

〔原 著〕

電気容量脈波計による小児動脈脈波の研究

第2報 心疾患児における指節脈波について

東京女子医科大学小児科学教室 (主任 磯田仙三郎教授)

// 第1生理学教室 (主任 箕島 高教授)

大学院学生 阿 部 栄 子
ア ベ エイ コ

(受付 昭和36年11月27日)

I 緒 言

著者はさきに改良型電気容量脈波計を用いて3～16才までの健康児を対象としてその指節脈波を記録し、分析し年令的推移を報告したが、本編ではその臨床への応用を試みる第1段階として心疾患児における脈波曲線を研究した。

心機能検査法としては Heart catheterization, Elektrokymography, Angiocardiography などの直接法があるが施行には種々の制約がある。またよく用いられている Plethysmograph は動脈系、静脈系、局所反射などの介在する複雑な現象の総和であるので適当ではない。

電気容量脈波計は指節に於ての末梢脈波を描記しているので間接的ではあるがその施行の容易性と脈波による変動の微細な点を把握できるので、これより中枢側にあり臨床的に用いられる橈骨脈波と何等変りない形を示していることは藤田¹⁾の研究で明らかである。

本編ではまず心疾患児についての指節脈波を記録し、その波型の分析に必要な脈波の棘とそれらの時間的關係を測定し、各種心疾患児の脈波の形

を把握し、前編と同様に波頂時間、持続時間およびその他を求めて正常児と比較し、さらに従来中心脈波について適用されている先人の分析方法を改良して末梢脈波の分析を行ない、最後に之を基にして末梢脈波系における圧力×時間の数値的取扱いを試みた。

II 被検児および実験方法

1) 検査対象児および対象疾患

この検査対象児は第1表に示す如く、先天性心臓異常児40名、後天性心臓異常児10名を扱つたがその年令は1才2カ月より15才に亘つており、且つ性別では、男子26名、女子24名で、本院小児科および心臓血圧研究所入院中の患者である。

2) 実験方法

測定方法の詳細は前編健康児の項に記載した如く、トランジスター化電気容量脈波計(改良2型)を用い、Sanborn 熱ペン書き心電計に接続して記録したが、時としてペン書き記録装置を使用した(第1編に於て図示)。

III 実 験 成 績

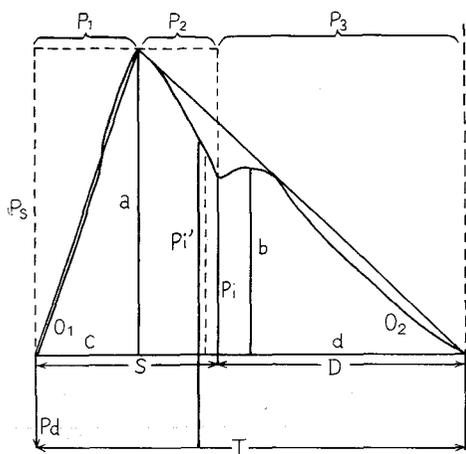
1. 脈波波型

Eiko ABE (Department of Pediatrics, Tokyo Women's Medical College): Studies on the arterial pulse waves of children with capacitosphygmograph. Report II. On the pulse waves of children with heart diseases.

第 1 表

疾 患 名	例 数		
	女児	男児	計
僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	2	3	5
僧帽弁閉鎖不全症		3	3
僧帽弁狭窄症		2	2
動脈管開存症	4	2	6
ファロー四徴症	6	3	9
心室中隔欠損症	4	9	13
心房中隔欠損症	3	3	6
肺動脈狭窄症	1		
三尖弁閉鎖症		1	1
大動脈弁閉鎖不全症	3		3
大動脈弁狭窄症	1		1
計	24	26	50

まず今後の記述に対する理解のために、脈波の各棘とその時間関係を図示したものが第1図である。すなわち波頂時間(C), 持続時間(T), および収縮期時間(S), 弛緩期時間(D), 弛緩持続時間(d), 波頂高(a), 弛緩波高(b)である。



第1図 指節脈波模型及び脈波各部位の名称

2. 波頂時間(C), 持続時間(T) およびその比.

a) 波頂時間(C)

種々なる病型の先天性心臓異常および後天性心異常児50名についての波頂時間計測値は第2表に示す如くである。一般に健康児においては前編に

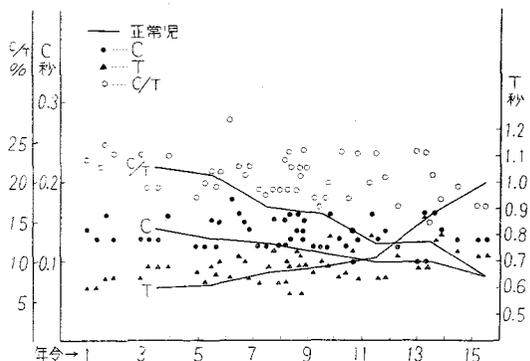
でも述べた如く年齢に応じて変化するが、心疾患児においては非常にまちまちで同一病型の先天性心異常でも一定しない。しかし一般に延長しているものが多い。

b) 脈波持続時間(T)

第2表に示す如く心疾患児の持続時間は、健康児の如く加齢につれて増加するという傾向はみられず同一年令層に於ても正常児より長いもの短いもの等、頗るまちまちの値を示した。また不整脈を認められない患児に於ても各自一定のTを示さない。

c) 波頂時間と持続時間との比(C/T)

波頂がその脈波の持続時間とどのように関係するかは波頂時間と脈波持続時間との比で示され、従つて心搏数の多寡によつて波頂時間もまた影響されることが考えられるので、第2表に C/T を算出してみた。この関係もまた波頂時間の項で述べたのと同じような傾向が示された。



第2図 心疾患児に於ける年齢と波頂時間, 持続時間およびその比

d) 収縮期における脈波の立ち上り角度(θ_1) および弛緩期における脈波の下降角度(θ_2)

θ_1, θ_2 および θ_1/θ_2 によつて各種波型の代表的ものを画いてみると第3図の如くに分類することが出来る。すなわち大動脈弁閉鎖不全症はⅠ型に属し、大動脈弁狭窄症はⅡ型に、その他の疾患はⅢ型に属した。第4図は各種疾患児の指節脈波波形の例を示しており、その分類の妥当性が大体うかゞえると思う。

第 2 表

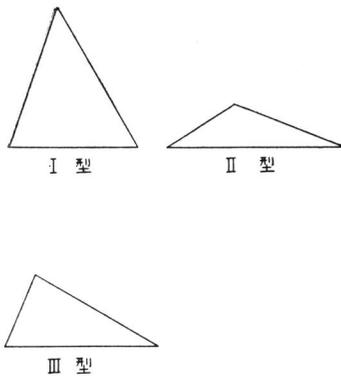
症 例	患者名	性	年 令	病 名	C	T	C/T
1	野 ○	♂	1	心室中隔欠損症	0.14	0.60	0.33
2	広 ○	♂	1	ファロー四徴症	0.13	0.60	0.22
3	後 ○	♂	1	〃	0.16	0.64	0.25
4	本 ○	♂	2	三尖弁閉鎖症	0.13	0.64	0.24
5	酒 ○	♀	3	心室中隔欠損症	0.13	0.64	0.24
6	宇 ○	♀	3	〃	0.13	0.68	0.19
7	中 ○	♂	3	心房中隔欠損症	0.13	0.68	0.19
8	鈴 ○	♀	4	ファロー四徴症	0.16	0.68	0.24
9	石 ○	♀	5	心房中隔欠損症	0.12	0.66	0.18
10	布 ○	♂	5	心室中隔欠損症	0.12	0.62	0.20
11	石 ○	♂	5	ファロー四徴症	0.14	0.68	0.21
12	志 ○	♂	5	動脈管開存症	0.15	0.70	0.21
13	今 ○	♂	5	ファロー四徴症	0.12	0.66	0.18
14	佐 ○	♀	6	大動脈弁狭窄症	0.18	0.64	0.28
15	内 ○	♀	6	ファロー四徴症	0.16	0.72	0.22
16	菱 ○	♂	6	動脈管開存症	0.15	0.70	0.21
17	佐 ○	♂	6	肺動脈狭窄症	0.14	0.64	0.22
18	久 ○	♀	7	心室中隔欠損症	0.12	0.62	0.19
19	笹 ○	♀	7	心房中隔欠損症	0.12	0.68	0.18
20	日 ○	♀	7	ファロー四徴症	0.14	0.74	0.19
21	塚 ○	♂	8	心室中隔欠損症	0.12	0.62	0.19
22	山 ○	♂	8	心房中隔欠損症	0.12	0.62	0.19
23	矢 ○	♀	8	大動脈弁閉鎖不全症	0.16	0.68	0.24
24	洪 ○	♀	8	ファロー四徴症	0.14	0.74	0.19
25	小 ○	♂	8	心室中隔欠損症	0.14	0.68	0.21
26	永 ○	♀	8	動脈管開存症	0.16	0.70	0.23
27	和 ○	♀	8	〃	0.16	0.68	0.24
28	金 ○	♂	8	僧帽弁閉鎖不全症	0.13	0.58	0.22
29	牧 ○	♂	8	〃	0.13	0.58	0.22
30	沼 ○	♂	8	ファロー四徴症	0.16	0.72	0.22
31	吉 ○	♀	9	心室中隔欠損症	0.12	0.66	0.18
32	木 ○	♂	9	心房中隔欠損症	0.12	0.70	0.17
33	志 ○	♂	9	心室中隔欠損症	0.12	0.68	0.18
34	鳴 ○	♀	9	動脈管開存症	0.16	0.80	0.20
35	国 ○	♀	10	僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	0.13	0.64	0.24
36	藤 ○	♀	10	心室中隔欠損症	0.12	0.66	0.18
37	紀 ○	♀	10	〃	0.10	0.74	0.14
38	高 ○	♀	10	僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	0.13	0.64	0.24
39	石 ○	♀	11	動脈管開存症	0.16	0.80	0.20
40	渡 ○	♀	11	僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	0.13	0.64	0.24
41	吉 ○	♂	11	僧帽弁狭窄症	0.14	0.64	0.21
42	長 ○	♂	12	心室中隔欠損症	0.12	0.72	0.17
43	森 ○	♂	13	僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	0.10	0.68	0.24
44	石 ○	♀	13	大動脈弁閉鎖不全症	0.16	0.88	0.24
45	島 ○	♀	13	〃	0.16	0.78	0.21
46	新 ○	♂	13	僧帽弁狭窄症	0.14	0.80	0.18
47	坂 ○	♂	13	心室中隔欠損症	0.10	0.68	0.15
48	齋 ○	♂	14	僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	0.13	0.74	0.19
49	高 ○	♂	15	〃	0.13	0.72	0.17
50	鎌 ○	♂	15	僧帽弁閉鎖不全症	0.13	0.72	0.17

IV 考 按

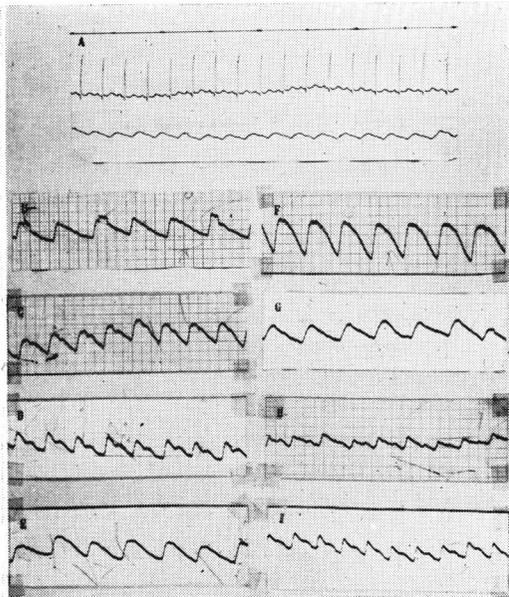
1. 中心脈波と末梢脈波について

a) 中心脈波

これは左心室よりの搏出血液が血管壁に定常波を起させる部分で、この部分が O. Frank のいわゆる Windkessel として作用している。Wind-



第 3 図



第 4 図 A. 大動脈弁狭窄症

- | | |
|-------------|----------------|
| B. 心室中隔欠損症 | F. 大動脈弁閉鎖不全症 |
| C. 心房中隔欠損症 | G. ファロー四徴症 |
| D. 僧帽弁閉鎖不全症 | H. 肺動脈狭窄症 |
| E. 大動脈管開存症 | I. 僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症 |

kessel の長さは Aorta の初めの部位からの圧波が Systole の終期までの間に到達する血管の長さで、人では Aorta の起始部から A. femoralis 直前の動脈の Lig. inguinale の直下の部位とみられているが、これについての見解は必ずしも一致していないので幾つかの問題が残されている。ともかくこの部位は血管が弾力性にとみ、血管神

経（遠心性）がないので、心室の圧経過を如実に伝えている。

Broemser および Ranke²⁾, Wezler および Eöger³⁾, Wiggers⁴⁾ などは中心脈波として、A. subclavia, A. femoralis を記録して分析している。これは A. subclavia は Windkessel の初めの部位に、A. femoralis はその終りの部位に当り定常波としての基礎振動が Aorta の起始部からこれらの部位に亘っているためである。

b) 末梢脈波

これは上下肢に分布しているものが代表的で、この部位では血管は弾力性の他に平滑筋による収縮性が存在する。この収縮性は自律神経系およびホルモンなどの影響を受ける。しかしこの系に Windkessel の理論が適用されないというのは考え方の相違で、O. Frank⁵⁾ も論文中に付録として、自己の血行模型を拡張し、末梢小動脈系とこれに連なる静脈系および右心房とを合わせて弾力性ある第 2 の Windkessel として考えている。そうしてこれに適する数式を示し、一定の条件では中心脈波に適用される Windkessel の式に帰着することを述べている。

2. 人体における末梢動脈系の応用

血圧の聴診的測定法はよく知られているように上腕にマンセットを巻き、これに空気圧を加えて肘窩の A. brachialis で聴診して行なっている。この場合の最高および最低血圧は心臓および血管（中心および末梢系）を含めた総合的の数値であるから、血圧の状態から心臓および血管の機能状態を推定するに役立つ。

Windkessel の学説でも A. subclavia および A. femoralis は厳格な意味ではこの系に属していないが、いずれも大動脈から鋭角に分枝している大きい動脈で、その脈波曲線も大体 Aorta の脈波曲線に近似しているので実際に直接または間接に脈波曲線の描記に使用されている。これらのいわゆる中心動脈は上昇脚および下降脚に多数の振動波を示しているが、これらのものは末梢に行くに従って減衰されて曲線は smooth になる。O. Frank の述べているように Windkessel の

理論が小動脈系から静脈系および右心房にまで拡張出来るとすれば同様にこの考えは両者の中間に介在する末梢動脈系に適用出来るとみて差支あるまいと思う。この場合は左心室の代りに第1の中心動脈系の終りに於ての流出圧をその場合の圧とし、抵抗はこの移行部位の抵抗(W₁)さらに第2の動脈系から小動脈系に移行する部の抵抗を(W₂)とし、容積弾性率はこの第2動脈系のそれとすれば、著者⁶⁾の前編で示した9)式は第2動脈系すなわち末梢動脈系に適用出来ると考える。山泉⁷⁾によると加齢による中心動脈系の容積弾性率の上昇と上肢動脈系のそれとは数值は異なるが、その増加傾向は一致している(下肢では一致が悪い)、また藤田¹⁾によると指節脈波は橈骨脈波とほとんど同一の形態を示している。すなわち主隆起(Primary wave, Primary elevation), 切痕(incisura) および重複隆起(dicrotic wave) などである。前編の9)式をこの場合に当てはめるべく考察してみよう。第9式は次の如く表わされる。

$$p = \frac{PW_2}{W_1+W_2} (1 - e^{-\frac{Et}{W}}) + Pde^{-\frac{Et}{W}} \dots\dots 1)$$

いまこれを3つの部分に分けてみると第1のものは急激な弛緩期に当る項で、1)式中の第1項がこれに当る。すなわちこの時期は収縮期中の圧の最大がみられる時期で

$$p_1 = \frac{PW_2}{W_1+W_2} (1 - e^{-\frac{Et}{W}}) \dots\dots 2)$$

で表わされる。

次の時期は緩やかな駆出期に当り曲線は最大に達した後、陥没の直前まで減少する時期で、

$$P_2 = \frac{PW_2}{W_1+W_2} (1 - e^{-\frac{E}{W}t}) - pde^{-\frac{E}{W}t}$$

或は

$$P_2 = \frac{PW_2}{W_1+W_2} - (\frac{PW_2}{W_1+W_2} - pd) e^{-\frac{E}{W}t} \dots\dots 3)$$

に当る。すなわち脈波曲線は最高から陥没部の直前まで本式の示す如く減少する。

次は陥没以後の経過で、弛緩期に当るもので、これは

$$P_3 = pde^{-\frac{E}{W}t} \dots\dots 4)$$

の示す如く3)に示す値から指数函数的に減少し、弛緩末期に至る曲線の部分を示す。

かかる関係を模型的に図示すると第1図の如くである。

前記の2)および4)式で示された曲線の時間に対する傾斜すなわち速度は両曲線の変曲点 (inflection point) における微分、すなわち

$$\frac{dp_1}{dt} \text{ および } \frac{dp_2}{dt}$$

によつて求められるが、実際に変曲点を求めることは簡単でないので $\frac{dp_1}{dt}$ および $\frac{dp_2}{dt}$ の代りにこれらに近似する $\frac{a}{c}$ および $\frac{b}{d}$ を求めて $\tan \theta_1$ および $\tan \theta_2$ とした。従つて第1図の三角形の底辺は必ずしも(T)に一致しない。

前記で求めた a はこの場合の2)式の値を表わし、b は下降曲線の勾配が変る時期の p'i (藤田の前重複隆起に当る高さ) と p_i との平均値として代用したもので、p'i および p_i が指節脈波の如き場合に梢々不明で、b がより明瞭であることより来た便宜上のものである。

Broemser および Ranke (1930) は犬および家兎の A. carotis および A. iliaca に canula を挿入し、脈波曲線を記録し心搏出量は

$$V = K \frac{ST (Ps - Pd)}{D} \dots\dots 5)$$

式で表わされることを証明した。

Ps, Pd は大動脈 (A. ascendens) の実測の収縮期圧および弛緩期圧で、圧曲線に於ては Ps の代わりに (ps + pi)/2 を代用することが出来る。

すなわち

$$\frac{ps + pi}{2} - pd = \frac{(ps - pd) + (pi - pd)}{2} \dots\dots 6)$$

で第1図に示す如く

$$ps - pd = a$$

$$pi - pd = b$$

であるから

$$\frac{ps + pi}{2} - pd = \frac{a + b}{2} \dots\dots 7)$$

となる。この曲線の縦軸を実測値の最高および最低血圧に校正するために、これを $pi - pd = a$ で割つた値が $\frac{a+b}{2a}$ である。したがつて

$$V = K (Ps - Pd) \frac{a+b}{2a} \frac{S \cdot T}{D} \dots\dots 8)$$

第 3 表

症例	患者名	性	年齢	病名	Ps	Pd	a	b	c	d	S	D	T	$\frac{\theta_1}{\theta_2}$	$\frac{(Ps-Pd)}{a+b} \cdot \frac{S \cdot T}{2a \cdot D}$
1	高○	♂	15	僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症	112	42	7	4	2	5	5.5	7	12.5	1.9	542
2	国○	♀	10	〃	112	82	11	7	2	6	5	7	12	1.6	210
3	金○	♂	8	僧帽弁閉鎖不全症	108	68	9	5	2.5	6.5	6	9	15	1.9	311
4	牧○	♂	8	〃	90	66	7.5	3.5	2.5	8	6	10	17	3	149
5	渡○	♀	8	ファロー四徴症	96	42	8	5	2.5	12	7	13	20	4.2	473
6	沼○	♂	8	〃	102	58	7	5.5	4.5	9	7	11	18	1.8	440
7	石○	♂	5	〃	92	50	7.5	4	4.8	10	6.5	11.5	18	2.6	328
8	佐○	♀	6	大動脈弁狭窄症	88	70	3	1.9	4	3.5	8	4	12	1.3	353
9	神○	♀	8	大動脈弁閉鎖不全症	92	0	17.5	15	3	9	8.3	8.7	17	1.4	1100
10	石○	♀	13	〃	100	0	7	2	1.5	5	6	5	11	3.6	848
11	久○	♀	7	心室中隔欠損症	118	46	11	7	2.8	7	6.5	9	15.5	1.7	587
12	永○	♀	8	動脈管開存症	112	78	10.5	6	3	11	10	3	19	2.7	564
13	坂○	♂	13	心室中隔欠損症	108	50	8	5.5	3	10	7.5	12.5	20	2.2	587
14	紀○	♀	10	〃	108	56	10	8	3	11	7.5	13.5	21	2	546
15	山○	♂	8	心房中隔欠損症	108	68	10	7	3	7	6	9	15	1.6	250
16	坂○	♂	13	心室 〃 術前 術後	108 103	50 50	8 10	5.5 7	3 3.5	7 7	7.5 9.5	7.5 9.5	20 19.0	2.9 1.9	587 858

となる。この Ps, Pd は実測した最高および最低血圧値を表わす。

よつて8)式の単位は圧力×時間 $\left[\frac{\text{Dyn}}{\text{cm}^2} \times \text{sec} \right]$ で左心室の収縮時の搏出血液による末梢動脈系の圧力の工率 (power) に相当する数値を示すことになる。

もとよりこの考え方は上記の各種の検討から絶対に正しいものとはいえないが、末梢脈波の分析からこの系の圧力×時間積について或る程度の推定を下すことを可能ならしめるものと考え。これによつて求めた数値は第3表の如くである。

また末梢脈波の収縮期の上昇脚の傾斜と弛緩期終期の下降脚の傾斜より脈波の波形を求めると前記2)および4)式の示す曲線の立ち上りの初めの部と終りの下降部との $\tan \theta_1$ および $\tan \theta_2$ はそれぞれ a/c および b/d として求められることは明らかで

$$\tan \theta_1 = \frac{a}{c}$$

$$\tan \theta_2 = \frac{b}{d}$$

これより θ_1 および θ_2 を求めると大体脈波持続時間を底辺とした各種の形の三角形が得られる。

これらの数値を各種疾患例について求めたのが第3表である。

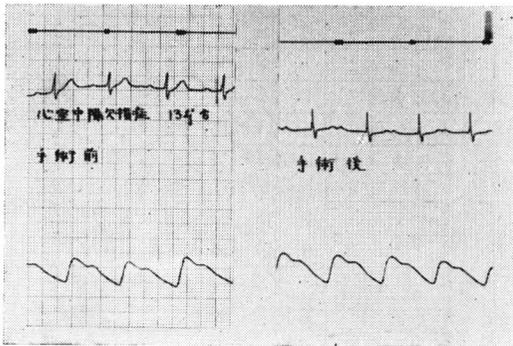
この表で明らかな如く僧帽弁閉鎖不全症では、圧力×時間積は 311, 149で一般に小さい値を示している。これは左心室より左心房への血液の逆流によつて、駆出量の減少したことを意味する。これと反対の結果を示すのは大動脈弁閉鎖不全症で、その値は1100, 848の如く大きい。すなわちこの場合は大動脈よりの血液が左心室への逆流することによつて、左心室血液量の増加、したがつて左心室の収縮力の過度の増大によるものと考え。大動脈弁狭窄では駆出される血液量が少なく、値は353の如く小である。心室中隔欠損症および動脈管開存症ではそれぞれ 587, 564, 587, 546でやや同等の値を示しているが、これは左心室の負担の大きさと compensation との兼ね合いがこれらのもので似通つたものであるためかと考える。

ファロー四徴候はその4徴候の現われる程度により圧力×時間積も減少すると考えられ、それぞれ 473, 440, 328, 353の値を示している。

その他僧帽弁狭窄兼閉鎖不全症では 542, 心房中隔欠損症では 250であるが、これについては論

議を差控える。

1例ではあるが手術前と手術後との数値の比較を今後の参考のために添加してみると第5図および第3表の如くで、その値は手術前 587, 手術後 858となっていた。



第5図 手術前後の脈波

またこの圧力×時間積と θ_1/θ_2 とを比較すると第3表の如く両者に相関関係はないと思われる。すなわち θ_1/θ_2 を求めることは大体の波形と駆出期と弛緩期との勾配を知るための実用上の応用に意味があり、圧力×時間積の数値は左心室の駆出量または駆出力の大体の見当をつけるのに役立つということが出来る。

松本⁸⁾, Sodeman⁹⁾ は心疾患児の脈波曲線を5つの型すなわち, Waterhammer, anacrotic, plateau, dicrotic, catacrotic 型に分類しており, Stoermer¹⁰⁾, Kuhn¹¹⁾らは各々方法は異なるが大動脈弁障害を有するものの脈波について述べており, 他の検査法と共にこの脈波の持つ意義は重要であると強調している。

著者の成績よりみると, 一般に心疾患児に於ては, 心電図にも変化なく, 自覚的にも他覚的にも何等の代償障害を認めない場合は殆んど健康児脈波曲線と異なることはない。

しかるに波頂時間に於ては健康児と比較すると非常にまちまちであり, 一般には長いものが多く, 平均値に於ても延長の傾向がみとめられる。これは心機能の種々の部位におけるさまざまな程度の障害が加わった疾患群の平均であると考えら

れる。第2図のI型, II型に属するものは異常脈波波形であり, 心疾患児においては, 左心室の機能にかなりの変化が及んだときにこのような異常脈波波形を示すものと思われる。さらに圧力×時間積の値はかなりよく疾患の種類と程度を分別していると言える。

V 結論

著者は心疾患児50名(先天性40, 後天性10名)の指節脈波を記録して次の結果を得た。

1. 脈波の立上りと下降の傾斜などを参考にし、これを3つの型に分類した。
2. 波頂時間(C)は、心疾患児に於ては正常児に比して一般に延長の傾向がみられた。
3. 持続時間(T)は、健康児と異り心疾患児においては加齢的な傾向はみられない。
4. 疾患別、圧力×時間積について、O. Frankらの脈波理論を modify して末梢脈波に適用し、その理論的解明を試み、各種心疾患児の程度を推定する可能性を述べた。

稿を終るに当り、終始御指導と御校閲を賜りました恩師磯田仙三郎教授、第一生理学教室篠島 高教授に深謝致します。

本論文の一部は第63回日本小児科学会総会において発表した。

文 献

- 1) 藤田とく：東女医大誌 29 1009 (1959)
- 2) Broemser, ph., and Ranke, O.F.: Ztschr f Biol 90 467 (1930)
- 3) Wezler, K., & Böger, A.: Ergeb Physiol 41 292 (1939)
- 4) Wiggers, C.J.: Circulatory Dynamics. Grune et Stratton New York 1952.
- 5) Frank, O.: Ztschr f Biol 37 483 (1899)
- 6) 阿部栄子：東女医大誌 31 337 (1961)
- 7) 山小伊志： " 30 928 (1960)
- 8) 松本将子： " 30 2669 (1960)
- 9) Sodemann, W.A.: Pathologic physiology Saunders Company 3ed Philadelphia 285 (1961)
- 10) Stoermer, J.: Arch Kinderhk 162 22 (1960)
- 11) Kuhn, C.A. et al.: Pediatrics 18 193, 205 (1956)