

交流並びに直流刺戟による心室細動の研究

とくに除去における通電方向の問題について

東京女子医科大学柳原外科教室 (主任 柳原任教授)

岩 本 九 州 夫
イワ モト ク ス オ

(受付 昭和 34 年 4 月 25 日)

第 1 章 緒 言

われわれ外科医が日常臨床的に遭遇する合併症のうち最も重篤なる危険状態の一つに突然の心臓停止がある。

近年胸腔内手術、殊に心臓手術の発展に伴いその危険は必然的に増大して来た。

この突然の心臓停止は Cardiac Arrest¹⁾ と呼ばれ Cardiac Standstill (心搏停止) と、Ventricular Fibrillation (心室細動) との二つの状態が含まれている。

前者は全く心搏動の停止する場合であり、後者は各心筋線維が非協調性に収縮運動を起す場合であるが、生体に及ぼす影響は同じであつて、その発生と同時に、心臓はポンプとしての機能を失い、血液は心臓より搏出されず、循環機能は直に停止してしまう。

このために、心筋、脳等の重要器官は間もなく強度の酸素欠乏状態に陥り、次いで呼吸停止、意識喪失を来して死亡に立ち至るものである。最近この心臓停止の報告^{2)~6)}が増々多く、その対策の緊急なる事が痛感され、種々の手段が講ぜられて来たのであるが、最も普遍的に用いられているのが心臓マッサージである。

これは心搏停止に対して唯一の救助方策であり、心室細動に対しても、使用され、これによる蘇生成功例も報告^{7)~14)}されているが、確実ではなく僥倖を願うに等しい。

心室細動除去に対しては1889年、Prévost 及び Batteli が発表して以来、電気刺戟が一番効果的

だと認められている。

今迄^{15~16)}は心臓に比較的弱い電力を通ずると心室細動を惹起し、比較的強い電力を通ずると心室細動を除去出来るといわれている。

実際に行つてみると、常に必ず発生したる心室細動を除去出来るとは限らず、ある時は除去出来、ある時は除去出来ず、また除去出来ても同時に心搏停止を来す事もある。

その他電極の当たつた部分のみ心室細動を除去し得ても、他の部分が除去し得ないために、間もなく、一時的に除去し得た部分にも再び細動が波及してしまう。

これらの相違が如何にして起るか、如何にすれば常に正常心搏動に恢復せしめ得るかということが著者の懸念であつた。

そもそも、心臓という物体に通電する場合、如何なる部位に電極を置いて如何なる通電を行えばその意図する目的を達するかは、当然起つて来る問題である。

著者は心筋及び脳が不可逆的な障害を受けていない限り、一定の電力で縦軸通電を行えば常に正常心搏動に恢復せしめ得ることを明かにした。

この縦軸通電とは、一電極を心尖部に他極を右心耳と上空静脈とが相合して形成する叉状部から分界溝に亘る部位に置いて通電する場合をいう。

横軸通電とは両電極を左右両心室壁上に置いて通電することをいう。

第 2 章 実 験 (I)

第 1 節 実験方法

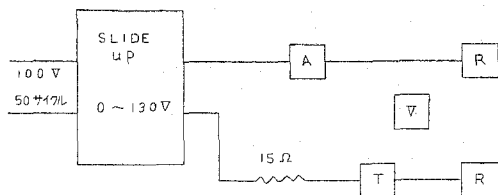
Kusuo IWAMOTO (Tokyo Women's Medical College, Surgical Department) : Studies of ventricular fibrillation stimulated by alternating and direct electrical currents, especially the problem of direction of current on defibrillation.

(I) 装置について

電気刺戟装置として図1に示す様なものを用いた。

Aは容量3アンペアの交流用アンメーター。

Vは130ボルト迄測定し得る交流用ボルトメーター、Tはタイマーで通電時間を自由に変える事が出来



(図 1)

る。之について少しく説明を加える。著者はポータブル蓄音器を改良し利用した。即ち円盤の回転を1分間60回転と固定し、次に円盤中央よりアルミニウムにて作製したる導子と、固定導子の長さは円盤の半径に等しくした。円盤上には任意の扇形アルミニウム板を時に応じて自由に交換出来る様に固定し円盤の回転により導子が扇形アルミニウム板を通過する時間の通電が行われる様に工夫製作したものであつて、扇形アルミニウム板の大きさと通電時間の関係は表1の如くである。

表 1

通 電 時 間	扇形アルミ板の大きさ
0.5 秒	円 盤 円 周 の ½
0.2 "	" ⅓
0.1 "	" ¼
0.05 "	" ⅕

Rは電極で厚さ1mmの円盤で、直径は夫々7, 5, 3, 及び2cmの種類のものを作製し捻子により絶縁された把握棒の先端に自由の角度にて取り付けられる様にした。(表1)

(II) 実験材料

実験材料としては体重12—15kgの雑種成犬を用いた。

ポドリンナトリウム5~8ccを静脈内に注射した後気管内チューブ挿入し開胸と同時に正常空気陽圧下にて人工呼吸を行う。

心臓を露出し種々の条件の下に通電実験を行つた。

第2節 実験成果

(I) 電気刺戟による心室細動発生について

著者は径7cmの電極を用いて、両電極を夫々左右両心室壁上に密着させ表2のごとく種々の条件下にて通電し心室細動発生を検討した。

(1) すなわち電圧が25ボルト以下のごとき場合には0.05秒のごとき短時間の通電では心室細動の

表 2

Voltage	Ampere	0.05	0.1	0.5	(Second)
10	less	-	-	+	
15	than	-	-	+	
20	0.2	-	-	+	
25		-	-	+	
30	0.2	-	+	+	
35	0.2	-	+	+	
40	0.3	-	+	+	
45	0.3	-	+	+	
50	0.4	-	+	+	
55	0.4	-	+	+	
60	0.4	-	+	+	
65	0.4	-	+	+	
70	0.5	+	+	+	
75	0.5	+	+	+	
80	0.5	+	+	+	
85	0.7	-	-	+	
90	0.9	-	-	+	
95	0.9	-	-	-	
100	0.9	-	-	-	
105	1.0	-	-	-	
110	1.2	-	-	-	
115	1.5	-	-	-	
120	1.6	-	-	-	
125	1.7	-	-	-	
130	1.8	-	-	-	

発生を来さないが、0.5秒またはそれ以上の様に稍長時間の通電では必ず心室細動を惹起せしめ得る。

(2) 30~60ボルトのごとく前者に比較して稍高い場合には、前者と同様0.05秒の様に短時間の通電では心室細動の発生は来さず、0.1秒の通電時間でも心室細動を発生せしめ得る。

(3) 80~90ボルト、0.5秒以上の通電では心室

Voltage	Ampere	Time of Second	Stimulation	Results
90	0.9	0.05	7	Fibrillation - Standstill
95	0.9	0.05	5	Fibrillation - Flattern
100	0.9	0.05	2 - 3	Fibrillation - Fibrillation
110	1.2	0.05	2 - 3	Fibrillation - Fibrillation
120	1.6	0.05	2	Fibrillation - Fibrillation
120	1.6	0.05	6	Fibrillation - Standstill
120	1.6	0.05	6	Fibrillation - Standstill
130	1.8	0.05	3	Fibrillation - Standstill
130	1.8	0.05	3	Regain normal heart beat sometimes

細動を発生せしめ得るが、0.5秒以下の通電では心室細動の発生は認められない。

(4) 90ボルト以上では通電時間の如何を問わず心室細動の発生は認められなかった。

(II) 電気刺戟による心室細動除去について
今迄の報告¹⁷⁻²²⁾をみるとほとんど、凡てが心室細動除去に際しても両電極を夫々左右心室壁上に置いて通電を行つている。

著者も同じ方法で実験を行つてみた。

(1) 両電極を左右心室上、すなわち横軸通電を行つた場合

表3のごとく種々条件を変えて通電してみたがある時は細動が止るか、同時に心搏停止の状態となり、ある時は細動止らず、ある時は細動消失し突然、正常心搏動に復するという不定の有様であった。

概してこの横軸の通電では一回の電気刺戟、すなわち単一刺戟では正常心搏動に恢復することは少く、何回もの刺戟すなわち反復刺戟を必要とした。

(2) 一電極を心尖部に他電極を心臓基底部附近、すなわち心臓の縦軸の方向に通電した場合

表4に示すごとく90~100ボルト、0.9アンペア程度の電力であれば0.05秒のごとき通電時間で単一刺戟で確実に細動消失後直に正常心搏動に恢復する。110~130ボルト1.2~1.8アンペアのごとき前者に比し強い電力を用いると0.05~0.1秒の通電でも同様、単一刺戟で常に細動消失し正常心搏動に復する。

但し上記のごとき強い電力を用いても0.5秒以上の様に稍長時間の通電では細動除去後正常心搏動に恢復せしめる事は出来ない。そこで脳及び心筋に不可逆的な変化が起つていない限り、心室細動除去についての最適条件は、次の如き事がいえる。

すなわち径7cmの電極を用い、一極を心尖部に他極を心臓基底部附近所謂縦軸方向に90~110ボルト、1.2~1.8アンペアを0.05秒通電すれば単一刺戟にて心室細動除去後直に正常心搏動に復元せしめ得る。

(III) 通電方向に関する検討

通電方向、通電時間を考慮すると、細動消失後直に正常心搏動に恢復するという興味ある事実を明かにしたので更に詳細に検討してみた。電極は之より径2cmの最小のものを用いる事にした。

この場合所謂縦及び横軸通電を確実にに行い度い為である。

すなわち径5~7cmの電極を使用すると仮令横軸通電を行つた心算でも、著者のいう縦軸方向に無意識に近づくという事を恐れた為である。

(1) 横軸通電の場合

90~130ボルト、1.2~1.8アンペア、0.05秒を横軸に通電し、既に発生せられたる心室細動に対し除去を試みてみたが多くは単一刺戟のみにては除去出来ず反復通電を必要とする。

或る時は反復通電につれ細動除去に弱化し心静止の状態を来す事もありその結果は不定である。

この心静止の状態を来すと改めて、各種薬剤の

表 4

Voltage	Ampere	0.05	0.1	0.5	(Second)
10		-	-	-	
15		-	-	-	
20		-	-	-	
25		-	-	-	
30	0.2	-	-	-	
35	0.2	-	-	-	
40	0.3	-	-	-	
45	0.3	-	-	-	
50	0.3	-	-	-	
55	0.4	-	-	-	
60	0.4	-	-	-	
65	0.4	-	-	-	
70	0.5	-	-	-	
75	0.5	-	-	-	
80	0.5	-	-	-	
85	0.7	-	-	-	
90	0.9	+	-	-	
95	0.9	+	-	-	
100	0.9	+	-	-	
105	1.0	+	-	-	
110	1.2	+	+	-	
115	1.5	+	+	-	
120	1.6	+	+	-	
125	1.7	+	+	-	
130	1.8	+	+	-	

注入，心臓マッサージ等により心搏動に戻す必要があるが，この場合，再び心室細動に移行して仕舞う事が多い。反復通電を施行しているうちに心筋損傷等不可逆的な変化も合併し死に至るものが大部分である。

(2) 縦軸通電の場合

(i) 図2の如く，一極を心尖部B点に固定し，他極を肺動脈起始部より右心室に向つて次第に移動せしめ既に発生せられたる心室細動が正常心搏動に復元する位置を求めつつ通電すれば，A点に他極が来た時のみ単一刺戟で直に正常心搏動

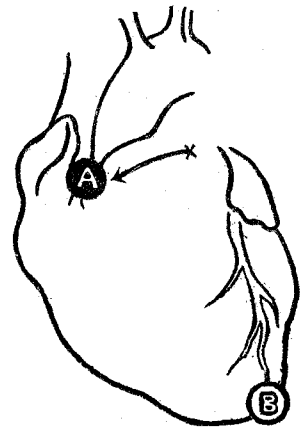


図 2

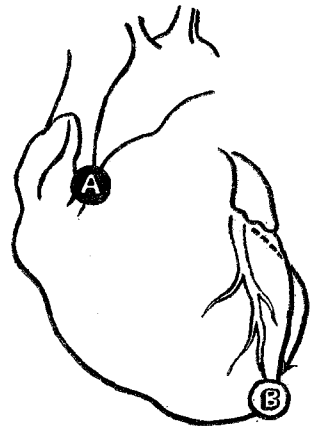


図 3

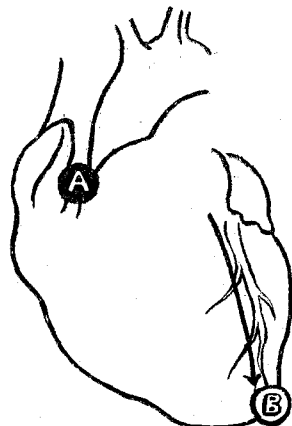


図 4

に復元せしめ得る事が出来る。

(ii) 図3に示す様に，一極をA点に固定し他極を左心室より右心室に向つて次第に移動せしめると，心尖部B点に他極が来た時のみ，同様単一刺戟で正常心搏動に復元せしめ得る。

(iii) 図4に示す様に、一極をA点に固定し他極を心尖部B点に向つて左冠状動脈に沿いつつ移動せしめると心尖部点に至る迄正常心搏動に復元せしめ得る事は不可能である。

以上よりA、B二点を結ぶ線上に一致して通電を行えば心室細動除去後直に正常心搏動に恢復せしめ得る事が明確になった。

(IV) 縦及び横軸通電の比較

(1) 単一刺戟及び反復通電の場合

表 5

例	細動発生後 Sec.	縦 軸 通 電		横 軸 通 電	
		回数	結 果	回数	結 果
1	30	1	恢 復	1	恢 復
2	"	1	"	7	"
3	"	1	"	10	"
4	45	1	"	8	"
5	"	1	"	9	不 能
6	"	1	"	7	"
7	60	1	"	1	恢 復
8	"	1	"	9	不 能
9	"	1	"	4	"
10	"	1	"	1	恢 復
11	"	1	"	2	"
12	90~105	1	"	8	不 能
13	"	1	"	4	"
14	"	1	"	7	"
15	"	1	"	9	"
16	"	1	"	10	"
17	"	1	"	4	恢 復
18	"	1	"	2	"

表5に示す様に横軸通電では18例施行中その殆どが反復通電を施行しないと正常心搏動に恢復していない。著者の縦軸通電ではその凡てが唯1回のみを通電、すなわち単一刺戟で正常心搏動に恢復している。

これに比し横軸通電では単一刺戟で恢復し得たのが僅かに3例、2~4回の反復通電を施行した後恢復し得たのが3例、5回以上の反復通電でも恢復し得なかつたもの9例認められ、縦軸及び横軸通電の差が判然と示されている。

(2) 心室細動を惹起せしめ、且つ、除去し得る両者の作用を兼ねた電力を用いた場合

次に通電時間の関係であるが、比較的弱い電力では、心室細動を惹起せしめ、比較的強い電力では心室細動除去後正常心搏動に恢復せしめ得る事は既に述べた。

之等両者の作用を兼ね備えた電力は当然存在するものと考えた。著者が実験の結果知り得た之等電力は45~55Vである。

之等の電力を用いて縦及び横軸通電の効力の差を比較してみた。この場合著者のいう縦軸通電を施行しても唯一回の刺戟すなわち単一刺戟で、心室細動除去後直に正常心搏動に復元せしめる事は困難である。

横軸通電の場合は更に極めて困難で最高20~25回の反復通電を施行しても恢復不可能の場合も認められた。

すなわち縦軸では9例施行中全例が恢復しているが、横軸通電では、恢復5、不能4例を認めている。

しかもこの様な不適な電力を用いて試みた場合においてさえも縦軸通電では表6に示す様に半数以上が単一刺戟で恢復している。

これをみても判る通り縦軸通電が横軸通電に比較して優れたものである事が明確である。

表 6

V	縦 軸 通 電	結 果	横 軸 通 電	結 果	細動発生より 通電迄の時間
45	1回	恢 復	6回	恢 復	直 後
50	5 "	"	25 "	不 能	"
"	4 "	"	7 "	"	3 0 秒
"	1 "	"	5 "	"	1 分
"	3 "	"	20 "	"	1 分 3 0 秒
55	1 "	"	7 "	恢 復	直 後
"	2 "	"	14 "	"	"
"	1 "	"	1~3 "	"	1 分
"	1 "	"	1~3 "	"	1 分 4 5 秒

第3節 考察

急性心停止、就中心室細動についてその発生と除去を交流電気刺戟で、通電時間、通電方向を検討した。すなわち

1) 交流刺戟にて細動を発生せしめるには両電極を左右心室壁上に置き、比較的弱い電力を比較的長時間通電すると細動を発生せしめ得る。

この場合60V以下の電圧で0.5秒以上の通電が最適である。

2) この様にして発生せしめた心室細動を確実に除去するには縦軸方向に90~130V, 1.2~1.8 Amp, 0.05秒の通電を行えば確実に正常心搏動に復元せしめ得る。

3) 直径2cmの小電極を用い至適電力を0.05秒通電し縦及び横軸通電を行つて細動除去を試みた場合18例中縦軸通電では凡てが単一刺戟で直に正常心搏動に恢復している。

これに対し横軸通電では単一刺戟で恢復し得たのが僅かに3例、2~4回の反復通電後恢復し得たのが3例、5回以上通電しても恢復不可能であったものを9例も認めた。

4) 45~55Vという不適な電力を用いて同様比較した場合においても縦軸通電では、全例が恢復しているが、横軸通電では恢復5、不能4例を認めている。

この様な不適な電力を用いて通電した場合でも縦軸通電においては半数以上が単一刺戟で恢復している。

5) 電極の大きさは、実際には直径5~7cmの如く大きい方が望ましい。電極が大きいと電極と心筋との接触面が大きくなるから単位面積を通過する電流分布が小さいので心筋を保護する事が出来るからである。

第3章 実験(II)

第1節 実験目的

既に述べた如く、至適電力及び通電方向を考慮して電気刺戟を施行すると、既に発生せられたる心室細動を直に正常心搏動に復元せしめる事が出来る事実を明かにしたが、この際心室細動を発生してから、電気刺戟を施行する迄の時間が問題となつて来る。

一定時間が経過したものは、脳及び心筋に不可逆的な変化を来し当然恢復し得ない。心室細動発生後どの位の時間以内に電気刺戟を施行したならば正常心搏動に恢復が可能であるか、此の時間的限界を求めべく実験を行つてみた。

第2節 実験及びその成果

(I) Anoxia が起つていない場合の細動除去

可能の時間的限界。

まず実験の基礎として呼吸運動及び酸素の供給が正常に営まれている場合の細動除去可能の時間的限界を求めた。

実験動物には中型雑種成犬を用い、気管内麻醉下に開胸を行い心膜を開く、露出せる心臓に電気刺戟にて心室細動を発生せしめた。通電直後の細動は非常に細かく且つ、活発な細動を呈するが、次第に粗雑な動きに変化して行く。

この細動を除去する為に至適電力を、縦軸通電を施行して細動除去を試みた。表7に示す如く細動を除去し、正常心搏動に復元せしめ得る時間的限界は、細動発生後、大体3分30秒である。

表7 電戟による細動発生より除去迄の時間

	時 間	結果	備 考
1	5 4 秒	恢復	翌日使用す
2	1 分 3 0 秒	"	"
3	3 分 3 0 秒	"	3 時 間 後 死 亡
4	3 分 3 0 秒	不能	+ マ ッ サ ー ジ
5	4 分	"	"
6	4 秒 5 0 秒	"	"

これ以上経過したものでは恢復不能である事が判明した。心室細動を惹起してより3分30秒~4分を経過したものでは、たとえ、心臓マッサージを行つて、電気刺戟を施行し、一応心室細動除去出来て、一見正常心搏動に恢復せる如く見えても次第に心臓微弱となり、遂に死亡して仕舞う。

(II) Anoxia と心室細動惹起及びその除去について

(1) 無呼吸下における心室細動発生及びその恢復について

心室細動の主な原因として Julian Johnson 等¹²⁾ は心操作時の Anoxia が原因であるといい、その他に冠動脈疾患や、麻醉時、特にチクロパンの心筋の感受性増加の問題を挙げているがこの中最も重要視されている Anoxia と心室細動との関係を見定めるべく追及した。気管内麻醉下、両側開胸下において、突然人工呼吸を停止し、肺を殆んど無呼吸の状態に置いた。流血酸素飽和度計を以て流血中の酸素飽和度を覗い、股動脈を露出、血圧を直接測定した。肺萎縮と共に露出せら

れたる心臓の色は次第にチアノーゼ様となり時間の経過と共に、肉眼的には表8に示す如き変化を表わした。

すなわち、最初の2分間は、搏動は弱く遅く、3—4分後は強く早くなり、5分後には再び弱く遅くなるが、この時期から、脈搏触知不能となる。

表8 心臓搏動の変化 (Anoxia による)

No.	1	2	3	4	5	6	7
1分後	弱、遅 不整	弱、遅 不整	弱、遅	弱、遅 不整	弱、遅	弱、遅	強、遅
2	同	同	強、早	同	同	同	弱、遅
3	強、早	同	脈(→)	強、早	強、早	同	同
4	同 不整	同		同	同	同 不整	強、早
5	弱、遅	同		弱、遅	強、遅	脈(→) フィブ リレン ション	強、遅 脈(→)
6	同	同		同	同		弱、早
7	弱、早 脈(→)	弱、早 脈(→)		弱、早	弱、早	同	同
8	同	同		同	静止	同	静止
9	殆んど 静止	同		静止		殆んど 静止	
10		弱、遅					

更に次第に微弱となつて約10分後には殆んど心静止状態となつてしまう。

実験7例中1例においてのみ、このAnoxiaによつて心室細動を発生しているが、他の6例においては、心静止状態となつて心室細動は認められなかつた。

然るにこの静止状態になつた心臓に対して人工呼吸を開始し、更にマッサージを行うと2—3分後に、何れも心臓の色調の改善が起るが心臓全体に亙る盛な細動を発生する。

斯くして発生せる心室細動に、前述の縦軸方向に、至適電力を通電すると細動除去後直に正常心搏動に復元する。

但し、この場合人工呼吸を停止してより再び人工呼吸及び心臓マッサージを開始する迄の時間的

限界は8分であつて、それ以上経過せるものは、何れも恢復不能である。

表9 心マッサージ開始時間

	人工呼吸停止より脈搏触知不能迄	脈搏触知不能より心マッサージ開始迄	人工呼吸停止より心マッサージ開始迄	結果
1	5分	3分	8分	恢復
2	6分30秒	2分	8分30秒	〃
3	3分30秒	4分30秒	8分	〃
4	4分	7分	11分	不能
5	8分30秒	6分30秒	15分	〃
6	5分30秒	11分30秒	17分30秒	〃

表9に示す如くこのマッサージ開始迄の8分というのは、人工呼吸停止より、脈搏触知不能となつてから4分以内であつて、これと前記実験とを照合してみると、心臓の搏出能力の消失、すなわち、血液循環機能が失調してより4分以内に、何等かの方法を以て、人工循環及び人工呼吸を計らない場合には、恢復不能である事を示す。

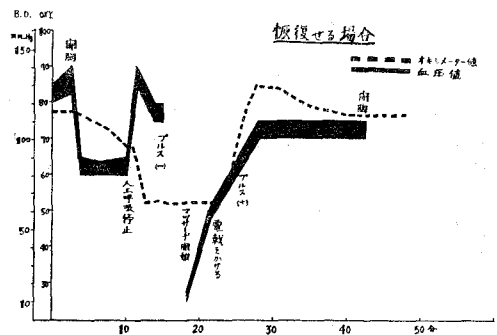


図5

8分以内に心臓マッサージを開始した例では図4の如く肺萎縮と共に血圧は急に上昇して来るのに反し、流血酸素飽和度計値は、極度に低下し約5分後には股動脈において脈搏触知不能となる。

8分後には流血酸素飽和度計値は術前80を示したものが50前後に低下して来る。

血圧は10—15 mmHgを示し脈搏触知不能と同時に急激な下降を呈する。

この時には心臓マッサージ及び人工呼吸の再開によつて、2—3分すると心臓全体に細動を認める。既述条件にて電気刺戟を与えると直に流血酸素飽和度値及び血圧の上昇を示し脈搏も触知可能

となる。

閉胸操作中、血圧の降下もみず、光反射、角膜反射も正常、意識も正常に戻って術後5時間以上も生存せる例である。

これに反してマッサージを開始するのが8分以上経過せる場合には二つの型を示して結局は恢復不能の転帰をとる。

表10 血液ガスの変動

		開胸前	静止時	恢復直後
恢復	CO ₂	28.67	34.93	11.47
	O ₂	18.95	4.37	14.80
不能	CO ₂	32.68	38.12	34.12
	O ₂	14.66	0.97	8.21

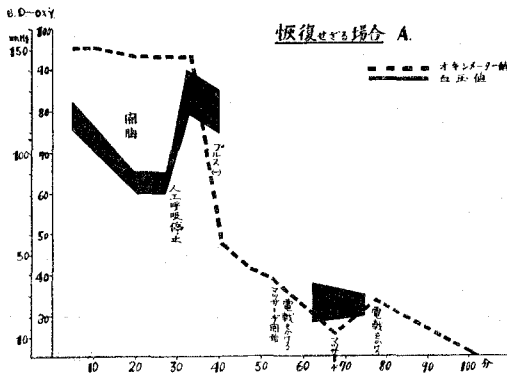


図 6

一つの型は図6に示す如く一旦は流血酸素飽和度計及び血圧の上昇を認め、脈搏も触知可能となつたに拘わらず、再び心搏微弱となり復歸不能となるものである。

もう一つの型は図7に示す如く電気刺戟による状態の改善は何もみられず、その儘に心搏微弱となつて死亡に至る型である。

表11 血液ガスの変動

例		開胸前	静止時	電戟後
恢復	1	CO ₂ 40.05 O ₂ 20.39	46.91 14.15	46.21 12.38
	2	CO ₂ 28.67 O ₂ 18.95	34.93 4.37	11.47 14.80
不能	3	CO ₂ 33.71 O ₂ 11.52	36.12 1.50	38.41 9.65
	4	CO ₂ 32.68 O ₂ 14.66	38.12 0.97	34.12 8.21

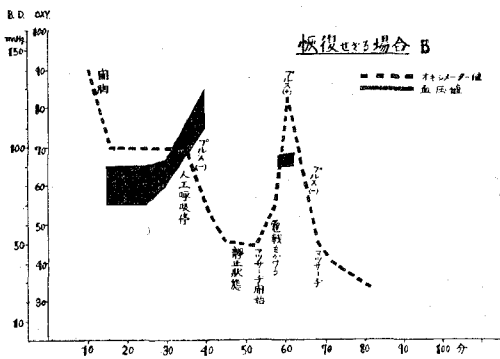


図 7

この実験において8分以内に、心臓マッサージを行つて恢復した場合と、それ以上を経て恢復不能なりし場合の動脈血中の酸素及び炭酸ガスの含有量を Van Slyke 氏法にて測定した。

表10がそれで、静止時とはマッサージ開始直前の動脈血である。恢復例では電気刺戟を施行した

直後の酸素含有量が開胸前のそれに殆んど匹敵する程度に含有せられているのに反して、不能例では極く少量の酸素しか含有していない事になっている。

又静止時の酸素含有量は不能例において極度に低下しているのに注目させられる。(表11参照)

(2) 低濃度酸素呼吸時の心室細動発生の条件について

前述の実験は、突然の強度の Anoxia を起さしめての実験であるが、Anoxia の程度の差異によつて、心臓の反応も異なる様に推察せられるので更に実験をすすめた。

吸入する気体の酸素含有量によつて、或一定の度合の Anoxia の状態を作り得ると考えダグラスバッグに酸素を希望の割合につめ、これを1分間10回の回数を以て実験動物に吸入せしめた。流血酸素飽和度計が一応安定せる所で実験を行つた。

かかる状態に在る動物に、横軸の方向に電気刺戟を与えて心室細動発生の難易を観察した。まず正常の空気(約20%酸素含有)を吸入せしめてい

る時においては0.5秒という長い通電時間の時には殆ど何れの電圧においても細動の発生を見ているが、0.05~0.2秒という通電時間では30~80V以外の範囲にある時には細動が発生し難い。(図8参照)

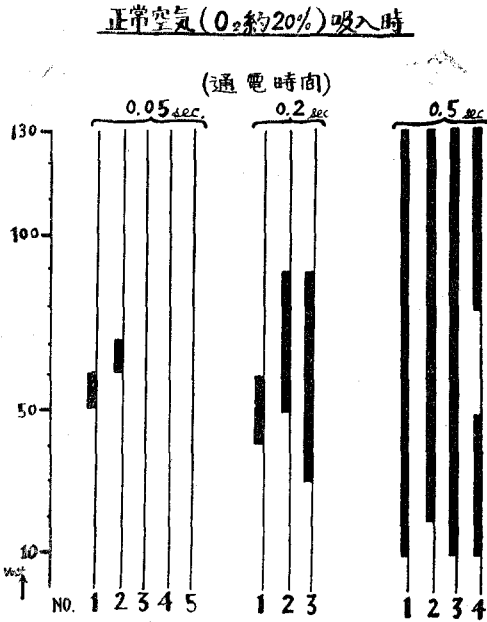


図 8

しかるに正常空気の約半である10~15%の酸素含有気体を吸入せしめた例では、0.5秒の様な長い時間の通電では勿論、凡ての電圧範囲において細動発生を見るばかりでなく、0.05~0.2秒という様な短い通電時間でも細動の発生電圧範囲が上下に稍広くなっている様である。(図9参照)

更に3%の酸素含有気体吸入時には0.5秒の通電時間では、勿論凡ての電圧範囲にて細動の発生を見るが、更に0.2秒では10~90Vの間において非常に容易に細動の発生を認めている。

但し、0.05秒という非常に短時間の通電では、かえつて細動を起さないという興味ある結果を得た。(図10参照)

図11は以上の結果をまとめて示したもので、結局 Anoxia の度合と更に通電時間の長短が細動発生の難易を決定する様に思われる。

勿論通電方向は常に心臓の横軸方向である事は前述した通りである。

(3) 低濃度酸素呼吸時における心室細動除去について

Chester E. Herrod 等によると Anoxia によ

10-15% O₂ 含有気体吸入時

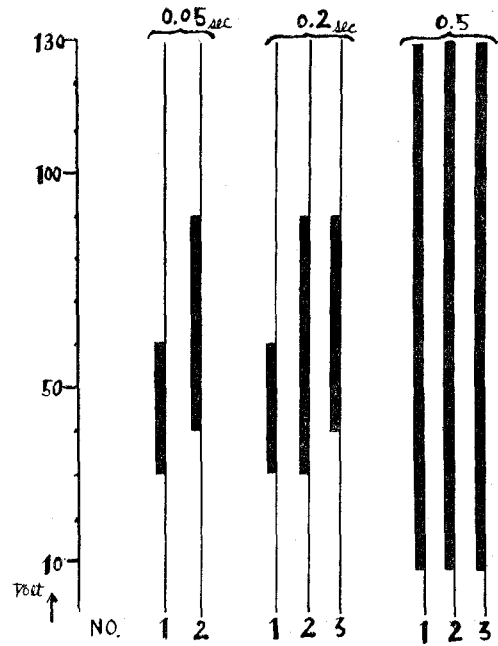


図 9

3% O₂ 含有気体吸入時

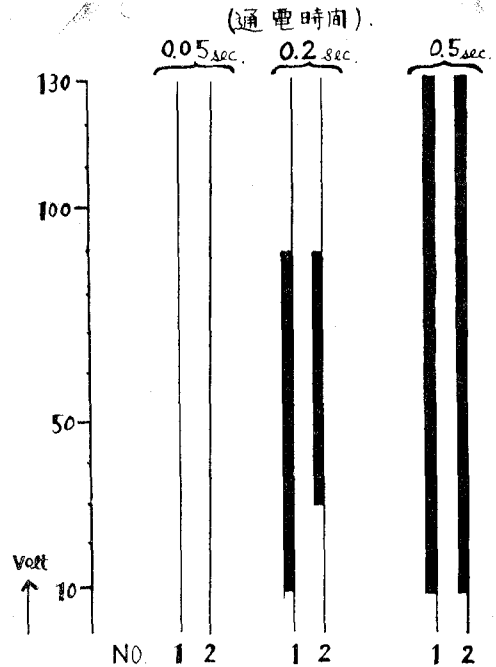


図 10

つて発生した心静止、又は心室細動に対しては

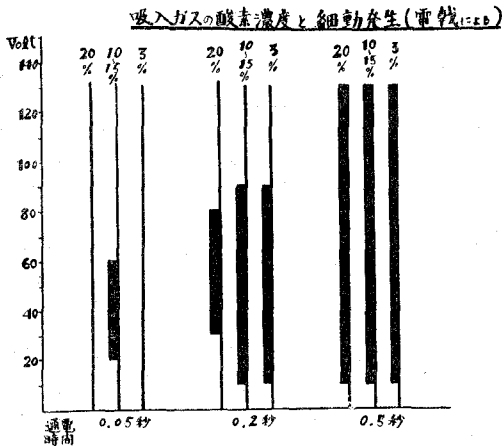


図 11

電気刺激は無効であるとされている。

この点を更に追及してみた。

低酸素含有気体を吸入せしめている状態において、電気刺激によつて心室細動を除去し、これが電気刺激のみで恢復する時間的限界を求めた。まず10%酸素含有気体を吸入せしめると図12に示す如く血圧は次第に上昇し約3分後には最高に達する。

これに電気刺激を施行して、心室細動を発生せしめると最初の活発なる細動は次第に粗なる動きに変化して行く一方、心臓の色調は急にチアノーゼ様になる。

心室細動発生後2分を経過して至適条件にて心室細動除去を計つた場合には細動除去には成功しない。

その後心臓マッサージを施行する事約2分間にして再び細動は活発化して来る。この時期に同様

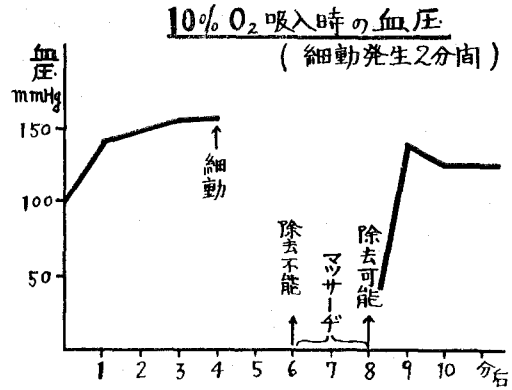


図 12

の電気刺激を施行すると正常心搏動に戻り容易に恢復せしめ得る。

次に図13の如く、心室細動発生後1分間で電気刺激を施行した例では心臓マッサージを行う事なく、電気刺激のみで恢復可能なる事が判明した。(表12参照)

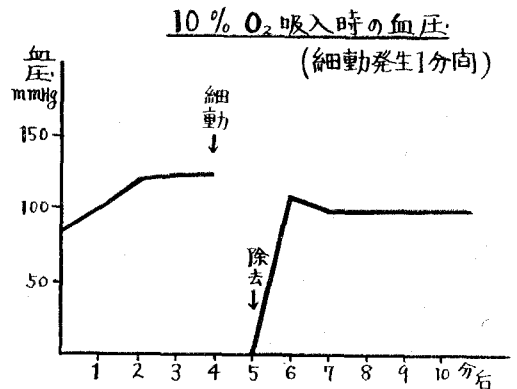


図 13

表12 10% O₂ 吸入と細動除去

F.=細動
E.S.=電気ショック
C.M.=心臓マッサージ

例	血 圧					F. 発生	E. S. のみ の 結 果	C. M. 施 行	結 果	恢 復 時 血 圧
	前	吸 入 後								
		1分	2分	3分	4分					
1	110	150	160	165	165	2分間	不 能	2分間	恢 復	120
2	110	130		130		2 "	"	2 "	"	100
3	80	140	145	140		1 "	可 能		"	80
4	80	80	80	80	80	1 "	"		"	70
5	80	100	105		105	2 "	不 能		不 能	

既に述べた如く正常空気呼吸のもとでは、心臓マッサージを施行する事なく電気刺戟のみで細動除去に成功し得る時間的限界は、細動発生後1分30秒～1分45秒である。

10%の低酸素下では1分以内でないといふ電気刺戟のみでは恢復せず、低酸素の影響が細動除去にも存する事が判る。

次に5%酸素含有気体を吸入せしめると、血圧は急激に上昇を示す(図14)。2—3分後に電気刺戟にて細動を発生せしめ1分間放置した後、至適条件の通電を施行しても、細動だけを除去する事

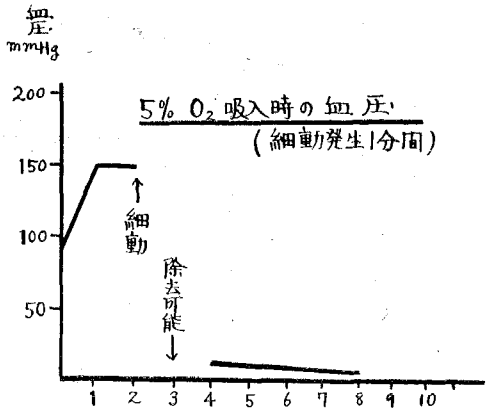


図 14

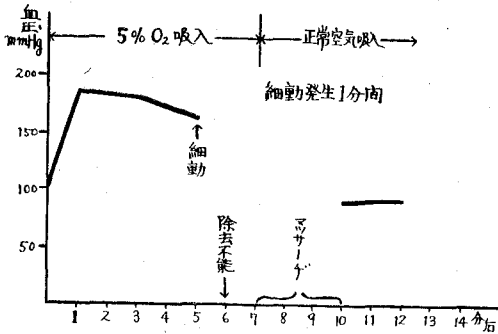


図 15

は出来た例もあつたが正常心搏動に戻し得た例はない。

これに反し図15の如く直に吸入気体を変えて充分に酸素を逆入し且心臓マッサージによつて人工循環を施行せる後に電気刺戟を与えると恢復し得る事が判明した。(表13参照)

吾々²⁴⁾の教室で行つた低酸素症と脳循環の研究によれば、5%酸素含有気体を吸入すること10分において既に脳循環に致命的な障害を示すものとせられているが、かかる状態に心室細動発生という状態が合併せられる場合には、たとえ1分間であつても、更に同様の低酸素含有気体吸入を継続すれば、電気刺戟のみでは恢復不能である事が判明した。

第3節 考察

心室細動発生には Anoxia という状態が重大な原因となつていとされ、実際に Anoxia の状況下では心室細動が起る事が多い。

この様な場合の心室細動を電気刺戟で除去せんとするには、心室細動と Anoxia の関係を明かにしなければならない。

上記実験により Anoxia それ自体では心室細動は起る事が少く、むしろ直に心静止に移行するものであり、かかる状態で心臓マッサージを行つた時に心室細動が発生し得る事をまず明かにした。

この事実は低酸素気体吸入下で電気刺戟による心室細動発生条件を検討しても判るのである。

すなわち正常状態では細動を発生し得ぬ様な電力でも低酸素気体吸入下では容易に発生する事を明かにした。

次に発生した心室細動を除去するには10%酸素含有気体吸入状態の様な低酸素状態では電気刺戟のみによる除去可能時間は、正常の場合の1分45秒に対して、1分に過ぎない。

表13 5% O₂ 吸入と細動除去

例	血 圧				細 動 発 生	吸 入 ガ ス 変 換	マ ッ サ ー ジ 施 行	結 果
	前	吸 入 後						
		1 分	2-3 分	3-5 分				
1	100	110	150	180	1 分 間	施 行 せ ず		不 能
2	120		150	150	"	施 行	2 分	恢 復
3	110	140	200	200	"	施 行 せ ず		不 能
4	80	60	60	60	"	施 行	2 分	恢 復

動を起す電圧範囲が広く認められた。通電軸と細動との関係を求めるべく行つた実験では図18に示す如く犬においても、図19墓においても横軸通電の方が低電圧で細動の発生する事が認められた。

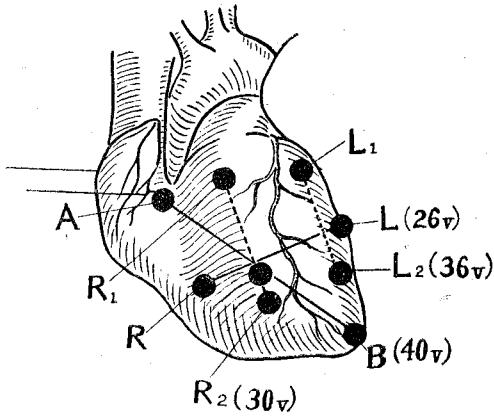


図 17 細動発生時の双極通電実験における電極の位置

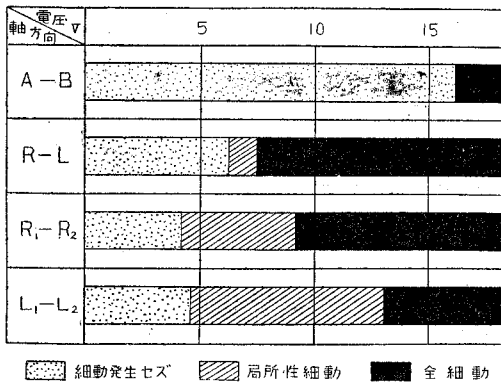


図 18

(2) 単極直流通電

一極を不関電極として側背部皮下に置き一極を心室に置いて、同様に通電すると陽、陰、何れの極を用いても刺戟装置の電圧範囲で細動を発生する事は稀であつた。

(3) 同名双極通電

以上二実験より刺戟点の数が細動発生時の難易に関係するのではないかと考え次の如き実験を行つた。

すなわち単極通電の如く一極を不関電極として側背部に置き、他極を二個の電極に分け心室の二点を刺戟してみた。結果は図19に示す如く異名双極通電と略同じ電圧で細動を発生した。

以上の実験結果は極性には関係なく刺戟点が二個以上心室にある事が細動発生を容易にするものである事を暗示している。

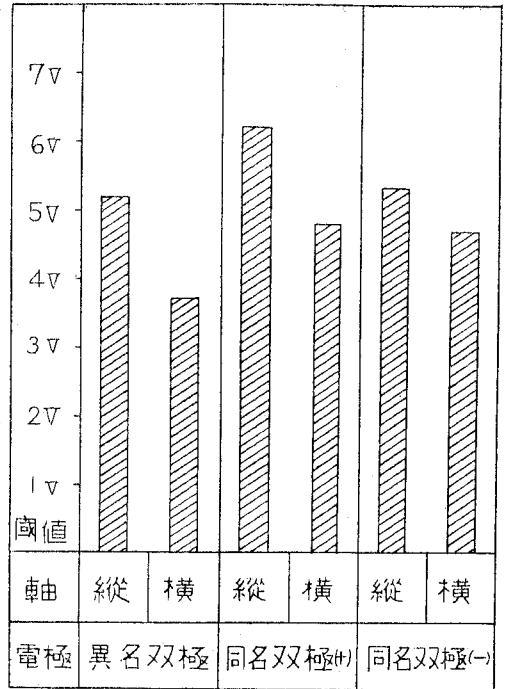


図 19 細動発生時の通電軸と極性との関係 (墓)

(II) 心室細動除去に関する実験

(i) 細動除去装置として前記した蓄電器放電式の装置を用い、予め電気刺戟により発生せしめた心室細動を除去し得る最小電圧を各容量について求めた。

電極位置は図20に示す如く縦軸として著者の選んだA点(右心耳と上大静脈と合する又状部で分界溝に沿う部分)と心尖部B点とを用い横軸とし

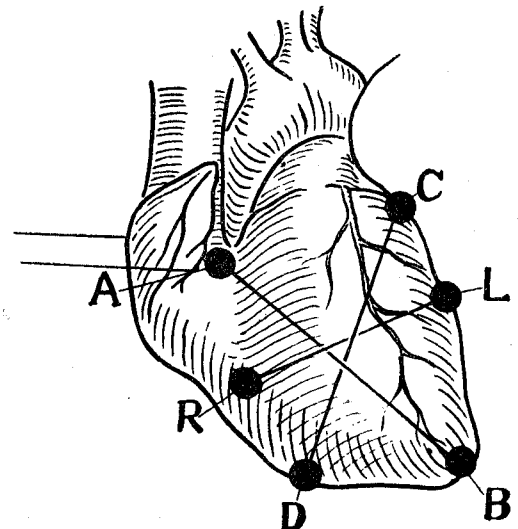


図 20 細動除去時の双極通電実験における電極の位置

細動除去閾値と通電方向との関係

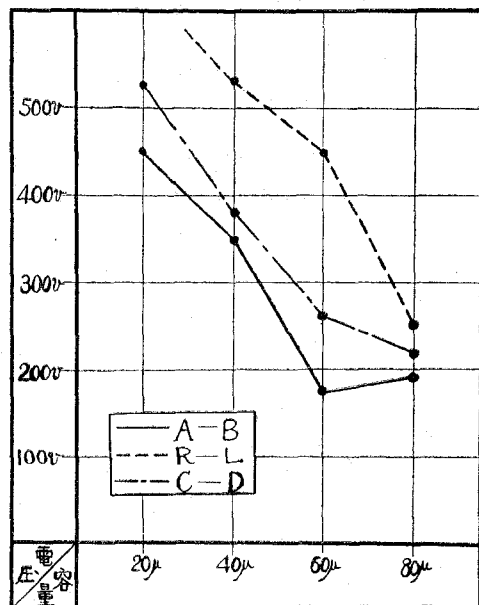


図 21 細動除去閾値と通電方向との関係

て左右心室に電極を置く場合(R—L)を選んだ。

以上の結果得られた値より平均値を求め図21に縦軸を実線で、横軸を点線で示したが、どの容量においても明らかに著者のいう縦軸が、横軸よりも低電圧で細動を除去し得る事を認めた。

(2) この実験により著者のいう縦軸通電の優秀なる事が蓄電器放電による実験でも認められたので、さらにその理論の追及のための実験を行った。

まず縦軸通電が横軸通電より優る理由として第一に考えられる刺戟伝導系の機能について調べる目的で、上記A～B两点と対称的な縦位置C～D点を求め、同様の実験を行ってみた結果を図21に示したが、R—LよりA～Bに近い値である。

(3) 心筋が時間を経るに従い反応性を変化することは当然考えられることであるが、心室細動除去に用いる軸方向の比較は同じ状態でなされねばならない。したがって上記の如き縦横別々の実験では、この点が不備であると考え、まず横軸で刺戟を与え一定電圧(450ボルト)迄細動を除去出来なかつた際は直に縦軸に変え再び低い電圧より刺戟を反復して細動を除去し得る閾値を求めた。

結果は図22に示す様にやはり縦軸通電は横軸通電で不能だったうち450ボルトよりも低い電圧、

若しくは同電圧で細動を除去し得た。

(4) 続いて一極を不関電極として側背部皮下に挿入し、一極は直径2cm円板を用いて細動を発生させ心室の各部において除去の効果を調べた。その結果心尖部における閾値のみが著明に低く、他はどの部位でも、それより遙かに高い値を得た。

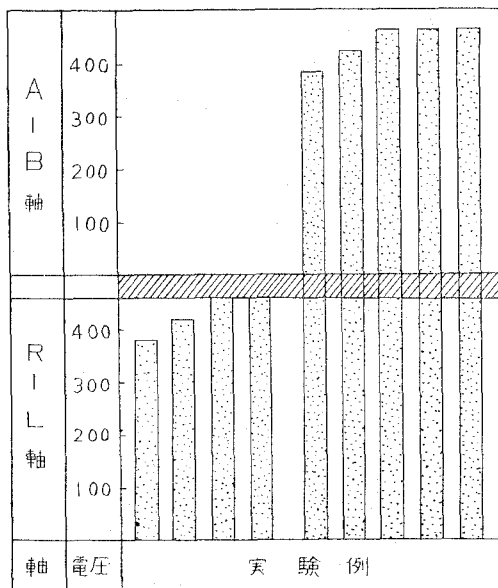


図 22 通電軸転換による細動除去効果

双極通電において最も低閾値を示した縦軸の一点Aも他の心室各部と全く同様の高い閾値を示した。

(5) ついでさらに部位に関する詳細を追及するべく以下に述べるごとく実験をすすめた。

すなわち以上の結果が何らかの実験操作上の失敗で、電極の接着による心臓の位置移動に起因して周囲組織との接着状態が変化すること、また電極の接着の際、部位によつては必ず他組織と接触しその部位に電極を当てるときだけ、電気的な短絡ができ、刺戟電流が減ずることがあるのではないかと、この疑いが生ずるので、心臓の遊離部背部をビニール布で包み、他部の絶縁した後心基部より心尖部に向つて少しずつ電極を移動し、その度毎に、一定電圧で刺戟を反復しつつ進み、初めて細動除去をし得た点に糸で標をつける実験を各電圧について行つた。

図23は80μにおいて測定した結果で、単極刺戟で細動を除去し得る電圧は心尖において最も低く、それよりほぼ同心円状に心基部に近づくほど

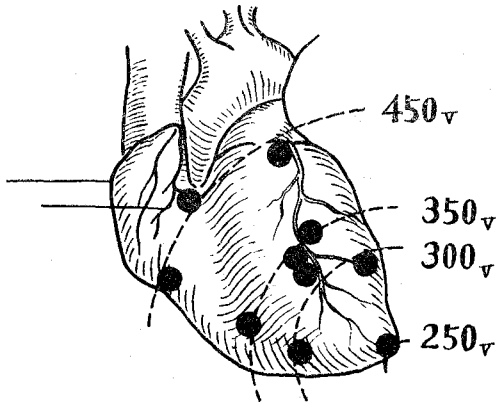


図 23

高くなっており、特に中隔部附近で低閾値を示すようなことは認められなかった。

第4節 考察

○細動発生に関して

細動の機序に関しては古くより多くの説があり、その要因も多数挙げられている。

現在では Multiple re-entry を本態とする考えが一般に認められているようである。

この実験では、心室の一点を刺戟したときは細動は起り難く、心室の二点刺戟したときにはそれが同名の極、異名の極の如何にかかわらず、心室細動を発生し易いという結果を得た。

心室各部の不応期の長さや興奮性の相違を考えに入れれば、一点が刺戟されて起つた不応期が他点に発生した興奮を遮断し、その結果、感受性のある部分にだけ興奮が伝播し、やがて再び興奮性の回復したもとの場所に帰ってくるといったような循環を複雑に繰り返す。すなわち Multiple re-entry が発生すると考えれば容易に理解し得ることである。

さて Multiple re-entry が本態であるとするならば、さらに進んで、刺戟を矩形波のごとく断続して反復刺戟を行つた場合に、細動発生はもつと容易になるはずである。

細動が上記したような状態のものであるとするならば、心室は、各細小部分によつて静止期、不応期等区々になつて刺戟感受性を異にしている筈である。

心室細動を除去するという事は、これら種々の状態にある心筋を一齊に不応期におとし入れ、次にくる正常搏動に応ずるようになすべきであると

思考する。

○心室細動除去に関して

蓄電器放電を用いて、心室細動を除去する際縦軸通電が横軸のそれに比し有効であることは結果の項に述べた通りで、交流通電の場合の結果と同様である。

しかし図20C~Dに通電した際もほぼA~Bに近い結果を得、さらに次の実験で、上記の結果が心筋の時間的変化にもとづくものでないことを確めた。

この結果は心室細動の除去が刺戟伝導系に電撃が作用するために発効するのではなく、単に心室の形態に基因する縦横の相違が原因であることを示唆している。

すなわち、もし刺戟伝導系に関係ありとするならば、双極通電にても、単極通電にても、心室中隔を貫く通電方向が最も閾値が低く、したがつて単極通電では両心室境界部において特に閾値が低くなるはずである。しかるに次に行つた単極通電の実験においても、心尖部で最も低閾であつてそれより心基部に向うに従つて、同心円状に順次閾値が上昇する結果を得、刺戟伝導系には無関係であることを明瞭に示している。

また心室細動機序を Multiple re-entry に求めるならば心室細小部は各ばらばらの活動状態になるはずで、このようなところに刺戟伝導系よりの刺戟が来たとしても、それにより各部の活動状態を同一相に統一できるとは考えられないことである。

しからば縦横両軸における閾値の相違は如何なるものに基因するのであろうか。

刺戟伝導系が関係なしとして除外してみると、単に筋細胞が各方向に連絡しているに過ぎない。

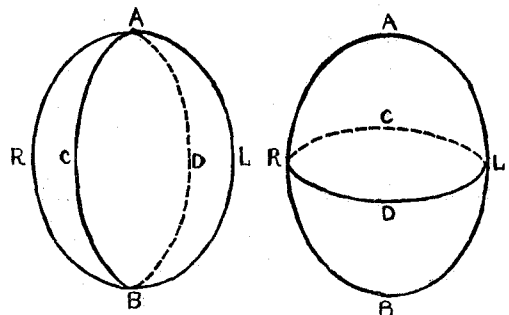


図 24 通電方向による電流分布の相違を示す楕円球の模型

そこで心室の形態を考慮に入れて次のごとき考察を行つてみた。

すなわち心室を図24に示すラグビーボールのごとき均質の楕円球と考える。

表層より一定の深さだけ、細動を起している心筋とする。

この楕円球の長軸両端および短軸両端に電極を置いて、通電した際に表層に一定の厚さに存在する心筋の内部を通過する電流の密度および分布を考えてみると図24に示すごとく、長軸に通電した際には、その表層を流れる電流は、どの径線をとつても均一であることが判る。

これに反し短軸では表層を廻つて、他極へ達する線の長さはその軸方向によつて異り、従つてその電流密度も異つて短軸のよぎる円周に近いほど密である。

以上のことは実際の心室においても充分考えられることで、もし然りとすれば、種々の活動状態にある心筋を一齊に不応期におとし入れるために心筋全体に一定度以上の電流が必要で従つて電流密度が均一の方が全体として低い電圧で心室全体に一定度以上の電流を流し得ることとなり、より低閾値が得られることと考えられる。

さらに上述したモデルのうち、内部血液を素通りする電流は細動除去に際しほとんど無意義のはずで、これがもし心筋と同一抵抗系数であるとするならば、短軸に通電した場合の方が電極間距離が小なので、より多量の電流が血液中を流れることとなり、これも縦横軸の閾値の差を作るに役立つものと考えられる。

同様にして単極通電の際には心基部を通して腰部と連絡しているのであるから、電極を心尖部に置く際に最も均一な電流分布が得られると考えられ、従つて、細動除去閾値が最も低値を示すことも容易に理解し得る。

また、できるだけ遠い距離に電極を置いて細動除去を行つた Birnbaum²⁵⁾, Wiggers²⁶⁾の報告もこれによつて簡単に説明し得て興味深く感ぜられる。

また心室細動発生の際縦軸通電に比し横軸通電の方が低閾値であることも、心筋の不均一性の他に電極の不均一性が加わることを考えれば容易に理解できる。

なお、従来交流を用いて行われた多数の発表に

比し、本実験においては遙かに高い電圧を用いているが、これは表わし方の相違に基づくものである。

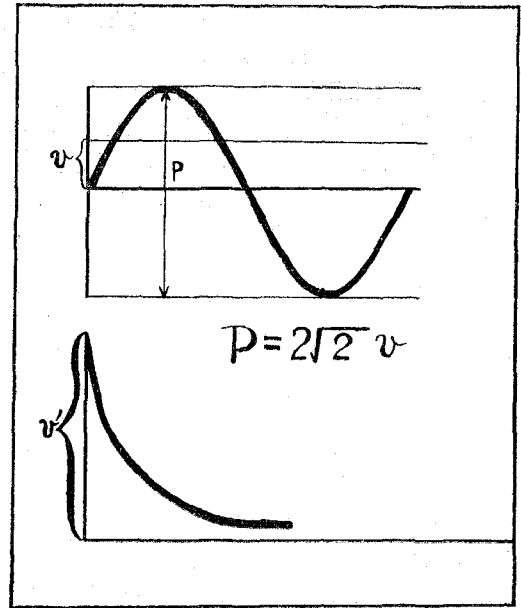


図 25 交流と蓄電器放電電圧経過の比較

交流が図25のごとく、通常その実効電圧で表わされ実際に有効な peak to peak の電圧は実効電圧の $2 \times \sqrt{2}$ 倍であるのに比し、この蓄電器放電では実験方法の項に述べたごとく初発電圧を以て表わしたので心臓に有効に作用する電圧は大差がないと思われる。

第 5 章 文献的考察

心室細動は既に数十年前より認められ哺乳動物のうち、犬、人間等の大動物のそれは絶対的に自然治癒はないということが知られていた。

この心室細動を阻止するため、種々研究された結果次のような方策が考え出された。

すなわち、

1. 塩化カリと塩化カルシウム
2. キニジン
3. パパベリン
4. プロカインおよびプロカインアミド
5. 心臓マツサージ
6. 電気刺激

などが挙げられる。

古くより K イオンは心筋活動を停止させ、ついで Ca イオンを K イオンより少しく大量注射し中和してやると正常心搏リズムに帰し得ることが知られており²⁷⁾、その後実験的研究も重ねられているが、細動除去

後の心搏リズムの回復は不良であり実用には用いられない。

キニジン²⁸⁾, ババペリン²⁹⁾, プロカイン^{30~31)}等も心筋の興奮性を低下させるための目的にかなり使用されたが、これだけでは細動を除去することは期待し難く、また心臓マッサージも奏効は確実ではない。そもそも麻酔による心停止の結果死亡したのはすでに1848年に報告され1874年 Schiff 氏は動物実験でクロロホルムによる心停止が心臓マッサージにより回復したことを発表、臨床的には、1901年 Igelsrud, 1902年 S-tarling and Lane 氏により初めて成功したといわれる。

この問題は殊に近年になって実験的研究も臨床的経験も多数報告され、全般を概観するに、適当な論文として Palomera¹⁾, Dale⁶⁾, Beck and Rand⁹⁾, Cooley¹⁰⁾, Ament Papper and Rovenstein¹¹⁾, Johnson and Kirby¹²⁾, Corff¹³⁾, Cole¹⁴⁾, Ehrenhaft, Eastwood, and Morris²²⁾, Lahey and Ruzicka³²⁾の諸氏等が挙げられ、殊に Dale 氏は文献119を蒐集して詳細に記述している。

本邦では東大木本教授^{7~8)}が、手術時に発生した心停止例に心臓マッサージを施行しうち一例の成功を報告している。

この心臓マッサージは心停止に対し、勿論不可欠な手段の一つであるが、これのみで正常心搏動に回復せしめるのは僥倖を願うにひとしく、主なる目的は、一時これによつて、全身血行、特に脳血行(並に心臓の血行であるが、これは大動脈起始部にある第一枝であるから、脳血行が保たれれば当然維持される)を営むにある。

心停止後3分30秒以内に効果的に開始されないと永続的に脳障害の遺残は免れない。

この心臓マッサージに対し電気刺戟は心筋に直接作用し、しかもその刺戟は、機能的影響をあとに残さないため、最も有効とされている。

そもそも19世紀の終りより比較的弱い電力は心室細動を発生させ、比較的強い電力はこれを除去するという事実は実験的に認められていたのであるが、Hooker, Kouwenhoven 及び Langworthy³⁵⁾はこの生理学的事実に着目して追試を行い強電流は心筋に対し期外収縮の後に続いて来る代償性休止期のような一時的不応状態を作ることを知り、心室細動除去の目的には極めて有効であることを認め劃期的な道を拓いた。

その後 Wiggers 等の実験的研究³⁴⁾もあつて注目を浴び1947年, Beak, Pritchard および Feil²³⁾は初めて臨床的に応用し成功をおさめた。

この実験的研究は大別して

1. 交流刺戟によるもの
 2. コンデンサーを使用して直流刺戟によるもの
- とに分たれ、更に

- i 開胸して、心臓面より直接刺戟するものと
- ii 非開胸のまま間接的に刺戟するもの

とに区別されるが Gyton および Satterfield³⁵⁾の精細なる研究によると交流刺戟に比較して直流刺戟はやや不確実であつて、かつ麻酔ガスの爆発の危険がより大であり (Randall et al³⁶⁾) 4000 サイクル交流発振器による刺戟ならびにサイクロン放電刺戟も不成功であるとし、諸家の実験結果もこれに賛意を表している³⁶⁾。

非開胸のまま交流刺戟による方法³⁵⁾も、その着想は魅力的であるが、開胸直接刺戟に比し効果不確実であり、しかも300V 30Amp の強電力を要するためジュール熱による組織損傷が考えられ、脊髓損傷の危険さえ伴うので現在のところ、実用には供し難い。

さて開胸による交流刺戟が最も、良好であるが、これについて Hooker³⁵⁾は心室細動除去の出来る所要電流は0.6 Amp 以上であるといい、その後諸家の研究^{9 12 16 21 36~38)}による至適電力を総合すると、大体において60サイクル, 110~130V, 1.5~2.5Amp でそれぞれ目的を達しているようである。

通電時間は、細動除去に関しては0.1~0.2秒通電間隔は1~2秒を適当としている。

使用電極の大きさ、一般に直径5~7cm 銅~銀製を用いほとんどが両心室壁に密着させて通電している。

これに関し更に詳しく述べると、

Beck and Rand^{9 25)}, Johnson and Kirby^{12 17 18)} Hinton Stephenson and Reid¹⁹⁾, Corff¹⁵⁾, Ehrenhaft, Eastwood and Morris²²⁾, Gyton³⁵⁾ Lampson, Schaeffer and Lincoln³⁹⁾, 等は両電極を左右心室上に、Lahey and Ruzicka³²⁾は両電極を心臓の前壁および後壁上に、Birnbaum²⁵⁾, Wiggers³⁴⁾は両電極間距離が最大となるような位置、すなわち両電極間により多くの心筋を挟むような位置に置いて通電することを唱えている。

これに対し著者と同様な縦軸通電を唱える者は Kay²⁰⁾ and Kowenhoven³⁸⁾ だけである。

これとても、通電軸について、縦軸および横軸通電の何れが優れているかという点を検討している訳ではない。

以上文献上の実験結果を要約すると心室細動を最も確実に除去し得る方法は、心臓に直接交流刺戟を加えることであつて、適当な条件は60サイクル110~130V 1.5~2.5Amp, 通電時間0.1~0.2秒, 刺戟間隔1~2秒で径5~7cmの電極を両心室壁上に置いて通電する

ことである。

第6章 考 按

最近世界各国より集められた心停止1200例の集計²⁾によると、一度停止した心臓を再び正常搏動に回復せしめ得たもの56%そのうち永久治癒をみて生存せしめ得たもの28%の少数である。

かかる心蘇生の困難性は、実験にも知られる通り、生死の境目が発生より3分30秒前後という短時間で、適切なる処置をとり得るか否かにかかっているからである。

恐らく失敗例の大半は、その発見の遅延したこと、発見後適切なる処置を開始する迄の間に専ら時を費したことに責を来せられるべきであろう。

われわれの教室で全心臓手術例1500例のうち、積極的治療法を講じた急性心停止の臨床例を今日迄59例経験している。

この発症例は一見はなほ多例のようであるが教室では、心臓手術を主とし、胸腔内大手術を扱うことがかなり多いこと、ことに心筋に直接侵襲を加える手術を扱ったこと、以上の手術の際の危急事態としての急性心停止の発生を常に関心を以て観察し、かつ務めて適当な治療を行う態勢を整えていたためと考える。

確に急性心停止の発生頻度は、その場所で扱う手術の種類によつて著しく差異を示すことは明らかで、一般手術を扱う所では Miller⁴⁰⁾ (1952) のところで 857 回の手術で 1 例、Stephenson⁴¹⁾ (1953) 2384 回の手術で 1 例の程度であるが、Blalock 教室のごとく Cooley⁴²⁾ (1950)、心臓手術を扱う所では 878 回の手術で 48 例の心停止の発生を報じている。

このことはまた胸部大手術や心臓外科を扱う現代外科ではその研究対象として急性心停止を真剣に取り上げべきことを物語っている。

一般に心臓の作動を支配する要項としての① pace-maker, ② 刺戟伝導, ③ 心筋の興奮性ないし被刺戟性等に破綻が起つた時、あるいは相互間の調和が乱れた時、心静止または心室細動の形となつて現われてくる。

これらの破綻を惹起する要因ははなほ多くのものが考えられるが、胸腔内臓器の機械的刺戟、反射性要因、深麻酔作用、Anoxia 並に Hypercapnea および最近外科で応用されるようになった、人為低体温等であろう。

われわれの59例についてもその発生要因と看做されるものはそれ等であり、59例中ほとんどが低体温下に心血流遮断を行つて心筋に侵襲を加えた時に心室細動を認めた。

この心室細動に対し至適条件で除去し得たもの38例、不能21例、永久生存例27例である。

一見余り効果が無いように見えるが Johnson, Kirby⁴³⁾ もいうごとく、低体温時には心室細動が発生し易く、この心室細動は、Anoxia, 心臓操作および低体温等の合併因子によつて起るため電気刺戟は有効であるが、正常体温時のそれよりも除去が難しいと報じている。

また、Swan^{44~45)} のごとく低温下に発生した心室細動には電気刺戟は無効であると報告している者もあるのをみても判る通り、常温下の除去よりは困難である。

これから推察するにわれわれの永久生存例27例は極めて電気刺戟によく反応し著効があつたと考へる。

第7章 総括及び結語

急性心停止、就中心室細動につきその発生と除去、および Anoxia との関係を交直両刺戟を用い通電時間、通電方向等をあわせて検討した。

(1) すなわち交流刺戟にて細動を発生せしめるには両電極を、左右心室壁上に置き比較的弱い電力を、比較的長時間、通電すると細動を発生せしめ得る。

この場合、60V以下の電圧で0.5秒以上の通電が最適である。

(2) このようにして発生せしめた心室細動を確実に除去するには、一電極を心尖部に他極を心基底部附近、すなわち右心耳と上空静脈が合して作る叉状部から分界溝に亘る部分に置いて(これが縦軸通電) 90~130V, 1.2~1.8 Amp, 0.05秒の通電を行えば確実に正常心搏動に復元せしめ得る。

細動を除去し、正常心搏動に回復せしめ得る時間的限界は細動発生してより3分30秒~4分以内である。

(3) 直径2cmの小電極を用い至適電力を0.05秒通電し縦および横軸通電を行つて細動除去を試みた場合、18例中縦軸通電では凡てが単一刺戟で直に正常心搏動に回復している。

これに対し横軸通電では単一刺戟で回復し得た

のが僅かに3例、2—4回反復通電後恢復し得たのが3例、5回以上の通電後も恢復し得なかつた例9例を認めた。

(4) 45~55Vという不適な電力を用いて同様比較した場合においても縦軸通電では全例が恢復しているが、横軸通電では恢復5、不能4例を認めている。

このような不適当な電力を用いた場合でも縦軸通電においては半数以上が単一刺戟で恢復している。

(5) 電極の大きさは実際には径5~7cmのごとく大きい方が望ましい。電極が大きいと電極と心筋との接触面が大きくなるから単位面積を通過する電流分布が小さいので心筋を保護することができるからである。

(6) 急激の肺萎縮による低酸素状態に際してこの無呼吸のみでは一般に心室細動を来さずに静止状態に入る。

かかる場合には肺萎縮より8分以内に心臓マッサージおよび人工呼吸によつて酸素の供給を計つた後電気刺戟を施行すれば救う事ができる。

(7) 低酸素状態が強度であればそれだけ心室細動を惹起し易い状態にある。

(8) 10%酸素含有気体吸入時には心室細動発生が1分間以内であれば、電気刺戟のみで救うことができる。5%酸素含有気体吸入時にはたとえ心室細動発生が1分間であつても、さらにこの低酸素気体を吸入継続せる場合、これを救うことはできない。

(9) つぎに直流、もしくは矩形波、蓄電器放電を用い犬のほか、蟻および家兎の心室細動について検討してみると、細動発生においては心室の一点だけを刺戟した際には細動が発生し難く、二点以上刺戟した際には、極性に同名異名の別なく心室細動の発生し易いことを認めた。

(10) 双極刺戟の際縦軸通電と横軸通電の比較をすると、横軸通電の方が心室細動を発生し易い。

(11) 細動除去については双極通電の際縦軸通電の方が横軸通電より低い電圧で除去し得る。

(12) 一極を不関電極として遠隔部に置き行つた実験では、関電極が心尖部に置かれた際、最も細動除去閾値が低く、それより心基部に向うに従つて同心円状に閾値が上昇する。

心室細動除去に際し電気刺戟が最も優れた方法

であることは諸家も報告しているが如何に施行すればより確實で効果的であるかということは明らかにされていなかった。

著者はこの点を明らかにした。

すなわち、電気刺戟は交流を用い130V、1.8 Amp、通電時間0.05秒を縦軸に通電することにより確實に速かに細動は除去され、正常心搏動に復元する。

さらにここに、心臓蘇生法の実際を要約すれば

1. 速かなる心臓マッサージ
2. 100%酸素人工呼吸
3. 電気刺戟

の実施である。

なおその蘇生処置は分秒を争うものであるから沈着、チームワークの可否が成功の鍵を握ることは勿論、より確實なる縦軸通電を実施することを強調したい。

これにより心臓外科手術の危険性は著しく減少したことを痛感している。

稿を終るに臨み終始御指導御鞭撻を賜つた恩師榊原任教授に深甚なる謝意を表します。また直接御協力戴いた松原義江、待山昭二、岩淵汲、各先生、他教室員各位に深く感謝致します。

文 献

- 1) Palomera, E.S. : Cardiac Resuscitation. Surg. Gyn. and Obst., **95** 315 (1952)
- 2) Stephenson H.E. et al. : Common Denominators in 1200 Cases of cardiac Arrest. Ann. Surg., **137** 731 (1953)
- 3) Martin, F.H. et al. : A Problem for the Anesthetist and Surgeon cardiac Arrest. Surg. Gyn. and Obst., **96** 111 (1953)
- 4) Eisaman, G.L. : Cardiac Arrhythmias during Anesthesia. Am. J. Surg., **86** 23 (1953)
- 5) Glenn, F. : Cardiac Arrest during Surgery. Ann. Surg., **137** 920 (1953)
- 6) Dale, W.A. : Cardiac Arrest : Review and Report of 12 Cases. Ann. Surg., **135** 376 (1952)
- 7) 木本誠二・他 : 臨外科 **8** 163 (昭28)
- 8) 木本誠二・他 : 診断と治療 **38** 248 (昭25)
- 9) Beck, C.S. and Rand, H.G. : Cardiac Arrest during Anesthesia and Surgery. J. A. M. A., **141** 1230 (1949)
- 10) Cooley, D.A. : Cardiac Resuscitation during Operation for pulmonic Stenosis. Ann. Surg.,

- 132 930 (1950)
- 11) **Aurent, R., Papper, E.M. and Rovenstein, E.A.** : Cardiac Arrest during Anesthesia : Review of Cases., *Ann. Surg.*, **134** 672 (1951)
 - 12) **Johnson, J. and Kirby, C.K.** : The surgical Treatment of ventricular Fibrillation. *Ann. Surg.*, **134** 672 (1951)
 - 13) **Corff, M.** : Cardiac Arrest during Surgery. *Am. J. Surg.*, **82** 683 (1951)
 - 14) **Cole Frank** : Cardiac Massage in the Treatment of Arrest of the Heart. A Study of 350 Cases with 2 original Cases Reports : *Arch. Surg.*, **64** 175 (1952)
 - 15) **Mooslin, K.E., Macky, R.S. and Leeds, S. E.** : Determination of electrical Currents which will produce ventricular Fibrillation and Defibrillation in Dog presented at the Forum on fundamental surgical Problems. *Am. College of Surg.* **12** 4 (1949)
 - 16) **Mooslin, K.E., Machy, R.S. and Leeds, S.E.** : Production of Ventricular Fibrillation and Defibrillation in Dogs by means of accurately measured Shocks across exposed Heart. *Am. J. Physiol.* **165** 179 (1951)
 - 17) **Johnson, J. Kirky, C.K. and Dripps, R.D.** : Defibrillation of the Ventricles by electric Shock with complete Recovery. *Ann. Surg.*, **134** 116 (1951)
 - 18) **Johnson, J. and Kirby, C.K.** : The surgical Treatment of ventricular Fibrillation. *Ann. Surg.*, **134** 672 (1951)
 - 19) **Hinton, J.W., Stephenson, M.E. and Peid, L.C.** : Cardiac Arrest. *Arch. Surg.*, **64** 409 (1952)
 - 20) **Kay, J.H.** : The Treatment of cardiac Arrest an experimental Study. *Surg. Gyn. and Obst.*, **93** 682 (1951)
 - 21) **Mackay, R.S., Mooslin, K.E. and Leeds, S.E.** : The Effects of electric Currents on the Canine Heart with particular Reference to ventricular Fibrillation. *Ann. Surg.*, **134** 173 (1951)
 - 22) **Ehrenhaft, J. L., Eastwood, D. W. and Morris, L.E.** : Analysis of 27 Cases of acute cardiac Arrest. *J. Thor. Surg.*, **22** Dec. (1951)
 - 23) **Beck, C.S. Pritchard, W.H. and Feil, M.S.** : Ventricular Fibrillation of long Duration abolished by electric Shock. *J.A.M.A.* **135** 1575 (1948)
 - 24) **中山耕作** : 脳循環の研究。呼吸と循 **2** (1) 51 (昭29)
 - 25) **Birnbaum, G.L.** : Simple cardiac Defibrillation. *J. Thor. Surg.*, **23** 183 (1952)
 - 26) **Wiggers, C.J.** : Physiological Basis for cardiac Resuscitation from ventricular Fibrillation : Method of serial Defibrillation. *Am. H.J.*, **20** 413 (1940)
 - 27) **Wiggers, C.J.** : Removal of Heart from ventricular Fibrillation. *Am. J. Physiol.*, **92** 223 (1930)
 - 28) **Schwartz, S.P. et al.** : The Action of Quinidine on Patient with transient ventricular Fibrillation. *Am. H.J.*, **9** 792 (1934)
 - 29) **Katz, L.N.** : Electrocardiography (1930)
 - 30) **Schwartz, S.P. et al.** : Transient ventricular Fibrillation : The Effect of Procaine Amide on Patients with transient ventricular Fibrillation during established auriculo-ventricular Dissociation. *Circulation*, **6** 193 (1934)
 - 31) **Burstein, C.L. et al** : Protecting Action of Procaine against ventricular Fibrillation. *Anesthesiology*, **7** 113 (1946)
 - 32) **Lahey, F.H. and Ruzicka, E.R.** : Experiences with cardiac Arrest. *Surg. Gyn. and Obst.*, **90** 108 (1950)
 - 33) **Hooker, D.R. et al.** : The Effect of Alternating electrical Currents. *Am. J. Physiol.*, **103** 444 (1933)
 - 34) **Wiggers, C.J.** : Cardiac Massage followed by Counter Shock in Revial of Mamalian Ventricles from Fibrillation due to Coronary Occulusion. *Am. J. Physiol.*, **110** 161 (1936)
 - 35) **Gyton, A.C. et al.** : Factors Concerned in electrical Defibrillation of the Heart, particularly through the unopened Chest. *Am. J. Physiol.*, **167** 81 (1951)
 - 36) **Randall, W.C. et al.** : Cardiac Resuscitation following ventricular Fibrillation. *Med. Bull. St Louis Univ.*, **4** 169 (1952)
 - 37) **Lape, H.E. et al.** : Electrical Countershock as a cardiac Defibrillator : *Fed. Proc.* **11** 89 1952. *Med. Bull. St. Louis Univ.*, **4** 169 (1952)
 - 38) **Kowenhoen, W.B. et al.** : A simple elec-

- trical Apparatus for the clinical Treatment of ventricular Fibrillation. *Surgery*, **30** 781 (1951)
- 39) **Lampson, G.R., Schaeffer, R.S. and Lincoln W.C.** : Acute circulatory Arrest, from ventricular Fibrillation for with completely Recovery. *J.A.M.A.*, **137** 1575 (1948)
- 40) **Ahquist, R.R., Huggins, R.A. and Woodburg, R.A.** : *J. Phar. Exp. Ther.*, **89** 271 (1947)
- 41) **Rottenstein, H., Horwitz, O., Montgomery, M., Sayen, A. and Siems, L.L.** : *Am. J. Med. Scie.*, **221** 661 (1951)
- 42) **Burstein, C.L., Martin, S.J. and Rovenstein, E.A.** : Threshold Variations to Vagus Nerve Stimulation. *J. Thor. Surg.*, **13** 39 (1944)
- 43) **Johnson, J.M. and Kirby, C.K.** : Defibrillation of the Ventricles under hypothermic Conditions. *Arch. Surg.*, **68** 663 (1954)
- 44) **Swan, H. and Zeavin, I.** : Cessation in Circulation in general Hypothermia, III. Technics of intracardiac Surgery under direct Vision. *Ann. Surg.*, **139** 385 (1954)
- 45) **Swan, H., Zeavin, I., Holms, J.H. and Montgomery, V.** : Cessation of Circulation in general Hypothermia, I. Physiologic Changes and their Control. *Ann. Surg.*, **138** 360 (1953)
- 46) **岩本九州夫** : 電気ショックによる心室細動除去に関する実験的研究。臨外科 **914** (昭 29)
- 47) **松原義江** : 心停止及び心室細動に関する研究。呼吸と循 **2 2** (昭 29)
- 48) **榊原 仟・岩本九州夫・松原義江・皆川健次** : 心室細動に対し電気ショックにより直に正常搏動に復元し得た2症例。胸部外科 **7 (5)58** (昭 29)
- 49) **岩本九州夫** : 電気刺戟による心室細動除去に関する実験的研究。電気方向の再検討, 臨外科 **10 2** (昭 30)
- 50) **卜部美代志・他** : 急性心動停止の発生と心室細動に対する Countershock の効果 : 呼吸と循 **2 5** (昭 29)
- 51) **堀内藤吾・他** : 心臓蘇生術時に心室細動器に就いて。胸外科 **7 2** (昭 29)
- 52) **待山昭二・岩淵 汲** : 直流刺戟による心室細動の研究。胸部外科 **9 4** (昭 31)