

## 電気容量脈波計による脈波の研究

アドレナリン、アトロピン及びピロカルピン  
の指節脈波に及ぼす影響について

東京女子医科大学第一生理学教室 (主任 藪島 高教授)

大 木 千 枝  
オオ キ チ エ

(受付 昭和 35 年 9 月 26 日)

## I 緒 言

左心室より大動脈に駆出された血液は大動脈の Wiggers のいう compression chamber function<sup>1)</sup> により末梢まで送られる。この際に生じた血圧変動は血管壁の力学的性質により変形されながら末梢血管に伝播し、末梢血管の内径変化及び血管容積の変化となる。これが動脈脈波または容積脈波といわれる。この様な脈波を記録する方法として、古くは直接あるいは空気又は液体伝導を経た後、描記槓杆あるいは光槓杆により記録するものが多かったが、これらの機械的方法は慣性や摩擦による歪を伴い易い欠点を持つているので、現今では多くの場合電気的方法が採られている。すなわち光の透過または反射による光電脈波計<sup>2)~7)</sup>、圧電変換機構による脈波計<sup>8)~10)</sup>、インピーダンス型脈波計<sup>11)~13)</sup>、電媒または電気容量脈波計<sup>14)~20)</sup>等が使用されているが、これらの内電気容量脈波計は身体の中の部位にも適用され、測定箇所の制限が少いことおよび無線伝送が容易なこと等の利点を有している。当教室では電気容量脈波計の応用<sup>17)~19)</sup>が試みられ、数々の成果をあげその有用性が証明されているが、最近さらに自動周波制御方式をとり入れた極めて安定かつ直線性にもすぐれた電気容量脈波計<sup>20)</sup>が試作された。

このように脈波は今日では容易にかつ忠実に記録されるようになったが、脈波が研究されるのは循環系の血行力学的動態を脈波が端的に表現するからである。脈波の波形は終局においては測定部位の動脈血圧変動およびそれを取りまく媒体すなわち血管壁、皮下および皮膚組織の力学的性質によつて決められる。従つて脈波の研究は中枢部血圧の末梢部への伝播機構と血管壁の力学的性質についての知識を与えてくれるのみならず、それに関与

する神経性および体液性の統御機構についての知識をも与えてくれる。

このような見地から著者は臨床において自律神経検査に使用されている薬物が指節脈波に如何なる影響を与えるかについて検索し、これら薬物の循環系に対する影響より自律神経機能を検討し興味ある知見をえたので報告する。

## II 実験方法

1. 被検者 年令17才より48才に亘る検査当時健康と認められたもの17名で、内男子7名、女子10名である。
2. 電極装着法 被検者を温度変化の少い室(約18~25°C)で仰臥位とし、誘導部位が心臓と等高位になるように手腕を伸ばし、筋緊張の少い状態にして支持台にのせた。第3指第2中節部に、巾約1cmのガラス管の上に巾約8mmの銅板を帯状に固定した絶縁電極を鬱血を起さぬように適度の強さにてはめた。さらに第2指又は第4指中節部に金属環を直接にはめて、これを接地側に接続した。
3. 脈波計 藪島、永井の考案せる電気容量脈波計原型1型を改良簡便にした改良型を用い、その出力端子を日本光電製心電計又は福田製心電計の最終段直結増巾器の入力部に接続した。
4. 使用薬物 0.1%塩酸エピレナミン(第一製薬製)および1%塩酸ピロカルピン(模範薬品製)を使用し、それぞれ0.013cc/kgを皮下に、0.05%硫酸アトロピン(共立薬品製)を使用し、0.026cc/kgを皮下に注射した。
5. 脈波の記録、上記薬物投与前および投与後5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60分の各時期に記録し、さらに投与後70, 80, 90, 100分の各時期に記録した場合もあ

Chie OHKI (First Department of Physiology, Tokyo Women's Medical College): Studies on the human arterial pulse wave by means of the capacitospymograph. Effects of adrenaline, atropine and pilocarpine on the digital pulse wave in healthy adults.

る。

6. 血圧測定 脈波記録の各時期に聴診法による血圧測定を行った。

Ⅲ 実験成績

1. 血圧

1) 最大血圧

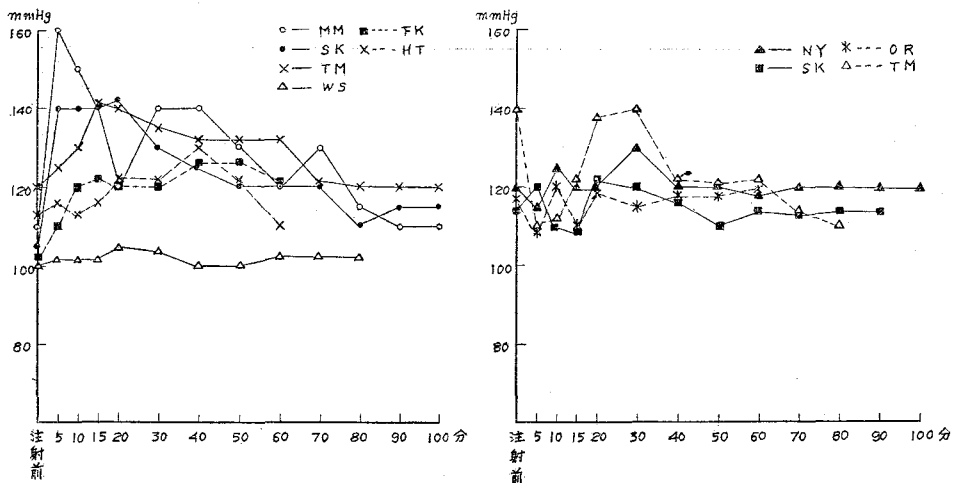
(1) アドレナリン投与 第1表に示すごとく、大半がアドレナリン投与により最大血圧の上昇を示すが、一時的な下降を示す例もある。即ち10例中6例は第1図左に示すごとく、投与5～20分後の血圧上昇を示し、40～

90分後に投与前の値に復する。これに対して他の4例は第1図右に示すごとく、投与5～10分後の血圧下降を示す。血圧下降する例では20～30分後に投与前の値に復するが、その後さらに下降を示す例と、上昇を示す例とがある。

(2) アトロピン投与 第2表に示すごとく、大多数は投与後下降を示すが、少数例では逆に上昇を示した。即ち7例中5例は第2図左に示すごとく、投与後5～20分の血圧下降を示し、20～50分後に投与前の値に復している。これに対して他の2例は第2図右に示すごとく、

第1表 アドレナリンによる最大血圧 (mmHg) の変動

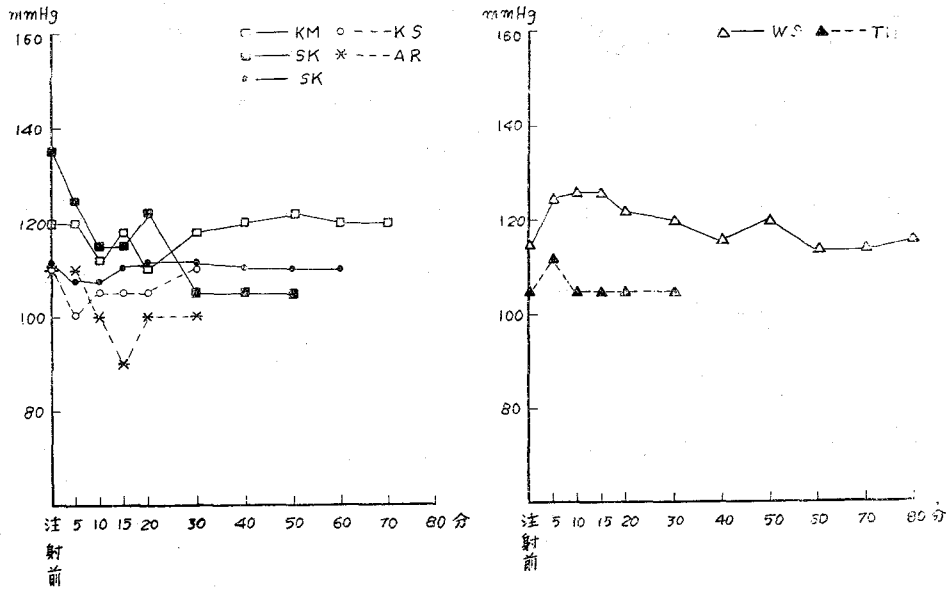
番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M. M.	♂	17	110	160	150	140	120	140	140	130	120	130	115	110	110
2	S. K.	♂	18	105	140	140	140	142	130	125	120	120	120	110	115	115
3	T. M.	♀	19	140	110	112	122	138	140	122	121	122	114	110		
4	F. K.	♀	22	102	110	120	122	120	120	126	126	120				
5	W. S.	♂	25	100	102	102	102	105	104	100	100	103	103	103		
6	H. T.	♀	25	113	116	113	116	120	122	130	120	110				
7	N. Y.	♂	28	120	115	125	120	120	130	120	120	118	120	120	120	120
8	O. R.	♀	40	118	110	120	110	120	115	118	118	118				
9	S. K.	♂	45	114	120	110	110	120	120	116	110	114	114	114	114	
10	T. M.	♂	48	120	125	130	140	140	135	132	132	132	120	120	120	120



第1図 アドレナリンによる最大血圧の変動

第2表 アトロピンによる最大血圧 (mmHg) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K. S.	♀	17	110	100	105	105	105	110					
2	S. K.	♂	18	110	108	108	110	110	110	110	110	110		
3	T. H.	♀	19	105	112	105	105	105	105					
4	W. S.	♂	25	115	125	126	126	122	120	116	120	114	114	116
5	K. M.	♂	30	120	120	112	118	110	118	120	122	120	120	
6	A. R.	♀	34	110	110	100	90	100	100					
7	S. K.	♂	45	135	125	115	115	122	105	105	105			



第2図 アトロピンによる最大血圧の変動

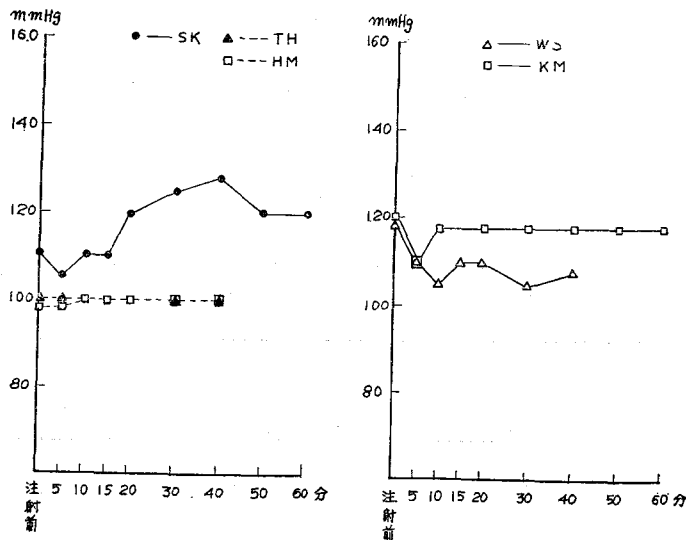
投与後5~30分の血圧上昇を示し、10~40分で投与前の値に復する。

が認められない例もあるが、5例中の2例は第3図右に示すごとく、投与後一過性の下降あるいは持続した下降を示す。これに対し他の1例は第3図左に示すごとく、

(3) ピロカルピン投与 第3表に示すごとく、著変

第3表 ピロカルピンによる最大血圧 (mmHg) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分
1	S. K.	♂	18	110	105	110	110	120	125	128	120	120
2	T. H.	♀	19	100	100				100	110		
3	H. M.	♀	19	98	100	100	100	100	100	100		
4	W. S.	♂	25	118	110	105	110	110	105	108		
5	K. M.	♂	30	120	110	118	118	118	118	118	118	118



第3図 ピロカルピンによる最大血圧の変動

投与20分後よりの著明な上昇を示した。他の2例は著明なく経過した。

## 2) 最小血圧

(1) アドレナリン投与 第4表に示すごとく、最小血圧は最大血圧とは反対に下降を示す例が多かつた。すなわち10例中7例は第4図左に示すごとく、投与後5～10分に下降を示し、以後波動状の経過を示したる後70～90分で投与前の値に復することが多い。これに対し、他の3例は第4図右に示すごとく、投与5～15分後の一過

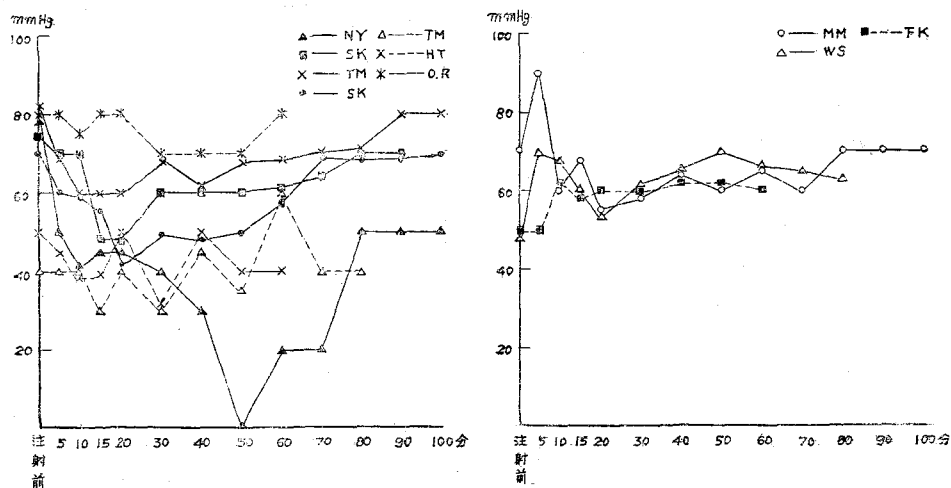
性の上昇を示し、以後少しく減少したる後再び少しく上昇を示す場合が多い。

(2) アトロピン投与 第5表に示すごとく、大半が著明な下降を示すが、軽度の上昇を示す例もある。すなわち7例中5例は第5図左に示すごとく、投与5～15分後に著明に下降するが、他の2例は第5図右に示すごとく、5～10分後の軽度の上昇を示した。

(3) ピロカルピン投与 第6表に示すごとく、1例を除いては著明な下降を示した。すなわち5例中4例は

第4表 アドレナリンによる最小血圧 (mmHg) の変動

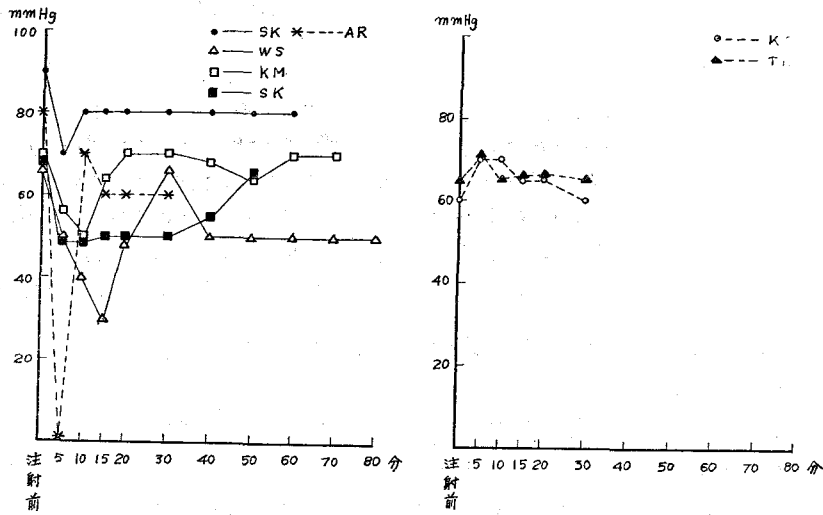
番号	被検者	性	年令	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M. M.	♂	17	70	90	60	68	55	58	64	60	65	60	70	70	70
2	S. K.	♂	18	70	60	60	55	40	50	50	60	70	70	70	70	70
3	T. M.	♀	19	40	40	40	30	40	30	45	35	60	40	40		
4	F. K.	♀	22	50	50	62	58	60	60	62	62	60				
5	W. S.	♂	25	48	70	68	60	55	60	63	70	65	65	63		
6	H. T.	♂	25	50	45	40	40	50	30	50	40	40				
7	N. Y.	♂	28	78	50	40	45	45	40	30	0	20	20	50	50	50
8	O. R.	♀	40	80	80	75	80	80	70	70	70	80				
9	S. K.	♂	45	75	70	70	48	48	60	60	60	60	64	70	70	
10	T. M.	♂	48 $\frac{1}{2}$	82	70	60	60	60	68	60	70	68	70	70	80	80



第4図 アドレナリンによる最小血圧の変動

第5表 アトロピンによる最小血圧 (mmHg) の変動

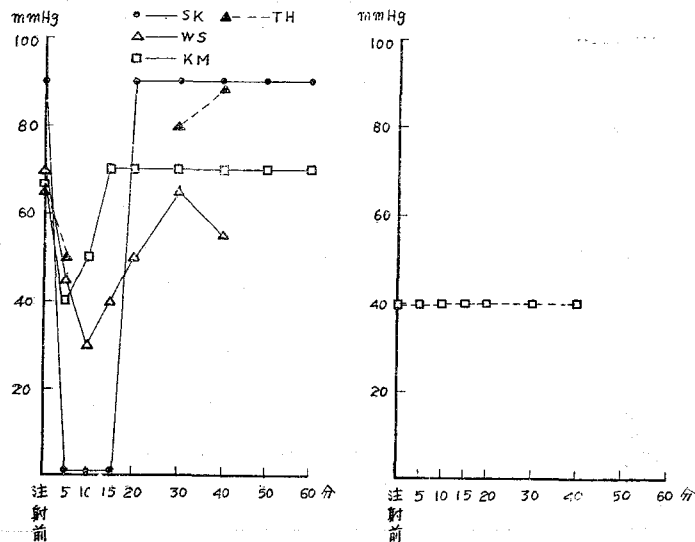
番号	被検者	性	年令	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K. S.	♀	17	60	70	70	65	65	60					
2	S. K.	♂	18	90	70	80	80	80	80	80	80	80		
3	T. H.	♀	19	65	70	65	65	65	65					
4	W. S.	♂	25	66	50	40	30	48	66	50	50	50	50	50
5	K. M.	♂	30	70	56	50	64	70	70	68	64	70	70	
6	A. R.	♀	34	80	0	70	60	60	60					
7	S. K.	♂	45	70	50	50	50	50	50	55	65			



第5図 アトロピンによる最小血圧の変動

第6表 ピロカルピンによる最小血圧 (mmHg) の変動

番号	被検者	性	年令	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分
1	S. K.	♂	18	90	0	0	0	90	90	90	90	90
2	T. H.	♀	19	65	50				80	90		
3	H. M.	♀	19	40	40	40	40	40	40	40		
4	W. S.	♂	25	70	45	30	40	50	65	55		
5	K. M.	♂	30	70	40	50	70	70	70	70	70	70



第6図 ピロカルピンによる最小血圧の変動

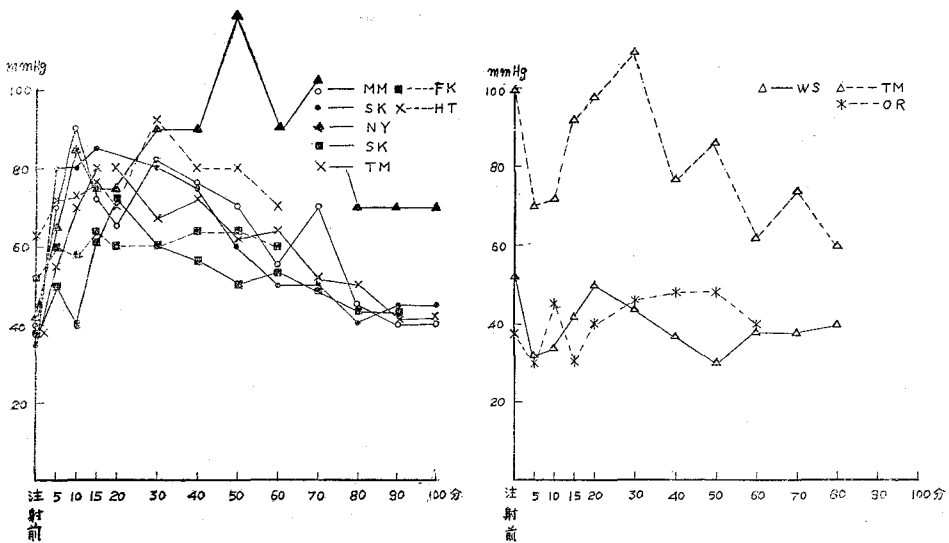
第6図左に示すごとく、投与5~15分後の一過性の著明な下降が認められ、比較的早期に投与前の値に復した。他の1例は第6図右に示すごとく著変なく経過した。

3) 脈圧

(1) アドレナリン投与、第7表に示すごとく、大多数の例が投与後増加するが、減少を示す例もある。すなわち10例中7例は第7図左に示すごとく、5分後より増加し、10~30分後に最高値を示し、80分後には投与前に

第7表 アドレナリンによる脈圧 (mmHg) の変動

番号	被検者	性	年令	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M. M.	♂	17	40	70	90	72	65	82	76	70	55	70	45	40	40
2	S. K.	♂	18	35	80	80	85	102	80	75	60	50	50	40	45	45
3	T. M.	♀	19	100	70	72	92	98	110	77	86	62	74	70		
4	F. K.	♀	22	52	60	58	64	60	60	64	64	60				
5	W. S.	♂	25	52	32	34	42	50	44	37	30	38	38	40		
6	H. T.	♀	25	63	71	73	76	70	92	80	80	70				
7	N. Y.	♂	28	42	65	85	75	75	90	90	120	98	100	70	70	70
8	O. R.	♀	40	38	30	45	30	40	45	48	48	38				
9	S. K.	♂	45	39	50	40	62	72	60	56	50	54	50	44	44	
10	T. M.	♂	48	38	55	70	80	80	67	72	62	64	50	50	40	40



第7図 アドレナリンによる脈圧の変動

ほぼ近づく。これに対し他の3例は第7図右に示すごとく、投与後5~10分の減少がみられ、以後ほぼ投与前の値に復した後波動状の経過を示す。

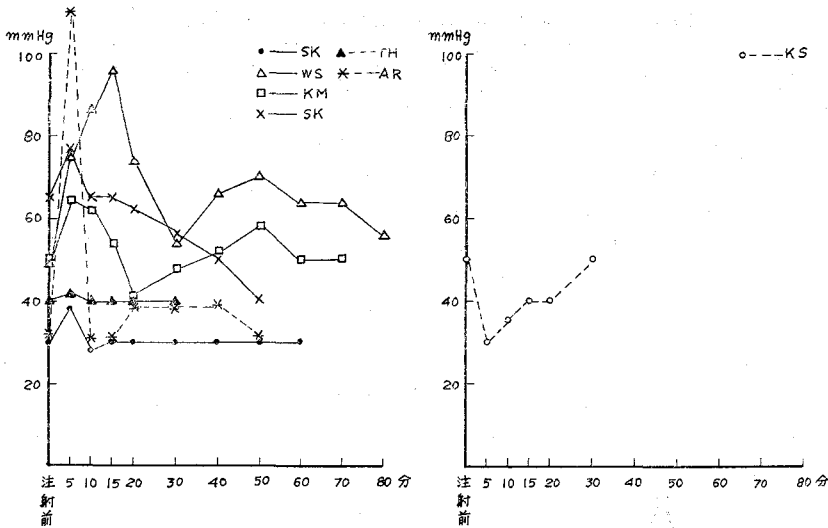
(2) アトロピン投与 第8表に示すごとく、1例を除いて全例増加した。すなわち7例中6例は第8図左に

示すごとく、投与5~15分後に増加を示し、以後投与前の値より一時的に減少を示した後、投与前に近づく。他の1例は第8図右に示すごとく減少した。

(3) ピロカルピン投与 第9表に示すごとく、全例が増加を示した。すなわち第9図に示すごとく、投与後

第8表 アトロピンによる脈圧 (mmHg) の変動

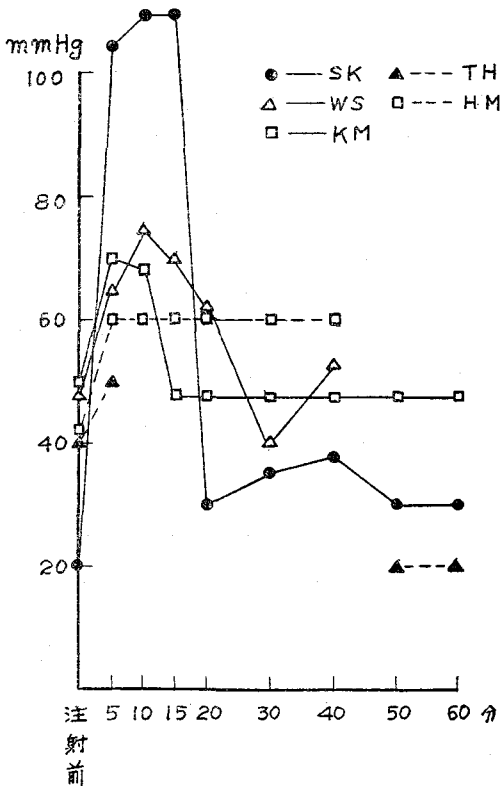
番号	被検者	性	年令	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K. S.	♀	17	50	30	35	40	40	50					
2	S. K.	♂	18	30	38	28	30	30	30	30	30	30		
3	T. H.	♀	19	40	42	40	40	40	40					
4	W. S.	♂	25	49	75	86	96	74	54	66	70	64	64	56
5	K. M.	♂	30	50	64	62	54	40	48	52	58	50	50	
6	A. R.	♀	34	30	110	30	30	40	40	40	30			
7	S. K.	♂	45	65	75	65	65	62	55	50	40			



第8図 アトロピンによる脈圧の変動

第9表 ピロカルピンによる脈圧 (mmHg) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分
1	S. K.	♂	18	20	105	110	110	30	35	38	30	30
2	T. H.	♀	19	40	50				20	20		
3	H. M.	♀	19	42	60	60	60	60	60	60		
4	W. S.	♂	25	48	65	75	70	60	40	53		
5	K. M.	♂	30	50	70	68	48	48	48	48	48	48



第9図 ピロカルピンによる脈圧の変動

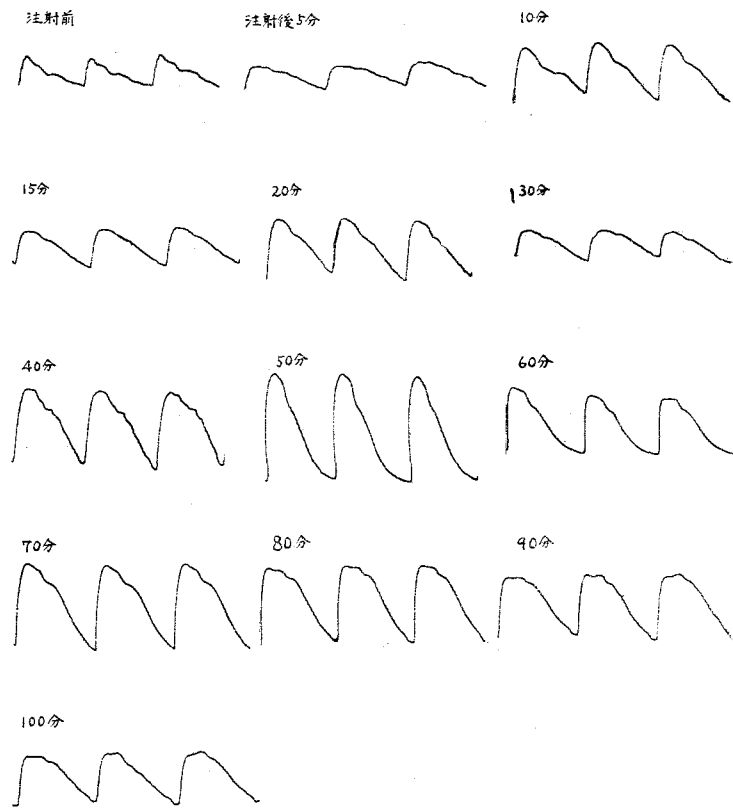
5~15分の増加が認められる。

2. 指節脈波

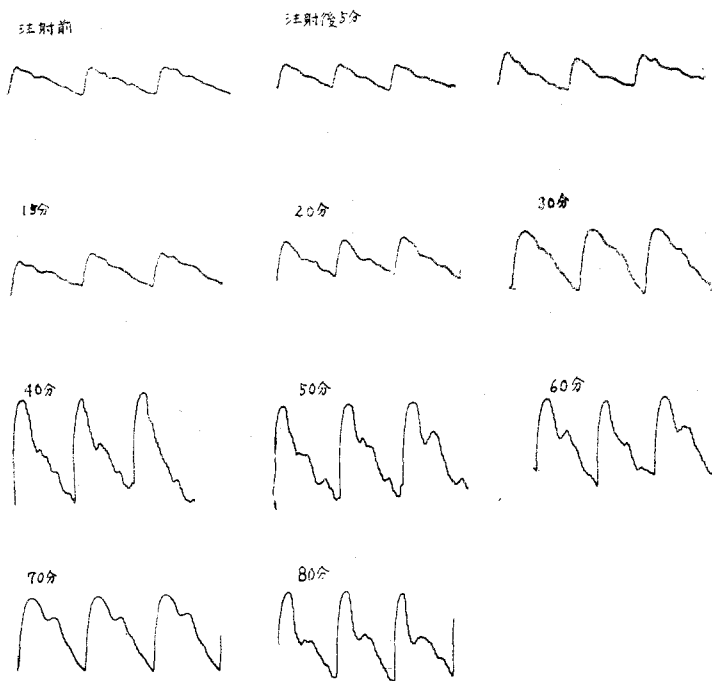
電気容量脈波計によつてえられる脈波は、佐々木、藤田、佐野によつて報告されているごとく、急激に立上る部分、波頂、波頂よりややゆるやかに下降し、その途次に切痕を示す部分から主として成立つている。このような指節脈波は第10~12図に示すごとく、上述の3種薬物により種々変化を示すが、著者は立上りから波頂に至る波頂時間(t)、波頂振巾および脈波持続時間(d)を計測し、さらに波頂時間と脈波持続時間との比(t/d)を求め、これらの変動について検討した。

1) 波頂振巾

(1) アドレナリン投与 第10表に示すごとく、波頂振巾は投与後複雑な変動を示す例が多いが、投与5~10分後の減少が最も多くみられる。すなわち10例中7例は第13図左に示すごとく、投与後5~10分に減少し、10~15分で投与前の値にほぼ復し、その後再び減少を示すが、以後増加を示すものとささぬものがある。他の3例では第13図右に示すごとく、投与5~15分後の増加がみられ、以後比較的回復の早いものと遅いものがある。このような波頂振巾の変化を示した3例中の2例は最大血圧および脈圧が投与後一時的に減少を示した例である。

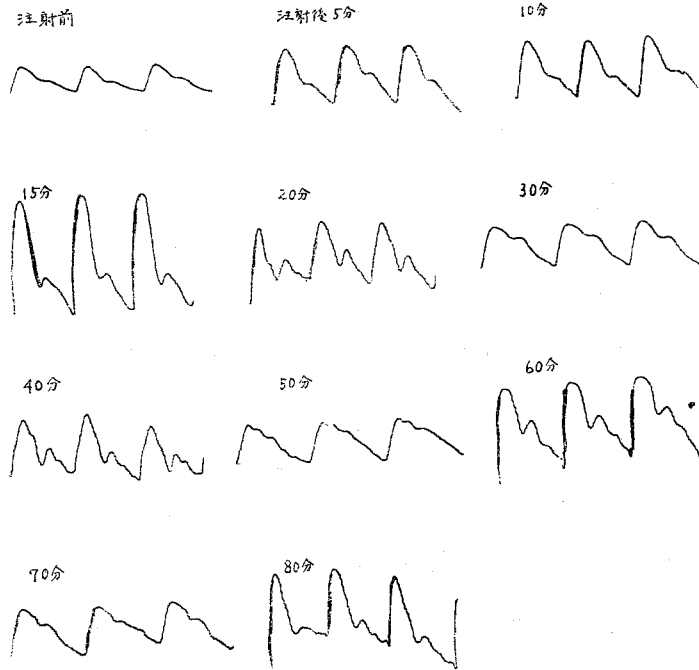


第 10 図 アドレナリン投与時の指節脈波



第 11 図 アトロピン投与時の指節脈波

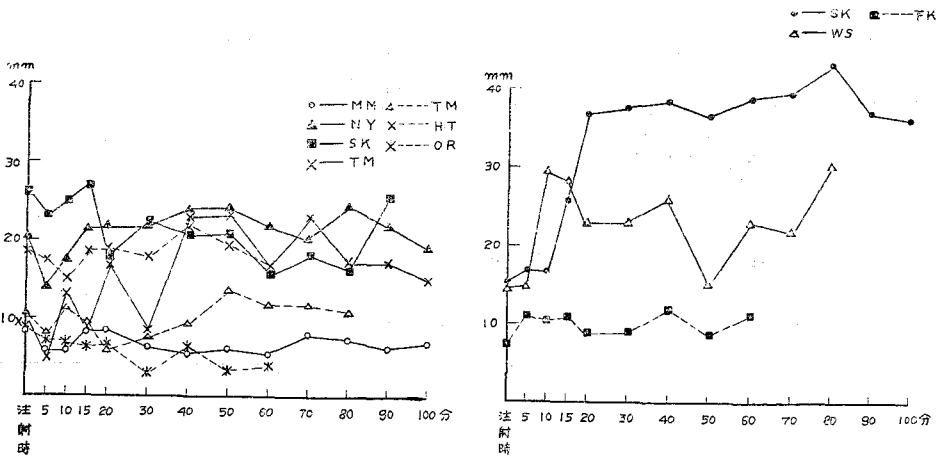




第 12 図 ピカロピルン投与時の指節脈波

第 10 表 アドレナリンによる波頂振巾 (mm) の変動

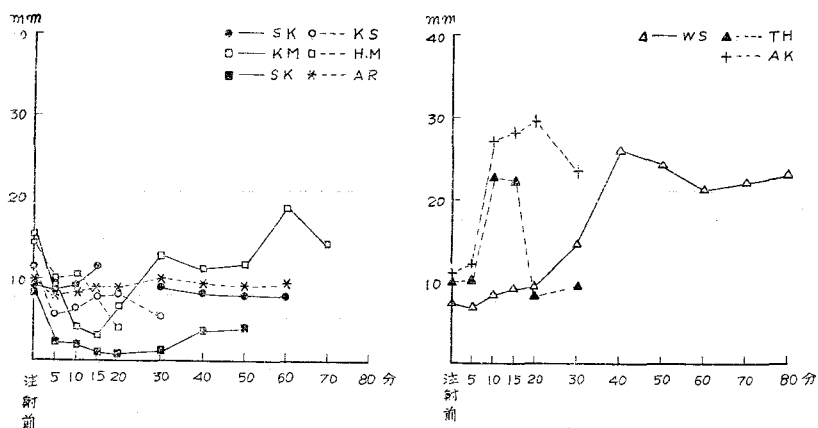
番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M. M.	♂	17	8.1	3.2	3.1	7.9	8.2	6.3	5.2	6.1	5.4	8.0	7.4	6.3	6.9
2	S. K.	♂	18	15.3	16.8	16.5	25.8	36.9	37.5	38.0	36.5	38.8	39.9	43.4	37.0	36.2
3	T. M.	♀	19	10.4	8.2	11.3	9.5	6.4	7.9	9.5	13.8	12.2	12.0	11.3		
4	F. K.	♀	22	7.5	11.4	10.2	11.3	9.3	9.0	12.0	8.7	11.1				
5	W. S.	♂	25	15.1	15.0	29.8	28.3	23.0	23.1	26.8	15.2	23.0	22.3	30.8		
6	H. T.	♀	25	18.7	17.5	15.4	18.8	19.0	18.3	21.9	19.5	17.0				
7	N. Y.	♂	28	20.3	14.2	17.5	21.8	22.4	22.0	24.0	24.3	22.0	20.4	24.7	22.3	19.5
8	O. R.	♀	40	8.9	7.2	7.0	6.5	6.9	3.3	6.4	3.0	3.9				
9	S. K.	♂	45	26.0	23.3	25.2	27.0	18.1	22.0	21.3	21.3	16.9	18.8	16.0	25.8	
10	T. M.	♂	48	9.3	6.2	13.4	9.8	17.0	7.4	23.7	24.0	16.0	23.2	16.3	17.5	15.2



第 13 図 アドレナリンによる波頂振巾の変動

第 11 表 アトロピンによる波頂振巾 (mm) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K. S.	♀	17	11.8	5.3	6.9	7.7	8.0	5.4					
2	S. K.	♂	18	9.9	9.0	9.7	11.8		9.0	8.4	8.2	8.0		
3	H. M.	♀	19	14.8	10.2	10.5		4.3						
4	T. H.	♀	19	10.0	10.3	22.8	22.3	8.4	9.8					
5	W. S.	♂	25	7.5	6.5	8.1	8.9	9.8	14.8	26.0	24.5	21.5	22.4	23.0
6	K. M.	♂	30	17.8	9.7	4.3	3.5	6.8	13.0	11.3	12.0	18.8	14.4	
7	A. K.	♀	33	10.3	12.0	26.7	28.0	29.9	23.7					
8	A. R.	♀	34	10.0	4.3	4.5	4.0	4.3	5.0	4.4	4.2	4.9		
9	S. K.	♂	45	9.9	2.5	2.3	1.4	1.0	1.5	3.8	4.1			



第 14 図 アトロピンによる波頂振巾の変動

(2) アトロピン投与 第11表に示すごとく、投与後波頂振巾が減少する例が多い。すなわち9例中6例は第14図左に示すごとく、投与5分後より著明に減少を示し、最低は5~20分後にあり後徐々に投与前の値に復する。これに対し他の3例では第14図右に示すごとく、波頂振巾増加し、2例では投与後10分より1例では投与後30分より増加している。この例外的波頂振巾の変化を示した3例中の2例は最大血圧の上昇を示した例であり、他の1例は最小血圧の上昇を示した例である。

(3) ピロカルピン投与 第12表に示すごとく、1例を除いて全例が波頂振巾の減少を示している。すなわち5例中4例は第15図左に示すごとく、投与5分後より減少し、投与前の値への回復は比較的遅い。これに対し他

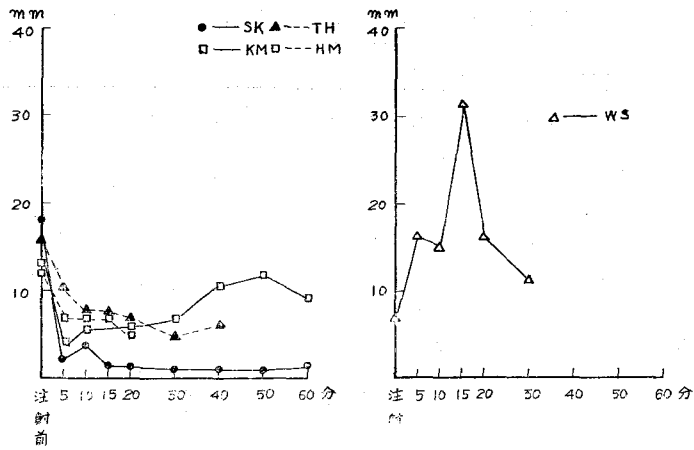
の1例は第15図右に示すごとく、投与5分後より著明な波高増加を示し、15分後を最高として以後減少し投与前の値に復する。この1例は最大血圧が投与5分後の一過性の減少を示した例である。

## 2) 波頂時間

(1) アドレナリン投与 第13表に示すごとく、全く変化を示さなかつた1例を除いては複雑な経過を示している。すなわち10例中4例は第16図左に示すごとく、投与5~30分後の延長を示し、その後2例は延長短縮と波動状に変動し、2例は徐々に投与前の値に復している。他の5例は第16図右に示すごとく、投与5~10分後に短縮し、以後波動状の経過を示す例が多い。他の1例は第16図右の上に示すごとく、投与後の変動が全く認められ

第 12 表 ピロカルピンによる波頂振巾 (mm) の変動

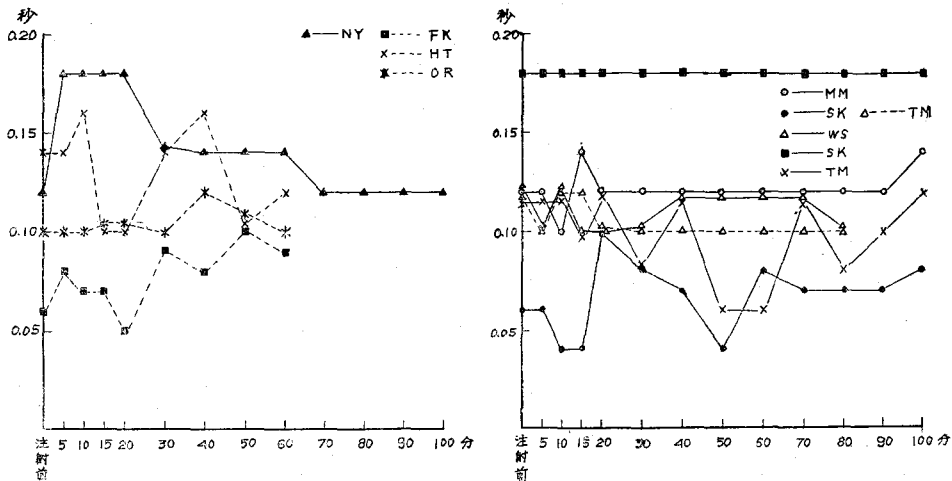
番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分
1	S. K.	♂	18	18.1	2.4	3.5	1.3	1.5	1.3	1.0	1.2	1.5
2	T. H.	♀	19	16.8	10.3	8.4	8.1	7.2	5.4	6.0		
3	H. M.	♀	19	12.2	7.4	7.1	7.0	5.4				
4	W. S.	♂	25	7.3	16.4	15.1	31.8	16.3	11.2			
5	K. M.	♂	25	13.9	4.0	5.8		6.0	7.1	10.8	12.0	9.3



第 15 図 ピロカルピンによる波頂振幅の変動

第 13 表 アドレナリンによる波頂時間 (秒) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M. M.	♂	17	0.12	0.12	0.10	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.14
2	S. K.	♂	18	0.06	0.06	0.04	0.04	0.10	0.08	0.06	0.04	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08
3	T. M.	♀	19	0.12	0.10	0.12	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10			
4	F. K.	♀	22	0.06	0.08	0.07	0.07	0.05	0.09	0.08	0.10	0.09				
5	W. S.	♂	25	0.12	0.10	0.12	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.10		
6	H. T.	♀	25	0.14	0.14	0.16	0.10	0.10	0.14	0.16	0.10	0.12				
7	N. Y.	♂	28	0.12	0.18	0.18	0.18	0.18	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12
8	O. R.	♀	40	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10				
9	S. K.	♂	45	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
10	T. M.	♂	48	0.12	0.12	0.12	0.10	0.12	0.08	0.12	0.06	0.06	0.12	0.08	0.10	0.12



第 16 図 アドレナリンによる波頂時間の変動

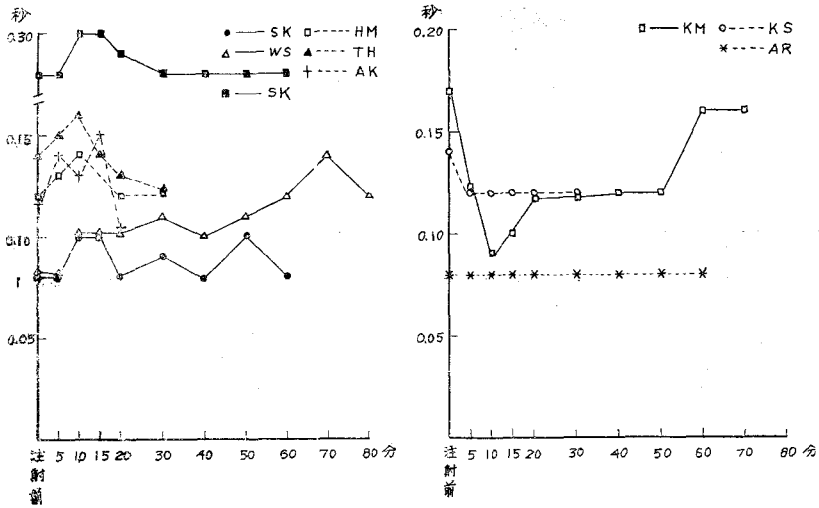
なかつた。

(2) アトロピン投与 第14表に示すごとく、投与後一過性の延長を示す例が多い。すなわち9例中6例は第17図左に示すごとく、投与後5~10分に延長するが、後

比較的早期に投与前の値に回復する。但し1例のみは投与70分後まで徐々に延長した。これに対し他の2例は第17図右に示すごとく、投与5分後に短縮を示しその回復は比較的遅く、さらに他の1例は投与後の変動を示さな

第 14 表 アトロピンによる波頂時間 (秒) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K. S.	♀	17	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12					
2	S. K.	♂	18	0.08	0.08	0.10	0.10	0.08	0.09	0.08	0.10	0.08		
3	H. M.	♀	19	0.12	0.13	0.14		0.12	0.12					
4	T. H.	♀	19	0.14	0.15	0.16	0.14	0.13	0.12					
5	W. S.	♂	25	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.12	0.14	0.12
6	K. M.	♂	30	0.16	0.12	0.09	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.16	0.16	
7	A. K.	♀	33	0.12	0.14	0.13	0.16	0.10						
8	A. R.	♀	34	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08		
9	S. K.	♂	45	0.28	0.28	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28		



第 17 図 アトロピンによる波頂時間の変動

かつた。

(3) ピロカルピン投与 第15表に示すごとく、約半数は短縮を示し、残りの約半数は延長を示している。すなわち5例中3例は第18図左に示すごとく、投与5~10分後より短縮し始め5~20分で最低となり20~30分で投与前の値に回復する場合と回復遅く波動状の経過を示す場合とがある。これに対して他の2例は第18図右に示すごとく、投与後5~10分の延長を示した。

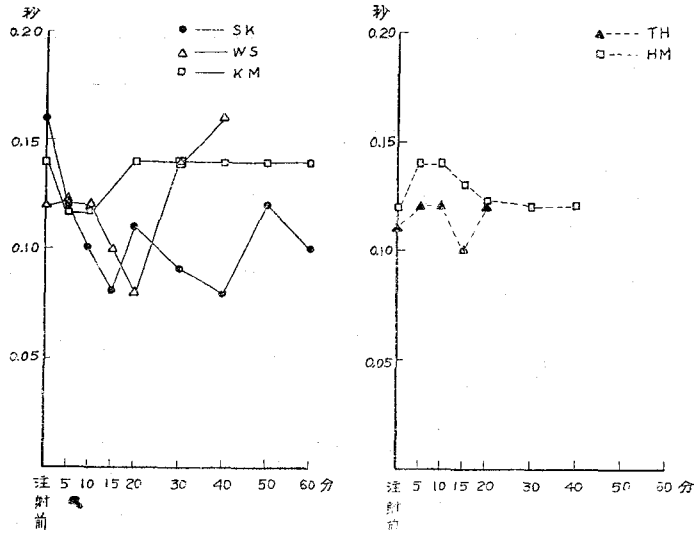
3) 脈波持続時間

(1) アドレナリン投与 第16表に示すごとく、1例を除く全例が短縮を示している。すなわち10例中9例は第19図左に示すごとく、投与5分後より短縮し、その回復は極めて遅い。これに対して他の1例は第19図右に示すごとく、投与後5~15分の延長を示し、20分後には投与前の値に復している。

(2) アトロピン投与 第17表に示すごとく、1例を

第 15 表 ピロカルピンによる波頂時間 (秒) の変動

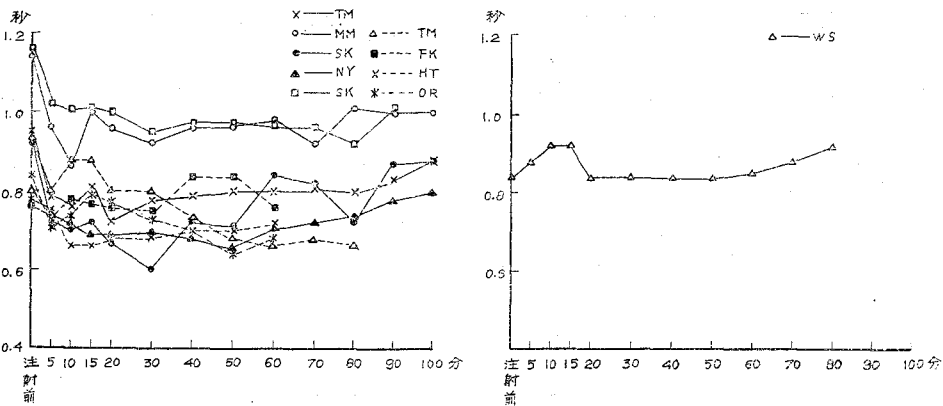
番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分
1	S. K.	♂	18	0.16	0.12	0.10	0.08	0.11	0.09	0.08	0.12	0.10
2	T. H.	♀	19	0.11	0.12	0.12	0.10	0.12				
3	H. M.	♀	19	0.12	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12		
4	W. S.	♂	25	0.12	0.12	0.12	0.10	0.08	0.14	0.16		
5	K. M.	♂	30	0.14	0.12	0.12		0.14	0.14	0.14	0.14	0.14



第 18 図 ピロカルピンによる波頂時間の変動

第 16 表 アドレナリンによる持続時間 (秒) の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M. M.	♂	17	1.14	0.96	0.86	1.00	0.96	0.92	0.96	0.98	0.98	0.92	1.06	1.00	1.00
2	S. K.	♂	18	0.92	0.72	0.70	0.72	0.66	0.60	0.72	0.71	0.84	0.82	0.72	0.87	0.88
3	T. M.	♀	19	0.92	0.80	0.87	0.88	0.80	0.80	0.72	0.68	0.66	0.68	0.67		
4	F. K.	♀	22	0.76	0.73	0.78	0.77	0.76	0.75	0.84	0.84	0.76				
5	W. S.	♂	25	0.84	0.88	0.92	0.92	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.88	0.92		
6	H. T.	♀	25	0.76	0.75	0.66	0.66	0.67	0.68	0.70	0.70	0.72				
7	N. Y.	♂	28	0.80	0.74	0.72	0.69	0.68	0.68	0.68	0.66	0.71	0.72	0.72	0.78	0.80
8	O. R.	♀	40	0.84	0.72	0.72	0.79	0.76	0.73	0.72	0.67	0.68				
9	S. K.	♂	45	1.16	1.12	1.07	1.04	1.00	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.92	1.04	
10	T. M.	♂	48	0.95	0.80	0.78	0.80	0.72	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.80	0.83	0.88



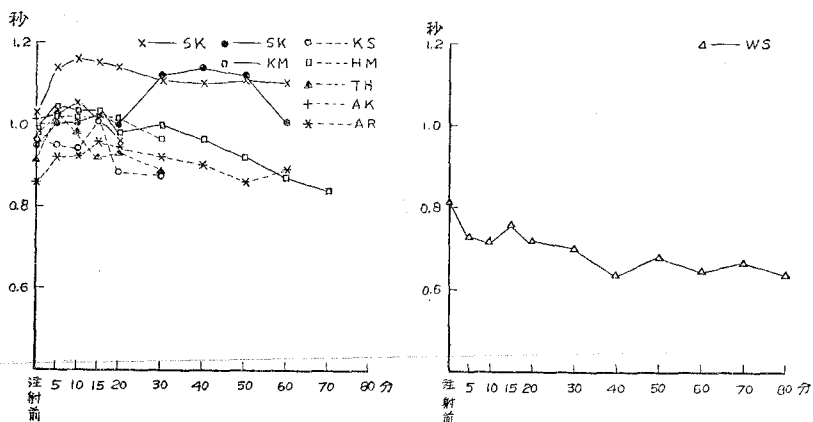
第 19 図 アドレナリンによる持続時間の変動

除く全例の脈波持続時間は延長している。すなわち 9 例中 8 例は第 20 図左に示すごとく、投与 5~15 分後に延長し後徐々に投与前の値に回復する例が多いが、さらに延

長を示し回復の極めて遅い例もみられる。これに対し他の 1 例は第 20 図右に示すごとく、投与後 5 分よりの徐々な短縮を示した。

第 17 表 アトロピンによる持続時間 (秒) の変動

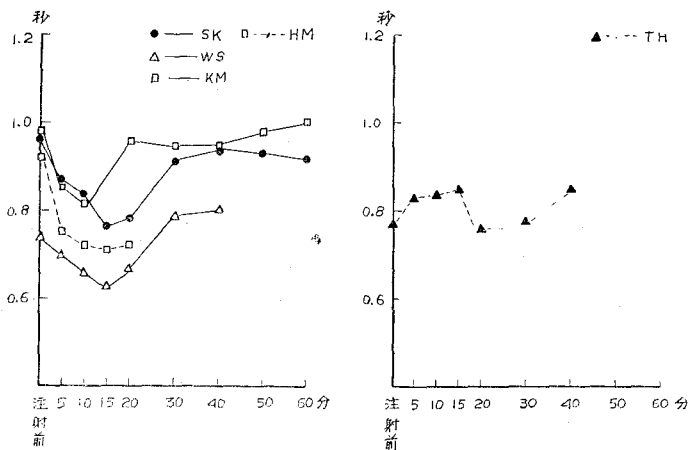
番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K. S.	♀	17	0.96	0.95	0.94	1.04	0.88	0.87					
2	S. K.	♂	18	0.95	1.08	1.06	1.12	1.00	1.11	1.14	1.12	1.04		
3	H. M.	♀	19	0.96	1.00	1.04		1.01	0.96					
4	T. H.	♀	19	0.92	1.03	0.98	0.92	0.93	0.88					
5	W. S.	♂	25	0.81	0.73	0.72	0.76	0.72	0.70	0.64	0.68	0.65	0.67	0.64
6	K. M.	♂	30	0.99	1.08	1.01	1.03	0.98	1.00	0.96	0.92	0.87	0.84	
7	A. K.	♀	33	1.00	1.12	1.48	1.08	0.96						
8	A. R.	♀	34	0.86	0.92	0.93	0.96	0.94	0.92	0.90	0.86	0.88		
9	S. K.	♂	45	1.07	1.14	1.16	1.15	1.14	1.12	1.10	1.12	1.10		



第 20 図 アトロピンによる持続時間の変動

第 18 表 ピロカルピンによる持続時間の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分
1	S. K.	♂	18	0.96	0.87	0.84	0.76	0.78	0.91	0.94	0.93	0.92
2	T. H.	♀	19	0.77	0.83	0.84	0.85	0.76	0.78	0.85		
3	H. M.	♀	19	0.92	0.75	0.72	0.71	0.72				
4	W. S.	♂	25	0.74	0.70	0.66	0.63	0.67	0.79	0.80		
5	K. M.	♂	30	0.98	0.86	0.83		0.96	0.95	0.94	0.98	1.00



第 21 図 ピロカルピンによる持続時間の変動

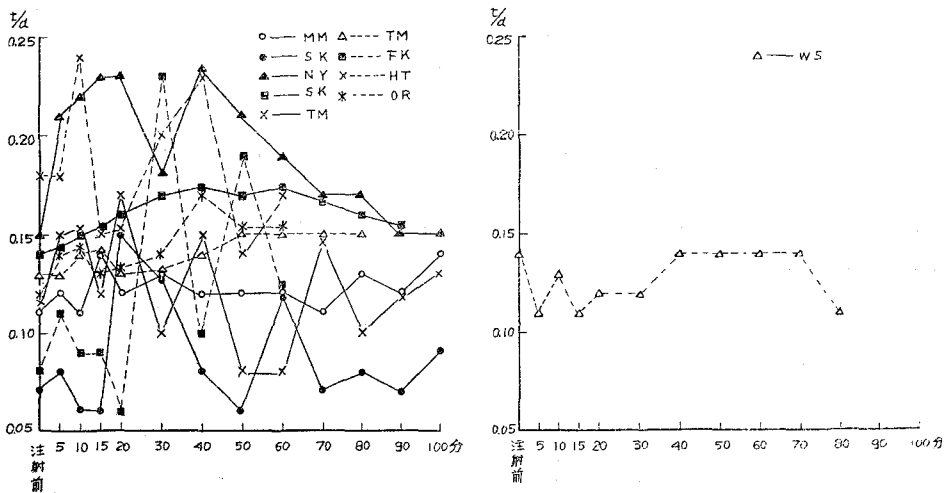
(3) ピロカルピン投与 第18表に示すごとく、1例を除き全例が短縮した。すなわち5例中4例は第21図左に示すごとく、投与後5~20分の短縮を示し、20~30分後には投与前の値に回復している。これに対し他の1例のみは第21図右に示すごとく、投与後5~15分の延長がみられた。

4) 波頂時間と脈波持続時間との比 (t/d)

(1) アドレナリン投与 第19表に示すごとく、波動状に複雑な経過を示す例が多いが、投与後5~10分に増加を示す例が大多数である。すなわち10例中9例は第22図左に示すごとく、投与後5~10分に増加した後に減少し、以後波動状の複雑な経過を示し90分後に投与前の値

第 19 表 アドレナリンによる波頂時間と持続時間との比の変動

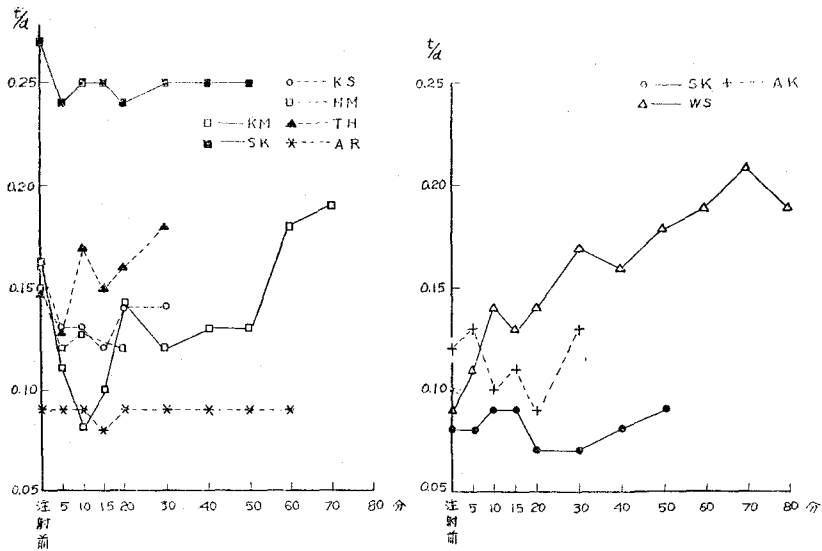
番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分
1	M.M.	♂	17	0.11	0.12	0.11	0.14	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14
2	S.K.	♂	18	0.07	0.08	0.06	0.06	0.15	0.13	0.08	0.06	0.12	0.07	0.08	0.07	0.09
3	T.M.	♀	19	0.13	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15		
4	F.K.	♀	22	0.08	0.11	0.09	0.09	0.06	0.23	0.10	0.19	0.12				
5	W.S.	♂	25	0.14	0.11	0.13	0.11	0.12	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11		
6	H.T.	♀	25	0.18	0.18	0.24	0.15	0.15	0.20	0.23	0.14	0.17				
7	N.Y.	♂	28	0.15	0.21	0.22	0.23	0.23	0.18	0.23	0.21	0.19	0.17	0.17	0.15	0.15
8	O.R.	♀	40	0.12	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14	0.17	0.15	0.15				
9	S.K.	♂	45	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.15	
10	T.M.	♂	48	0.12	0.15	0.15	0.12	0.17	0.10	0.15	0.08	0.08	0.15	0.10	0.12	0.13



第 22 図 アドレナリンによる t/d の変動

第 20 表 アトロピンによる波頂時間と持続時間との比の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5分	10分	15分	20分	30分	40分	50分	60分	70分	80分
1	K.S.	♀	17	0.16	0.13	0.13	0.12	0.14	0.14					
2	S.K.	♂	18	0.08	0.08	0.09	0.09	0.07	0.07	0.08	0.09			
3	H.M.	♀	19	0.15	0.12	0.13		0.12						
4	T.H.	♀	19	0.15	0.13	0.17	0.15	0.16	0.18					
5	W.S.	♂	25	0.09	0.11	0.14	0.13	0.14	0.17	0.16	0.18	0.19	0.21	0.19
6	K.M.	♂	30	0.16	0.11	0.08	0.10	0.14	0.12	0.13	0.13	0.18	0.19	
7	A.K.	♀	33	0.12	0.13	0.10	0.11	0.09	0.13					
8	A.R.	♀	34	0.09	0.09	0.19	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09		
9	S.K.	♂	45	0.26	0.24	0.25	0.25	0.24	0.25	0.25	0.25			



第 23 図 アトロピンによる t/d の変動

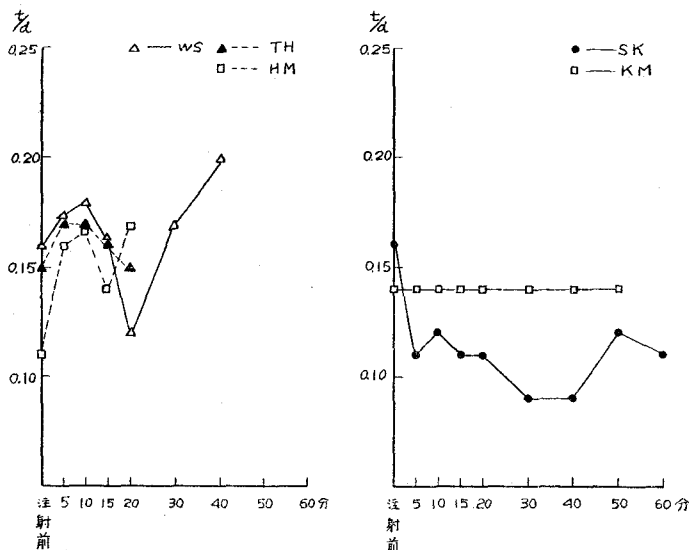
に復する。これに対し他の 1 例は第 22 図右に示すごとく、投与後 5～30 分の減少がみられ、40 分後に投与前の値に復している。

(2) アトロピン投与 第 20 表に示すごとく、減少を示す例が多いが増加を示す例もある。すなわち 9 例中 6

例は第 23 図左に示すごとく、投与後 5～15 分に減少し、その後比較的早期に投与前の値に復するものと、減少後の回復が比較的遅いものがある。他の 3 例は第 23 図右に示すごとく、投与 5～10 分後に増加し、その後比較的早く投与前に復するもの、増加後投与前の値より減少を

第 21 表 ピロカルピン波頂時間と持続時間との比の変動

番号	被検者	性	年齢	注射前	5 分	10 分	15 分	20 分	30 分	40 分	50 分	60 分
1	S. K.	♂	18	0.16	0.11	0.12	0.11	0.11	0.09	0.09	0.12	0.11
2	T. H.	♀	19	0.15	0.17	0.17	0.16	0.15				
3	H. M.	♀	19	0.11	0.16	0.17	0.14	0.17				
4	W. S.	♂	25	0.16	0.17	0.18	0.16	0.12	0.17	0.20		
5	K. M.	♂	30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	



第 24 図 ピロカリピンによる t/d の変動



示した後回復するものおよび増加が投与後70分まで続き回復の極めて遅いもの等がある。

(3) ピロカルピン投与 第21表に示すごとく、投与後増加する例が多い。すなわち5例中3例は第24図左に示すごとく、投与後5~10分に増加し、その後は比較的早く投与前に復するもの、少しく減少後再び増加を示すものおよび投与前の値よりも著明に減少を示した後再び著明に増加を示すものがある。他の2例は第24図右に示すごとく、1例は投与後全く変化なく経過し、1例は投与後5分より著明な減少を示し、投与前の値への回復が極めて遅い。

#### 5) 切痕および重複隆起

3種薬物投与により、上述のごとく、波頂時間、波頂振幅、脈波持続時間等が変動を示すが、さらに切痕および重複隆起についても変動が認められる。第10~12図の例に示されるごとく、切痕の深さおよび重複隆起の波高に変動がみられるのみならず、切痕および重複隆起の波頂に対する相対的位置についても変動が認められた。すなわちアドレナリン投与時に切痕位置が波頂に近づき、切痕および重複隆起の大きさが小さくなる例がしばしば観察され、アトロピン及びピロカルピン投与時には、切痕の切込みの増加及び重複隆起の波高増加を示す例が多く認められた。これらの定量的取扱いが比較的難しいので、それらについての検討は日を改めて発表する予定である。

### IV 考 按

1) 血圧 本研究における3種薬物投与時の血圧変動は薬物による特徴を示しているが、可成の個体による差異が認められた。これは個体による自律神経機能の差異に基づくと考えられる。最大血圧は脈搏頻度の増加従つて通常の場合には分時量の増加、末梢抵抗の増加、容積弾性率の増加等により上昇し、最小血圧は脈搏頻度の増加、末梢抵抗の増加、容積弾性率の減少により上昇し、脈圧は搏出量の増加、容積弾性率の減少、末梢抵抗の減少等により増加することが知られている。従つて血圧の変動は主として脈搏数、搏出量、末梢抵抗および容積弾性率の変化によると言える。本研究において、アドレナリン投与時は最大血圧の上昇血圧の低下および脈圧の増加する例が多かつたが、これはアドレナリンによる脈搏数の増加による分時量の増加および血管収縮による末梢抵抗の増加が関与していると考えられる。しかしこれらの要因は最小血圧の増加となるに拘らず、実際の最小血圧は低下を示す例が多く、従つて脈圧の著明に増加している例が多い。これは容積弾性率の減少によつて説明出来るが、これについては更に検討を要する問題と考えられる。Peterson等<sup>21)</sup>は大動脈の力学的性質について検討を加え、アドレナリン投与時犬では1 $\mu$ g/kgの少量では弾性率が減少し、10 $\mu$ g/kgの大量では反対に弾性率が増

加することを見出すとともに粘性要素も同様な変化を示すことを報告している。従つて本研究におけるアドレナリン投与時にも、大動脈の粘弾性の変化が起きることが最小血圧の減少、脈圧の増加の要因となつていることが、充分考えられる。アトロピン投与時には、最大血圧および最小血圧の下降と脈圧の増加を示す例が多かつたが、これは投与後の脈搏頻度の減少とそれに起因する搏出量の増加が主として関係し、さらに末梢抵抗の減少も関与していると考えられる。ピロカルピン投与時は最大血圧および最小血圧の減少および脈圧の増加が多くみられたが、投与時脈搏数は増加している故、末梢抵抗の減少がこのような血圧変動に重要な役割を果していると考えられる。3種薬物による血圧変動は上記の変化が多かつたが、アドレナリン投与時一過性ではあるが最大血圧の減少を示す等のごとく、全く異つた反応を示すものも認められたことは、同じ薬物によつても個体の自律神経機能の相異により異なつた反応を循環系に出現させることを示している。

2) 指節脈波 電気容量脈波計による指節脈波の基本型は上昇脚、波頂及び切痕を伴つた下降脚からなつている事が報告<sup>15)16)</sup>されている。佐々木<sup>17)</sup>は20才から70才までの健康人につき指節脈波を記録し、波頂時間および波頂時間と持続時間との比が年令の増加とともに増すことを認め、さらに上腕加圧時の指節脈波の波頂時間、持続時間および波頂振幅につき検討を加え、加圧増加に伴つて波頂振幅が漸次増大し、拡張期血圧に相当する加圧で最高振幅を示し、以後漸次下降するもの、初めは加圧増加によつて変動せず、その後加圧増加に伴つて漸次下降するものおよび加圧増加に伴つて減少するもの等がある事を報告している。藤田<sup>18)</sup>は末梢および中脳脈波の波形につき分析を行い、総頸および鎖骨下脈波は多くの隆起を有する複雑な波形を示し、波頂時間は短く、これに反し上腕、橈骨、大腿、足背および指節脈波の波形は単純で波頂時間は前者に比し一般に長く、主隆起および重複隆起の形も異なることを報告し、佐野<sup>19)</sup>は高血圧症患者の指節脈波につき検討を加えている。

人体における脈波については古くより、Frank,<sup>22)</sup> Wezler<sup>23)</sup>等、Wiggers等<sup>24)</sup>、Hamilton等<sup>25)</sup>により詳細に研究され、理論的にも可成詳細な検討が加えられ、動脈波の波形には左心室の搏出力が関係するのみならず大動脈の容積弾性率、末梢抵抗および測定部位の心臓よりの距離が関係することが明にされ、さらに血液の粘性等も関与することが知られている。本研究では測定部位を一定とした時のしかも比較的短時間中の脈波を追求している故、その指節脈波変化は主として左心室の搏出力、血管の容積弾性率および末梢抵抗の変化によつて決められている。勿論その他に、定常波の生起、圧、流速による伝播速度の変化、血管の形態等による減衰も考慮され

なければならない。本研究において3種薬物投与により、脈波の波頂時間、波頂振幅、持続時間が種々な変化を示したが、これは上述の脈波の波形を決める諸要因の変化に基づくが、これらの内でも末梢抵抗は重要な役割を果していると考えられる。末梢抵抗の変化に血管の収縮性が重要であることはいうまでもないことであるが、血管の収縮ないし拡張に関与する神経支配については未だ不明な点も多々存在している。末梢血管の神経支配は部位によつて異なるが、骨格筋に分布する血管については3種の受容器の存在を想定している研究者<sup>26)~28)</sup>もいる。すなわち $\alpha$ 受容器は収縮的に、 $\beta$ および $\gamma$ 受容器は拡張的に働くとされ、 $\alpha$ 受容器は交感神経支配をうけ、その中枢は延髄中にあり、 $\gamma$ 受容器は副交感神経支配をうけ、その中枢は視床下部にあり、さらに大脳皮質の支配をうけているとされている。これらの神経は血管に行く途中でノイロンを代えるが、その節前線維はコリン作働性線維であると考えられている。 $\alpha$ 受容器は levarterenal およびアドレナリンによつて刺激されるが、adrenergic blockade である ilidar 等により遮断され、 $\beta$ 受容器は血管壁中にあり自律神経支配をうけないが、アドレナリン及び isopropylnorepinephrine により刺激され、adrenergic blockade の大量で遮断されるという。 $\gamma$ 受容器はアセチルコリンによつて刺激され、cholinergic blockade、アトロピンによつて遮断されるとされている。このように骨格筋中の血管については神経支配および薬物の侵襲部位が明確にされつつあるが、他の部位の血管についても多少の差はあれ、ほぼ同様な関係にあるとされている。従つて本研究における薬物投与による侵襲点としては、中枢、神経節および血管壁中の3種の受容器を考慮しなければならない。従つて一定薬物に対する反応もそれぞれの部位の状態により極めて多様な反応をもたらすことは容易に理解出来ることである。さらに自律神経中枢については Gellhorn<sup>29)</sup>による広範な研究により、視床下部における交感および副交感神経中枢の機能的均衡状態により、何れか一方の中枢の刺激によつても末梢効果器への作用発現は全く異なることもありうる事が明にされている。例えば通常なる場合刺激すると血圧上昇を起す視床下部の部位を、予めアドレナリン投与により血圧上昇を起させておいて、刺激すると血圧降下が起ることが見出されている。このように予めアドレナリン投与により正常状態とは異つた状態にすることを tuning と呼んでいるが、tuningにより視床下部における両中枢の統御機能に変化が生じ、両中枢の均衡状態に変化が起きることが上述の現象の原因となつていられるとされている。

本研究において薬物投与後の指節脈波の波頂時間、波頂振幅及び波頂時間と持続時間との比の変動について検討を加えたところ、同一薬物によつても、個体により全

く反対の変動を示す例のあることが明になつた。これらの変化は結果的には上述のごとく、主として心搏出力、心搏頻度、血管の粘弾性の性質および末梢抵抗の変化に差異があることに起因しているが、中でも心搏出力、心搏頻度および末梢抵抗の変化が重要な役割を果していると考えられる。これらの薬物投与後の変化は上述のごとき血管壁受容器に対する直接作用のみならず、自律神経中枢の機能的均衡状態に起因していると考えられる。従つて薬物投与後の脈波を追求する方法は、従来の方法とは異つた自律神経機能検査の一方法となりうる。

## V 結 論

健康人17名につき、アドレナリン、ピロカルピンおよびアトロピンを投与した時の血圧変動および電気容量脈波計による指節脈波の変動を追求し、次のごとき結果を得た。

1) 最大血圧、アドレナリン投与により、10例中6例は上昇を示したが、他の4例は一時的下降を示し、アトロピン投与では、7例中5例は下降を示したが、他の2例は一時的上昇を示した。ピロカルピン投与時は5例中2例に著変が認められず、2例は下降を他の2例は上昇を示した。

2) 最小血圧、アドレナリン投与時は、10例中7例は下降を示し、他の3例は一過性に上昇を示し、アトロピン投与時は、7例中5例は下降し、他の2例は軽度の上昇した。ピロカルピン投与により、5例中1例は著変なく経過したが、他の4例は著明な下降を示した。

3) 脈圧、アドレナリン投与により、10例中7例は増加を示し、他の3例は減少したが、アトロピン投与により、7例中6例は増加し、他の1例は減少した。ピロカルピン投与時は5例全例が増加を示した。

4) 脈波波頂振幅 アドレナリン投与時は、10例中7例は減少し、他の3例は増加を示し、アトロピン投与時は9例中6例は減少し、他の3例は増加を示した。ピロカルピン投与により、5例中4例は減少し、他の1例は増加した。

5) 脈波波頂時間 アドレナリン投与により、10例中5例は短縮を示し、4例は延長を示し、他の1例は著変なく経過した。アトロピン投与時は、9例中6例は延長し、2例は短縮を示し、1例は変動を示さず、ピロカルピン投与時は、5例中3例は短縮し、他の2例は延長を示した。

6) 脈波持続時間 アドレナリン投与により、10例中9例は短縮し、他の1例は増加を示し、アトロピン投与時は9例中8例は延長し、他の1例は短縮した。ピロカルピン投与により5例中4例は短縮し、他の1例は延長を示した。

7) 波頂時間と持続時間との比、アドレナリン投与により、10例中の9例は増加を示した後複雑な経過を示

し、他の1例は減少を示した。アトロピン投与時は、9例中6例は減少を示し、他の3例は増加したが、ピロカルピン投与時は5例中3例は増加を示し、1例は減少し、他の1例は著変なく経過した。

8) 以上の結果より、同一薬物によつても、血圧および脈波は個体により異なつた反応を示し、それは特に脈波において著明であることが明となつた。このような差異は自律神経機能の差異を反映したものであり、脈波は自律神経機能検査の一方法となり得るものと考えられる。

摘筆するに当り御指導と御校閲を賜つた恩師篠島教授に深謝するとともに、種々御助力下さつた教室員各位に感謝する。

#### 文 献

- 1) **Wiggers, C. J.** : *Circulatory Dynamics*, Grune & Stratton, New York (1952)
- 2) **Matthes, K.** : *Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden*. Georg Thieme Verlag. (1951)
- 3) 清水健太郎, 竹内一夫 : 光電容積脈波計, 医学エレクトロニクス, 261 南山堂, 東京 (1956)
- 4) 近藤駿四郎, 竹内一夫, 遠藤雄三 : 医科器誌, 11, 6 (1952)
- 5) 池上芳男 : 呼吸と循環, 6, 881 (1958)
- 6) **Hartmann, A. B.** : *Amer J Physiol.*, 124, 328 (1938)
- 7) 武田光太郎, 横田敏勝 : 日本生理誌 21, 471 (1959)
- 8) **Lange, K.** : *Ann Int Med*, 18, 367 (1943)
- 9) 笹本 浩, 荻野義夫 : 血圧測定, 医学エレクトロニクス, 182, 南山堂, 東京 (1956)
- 10) **Lion, K. S.** : *Ann Physical Med*, 1, 298 (1953)
- 11) 桑原武夫 : 脳と神経 11, 209 (1959)
- 12) 石井康男, 金子仁郎 : 精神誌, 60, 327 (1958)
- 13) **Nyboer, J.** : *Medical Physics II*. 736 Chicago (1950)
- 14) **Atzler, E. & Lehmann, G.** : *Arbeitsphysiologie*, 5, 636 (1932)
- 15) 篠島 高 : 電気容量脈波計, 医学エレクトロニクス, 173 南山堂, 東京
- 16) 永井精吾 : 応用電気研究所彙報 5, 192 (1952)
- 17) 佐々木ハナ : 東女医大誌 29, 1029 (1959)
- 18) 藤田トク : 東女医大誌 29, 1109 (1959)
- 19) 佐野アヤ子 : 東女医大誌 30, 375 (1960)
- 20) 荻野義夫 : 日本生理誌 22, 197 (1960)
- 21) **Peterson L. H., Jensen, R. E., and Parnell, J.** : *Circulation Res.*, 8, 622 (1960)
- 22) **Frank, O.** : *Z. Biol.*, 82, 49 (1925)
- 23) **Wezler, K. & Boger, A.** : *Ergebn Physiol.* 41, 292 (1939)
- 24) **Wiggers, C. J. & Baker, W. R.** : *J. dab. Clin. Med.*, 10, 54 (1924)
- 25) **Hamilton, F. W., Brewer, G. and Brotman, I.** : *Amer J Physiol.*, 107, 427 (1934)
- 26) **Green, H. D. & Kepchar, H.** : *Physiol. Rev.* 39, 617 (1959)
- 27) **Ahlquist, R. P.** : *Pharmacology in Medicine Vol. 2*, edited by Drill, V. A., McGraw-Hill, 378 (1958)
- 28) **Green, H. D.** : *Minnesota Med.*, 41, 241 (1958)
- 29) **Gellhorn, E.** : *Autonomic imbalance and the hypothalamus*, University of Minnesota Press, Minneapolis (1957).