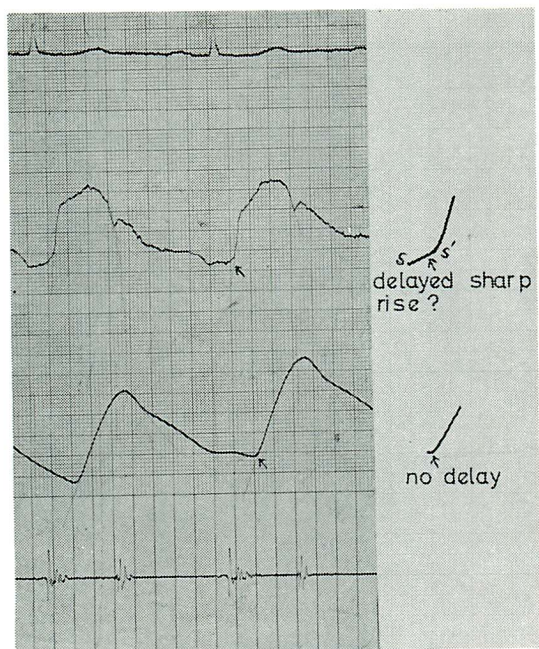


Figure 5. A demonstrable case of short ETc (case A. S., 69 y. o. female, coronary sclerosis)

In this case, short ETc (ETc : 299, ETp : 325 msec) is mainly caused by the prolongation of s-s' in the carotid pulse tracing.

以上、9つの因子について検討した結果、指尖脈波的末梢血管抵抗値が大きく、脈波伝達時間の短縮した症例において、ETp と ETcのずれが少ないという結果をえた。

しかしながらこれらの因子も個々の例になると、やはり例外がみられ、上記のような症例（臨床的には動脈硬化が進展していると考えられる症例）においても、ETp と ETcはよく一致する、という程度の結論に留めた方が誤りが少ないと思われる。

また、血圧、心拍数の因子では、著明な高血圧、低血圧、さらにつよい徐脈例においては、ETp とETcの一致性に疑問をもって各症例をみるべきであろう。

3. 症例例示

a) 症例 1. 72才, 女, 全身動脈硬化症

Figure 6に示すようにETpはETcより31msec大きい。指尖脈波の脈波伝達時間は第1心拍と第2心拍で大きくずれており、それぞれ100 msec、

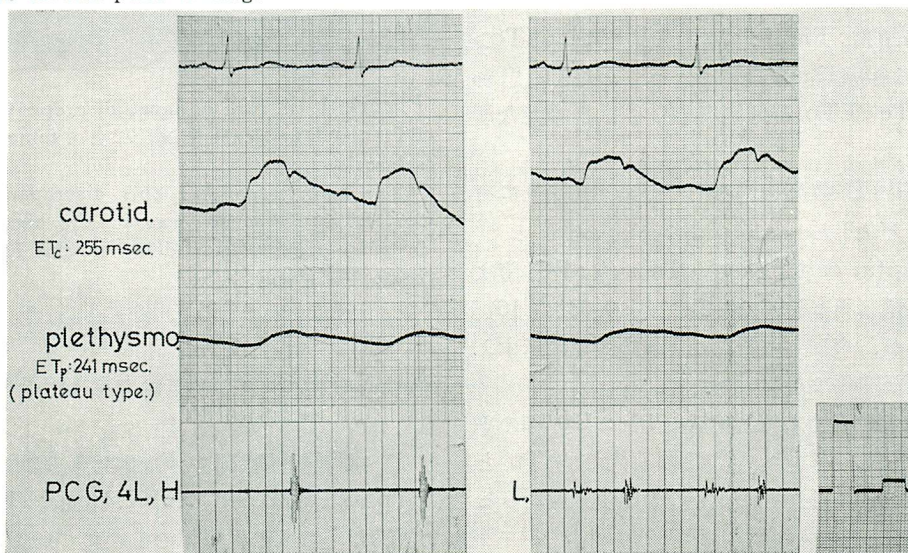


Figure 6. A case with hypertensive heart disease and congestive heart failure (case H. K., 59 y. o. female)

Plethysmogram showed a cardiac plateau pattern and decreased amplitude (0.55 mV/V). The dicotic notch was clear on the left (ETc : 255, ETp : 241msec) but not on the right tracing, though both were taken on the same day. Carotid pulse had distinct notch on both tracings.

160 msecで、60 msec の差が生じている。頸動脈波をみると、大動脈切痕は大動脈弁閉鎖音とよく一致しており、結局、指尖脈波での第2心拍にずれの原因があったことがわかる。

したがって ETp の測定にさいしては、脈波伝達時間の安定した時相をえらぶ必要のあることがわかる。何故、心拍毎に脈波伝達時間が変わったのかはわからない。

b) 症例 2. 69才、女、虚血性心臓病

ETpはETcより26msec 長い。これは頸動脈波の急峻な立ち上がりが指尖脈波に較べ遅れたからであろう (Figure 5 参照)。

Figure 5 の右に模式化して示したように S-S' 時間の差によるものであろう。

c. 症例 3. 59才、女、高血圧性心臓病、

代償不全を来しており、指尖脈波はいわゆる心臓性プラトー波を示す。二段校正後の脈波高が 0.55mV/V と正常者(4mV/V) に較べ著明に減高している。しかし指尖脈波のDNは、注意深い

記録により明瞭にすることが出来た。Figure 6 (右) のように、DN は必ずしも常に鮮明とはかぎらず、プラトー波における ETp 測定の困難さを示している。一方頸動脈波では DNは常に明瞭である。

d) 症例 4. 症例 5 (Figure 7)

指尖脈波が单相波を示し、DN の固定が難しい例である。特にFigure 7 右ではDNは全くみつからず、したがって ETp 測定が不可能であった。この症例 5 (64才、女性、全身動脈硬化症)は、われわれが推計処理からはずした唯一の例である。症例 4 (85才、女、虚血性心臓病)は、症例 5 に較べDNが痕跡的に認められ、しいて ETp を測定したところ、ETcに較べ 24 msec 短く、左室駆出時間と考えるには難があり、個々の症例をみる上では ETp計測を諦めるべきものであろう。

考 案

以上の成績から、ETp と ETc は高い相関性と

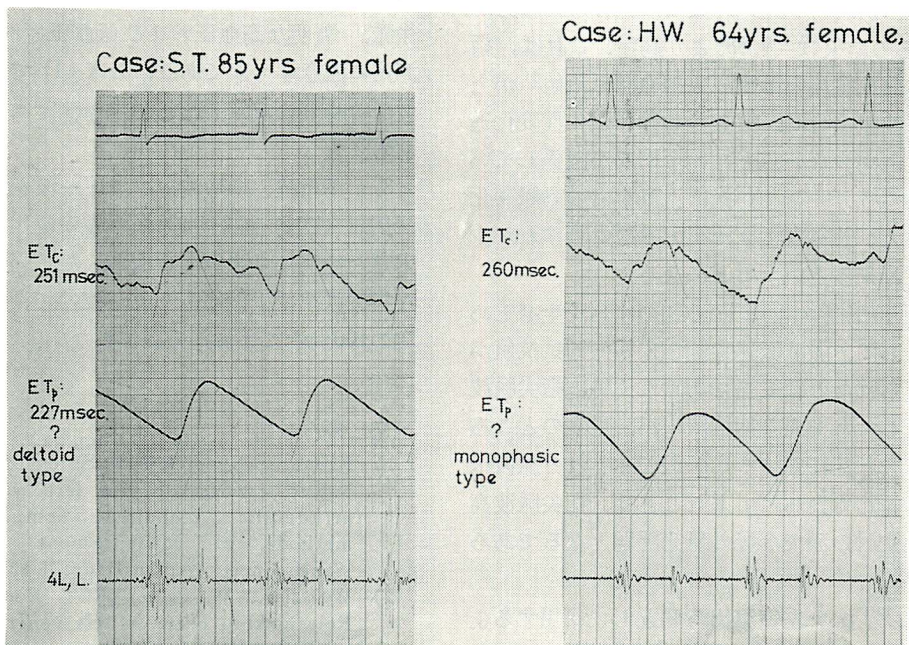


Figure 7. Two cases showing the difficulty of measurement of the time of dirotic notch on the plethysmogram

In these cases, reckless measurement seems to be erroneous.

一貫性をもつことが判明した。Chirife ら⁹⁾も同様の報告をしているが、症例数、その年齢構成に基本的差がある。すなわち、本研究では男女約同数、が高齢者を主たる対象とし、また心血管系障害を有する例が半数以上含まれているのに比べ、Chirife らの症例は24才から32才迄の健康男子10名で構成されている。しかしそのような症例構成の差はあるが、ETp が ETc とよく一致する点では変わらない。だが ETp と ETc の一致は、われわれの記した回帰方程式で示されるように、Chirifeの示した $ETp=ETc$ といった意味での一致ではなく、この点では、ETp は個体差とは関係なく、ETc より一定時間延長するという吉村の考えの妥当性を裏付けている。しかし、臨床上の測定範囲内でのETp と ETc との一致性は、 $ETp=ETc+\alpha$ と考えた吉村らの見解と結果を異にするようである。

またETpと ETc 間の相関係数は、すでに述べたような指尖脈波上DN不明瞭のためETpとETc に大きなずれを来した症例を含んでいるにもかかわらず、われわれの結果 ($r=0.93$) の方がChirifeらの結果($r=0.88$)より高い。これは、指尖脈波と血圧値から計算し末梢血管抵抗値⁸⁾が上昇し、脈波伝達時間が短縮する動脈硬化性変化進展例でずれが少ない点と、年齢構成が関係しているのであろう。一言でいえば、高年者の動脈硬化進展例の方が若年者よりETp, ETc のずれが少なく測定出来るということになる。

このようにETp と ETc 間のずれを生ぜしめる因子として、脈波伝達時間と末梢血管抵抗値が拾いあげられたのは妥当であろう。特に指尖脈波から算定した末梢血管抵抗値⁸⁾が、現在のところ鋭敏な方法とされているIIA-Dで示される脈波伝達時間と並んで表われて来たことは、指尖脈波高の再現性検討の面で今後の研究課題となるであろう。

結局、ETp を左室駆出時間として代用する上で注意すべきことは、i) DN の不明瞭な单相波、梯形波、プラトー波は避けた方がよい、ii) 著明な徐脈例、著明な高血圧または低血圧例は避けた

方がよい、iii) 脈波伝達時間(IIA-D)の一定した連続心拍を使うのがよい、iv) DNが不明瞭でも、時間、条件を変えればこれを記録出来ることがある、ということになる。

要 約

心血管系障害を含む100症例(平均年齢:57.5±15.2才)について、頸動脈波で測定した左室駆出時間(ETc)と指尖脈波からのそれ(ETp)を比較し、次の結果をえた。

1. ETp と ETc はよく一致する。

$$ETp=291.6\pm 34.0 \text{ (msec)}$$

$$ETc=289.0\pm 36.8 \text{ (msec)}$$

ETpとETc間の相関係数(r)は0.93で、回帰方程式は

$$ETp=0.88\times ETc+22.6 \text{ (msec)}$$

($P<0.001$) で表わされる。

2. ETp と ETc の間にずれをきたす因子について検討した結果、脈波伝達時間が短縮したもの、指尖脈波的に評価した末梢血管抵抗値の大きいもので、ずれが少ないことを観察した。また、著明な徐脈、著明な高血圧および低血圧症例ではETp測定に注意すべきであり、IIA-Dで示される脈波伝達時間の安定した心拍群を測定に使うべきである。

3. 单相波、梯形波、プラトー波を示し、大動脈切痕(DN)が不明瞭で、左室駆出時間測定に困難な症例は100例中6例あった。全くDN不明な指尖脈波は1例にみられただけで、これは本研究の100例中には加えられていない。

文 献

- 1) Kumar S, Spodick DH: Study of the mechanical events of the left ventricle by atraumatic techniques—comparison of methods of measurement and their significance. Amer Heart J 80: 401, 1970
- 2) Weissler AM, Peeler RG, Roehill WH: Relationship between left ventricular ejection time, stroke volume, and heart rate in normal individuals and patients with cardiovascular disease. Amer Heart J 62: 367, 1961

- 3) Wallace AG, Mitchell JH, Skinner NS, Sarnoff SJ: Duration of the phases of left ventricular systole. *Circulat Res* 12: 611-1933
- 4) Perloff JK: Value and limitations of systolic time intervals (preejection period and ejection time) in patients with acute myocardial infarction. *Circulation* 45: 929, 1972
- 5) 野原哲夫, 杉本恒明, 稲坂暢, 他: 左室駆出時間についての検討. *心臓* 3: 1146, 1971
- 6) Inoue K, Sakamoto T: Correlation between left ventricular isometric contraction time and cardiac output. *Cardiovasc Sound Bull* 2: 19, 1972
- 7) Sawayama T, Ochiai M, Marumoto S, Matsuura T, Niki I: Influence of amyl-nitrite inhalation on the systolic time intervals in normal subjects and in patients with ischemic heart disease. *Circulation* 40: 327, 1969
- 8) 吉村正治: 脈波判読の実際. 中外医学社, 東京, 1968
- 9) Chirife R, Pigott VM, Spodick DH: Measurement of the left ventricular ejection time by digital plethysmography. *Amer Heart J* 82: 222, 1971

討 論

井上(東大第二内科): 私も以前に同じようなことをやりましたが, 両方の ET が合わない場合が多い. そのときに感じたのですが, ET は左心機能の分析に若干参考にされているわけですが, 実測する場合, それを指の先で測ってもあまり意味がないんじゃないか, つまり, 非常に心臓から遠いので, 測定結果に意味を持たせにくいのではないかと思った次第です.

それから, いま先生は非常に判定の難かしい例ばかり出されたわけですが, 実際にはああいうケースが非常に多いということは重大な問題です. それから plethysmogram はとる時期とか患者の緊張等ですぐ波形が変わってきますから, 波形上の特徴というものはなかなか個々の疾患で出にくいんじゃないかということも問題です. Spodick もプレチスモの ET と carotid pulse の ET との相関が非常にいいということを言っているのですが, 現実には指尖脈波で測った ET には, あまり臨床的な意義を持たせにくいんじゃないかと考えております.

演者(山本): 人によって見解が違うと思いますが, Chirife らが 1971 年の *American Heart Journal* に, なぜ plethysmogram が carotid pulse をよく伝えるかということ述べております. 私はそれについて納得するだけの物理数学的な解釈はできませんので, よくはわかりませんが, しかし臨床的にはこのようによく一致すると思います. 結局頸動脈波というのは, ejection time に関する限り, わりあいゆがまずに伝わっているということは言えると思います. で, 心臓の現象をどうして指尖で測るかと言われると, さっき申しました carotid pulse での不都合な点があることと同時に, 私たちがいま考えている心機能評価法というのが, いわゆる末梢血管抵抗を上げることによって ejection time がどう変わるかという問題に連なっていますので, その末梢血管抵抗をみるという点にたつと, 指尖脈波が一定の役割を果たしうると, そういう面もあっていまプレチスモを取り上げておるわけです.