

日本生理學雜誌

雜誌「條件反射」合併

第9卷 第9號

昭和19年9月13日發行

編輯幹事

浦本政三郎・久保盛徳・坂本嶋嶺・鈴木正夫
戸塚武彦・林 謙・福田邦三

原 著

- 小池 昇：心筋條片標本の實驗的研究(第1報) 正常環境にある心筋條片標本の生理學的性狀に就て…………… 665
- 小池 昇：心筋條片標本の實驗的研究(第2報) 心筋條片標本の生理學性狀に對する諸種藥物の影響に就て…………… 672
- 高木健太郎：迷走神經の呼吸調節作用の中樞性機序に就て…………… 677
- 本川弘一・三田俊定・辻口清孝：腦波と精神疲労…………… 690
- 市川三太：Adrenalineに依る大動脈の收縮過程に就て…………… 701
- 福場友重：温上昇の小血管に及ぼす影響に就て…………… 704
- 織部道雄：竊心房室傳導系に於ける干渉期と温度の關係に就て…………… 708
- 市川三太：竊心房標本の收縮に對する陽ionの作用…………… 716
- 小池 昇：單一神經纖維標本に於ける平流期時興奮に關する2, 3の實驗…………… 721
- 江上義之：直流並びに低周波交流電に依る蛙支の分極及び電氣抵抗に就て 第1報…………… 726
- 小池 昇：短時間持續電流による閾下電擊效果に就て…………… 732
- 江上義之：毛細管中の血液の流れに就て 第1報…………… 742
- 江上義之：毛細管中の血液の流れに就て 第2報…………… 749

會 報 (會員移動)

大日本生理學會

略名・日本生理誌

Nihon Seiri. Z.

著名器械店へ
乞御照會
各種型録謹呈

八洲光學工業株式會社
本社：工場 東京都杉並區方南町
電話：中野四三三五・四三六八
大阪營業所 大阪市北區堂平二丁目電北三六

Yashima



YASHIMA TOKYO

ヤシマ顕微鏡

利尿性物種

ネフラール

製造 東京都日本橋區本町三丁目
發賣元 烏居製藥株式會社

適應症
急性・慢性腎臟疾患、水腫性脚氣、濕
性助腺炎、濕性腹膜炎、泌尿器疾患、
其他一般浮腫を伴ふ疾患

特徴
一、芳香美味にして服用極めて容易なり
一、奏效顯著にして、連用するも胃腸
腎臟障礙等、その他忌むべき副作用
なし
一、特に配合禁忌なし、長期保存に耐
ゆ

本劑は第五改正日本藥局方に收載
せる「キササゲ實」の有効成分を特
殊の操作に依り、完全に抽出せる
暗褐色膿液にして芳香美味、極
めて服用し易く、水に容易に溶解
し奏效顯著なる無害性利尿劑なり

最新除倦覺醒劑

(P)

ポロビ

製法特許

鹽酸 2-(1-Phenyl-2-methylamino-
propyl)-CH₂-CH₂-NH₂·CH₃
CH₃COOH 塩酸塩なり。

適應症

- 一、過度の肉體
及精神活動時
- 二、徹宵、夜間
作業、その他
睡氣除去を必
要とする時
- 三、疲勞、宿醉
乗物酔
- 四、各種衰弱症

包裝

錠劑
50錠 70錠 100錠 300錠
散劑 (白濁用)
100瓦 300瓦 1000瓦
注射劑
1g 5g 10g 30g

文獻申込次第附呈

製造元
發賣元

本店 大阪市東區道修町
大日本製藥株式會社
支店 東京部 日本橋區本町

心筋條片標本の實驗的研究 612.172

第 1 報

正常環境にある心筋條片標本の生理學的性狀に就いて

慶應義塾大學醫學部生理學教室(加藤元一教授)

小 池 昇

Koike-Noboru

(昭和 19 年 5 月 2 日受付)

I. 序 論

所謂心臓條片標本は 1918 年その創始者 Loewe(5) 以來研究對稱として採用された。Amsler 及び Pick(2) は蛙の心房と心室の連續條片標本所謂 Amsler-Pick 氏條片を製作して、刺戟傳導路の研究を行ひ、更に又 Harries(4), Ueda(12), Takahashi(3) 等々が Loewe 氏條片の諸種藥物に對する態度を觀察し報告した。又條片標本の自働運動を停止したものに電氣的刺戟を與へて人工收縮を行はせつゝ種々なる觀察を行つたものとしては、Clark(3), Mezey 及び Staub(7, 8, 9) の研究等がある。

心臓は靜脈洞、心房及び心室等より構成されて 1 つの綜合機能を營む所謂複合器官であるから心室筋のみについて考へても全心の一部として自然搏動を行ひつゝある状態にある時と、剔出心室のみとせられたる時とでは諸種の生理學的性狀を異にする事は從來多數の報告の示す所である。従つて心室筋を條片状態にした場合には、搏動せる全心を構成する場合とも又剔出心室として存在する場合とも異つた諸生理學的性狀を示すであらうと期待される。依つて著者は此の問題を解決するため心室筋より縦條片標本を製作し、之に電氣的刺戟を與へて閾値、收縮高、恢復曲線、絶對不應期等を測定し、種々なる知見を得たので此處に報告する。

II. 實驗方法

1. 標本製作

實驗材料は吾が教室の松山(6) 及び森田(10) の研究と比較對照を行はんがため日本産雄臺の大なるものを用ひた。少しく心臓を持ち上げて心尖より大動脈球に向ひ約 5 mm 幅の縦條片になる様に鋏で一氣に切開する。切開を徐々に數回に涉つて加へると心室はその度毎に大きな不規則な收縮を行ひ、長時間を経ても手術による侵害より恢復しないから安定した標本を得られない。切開後も條片は心室と同一律動で自働運動を行ふ事もあるが、此の時大動脈球直下に

於て強く結紮すれば運動は全く停止する。結紮の位置を正確に行はないと數十分後には再び自働運動を恢復して來る。斯くして此の結紮部より少しく上方で條片を殘部心室から切斷する。次いで冷血動物心臓用 Ringer 氏液中に 1 時間乃至 1 時間半靜置した後刺戟装置に移した。著者の用ひた標本は從來の呼稱に従へば心室筋前外側縱條片標本と稱すべきもので、その大きさは長さは 15 mm 最も多く、幅は殆んど大多數が心外膜側に於て 5 mm であつた。

2. 實驗裝置

2 個の感應電氣機 A 及び B の第 2 次回路は並列に連結し、開放感應電擊のみを與へる様に Du Bois Reymond 氏電鑰に連絡する。第 1 次回路に在るコンタクト K_1 , K_2 を開放するには教室特製の大型ミオグラフィオンを用ひる。之は 1 回轉に約 3 秒を要するもので、その回轉の途中に於て種々の間隔に置かれた K_1 , K_2 を開放する。 K_1 , K_2 の間隔は回轉圓溝に刻入してある目盛を以て調節し、實驗終了と共に塗煤圓溝に毎秒 50 振動の音叉の振動を描記して之より時間を換算した。電源には A には 2 V, B には 6 V 蓄電池を用ひた。

電極として用ひるセルフィンは條片標本を侵害しない様に注意し、柔い銅線を以て水銀壺中に他端が懸垂する様にする。電極間隔は 2~10 mm 間の種々なる場合を試みたが結果は何等の差異を認めなかつた。何れの場合に於ても結紮部直下に陽極を置き心尖側に陰極を置いた。條片標本の心尖部を縛つた細絲は滑車を介して極めて軽い槓杆に連絡し、その先端の動きを目盛で讀む擴大率は 10 倍である。後述の收縮高の記載は凡て此の 10 倍に擴大されたままで示してゐる。標本は感應電擊を與へる時のみ空氣中に出し、その他の時は常に Ringer 氏液中に靜置した。

III. 實驗成績

1. 閾値と收縮高に就いて

室温の Ringer 氏液中に懸垂し暫く安置した後、空氣中に出して感應電氣機 A によつて單一開放感應電擊を與へ、その閾値を第 1 次回路に挿入した可變抵抗 R_1 の讀みで求める。今代表例を擧げる。即ち室温は 4 時間を通じて 21.0~21.2°C で製作後 1 時間 Ringer 氏液中に靜止された大きさ '15×5 mm' の標本を使用し、2 分置きに Ringer 氏液より出して電擊を與へ閾強度を求めた所、始め 40~60 min 間は段々閾値は下降し遂に約 1 時間を経過した後、その値略一定となるのを認めた。此の値は非常に安定した値で以後約 3 時間に涉り一定値を示した。

次に 10 倍に擴大した槓杆の先端の移動を尺度 F によつて讀む事により收縮高を求めると、始め數分間は稍不安定であるが間もなく一定し始め、上記の例では約 7 mm を示した。收縮高が一定してから、Ringer 氏液より取り出して電氣的刺戟を與へると、初め 2~3 回は僅かながら所謂階梯現象が認められる。多數の實驗例を總覽すると收縮高は各例によつて種々なる値を示し、最小 1 mm 最大 42 mm であつた。然し總體的に見て夏季高温に於ては收

縮高小で冬季低温に於ては大となる傾向が著明に認められた。故に後述する様に絶対不應期もそれに應じて延長し遂に3秒以上となつたので冬季は實驗不能となつた。

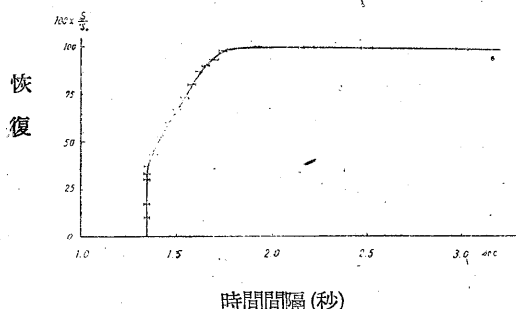
一般に收縮に際しては潜伏期長く且つ收縮の経過は極めて緩徐で約1~3sec程度を要するから、その收縮の様子は槓杆の先端を観察する事のみによつて容易に知る事が出来る。但し多數例の中では約1時間 Ringer 氏液中に静置した後に於いても、相當に強度の電撃を與へても之に應じない標本にも屢々遭遇した。恐らく手術による何等かの侵害作用によるものと思ふ。

2. 比較的不應期に就いて

比較的不應期の測定は次の手續きによつた。即ち筋重疊に要する最小間隔測定法を採用した。感應電気機 A 及び B に於いて夫々抵抗 R_1 , R_2 の値を 30~50 Ω にした場合に丁度閾値となる様に捲軸距離を固定する。此の閾値が安定した後に第1刺戟を閾強度にして與へ、次いで第2刺戟の強さを R_2 の値を變へる事によつて種々なる強さとして與へ、第1刺戟を與へた後第2刺戟が丁度有效となり筋重疊を起すに必要な刺戟間隔を求める。重疊に際しては第2刺戟による收縮は第1刺戟による收縮の弛緩期の始めになつて生ずるから、單一の收縮と重

第1圖 恢復曲線

室温 20.0°C
標本 15.0×5.0mm



疊せる收縮とは容易に識別せられる。第1圖は1代表例を示すもので標本製作後1時間後に實驗を開始した。收縮高は10mmである。第2刺戟の閾値は低抗 R_2 は30 Ω で捲軸距離は40mmである。今此の閾値に於ける R_2 の読みを S_0 とし種々の第2刺戟の強度を同じく R_2 で読み之を S とし、 $100 \times \frac{S}{S_0}$ を求めて縦軸にとり横軸には2刺戟の時間間隔をとつた。之によ

ると絶対不應期は1.35secで之に比較的不應期が0.85sec續いて正常状態に戻る。第1刺戟後3.0sec後迄測定を試みたが此の範圍に於ては超正常期は認められなかつた。且つ骨骼筋と趣きを異にする點は比較的不應期の経過が略直線的な事と、正常状態への移行部が特に長い事である。比較的不應期と絶対不應期の境界を示す第2刺戟の強度は各標本により全く異り一定値は求め得なかつた。

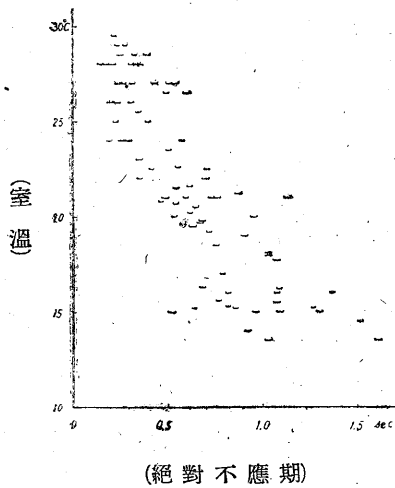
3. 絶対不應期に就いて

絶対不應期測定用第2刺戟として必要な強度は前述の様に各標本により種々であり一様に決定する事は出来ないのであるが、その強度は標本に侵害作用を及ぼさない限度に於て充分に強い事が實驗結果を正確ならしめる爲に重要な事であるので、實驗に際しては感應電気機 B による閾値を抵抗 R_2 により求めた場合も又捲軸距離によつて求めた場合にも夫々充分強い電撃

を一々檢定して採用した。今かゝる強い第2刺戟が始めて有效となつて筋重疊を起す最小間程を求めれば、測定開始後 15~30 min 間はその値著しく動揺するがその後は段々と安定して來て 1 時間乃至 2 時間に涉つて全く安定した値を示す例が多い。多數の實驗例を綜合すれば 2 時間以上を經過すると經對不應期は徐々に延長して行く傾向がある。然し中には始めから全然安定値を示さず動揺甚だしい例にも屢々遭遇した。斯様に確實に絶對不應期を確實に求める事の出來ない標本は全實驗例中の約 20% に達した。

實驗は 8 月を除いて 4 月より 12 月に及んだので従つて室温は 13.5°C から 29.5°C の

第 2 圖 絶對不應期と温度との關係



(絶對不應期)

廣い範圍に涉つた。依つて全實驗例 87 例を一括圖示すれば第 2 圖の様になり、絶對不應期は最長 1.61 sec から最短 0.14 sec 間の種々なる値を示すが、室温との並行關係は極めて明瞭で室温上昇と共に絶對不應期は短縮の傾向を認める。

IV. 總括並びに考察

蓋心臓より大きさ 15×5 mm の心室筋縱條片標本を製作し、大動脈球直下に於て結紮を行つて自動運動を停止させ、冷血動物心臓用 Ringer 氏液中に約 1 時間靜置した後、之に電氣的刺戟を與へて種々の觀察並びに測定を行つた。その結果條片標本は電氣的刺戟を與へた當初は種々の測定値は可成不安定であるが、間もなく安定となり數時間持續し、充分強い電撃にも耐えて種々な實驗の可能な事が判つた。

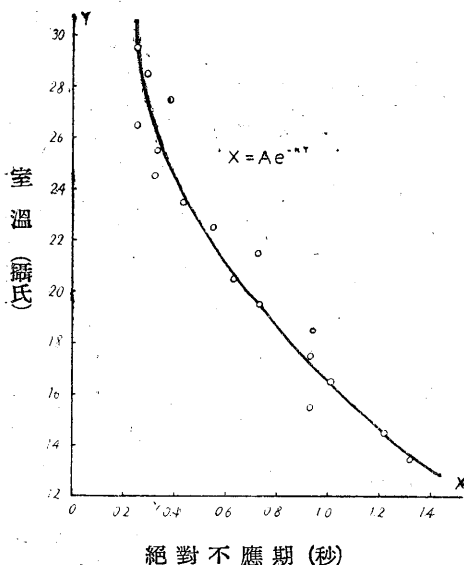
今丁度閾値程度の強さの電撃を與へてその收縮高を檢すると、始め 2~3 回は所謂階梯現象を示すが、之は Loewe 自動運動を行ふ際に認めたもの程著しくない。且つ安定となつた收縮高は可成長時間に涉つて保持される。Ueda (12) は蛙の心筋條片標本の自動運動を觀察して、Ringer 氏液中の酸素の泡沫を作つて飽和させぬ時は收縮高は著明に減少する事を報告してゐるが、著者は特に斯かる手續きをなさずに觀察したが、時間と共に收縮高の減少する例は可成少なかつた。恐らく自動運動觀察の場合の様に長時間 Ringer 氏液中に放置した儘でなく、始終取り出して空氣中に於て收縮を行はせた爲であると思ふ。一般に總括すれば温度の高い夏季に於ては收縮高低く温度の低い冬季に於ては高い傾向が認められたが、此の現象は前述の様に絶對不應期と相伴つて消長する事が觀察された。一方電氣的刺戟に對する閾値の變化を追求すると 30~60 min 間は段々下降するが、その後は可成安定し數時間に涉つて一定値を示す事が認められた。

不應期を測定した所、その比較的不應期は略直線的に正常状態近く迄恢復し、それより徐々に正常状態に復し、第 1 刺戟後約 3 sec 後迄測定したがその間には超正常期は發見されな

つた。從來全心即ち複合器官の一構成部分としての心室又は別出心室の比較的不應期に就いては多數の研究があるが、その主なるものを挙げれば Trendelenburg(11) は循環を保たれたる全心に就いて恢復曲線を求め超正常期なしに正常状態に恢復するのを認め、又 Adrian(1) は Stannius 氏結紮を行へる別出心室に就いて種々の pH の液を以て灌流した後、特に恢復の後期に注目して恢復曲線を測定した所、酸性側では比較的不應期短くその後 10 sec 以上に涉つて超正常期が經續するが、アルカリ性側に於ては比較的不應期長く此の場合に於ては超正常期なしに正常状態に戻る事を認め、且つ中性の時には稍アルカリ性側に近づくと報告してゐる。著者の用ひた媒質は弱アルカリ性の Ringer 氏液であつたから、心室筋條片標本の態度は後者の結論の同一方向にあると考へる。

絶對不應期に就いても搏動せる全心の一部としての心室又は別出心室に關して多數の報告があり、吾が教室に於ては前者に關しては森田(10)、後者に關しては松山(6)の研究がある。何れも冷血動物心臟用 Ringer 氏液を媒質とした場合に於ては著者の得た數値と餘り大差ない結果を得てゐる。絶對不應期は温度を嚴密に一定に保つ限り非常に安定な値を示し、前述の様に長時間に涉り一定値を保持したので、松山、森田と同じく之に對する諸種藥物の影響を検する

第 3 圖



事が出来たが、更に一般に絶對不應期は温度の上昇と共に短縮する傾向にあるが、之は前述の收縮高の減少と或る程度迄平行して消長する事が觀察された。例へば Ringer 氏液の温度の差には極めて鋭敏で、液温の少しく低い Ringer 氏液に浸すと直ちに收縮高増大し、之と共に絶對不應期は著しく延長する事が經驗された。

今第2圖に於て各温度毎に條片標本の絶對不應期の平均値を求めれば、第3圖に示す様になり1つの曲線が得られる。此の曲線に就いて少しく検討して見る。即ち任意の温度 $n^{\circ}\text{C}$ の時の絶對不應期を R_n とし、 $(n+1)^{\circ}\text{C}$ の時の値を $R_{(n+1)}$ として表はせば、温度 1°C の上昇

に際しての絶對不應期の短縮率は $\alpha = 100 \times \left(1 - \frac{R_{(n+1)}}{R_n}\right)$ を以て表はされる。今此の値を實驗範圍の各温度に就いて計算して見ると第1表に示す様に各温度に就いて略一定値 $10.0 \pm 1.48\%$ となり、 $\alpha = \text{const.}$ なる事が認められる。即ち條片標本の絶對不應期は室温の範圍内に於ては、温度 1.0°C 上昇する毎にその 10.0% を短縮する事が明らかとなつた。従つて今温度 0°C の時に豫想せられる絶對不應期を A とすれば、その短縮率と温度との關係を表はす曲線は $X = Ae^{-KY}$ にて示される。此の式の中 K の値を實驗値を代入して計算して見ると $K =$

0.019 となる故、本式は $X=Ae^{-0.019Y}$ にて表はされる。

第1表

温度 (攝氏)	絶對不應期 (秒)	短縮率 $100 \times (\frac{r_{max}}{r})$
13.5 - 14.5°C	1.35 - 1.22 sec	9.7
14.5 - 15.5	1.22 - 1.11	9.1
15.5 - 16.5	1.11 - 1.01	9.3
16.5 - 17.5	1.01 - 0.90	10.9
17.5 - 18.5	0.90 - 0.83	10.0
18.5 - 19.5	0.81 - 0.73	9.9
19.5 - 20.5	0.73 - 0.65	11.0
20.5 - 21.5	0.65 - 0.68	10.8
21.5 - 22.5	0.66 - 0.53	12.9
22.5 - 23.5	0.51 - 0.45	11.8
23.5 - 24.5	0.45 - 0.40	11.2
24.5 - 25.5	0.40 - 0.39	10.0
25.5 - 26.5	0.36 - 0.32	11.2
26.5 - 27.5	0.32 - 0.29	9.4
27.5 - 28.5	0.29 - 0.27	6.9
28.5 - 29.5	0.27 - 0.25	7.5

$$M \pm m = 10.0 \pm 1.48 \%$$

次に絶對不應期の温度による變化は Van't Hoff 氏の反應速度温度率所謂 RGT-Regel に従ふであらうか。今第3圖より温度 10°C に就いての變化即ち温度係數 Q_{10} を計算して見る。

第2表

温度の上昇	温度係數 Q_{10}
13.5 - 15.5°C	3.0
14.5 - 16.5	3.0
15.5 - 17.5	3.1
16.5 - 18.5	3.1
17.5 - 19.5	3.1
18.5 - 20.5	3.0
19.5 - 21.5	2.9

と第2表に示す様に實驗範圍に於ては凡て略 3.0 となつた。一般に化學反應の速度は温度の上昇と共に増加し、温度 10°C の上昇に就いて多くは 2.0~3.5 倍増加すると云はれるから、絶對不應期を筋肉内に於ける恢復過程を示す一目標であると考へれば、上記の結果は、恢復過程に際しての化學反應の参加を示すものであらうと推察される。

V. 結 論

墓心臓より 15×5 mm の心室筋縱條片標本を製作し、大動脈球直下を結紮して自動運動を停止せしめ、冷血動物心臓用 Ringer 氏液中に靜置した後、之に開放感應電撃を與へて種々なる生理學的性状の觀察及び測定を行つた結果次の結論に到達した。

- (1) 心室筋縱條片標本は電氣的刺戟に對し閾値及び收縮高は長時間に涉り安定せる値を示し、從つて種々なる生理學的實驗を行ふ事が出来る。
- (2) その恢復曲線を見るに比較的不應期は略直線的に經過して正常状態近く迄恢復した後、徐々に正常状態に戻る。その際超正常時を認めなかつた。
- (3) 絶對不應期は全心又は別出心室と略同様なる値を示す。
- (4) 收縮高及び絶對不應期は温度の上昇と共に相並行して短縮する傾向を示す。
- (5) 温度 1.0°C の上昇に就いての絶對不應期の短縮率は常に一定値を示し、その値は 10.0% である。從つてその關係を示す曲線は $X=Ae^{-0.019Y}$ を以て表される。
- (6) 絶對不應期と温度との關係は Van't Hoff 氏の反應速度温度率に従ふ。而して温度係數 $Q_{10} = 3.0$ である。

擧筆するに當り加藤教授の絶えざる御鞭撻と久保教授の御懇篤なる御指導並びに御校閲に深く感謝する。

文 獻

- 1) Adrian, E. D. (1920) J. Physiol. 54

- 2) Amsler, C. u. E. P. Pick (1920) Pflügers Arch. 184
- 3) Takahashi, J. (1928) Ebenda 10
- 3) Clark, A. J. (1926) J. Physiol. 61
- 4) Harris, F. (1918) Z. ges. exper. Med. 6
- 5) Loewe, S. (1908) Z. ges. exper. Med. 6
- 6) 松山 覺 (昭和 4 年) 慶應醫學 9
- 7) Mezey, K. u. H. Staub (1936) Arch. exper. Path. 180
- 8) Mezey, K. u. H. Staub (1936) Ebenda 182
- 9) Mezey, K. (1937) Ebenda 185
- 10) 森田正期 (昭和 16 年) 慶應醫學 20
- 11) Trendelenburg, W. (1911) Arch. ges. Physiol. 141
- 12) Ueda, S. (1923) Acta Scholae Med. Kioto 6

心筋條片標本の實驗的研究 612.172

第 2 報

心筋條片標本の生理學的性狀に對する諸種藥物の影響に就いて

慶應義塾大學醫學部生理學教室 (加藤元一教授)

小 池 昇

Koike-Noboru

(昭和 19 年 5 月 2 日受付)

I. 序 論

著者は前報 (3) に於て墓心室筋縱條片標本を製作し、正常環境に於て之に電氣的刺戟を與へて種々なる觀察及び測定を行つた。之等の生理學的性狀その中特に絶對不應期は所謂自律神經作用物質、強心劑及び麻酔藥等の諸種藥品によつて如何なる影響を受けるかを檢した結果種々なる知見を得たので此處に報告する。搏動せる全心としての心室又は別出せる心室の絶對不應期に關しては從來數多き研究が行はれて居り、その成績必ずしも一致しないが、心室を縱條片標本とした場合は如何なる成績を示すかと云ふ點も亦興味ある所である。之に關する比較檢討をも試みた。

II. 實 驗 方 法

實驗動物は前報 (8) と同じく、吾が教室の松山 (11)、森田 (14) の研究と比較對照を行はんが爲日本産雄蟻の大なるものを用ひた。標本製作は前報 (8) と全く同様な大きさの心室筋縱條片標本を作り、大動脈球直下に於て結紮して自動運動を停止したものを約 1 時間冷血動物心臟用 Ringer 氏液中に靜置した。實驗裝置も前報と全く同様である。

藥物適用に當つては凡て Ringer 氏液に溶解して用ひた故、以後の記載に於ては例へば Acetylcholine と云へば凡て Acetylcholin-Ringer 氏溶液を意味する。最も注意すべきは正常 Ringer 氏液から藥物を溶解した Ringer 氏液に標本を移行する際、兩液の溫度を嚴密に一致させねばならない事で、前報に述べた様に溫度に差のある時は標本の收縮高及び不應期は直ちに變化して判定を困難ならしめる。

實驗開始に當つて先づ正常 Ringer 氏液中に於て閾値、收縮高及び絶對不應期を測定して、之等が 15~30 min に涉つて一定値を示す様になつた後始めて藥物含有 Ringer 氏液に移行して、之等の値の時間經過と共に起る變化を追求測定した。又藥物適用後再び Ringer 氏液に移行してその恢復性を檢した。適用藥物の選擇は略松山、森田に準じた。

III. 實驗成績總括

墓心室筋を條片標本とした場合、その閾値、收縮高及び絶對不應期に對する諸種藥物の影響に就いて、上述の實驗成績を總括すれば、先づ Acetylcholin によつては收縮高漸次小となり、絶對不應期は $10^{-8}\%$ 以上では短縮するが、Adrenaline は之と相反する結果を示し、收縮高は大となり、絶對不應期は $10^{-8}\%$ 以上では延長する。然し閾値は兩者によつて殆んど影響を受けなかつた。Pilocarpin と Atropine も相反する成績を示し、前者によつては收縮高小となり絶對不應期短縮したが、後者はその反對の結果となつた。

強心劑としては Adrenaline は前述の通りであるが、Campher の水溶液である Gadamin によつては、心室筋條片は著明に筋長を減じ、従つて、收縮高は減少した觀を呈したが、絶對不應期は 0.1% 以上に於ては延長し、その延長度は濃度と正比例する事が認められた。閾値は 1% 以上になつて始めて影響を受け、時間と共に著明に上昇する。Digifoline によつては收縮には餘り著明な變化はなかつたが、 1% 以上に於ては絶對不應期の延長が認められた。従つて一般に強心劑は條片標本の絶對不應期を延長せしめると云ふ事が出来る。

麻醉藥としては Urethane を作用せしめると閾値は直ちに上昇し、同時に收縮高極めて小となり、絶對不應期は著明に短縮し、濃度大なる時は麻痺に陥入る。Chloral hydrate では濃度比較的小なる時は絶對不應期は時間と共に延長するもの多く、濃度比較的大なる時は短縮するものが多かつた。收縮高は何れの場合も漸次低下し、濃度大なる時は遂には麻痺に陥入つた。Morphine を適用すれば收縮は楷梯現象の出現と共に大となり、絶對不應期は著しく延長する。

一般に以上の事實を招來する有效濃度に就いて概觀すれば、Loewe (9) 以來行はれた心筋條片標本に關する研究及び全心又は別出心室に關する多くの研究は蛙の心臟に就いて行はれたものであるから、之等に比較すると總ての藥物に於て以上の生理學的諸數値に影響を及ぼす最小有效濃度は相當大きい事を要する。従つて亦 Mezey u. Staub (12, 13) の測定した蛙心の條片標本の收縮高に影響を及ぼす最小有效濃度に比較對照する時は極めて大なる濃度を要する事を知る。之等は標本の大きさを考慮すれば一應は首肯し得られる。然し墓心を用ひて得た、全心に關する森田 (14)、別出心室に關する松山 (11) の實驗結果と比較すると、絶對不應期に影響を及ぼす最小有效濃度は遙かに大であるから、條片標本の方が全心又は別出心室よりも藥物に對する感受性小であると云ふ事が出来る。一般に搏動せる全心に於て藥物の影響を最も受け易く、別出心室之に次ぎ、條片標本は最も安定である事が判つた。

次に全心又は別出心室に就いて、その藥物による影響を検した從來の研究の中代表的なものと、心室筋條片標本に就いての上記の實驗結果とを比較検討すれば、先づ Acetylcholine による影響を見ると、墓の搏動せる全心に就いては森田 (14) は絶對不應期は一旦短縮した後漸次延長すると云ひ、蛙の別出心室を用ひた Junkmann (6) は 10^{-4} Acetylcholine により絶對不應

期は短縮し収縮能力は低下すると云ひ、又 Kanda (7), 渡邊 (16), Cohn a. Macleod (2) は何れも蛙心室に於て Acetylcholine は絶對不應期を短縮すると報告したが、蟄心室筋條片標本に於ては心室全體として同じ態度を示す事が確められた。又 Mezey u. Staub (13) は蛙心室筋條片標本に於て Acetylcholine により自然収縮を起すと述べたが、著者の實驗では斯かる例は1例もなかつた。之は大動脈球直下に結紮を行つてある爲であると考へられる。

Adrenaline に関しては從來全心又は剔出心室に就いて行はれた研究結果と同様な成績を得た。然し森田 (14) が Adrenaline, Gadamin, Urethane 等の適用に際して見た様な一過性の初期短縮は觀察されなかつた。従つて之は搏動せる全心としての機能を營む時に於てのみ發現する現象であると考へられる。又 10^{-5} Adrenaline を作用せしめると頻回に自動収縮を行つたが、之は既に Loewe (9) により蛙心條片に於て一旦停止した搏動を復活せしめる手段として報告された事實であるが、蟄心に於てはその必要濃度大で、且つ發現した自動収縮は何等一定の周期を有して居ない。之は著者の標本に於ては大動脈直下に結紮を行つてある故、此の部の強力な自動中樞以外の心室筋内に散在する興奮發生部位に働く爲であると考へられる。

Pilocarpine に関しては森田は蟄全心に就いて、松山は蟄剔出心室に就いて共に絶對不應期を短縮する事を報告してゐるが、著者の蟄心室筋條片標本に於ても同様な成績に到達してゐる。収縮高の減退に就いても從來の研究例へば Dixon 及び Ranson (4), 又は Mezey 及び Staub (13) の成績と同一傾向にある。

Atropine は全心に就いては森田、剔出心室に就いては Junkmann (6), 松山が共に絶對不應期を延長すると報告してゐるが、心室筋條片に於ても著明の延長を示した。又収縮高に關しても Mezey 及び Staub の蛙心條片に於ける研究と同一方向の成績を得た。

Gadamin の心室絶對不應期に及ぼす影響に就いては、森田は全心を用ひ、Junkmann は剔出心室を用ひて檢した所、何れも一過性の初期短縮を示したと云ふが、條片標本に於ては何れの濃度に於ても初期短縮なしに延長した。然し値の上昇に關しては Junkmann の成績と一致する。

Digitalis 劑の絶對不應期に及ぼす影響に關しては從來全心又は剔出心室に於て行はれた研究成績は一致しない點が甚だ多い。最近に於ても森田は絶對不應期を延長すると云ふのに反し、Macleod (10) は短縮すると云ふ。著者の行つた實驗成績は前者と同一傾向にあつたが、之は同じく藥品として Digifoline を使用した所を見れば、從來の様な様々の結果を得てゐるのは、種々なる Digitalis 劑を使用した事が原因をなすと考へられる。

Urethane に就いては松山、森田の成績と大體に於て一致してゐたが、初期短縮は見られなかつた。

Chloral hydrate に就いては從來の成績は全く複雑な結果に至つてゐる。即ち絶對不應期に關しては Rohde (16), Dennig (3), 松山は短縮すると云ひ、Junkmann, Gies (5) は之を延長

すると云ふ。最近森田は全心に就いての研究の結果兩様の成績を得て、之は恐らく濃度と麻醉時間の差異に歸し得られると推論を提出したが、著者は條片標本に於て多數の實驗を行ひ、絶對不應期を延長するものは濃度比較的に小なる時に多く、之を短縮するものは濃度比較的に大なる時に多い事を知つた。即ち前者を第1群、後者を第2群とすれば、實驗例24例に就いて次の様な成績を得た。即ち0.05%に於ては5例共凡て第1群に屬し、0.1~0.2%に於ては第1群7例、第2群6例、判定不明2例であつたのに、0.3~0.5%に於ては4例共凡て第2群に屬してゐた。依つて Chloral hydrate の2つの方向の作用は心室筋そのものに關しては適用濃度に由來するものである事が明瞭になつた。收縮高の漸減に就いては Clark (1) が蛙心及びその條片に於て認めた所と一致する。

Morphine に就いても從來の研究成績は必ずしも一致しないが、條片に關しても松山、森田の成績と同一で、絶對不應期の著明な延長が見られた。然し條片標本に於ては收縮高の楷梯現象著明なため、測定値には一定の條件を伴ふ事は勿論である。

以上によつて全心又は別出心室に於ける實驗結果と比較對照を行つたが、條片標本の場合は種々なる點に於て前者よりも後者の成績に近似する所多い。而して又筋を條片標本となす時はその性質の單純性のために筋それ自身の態度を検するのに便利であると考へられる。

V. 結 論

著者は墓心臓より自働搏動を停止した心室筋縱條片標本を製作し、之に開放感應電擊を與へて人工收縮を行はしめ、その閾値、收縮高、特に絶對不應期は諸種藥物によつて如何なる影響を受けるかを檢した。その結果

(1) 條片の諸生理學的性狀に影響を及ぼす諸種藥物の最小有效濃度は、一般に全心又は別出心室よりも大である。

(2) 條片の絶對不應期は Adrenaline, Atropine, Gadamin, Digifoline, Morphine 等によつて延長し、Acetylcholin, Pilocarpine, Urethane 等によつて短縮する。Chloral hydrate によつては濃度小なる時は延長し、濃度大なる時は短縮する。

(3) Acetylcholine, Adrenaline, Pilocarpine, Atropine, Urethane, Morphine に於ては大體に於て收縮高と絶對不應期との間に並行關係を認め得る。

(4) 以上の事實並びに藥物適用に際して發現する種々なる現象を、全心又は別出心室の場合と比較對照してその差異を明瞭にした。

撰筆に臨み加藤教授の絶えざる御鞭撻と久保教授の御懇篤なる御指導及び御校閲に對し深謝する。

文 獻

- 1) Clark (1930) Arch. internat. de Pharmacodyn. 33
- 2) Cohn a. Macleod (1939) Amer. Heart J. 17
- 3) Dennig (1920) Z. Biol. 72
- 4) Dixon u. Ranson (1924) Heffter's Handb. exper. Pharm. 2, II

- 5) Gies (1927) Ebenda 86
- 6) Junkmann (1925) Ebenda 108
- 7) Kanda (1938) Ebenda 190
- 8) 小池 昇 (昭和 19 年) 日本生理誌 9
- 9) Loewe (1918) Z. exper. Med. 6
- 10) Macleod (1939) Amer. Heart J. 17
- 11) 松山 覺 (昭和 4 年) 慶應醫學 9
- 12) Mezey u. Staub (1936) Arch. exper. Path. 180
- 13) Mezey u. Staub (1936) Ebenda 182
- 14) 森田正朗 (昭和 15 年) 慶應醫學 20
- 15) 太田敏夫 (昭和 2 年) 同前 7
- 16) Rohde (1906) Arch. exper. Path. 54
- 17) 渡邊 孝 (昭和 15 年) 十全會雜誌 45

迷走神経の呼吸調節作用の中樞性機序に就て 612.287

(本研究は昭和 17 年度文部省科學研究費の補助による)

新潟醫科大學生理學教室

高木健太郎

Takagi-Kentaro

(昭和 19 年 5 月 2 日受付)

I. 緒言

一般に迷走神経肺枝は呼吸に對して 2 様の作用を有すると考へられてをり、私は前報告 (16) に於てその機序に關して大體 2 通り考へられることを述べたが、先づこれに關する從來の業績を以下簡単に述べる。

Birukoff (3) は兩側迷走神経を同時に別々の感應コイルで刺激した場合、現はれる効果は夫々の迷走神経效果の代數和ではなくして、常に吸息性效果を示すことから迷走神経中には呼吸運動に關して唯 1 種類の纖維しか存在してゐなくて中樞に於ける何等かの機序によつて効果が異なつて來る。而して恐らく迷走神経は吸息性中樞を抑制する特殊の中樞に衝撃を透つてをり、刺激が弱い場合には吸息を抑制し、呼息性に働くが、強い場合にはこの抑制中樞が麻痺する結果吸息性に働くのであると説明してゐる。Alcock 及び Seemann (2) は毛管電氣計により、Adrian (1) はオツシログラフにより迷走神経の働作電流を撮つた。Alcock 等は吸息に於ける働作電流と呼息に於けるものとの間に差を認め、Adrian は通常の呼吸運動の場合には同一種類の纖維が衝撃を傳へてゐるが、肺を強く萎縮させた場合に正常の迷走神経の働作電流とは形も大きさも明らかに區別出来る働作電流が稀に見られることから、2 纖維の存在を否定してはゐない。最も詳細に刺激實驗を吟味し、迷走神経の 2 纖維を主張するものに Sjöblom (14) がある。彼は刺激が弱い場合には呼吸は呼息性となるか又は呼息位に停止し、強い場合は吸息性に停止することから、2 種の神経纖維の存在を主張する。同じく 2 纖維説であるが、以上と趣きを異にした Hammaouda 及び Wilson (8) の説がある。彼等は迷走神経の切斷中樞端を電氣的に刺激する時、通常は呼吸は呼息位に止るが、この刺激部位より中樞部を 8°C から 3°C の間に冷却すると呼吸促進が現はれるといふ事實から、迷走神経中には 1 つは呼吸を抑制し、呼息性呼吸停止を起させる抑制纖維と、他は呼吸を促進させる促進纖維があるといふ。尙私は神経を冷却する時許りでなく、之を徐々に麻酔して行く時にも同様の結果を得た (未發表)。然るに Rice (12), Wyss (18), Schuldin (13), 私によつて明かにされた様に迷走神経效果は求心性衝撃の數によつて作用が異なり、衝撃數の少ない時は吸息性に、多い時は呼息性に作用するか

ら、神経を冷却又は麻醉した時にその部に Wedensky 現象が起り、末稍で多い頻度で刺激しても中樞へは之よりも少ない衝撃しか傳へられぬとすれば、以上の結果から直ちに2纖維説を承認することは出来ない。尙 Hammouda, Wilson の成績に就いては Hillenbrand, Boyd (9) 及び私の前報告(16)に批判されてゐる。又 Steffensen, Brookhart, Gesell (15) は迷走神経の冷却、壓迫及び逐次切斷 (graded section) を行ひながら肺の膨脹、萎縮を繰返し、その度毎に呼吸頻度の變化を精査した。神経を冷却する前は肺を膨脹させることによつて呼吸頻度は少くなり、萎縮させることによつて多くなる。冷却が強くなるにつれて膨脹、萎縮の効果は輕微となるが、Hammouda のいふ様にその効果の性質には變化はないといふ。又神経の逐次切斷、壓迫によつても同様の結果が得られたといふ。以上の實驗から彼等は2纖維説を否定はしないが、あつたとしてもその性質が非常に似てゐるものだといふ。Rice は Wyss より以前に刺激頻度による別箇の2様の作用を認め、これが選擇的中樞性作用によるものか、迷走神経中に別箇の纖維が存在するためによるものかを決定することは出来ぬが、恐らく2種の纖維があるのであらうといつてゐる。

Plattner (11) は呼吸中樞の反射機序の研究に初めて Brücke (4) の所謂「唸り刺激」(Schwebende Reizung) を用ひた。彼は一側の迷走神経を毎秒 50 回、同時に他側を 51 回で刺激し、中樞に於てこれ等 2 つの衝撃を唸らせる様にするると、初めの間呼吸は吸息位に停止してゐるが、呼吸が初まつて來るとこの唸りの週期と一致して呼吸の振幅が變動するのを見た。この理由として彼は不應期を擧げ、唸りの最高點 (Höhepunkt der Schwebung) の前では毎秒 50 回の方の効果が現はれ、後では 51 回の効果が現はれるといふ。唸りの最小點 (Tiefe der Schwebung) に於ては丁度お互ひの相對不應期に入る故に迷走神経の抑制効果は最も小となり、そのため呼吸の振幅は最大となるといふ。Wyss (19) は兩側迷走神経を別に同時に刺激し、その求心性衝撃が中樞に於てある時は同時的に (Synchronisierung), 又切換へれば干涉的に (Interferierung) なる様に装置した。刺激頻度を適當に選べば干涉的刺激の場合は中樞に於て衝撃数が2倍となりそのために呼吸は呼息性となり、同時的の場合は中樞に於て頻度は變化がないので吸息性になる。以上から彼は刺激頻度によつて効果が異なるのは全く中樞に原因があるのであり、迷走神経には2種類の纖維はない、もしあつてもそれは性質の全く同様な別箇の纖維であると。

上に述べた從來の業績を纏めると吸息性と呼息性に作用する全く別箇の纖維の存在を主張する2纖維説と、之に全然反對ではないが1纖維説に傾いた人と、中樞にだけその原因を求める中樞説とになる。この問題は單に迷走神経による呼吸反射に關係する許りでなくて、反射現象全般に關係する事柄である。脊髓反射及び中樞に於ける抑制現象に關しても單に中樞に於ける種々の機序、例へば不應期等にその原因をおく説即ち Verworn (17), Fröhlich (6), Brücke 等と反射興奮と反射抑制の2種の纖維の存在を考へる説即ち加藤(10)等とがある。私は呼吸反

射といふ立場から之等の問題に觸れその中樞機序を明かにしたいと考へた。

II. 実験方法

位相差と強さと頻度とを任意に変化させることが出来る 2 つの直角電流を得るために次の様な装置を考案した。その原理は 2 つの光電管に別々に光をあて、モーターによつて廻轉してゐるセクトル圓板(第 1 圖)で律動的にこの光束を遮斷し之によつて生ずる光電流を増幅して刺激電流とした。

光源の光度は變壓器によつて任意に変化し得る様にし、集光レンズ、絞を通し、鏡によつて光束を 2 つに別け、夫々 11 D の凸レンズで丁度圓盤上に集光した。圓盤には第 1 圖の様に 25° の孔を 180° の間隔をおいて 2 箇宛切り、直接モーターの軸に固定する。2 箇の孔 L_1 L_2 の光束に對する相互位置を変化させることによつて各光電管に生ずる 2 つの電流の位相差を任意に調節出来る。それには光束を固定しておいて圓盤をモーターと共に上下させる。第 1 圖 l_1 , l_2 に光束がある場合にはこれは圓盤によつて同時に遮斷され、その位相差は 0° である。圓盤を擧げると光束は夫々 l_1' , l_2' の位置に來り、圖の矢の方向に廻轉すると、先づ l_2' が遮斷され、次に l_1' が遮斷されることになる。次にこの位相差を計算する。圓盤の中心 O から光點 l_1 及び l_2 までの距離を夫々 a_1 及び a_2 とする。圓盤を $l_1l_1'=l_2l_2'=b$ だけ擧げ、 $\angle l_1Ol_1'=\theta_1$, $\angle l_2Ol_2'=\theta_2$ とすれば、その時の位相差 $\varphi=2(\theta_1+\theta_2)$ である。

然るに $\tan \theta_1=b/a_1$, $\tan \theta_2=b/a_2$ であるから、 $\theta_1+\theta_2=\tan^{-1}b/a_1+\tan^{-1}b/a_2$ a_1 及び a_2 の實測値は夫々 9.5 cm, 5.5 cm であるから、

$$b=1 \text{ cm} \text{ とすれば } \varphi=2(\theta_1+\theta_2)=32^\circ 30'$$

$$b=2 \text{ cm} \text{ とすれば } \varphi=2(\theta_1+\theta_2)=62^\circ 50'$$

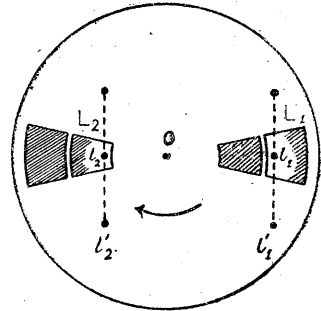
この様にして計算出来る。以上の値は實際測定した場合とよく一致する。

大多數の實驗に於ては圓盤の上下運動をその儘燻紙上に描かせる様に工夫したから圓盤の上下運動距離を曲線の上で測れば直ちにその位相差を知ることが出来る。位相 φ が分り、その時の圓盤の廻轉數 f がわかれば兩刺激電流の間隔時間 $t=\frac{\varphi}{2 \times 360} \times \frac{1}{f}$ が計算出来る。例へば廻轉數 $f=25$ 回/秒、 $b=5$ cm とすれば、位相差 $\varphi=142^\circ 40'$ 、間隔時間 $t=\frac{142^\circ 40'}{360 \times 2} \times \frac{1}{25}=7.95$ msec となる。

各光電管 PG-50-V に發生した光電流は別々に UY-76 により増幅したが、これは容量抵抗結合式であるため、完全な直角電流でない(第 2 圖)。圖の a, b, c は夫々位相差 180°, 90°, 0° の電流の模圖である。切換スイッチでこの圖の上半部、或は下半部の電流だけで夫々一側の迷走神経を同時に刺激し、その位相差を任意に変化することも、或は又一側の迷走神経だけ

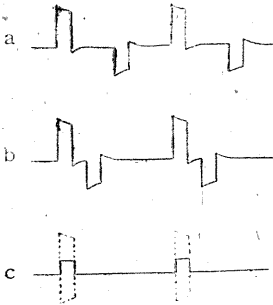
第 1 圖 光束遮斷用の圓盤

O, 圓盤の廻轉軸, L_1 , L_2 , 25° の孔, l_1 , l_2 , l_1' , l_2' , 光束。



第 2 圖 刺激電流の模型圖

a, 位相差 180° . b, 位相差 90°
c, 位相差 0° .



をこの兩電流で刺激することも出来る。刺激電流の位相關係及び強さは刺激の度毎にブラウン管の螢光板上に於て觀察した。刺激頻度はモーターの廻轉數を變壓器で調節し、最高毎秒 70~80 回とすることが出来る。但し頻度によつて通流時間は變化する。刺激の強さは光源の絞を最小にした場合にも最大 4 V であり、加減抵抗器によつて兩電流の強さを別々に微細に加減し得る様にした。實驗 III, c を除いて總て以上述べた電流を刺激に用ひた。

刺激電極としては白金電極を用ひ、神経の壓迫、乾燥を避ける様、全體を硝子管の温室中に挿入し、神経の興奮性を 3 時間以上一定に保つことが出来た。電流は已むを得ざる場合を除き常に神経に下向きに通じた。

實驗動物として體重 2.0~2.5 kg の家兎を用ひ、實驗前 2~3 時間前に 25% Urethan 溶液 4~5 cc/kg の皮下注射で麻酔した。呼吸運動はバネタンプルにより横隔膜の上下運動を描かせた。曲線の上向きはすべて吸息を意味する。

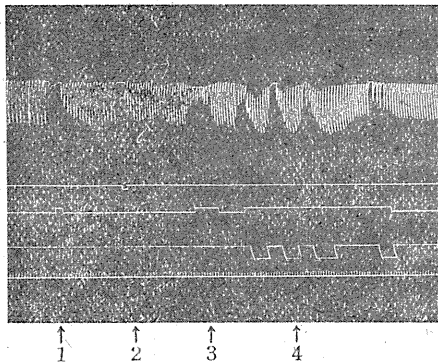
III. 實驗成績

A. 一側の迷走神経に於ける刺激實驗

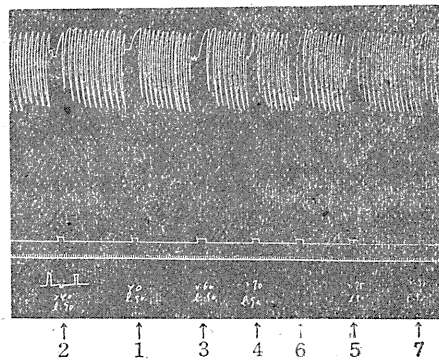
兩側の迷走神経を切斷しておき、右側の中樞端を頻度毎秒 60 回、強さ 1 V で刺激すると呼吸は吸息性に停止する(第 3 圖 1)。左側は 0.5 V でやはり吸息性に停止する(第 3 圖 2)。右

第 3 圖 一側の迷走神経刺激

曲線は上から呼吸曲線、右側及び左側迷走神経刺激時標、兩電流の位相關係、時標 1 秒。



第 4 圖 一側の迷走神経刺激(本文参照)



側迷走神経を兩電流によつて刺激すると、兩電流の位相差が 0° の場合は呼吸は吸息性になる(第 3 圖 3)。次に兩電流の位相を變化させる。第 3 圖の 4 段目の曲線はこの位相關係を示すものであり、曲線の下降した時は丁度兩電流の位相差が 0° の時を示し、それから次第に位相差が大となり、曲線の上昇した時は丁度位相差が 180° の時に當る。位相差が 0° の場合には呼吸は吸息側にすれ、呼吸の頻度は多く、位相差が大となるに従つて呼吸は呼息側にすれ、呼

吸の振幅は大きく、頻度は少くなる(第3圖4).

次に兩電流の位相差を 180° に、一方の刺激電流の強さは $2V$ に固定し、他方を第4圖の1~7の順に強くした。第4圖1は唯一方の電流によつて刺激されてゐる場合であつて、呼吸は吸息側に停止してゐる。次第に他方の電流を $0\sim 2.0V$ まで大きくして行くに従つて呼吸の停止位置は劃然たる境なしに呼息側にすれて行く。

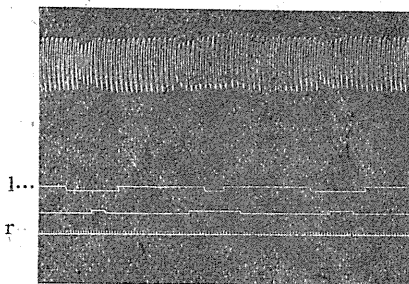
以上からたとへ呼息性呼吸停止を起し得る様な刺激頻度であつても一方の刺激電流に他方の刺激電流があまりに近づいた場合とか、又は他方の弱い場合には吸息性呼吸停止を起すか、或は吸息側にすれる様になり、而もその間には劃然たる境なしになだらかに移行することが判る。

B. 兩側の迷走神経を夫々別々に刺激した場合

1. 閾刺激で刺激した場合

左右迷走神経を夫々頻度毎秒65回で刺激し、夫々僅かに呼息性効果が現はれる様な強さを求める。兩電流の位相差を 0° とする。今左側迷走神経に刺激を與へてから數秒後に右側に刺激を與へた場合と、反對に右側に刺激を與へてから左側を刺激した場合とは、位相關係、頻度及び強さは同様であるに拘はらず著明な差異が見られた。位相差を 180° にして行つても同様であり、位相差 0° の場合との間に何等の相違も認められなかつた。この事實は閾値よりも稍々強い電流で刺激した時に尙一層明かに窺ふことが出来る(第5圖)。左側迷走神経効果は閾刺激で僅かに呼息が短縮される程度であり、右側刺激は明かに吸息も呼息をも短縮し、呼吸數を多くする。圖から兩側神経刺激の重疊効果は同一でなく、何れを先きに刺激するかによつて著しい差異がある。この現象は位相關係とは關係なく、又兩刺激の間隔を短くしても同様な現象が見られるから中樞の或は神経の疲勞のためとも考へられない。兩刺激を單獨に與へた場合よりも効果が強いから中樞に於て重疊が行はれることは疑ないが、これは單に兩効果の代數和ではない。

第5圖 兩側の迷走神経刺激(本文参照)
1, 左側刺激. r, 右側刺激
刺激頻度, 1秒間65回. 刺激強度, 左側
 $1.7V$. 右側 $2.1V$. 位相差, 0°



2. 強く刺激した場合

本實驗に入る前に先づ Wyss (19) の追試を企てた。彼の刺激装置を見ると左右兩神経に上向きに電流を通じ、その陽極は左右に共通である。神経をなすだけ長く遊離し電流滑走が他側の神経に及ぶことを極力防いでゐるが、その回路を検討すると、組織、神経、電極間等の抵抗にある關係にある時には、一方の電流によつて同時に他側が刺激されることになる。而も彼は中樞に於ける重疊を起すためには相當強い電流を流さねばならぬといふから益々その危険性は

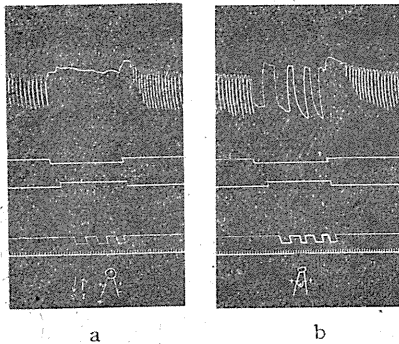
増大する。

先づ左右を別々に刺激すれば完全に左右共に夫々吸息性呼吸停止を起させ、一側をこの兩電流によつて刺激すれば明かに呼息性呼吸停止を起させるに充分な強度と頻度を選ぶ。この電流を同時に左右迷走神経に與へれば呼吸は常に吸息位に停止し(第6圖 a)、この際兩刺激電流の位相差によつては殆んど影響を受けない。然るに Wyss の行つた様に陽極を共通にして同様に刺激すれば、呼吸停止位置は位相差 0° の時には吸息性に、 180° に近くなるに従つて明かに呼息性にすれる(第6圖 b)。他の例に於て殆んど例外なくこのことを證明し得たから Wyss の結果は疑ひもなく電流滑走によるものである。

第6圖 Wyss の實驗に對する批判實驗

刺激頻度、1 秒間 60 回。刺激強度、左側 1.5 V。右側 1.5 V。位相差、 180°

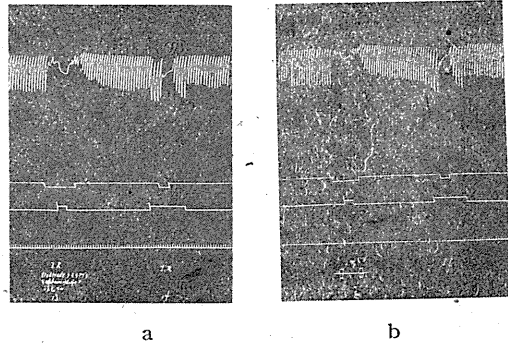
- a, 陽極を左右共通にしない場合。
b, 陽極を共通にした場合。



第7圖 兩側の迷走神経刺激(本文参照)

a, 位相差 180° 。 b, 位相差 0° 。

刺激頻度 1 秒間 63 回。強度、左側 0.5 V。右側 1.5 V。



次に夫々違つた作用を有する左右刺激を組合せた。例へば吸息性停止を起す右側神経刺激と呼息性停止を起す左側刺激を同時に與へれば、大體中間の位置で呼吸は停止する。即ちその効果は大體に於て兩作用の代數和に近く、位相差による差異は前の場合と同様常に殆んど認められぬ程度である(第7圖 a, b)。然し左右神経刺激が夫々上述の場合と同じ様な作用を有するものであつてもこれを同時に與へた時に、或は吸息性、或は呼息性の呼吸停止が起るから常に曲線の上から見た代數和ではない。

3. 兩刺激の位相差と呼吸變動との關係

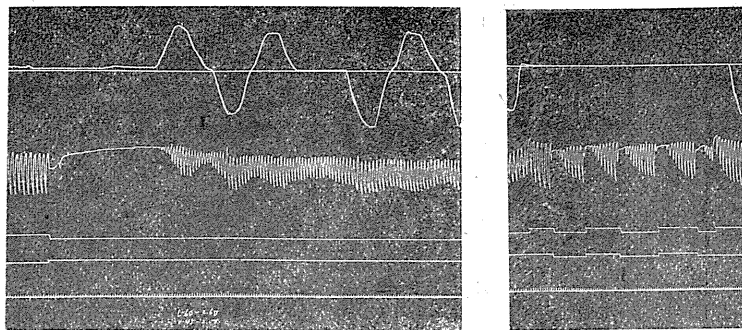
a) 第8圖に就て説明する。最上部の曲線は刺激電流の位相關係を示すもので、中央の直線は位相差 0° の點を示し、これより上方は右側の刺激が左側のそれよりも位相が進んでゐること、下方は之と反對のことを示す。曲線の 0° 線よりの距離から位相差を容易に知ることが出来る。

今刺激頻度毎秒 35 回、強さは左側を 2.6 V、右側を 2.0 V で刺激すると位相差に關係なく先づ呼吸は吸息位に停止する。この呼吸停止の期間は一側の神経だけを刺激した時よりも遙かに長い。呼吸停止位置は位相差を變化させても殆んど全く變化しないことは前に述べた通りである。然るに正常呼吸が初つて來た時に位相差を僅かでも大きくすると、それにつれて呼吸の

振幅は大きくなり、横隔膜緊張は弛緩する。呼吸の頻度は概して少くなることが多い。位相差を小さくして行くと振幅は小さくなり、横隔膜緊張は増大する。不規則なリズムで位相を変化させても殆んどこのリズムと一致して呼吸振幅に變動が起る。曲線の終に於ては振幅の變化は

第 8 圖 刺激電流の位相と呼吸の變動 (本文参照)

刺激頻度 1 秒間 35 回。強度、左側 2.6 V. 右側 2.0 V.
位相差の最大 90° (約 10 msec)

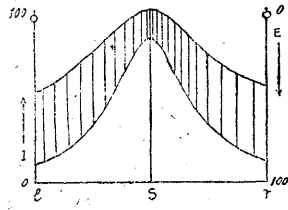


さして眼立たなくなるが、尙横隔膜の緊張變化を明らかに見ることが出来る。この様な刺激を長く続けた後、夫々一側の迷走神経刺激効果を再び験して見ると、刺激前と同様な効果が見られるから刺激中に作用が變つたとは考へられない。實驗例 46 例中約半数に於て上述と同様な成績を得た。第 3 圖と第 8 圖を比較して次の様に考へる。即ち刺激の位相差が小さければ小さい程呼吸は吸息性となり、位相差が大きくなるにつれて刺激頻度がもとの 2 倍となつた時の效果に近づき、遂に位相差が 180° の時、最も吸息性となるのであらう。この點に關しては W-yss の考へは正しい。

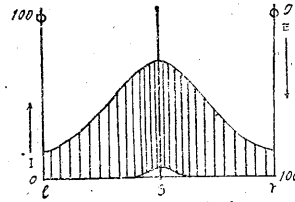
以上の關係を模型的に描いたのが第 9 圖 a である。刺激前の呼吸運動の大きさを 100 とし、上向きは吸息、下向きは呼息を表はし、曲線は刺激時の呼吸の状態を示す曲線中に引ける縦線の疎なる所は呼吸頻度の少ないことを示し、密なる所は多いことを示す。横軸には位相差をとり、S は位相差が 0° の點であり、これより左側は左側刺激が右側のそれよりも位相が進んでゐる場合、右側は之と反對のことを表はす。左右縦軸上の小圓は夫々刺激前の左側或は右側神経の刺激効果を示し、小圓の位置で呼吸が停止したことを表はす。即ち刺激前には左右神経刺激共、吸息性呼吸停止を惹起する。左右迷走神経を同時に刺激すると位相差が 0° の時に呼吸は最も吸息側にすれ、呼吸頻度は多く、振幅は小となり、位相差が大となるにつれて次第に呼息側にすれ、振幅は大きくなり呼吸頻度は少くなることを示してゐる。この場合は位相差の遅れ、進みには何等の關係なく、 0° の線を境として全く對稱的である。

他の例に於ては同じく 0° の線に對して對稱的ではあるが、その振幅及び横隔膜緊張の變化が前例と異つてゐる (第 9 圖 b)。これ等の間には種々の移行型が存在するが、原則として位相差 0° の線に對して對稱的であり、 0° の時には吸息的に、位相差が増すにつれて呼息的に

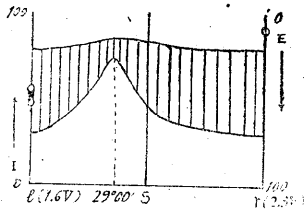
第 9 圖 a (説明本文)



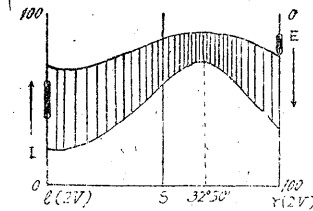
第 9 圖 b



第 9 圖 c (説明本文)



第 9 圖 d



働く様である。

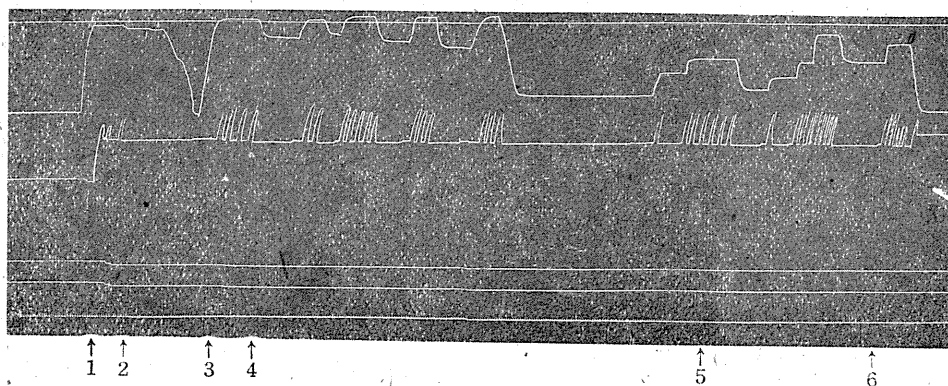
b) 然るに位相差と呼吸変動の間にある一定の関係はあるが 0° の線に対して對稱的でない場合がある(第 9 圖 c, d). 兩場合共左側刺激は吸息呼息共に短縮させ、右側刺激は呼吸を吸息側にすらせる。この様な刺激を同様に左右兩神経に與へた場合に呼吸が最も吸息性にすれる點は第 9 圖 c に於ては、左側刺激の位相が右側よりも $28^\circ 30'$ 時間にして 1.9 msec だけ進んでゐる時であり、第 9 圖 d では右側が左側よりも $16^\circ 15'$ 時間にして 1.6 msec だけ進んでゐる時である。この様な場合にも常に刺激後に於ける左右の單獨刺激の効果は前と同様であることを確めた。緒言に於て述べた様に Plattner は唸刺激による呼吸變動の原因として不應期を擧げてゐる。彼の説が正しいとすれば、第 9 圖 c と d とに差異があつてはならない。彼は又刺激中に刺激効果が變化するから刺激前の單獨効果を以て直ちに刺激効果を判斷出來ぬといふが、私は極力この點に注意し、刺激中、刺激後に變化があるかないかを常に検査することを怠らなかつた。又この様な場合に左右の刺激の強度と頻度とを適當にして、左右の單獨刺激効果を前と全く逆にしても同時刺激効果は原則的には前と同様であるから、Plattner の考へば疑ひなきを得ない。

もしも左右迷走神経の求心性衝擊の効果に 2 msec 程度の差が時に起り得るならば、Plattner の説に據らずとも、私は第一の場合と同様に考へてよいと信ずる。

c) 次に動物の状態が悪く思はれる時、例へば麻醉が深過ぎる様な場合に、兩側の迷走神経を刺激し、位相差を 180° に固定したまゝに置くと、呼息性に停つたまゝ長く呼吸が初つて

来ないことがある。數例に於てはこのまゝ死に到つた。又1例に於ては約3分の週期を以て數回宛痙攣的な呼吸をなし、その間は呼息性に停止してゐた。この場合呼吸停止中、心搏数は初めの間は毎秒180回であるが、次第に少くなり毎秒120回となり、チアノーゼが増大し、遂に數回の痙攣的な呼吸をする。之について再び呼息性停止期に入る。これは一種の Cheyne-Stokes の呼吸型と見られる。以上の呼息性停止期中に位相差を 180° より小さくすると、横隔膜緊張は直ちに急に増強し、數回の正常呼吸よりは緩かな呼吸が初まる(第10圖1)。位相差をそのまゝに固定しておけば再び呼吸が停止する(第10圖2)。この時位相差を小さくする

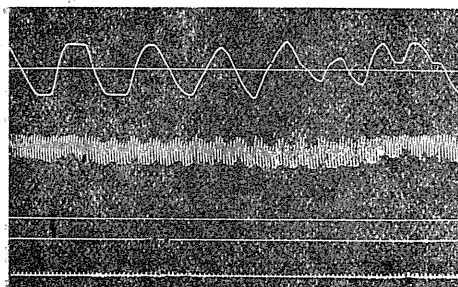
第10圖 刺激電流の位相と呼吸の變動(本文参照)
刺激頻度1秒間70回。強度、左側1.3V、右側2.1V。



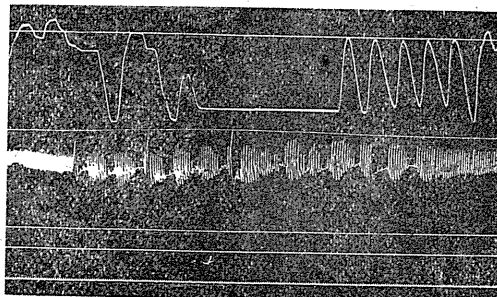
と又呼吸が起る(第10圖3)、大きくすれば再び停止する(第10圖4)。この様に何度も繰返すことが出来る。即ち位相差が小さい程横隔膜緊張は増強し、且つ呼吸運動が起るが、然し第10圖5と6とを比較すれば分る様に同一位相差の時に必ずしも同様な効果があるものでなく、その前の状態の如何によつて効果が變つて來ることがわかる。

d) 位相を變化させながら刺激して行く時に、この位相の變動の週期とは全く無關係に、中樞固有の週期をもつて規則正しく横隔膜緊張、同時に呼吸振幅が變動し始めて來ることがある。この週期は各例によつて異なるが、大體毎分13~6回であり、毎分10回内外が最も多

第11圖 週期性呼吸變動
刺激頻度1秒60回。強度、右側0.6V。
左側0.7V。位相差の最大約 25° 。



第12圖 週期性呼吸變動
刺激頻度1秒間48回。強度、左側右側共1.6V。
位相差の最大約 90° 。



い。この呼吸変動が大きくない時は呼吸曲線全體が丁度血圧曲線に於ける呼吸變動の様に波状に動く(第 12 圖)。又ある時は丁度 Cheyne-Stokes の呼吸型の様に、呼吸停止期と呼吸期とが交互に起ることもある(第 12 圖)。第 10 圖はこれの極端の場合と考へられるであらう。これ等の間にはあらゆる程度の移行型が存在する様に思はれる。この週期は刺激位相變動の週期とは合致しないが、刺激を止めるとこの呼吸變動が止むこと、又位相變動の週期を全く不規則にすれば呼吸變動の週期、従つて形が亂れて來ること等から全く無関係ではなく、又一側の迷走神経だけを刺激する場合にはこの週期性的變動は認め難いから、兩側迷走神経の求心性衝擊の中樞に於ける干渉が何等かの役割を果してゐると考へられる。一度この様な呼吸變動が起つて來ると刺激をある位相に固定したまゝにしても、それまでの週期を以て變動を持続しようとする傾向が見られるから、Plartner の唸刺激の如く規則正しく位相が變化する刺激を用ふ場合にはあらはれた効果が刺激によるものか、動物固有の週期によつて來たものかを判定することは困難である。

C. 神経分離實驗

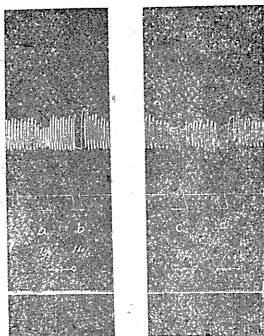
麻酔した家兎の兩側の迷走神経を切斷し、一側の迷走神経の單一神経纖維の分離に努めた。即ち小硝子片の周圍に高さ約 1 mm のパラフィンの枠を作り、この中に温 Ringer 液を入れ神経を横へる。神経の切斷端を縛つた糸を枠の一方に固定し、ツァイス製双眼ルーペで見ながら針を用ひて神経を縦に分離しつゝ、時々分離部の末梢部を刺激してその効果を檢した。

刺激にはサイクロンによる蓄電器放電電流を用ひた(5)。頻度は 1 つの蓄電器で毎秒 5~150 回の間任意に加減し得る。

以上の装置によつて神経分離部の末梢を刺激する時、分離が充分でなく刺激頻度が少なければ呼吸は吸息性に停止し、頻度が多ければ呼息性に停止する。分離が充分進むとある場合には刺激頻度及び強度を如何に調節しても常に呼息性に呼吸がすれる様になる。但しこの場合刺激

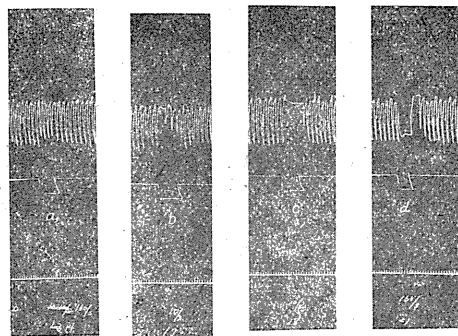
第 13 圖 神経分離刺激實驗

a, b は分離部より末梢側, c, d は中樞側を刺激した場合.
刺激頻度 a, c は 1 秒間 10 回, b, d は 160 回. 強度は總て 4 V 以上.



第 14 圖 神経分離刺激實驗

a, b は分離部より末梢側, c, d は中樞側を刺激した場合.
刺激頻度 a, d は 1 秒間 160 回, b, c は 10 回. 強度は總て 4 V 以上.



頻度が少なければ呼息性作用は弱く、頻度が多い程この作用は強い(第 13 圖)。

又分離が進んだある場合には、刺激によつて常に吸息性に呼吸がずれることがある。この場合には頻度の少ない程この作用は強い(第 16 圖)。1例に於ては一側神経では分離後、刺激によつて常に吸息性作用だけが現はれ、他側では呼息性作用のみを現はす様に分離に成功したから、以上の成績は中樞の状態によるのでないことは明かである。

以上の場合分離部位よりも中樞部を刺激した場合には常に分離前と同様に刺激頻度が多ければ呼息性効果、少なければ吸息性効果が現はれることを確めた。

IV. 考 察

実験成績 A から中樞に達する衝撃数が数の上からだけ考へれば充分呼息性に作用すべき頻度であつても、1つの刺激に次の刺激があまりに近い場合即ち位相差が小さい場合とか、又位相差は充分大であつても、第2の刺激があまりに弱い場合には、通常の多い頻度の刺激効果を現はさない。この場合一側の迷走神経だけを刺激したからその原因が神経そのもの、不應期によるか、神経中に2種の加重期間の異なる繊維が存在するによるのか、又中樞の何等かの機序によるのか明かでない。

実験 B に於ては先づ閾刺激で明かに両側からの求心性衝撃による興奮の加重が見られたから、中樞に於いて両側神経の作用領野に重なり合ひ (Spatial summation) の存在することが明かにされ、強制刺激に於て、位相差の大小によつてその効果が變はる。この場合には中樞に於ける位相差だけが問題となるのだから、結局中樞に少ない衝撃が来た場合は吸息性に、多い衝撃が来た場合には呼息性に作用すると考へられる。

実験 C は明かに別々の吸息性繊維と呼息性繊維の存在を示すものであり、又佐藤 (未発表) の強さと頻度を考慮した精細な実験から、明かに閾値の異なる2繊維の存在を肯定しなければならない。

以上の事實を説明するために私は次の様に考へる。即ち迷走神経肺枝中にはその閾値を異にし、又前報告で述べた様に寒冷等に對してその態度が違ふ2種の繊維が存在し、一方は横隔膜の緊張を増強し、他は反對に減弱させるものである。この2つの繊維は夫々別箇の中樞にその求心性衝撃を傳へる。この内緊張増強性の繊維と連絡する中樞は少ない衝撃を受ける時他方よりも強く興奮し、恐らく加重期間の長いクロナキシーの大きいものであり、他は多い衝撃を受けて初めて強く興奮し、恐らく加重期間の短かいクロナキシーの小さいものであり、この中樞が興奮すればする程緊張増強性中樞を何等かの機序を以て抑制するものであらう。但し Gesell (7) のいふ様にこの2つの中樞が互ひに相互抑制の關係にあつて、抑制中樞ではなくて、これが呼息中樞、前者を吸息中樞とすべきかの問題は今後の研究に俟たねばならない。

従來の業績は或は2繊維説のみに傾き、或は中樞説のみを主張してゐたものである。Plattner は抑制作用に對して相對不應期をとりあげ、Schwebende Minimum. 即ち位相差が 180°

の時に呼吸の振幅が最大になるのは抑制作用が最小となつたためといふが、私の考へによるとこの時は却つて最も強く横隔膜緊張が抑制された時である。

両側迷走神経を同時に刺激した時、最初長い呼吸停止が起り、この間は刺激の位相差の影響はない。この點に關しては Wyss の實驗は誤りであると信じる。この原因に對して Plattner は迷走神経の呼吸停止作用の後作用が長いためであり、血液中の炭酸ガス蓄積が強くなつた時に初めて呼吸が起り、位相差によつてその振幅が影響を受けるといふ。私は動物の胸廓を開き人工呼吸をしながら血液中の炭酸ガスを一定に保ちつゝ無呼吸の状態を刺激したが、位相差によつて明かに横隔膜の緊張が影響を受ける、即ち位相差の小さい時程緊張は増強することを認め、だから位相差の變動による變化は呼吸運動の有無に關係なく、炭酸ガスの蓄積等によつて中樞の興奮性がある程度に達すれば起り得ると信ずる。

刺激中に起り易い自發的の週期性呼吸振幅の變動の成因、これと Cheyne-Stokes の呼吸型との關係、刺激電流の位相差、麻酔との關係に就ては研究を進めてゐる。

V. 結 論

1. 迷走神経の呼吸に對する2つの作用が中樞性のものか、或は末梢性のものかを決定するために、任意に位相差と強さと頻度を變化し得る2つの直角電流を得る装置を作り、これを一側の迷走神経に、又左右神経に夫々單獨に、又左右に同時に與へ得る様にした。

2. 一側の神経にこの兩電流を與へる時、たとへ全體の刺激頻度が呼息性呼吸停止を起し得る程の頻度であつても兩電流の位相差が小さい程、呼吸は吸息側にすれる。

3. この2つの電流を別けて兩側の迷走神経を同時に刺激し、兩電流の位相を變へる。最初長い呼吸停止が起るが、この間は位相差の變動によつて呼吸停止位置は影響を受けない。Wyss の實驗成績は電流滑走によるものであらう。炭酸ガス蓄積等によつて中樞の興奮性が高まつた場合は位相差の變動に伴つて明かに呼吸が變動する。即ち呼吸は位相差の小さい程吸息側に、大きい程呼息側にすれる。然し位相差と無關係に呼吸が週期的に變動することがあり、これは遂には Cheyne-Stokes の呼吸型にまで移行する。

4. 如何なる頻度、強度で刺激しても、常に吸息性効果を起す纖維群、又反對に常に呼息性効果を起す纖維群を分離し得た。

5. 以上の實驗成績から迷走神経中には少くとも2種の纖維が存在し、一方は吸息性に作用し、他方は呼息性に作用し、之等は夫々別々の中樞に連絡する。前者の中樞は加重期間の長い神経細胞よりなり、少ない衝撃によつて強く興奮し、後者は加重期間の短かい神経細胞よりなり、多い衝撃によつて始めて強く興奮するものであると信ずる。

文 獻

- 1) Adrian, E. D. (1933) J. Physiol. 79 332~313
- 2) Alcock, N. H. and J. Seemann (1905) J. Physiol. 32 30~31 P
- 3) Birukoff, B. (1899) Arch. Physiol. 525~530

- 4) Brucke, E. T. (1922) *Z. Biol.* **77** 29~58
- 5) Delaunois, A. L. (1939) *J. Physiol.* **96** 56~58 P
- 6) Flöhlich, F. W. (1909) *Z. f. allg. Physiol.* **9** 55~111
- 7) Gesell, R. (1940) *Science* **91** 229~233
- 8) Hammouda, M. and W. H. Wilson (1935) *J. Physiol.* **85** 62~72
- 9) Hillenbrand, C. J. and T. E. Boyd, (1936) *Amer. J. Physiol.* **116** 380~386
- 10) Kató-Gen'iti (1934) *Microphysiology of nerve*
- 11) Plattner, F. (1923) *Z. Biol.* **79** 125~138
- 12) Rice, H. V. (1938) *Amer. J. Physiol.* **124** 535~545
- 13) Schuldin, S. (1910) *Z. f. allg. Physiol.* **10** 367~383
- 14) Sjöblom, J. C. (1915) *Skand. Arch.* **32** 1~114
- 15) Steffensen, E. H., J. M. Brookhart, and R. Gesell (1937) *Amer. J. Physiol.* **119** 517~526
- 16) 高木健太郎・池 留雄 (1942) *日本生理誌* **7** 303~313
- 17) Verworn, M. (1914) *Erregung und Lähmung*
- 18) Wyss, O. A. M. (1939) *Pflüger's Arch.* **242** 215~233
- 19) Wyss, O. A. M. (1940) *Pflüger's Arch.* **243** 457~467

脳波と精神疲労 612.822.53

(文部省科學研究費に依る)

東北帝國大學醫學部生理學教室

本川 弘一・三田 俊定・辻口 清孝

Motokawa-Kōiti・Mita-Tosisada・Tuziguti-Kiyotaka

(昭和 19 年 5 月 5 日受附)

I. 緒 論

精神的な疲労は勿論肉體的な疲労と全く無關係ではないが、可なり獨立した面を持つてゐる。疲労の生理學的研究と云へば従來は肉體的疲労に關するものが多く、精神疲労は其重要性にも拘らず比較的等閑に附されてゐた。それは主として精神疲労に關する的確な標識が知られなかつたからであつて、此標識を探求することが精神疲労研究の最も重要な事ではなければならぬ。吾々の精神作用の場は之を大脳皮質に求むべきであるから、大脳皮質の生理的機能に着眼して精神疲労の研究を進めることは望ましいことに相違ない。そこで大脳皮質細胞の機能と最も密接に結び附いてゐる脳波に着眼することにしよう。疲労の研究乃至は診斷に對する脳波の利點は被檢者に何等の苦痛も與へることなく比較的短時間で記録されることであり、脳波が精神疲労の目安となることが確實にされさへすれば之を實用に供することは極めて易々たる問題である。併し脳波が未だ斯かる方面に活用されてゐないのは脳波の意味が充分に明かでなく、且つ脳波には個人差が著しく、時間的變化も亦顯著であつて其判定に困難を感じるからである。併し其變化の複雑微妙さは大脳皮質機能の微妙さに對應するのであつて、其複雑さが其意義の判斷を困難ならしめるとならば之を適當に濾過し整理して其根底に横はるものを讀み取る様努むべきである。精神疲労の結果として大脳皮質の機能に變化が起れば當然脳波にも變化が起る筈であるから其特征を捉へて之を精神疲労の特徴とすることが出来るであらう。吾々が本實驗に於て脳波の疲労時變化の一般的傾向を探求することを主眼とした所以である。

II. 實驗方法

脳波の描記装置は本教室備付のものであつて、増幅度も大きく、 $1\mu V$ 1mm の程度であり、増幅器の周波數特性もよく検査されたものであつた。誘導法としては簡單の爲、前頭一後頭誘導法を用ひた。被檢者を、良く電氣的に遮蔽された室のベツトの上に側臥せしめ、眼を閉ぢ氣持をよく落ちつかせ、約 40 秒間に亘り其の脳波を描記した。又毎回 $20\mu V$ の矩形電壓を以て脳波を較正し振幅を μV に換算した。

被檢者としては東北帝國大學醫學部の學生約 60 名を用ひ、生理學の試驗直後を疲労時と看

做し、此時の脳波と平常時の脳波とを比較した。

試験は口答試験であつて、5名宛約1時間に亘り嚴重に試問した後、直ちに研究室に於て脳波を描記し且つ其際の疲労の程度・気分・前夜の勉強振り・睡眠時間等を供述せしめた。又對照として試験後、數日を経て學生が試験の疲労より完全に恢復しなと思はれる時を選んで再び脳波を描記した。

本實驗は二重の意味に於て統計的であつた。

第一に本研究に於ては主として脳波の諸性質の時間的平均を問題とした。上述の如く脳波は時間と共に其性質を變するものであるから、同一人の脳波でも如何なる瞬間を捉へるかによつて其所見が區々であり得る。従つて其時間的平均を以て其人の脳波を特徴付けるのが適當である。之は上述の「適當に濾過し整理する」ことの1例である。吾々は相續く100個の α 波の平均振幅を測定し又其平均週期を算出した。平均振幅の測定は本川の簡便法(2, 3)によつた。又別に所謂連續度を測定した。茲に連續度と云ふのは平均振幅の半より大きい α 波が幾つ續いて現はれるかの平均である。之を測定するには平均振幅(既に測定してある)の半分の長さに等しくした兩脚器を縦(印畫紙の進行方向に垂直)に把持しつゝ個々の α 波の振幅と比較し、此値より小さい波に遭遇するまでの波の數を數へ、此操作を繰り返すことによつて10, 2, 5, 1……等の數を得たならば此等の平均を求むればよい。本川は曩に平均振幅其ものを標準として連續度を測定することを提案した(2, 3)がそれでは値が小さ過ぎて都合が悪いので茲では平均振幅の半分を標準とすべきことを改めて提案したい。普通の状態では連續度は6内外の値となるが、 α 波が不規則に出沒する例では値が之より小さくなり、反之 α 波が規則正しく連續するものでは此値が20以上にもなることがある。

併し吾々が茲に採用した脳波の3統計量即ち平均週期・平均振幅・連續度と雖も僅か10秒間の平均に過ぎないのであるから之を以て直ちに其人の脳波を特徴付けるには充分ではない。もつと長い時間の平均を取る方が良い譯であるが印畫紙の經濟と分析の勞力上から致し方がない。此時間的平均の不充分なる點を補ふ意味で吾々は多數の例に就て統計的に觀察し、疲労時の脳波の特性を把握せんと努めたのである。

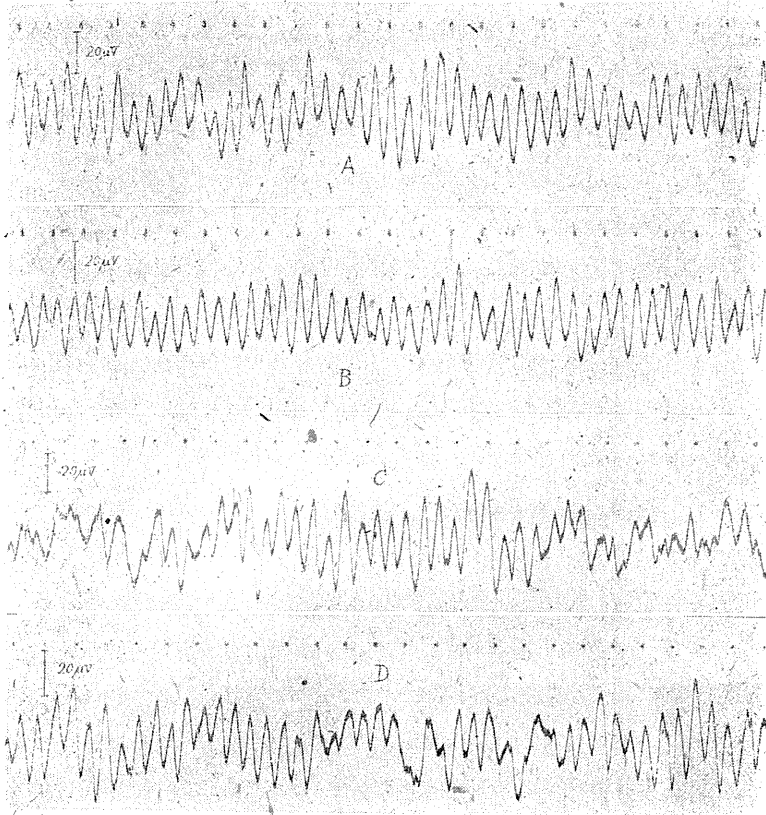
III. 實驗成績

A. 疲労時脳波の肉眼的所見

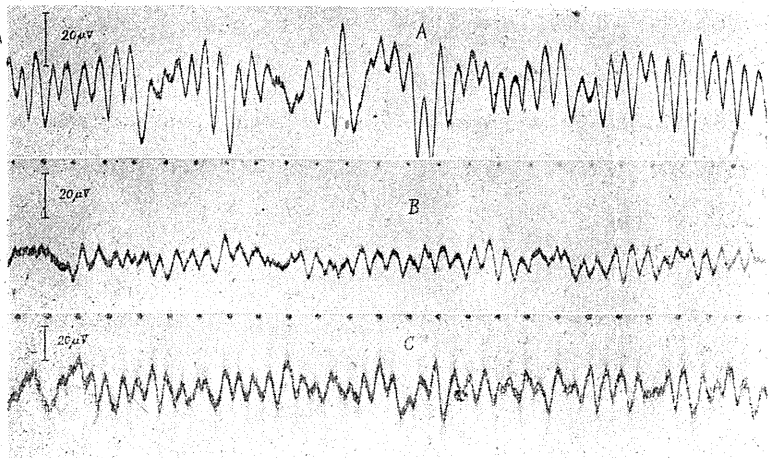
吾々は上に統計量によつて脳波を記載することを述べたが、脳波は各人の顔の異なる如く夫々個人によつて異なり、又同一人でも其時々によつて相違するから之を數量を以て完全に記載することは到底不可能である。従つて之を見たまゝの印象を畫き綴るか或は寫眞の斷片を掲載することも必要となつて來る。

疲労時の脳波を一言にして最もよく表はし得る言葉は「不規則」である。第1圖A及びBに掲げてある脳波は正常時極めて規則正しい α 波を出す人の脳波であつて一見して非常に規

第 1 圖 A, B 正常時脳波, C, D タイプライターたたきによる疲労時の脳波



第 2 圖 A 正常時脳波, B 頭痛を訴へつつある時の脳波, C 睡眠不足時の脳波.



則正しく、なだらかな感じがする。同圖 C 及び D は同人が数時間タイプライターをたたいた結果、頭が疲れたと稱してゐる時の脳波であつて、一見して其規則性が目立つ。併し正常時の脳波が既に不規則な場合には 斯程判然しないことが多い。第 2 圖 A は別の被検者の正常

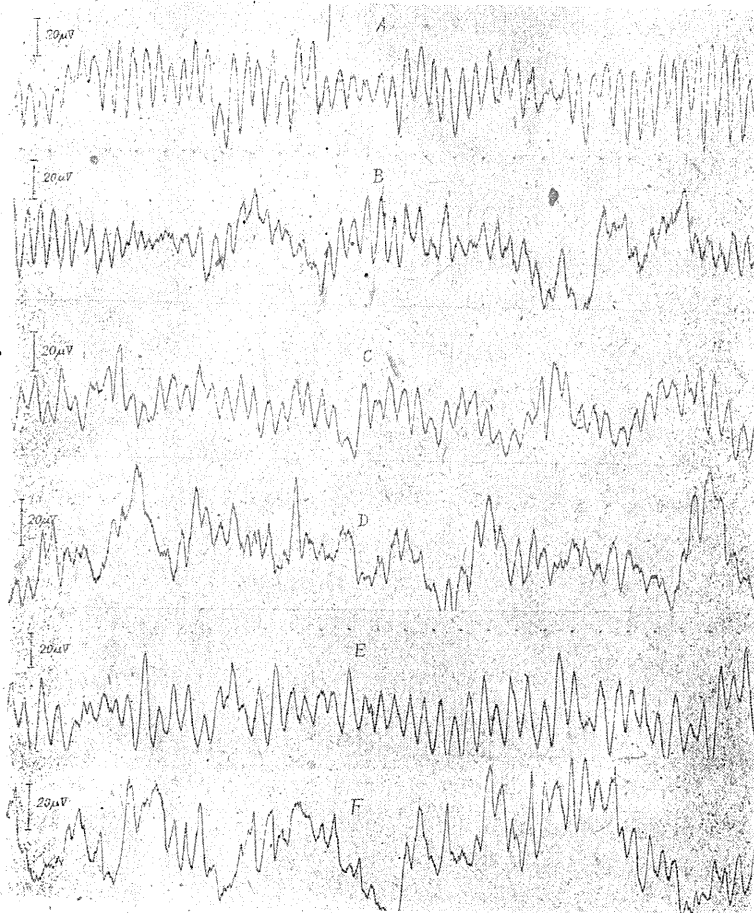
時脳波であり B は同人が研究に疲れ頭痛を訴へてゐる時の脳波であり、A と比較して振幅も小さく又不規則で、所々 α 波が消失して β 波が出てゐる。又同圖 C は同人が夜行列車で旅行し 2~3 時間しか睡眠が取れなかつた朝に記録したもので矢張り B と同様の變化が認められる。學生の試験直後と正常時の脳波の例は第 3, 4 圖に示してある。

不規則と云ふ言葉を更に分析的に表現すれば次の様になる。

1. 振幅の不規則性

疲労に陥ると其振幅が不揃となり α 波を全く缺く部分が多くなり、従つて α 波の出現率 (%time α) や平均振幅を測定して見ると正常時に比して小さくなる傾向が認められる(第 1,

第 3 圖 A 正常時, B 同人試験直後. C 正常時, D 同人試験直後.
E 正常時, F 同人試験直後.



2, 3 圖参照). 併し之と全く反對の現象も亦認められる。即ち疲労に陥ると却つて平素は見られない様な大きな振幅の波が時々群をなして現はれて來ることがある(第 4 圖 A, B₂を比較せよ)。

2. 週期の不規則性

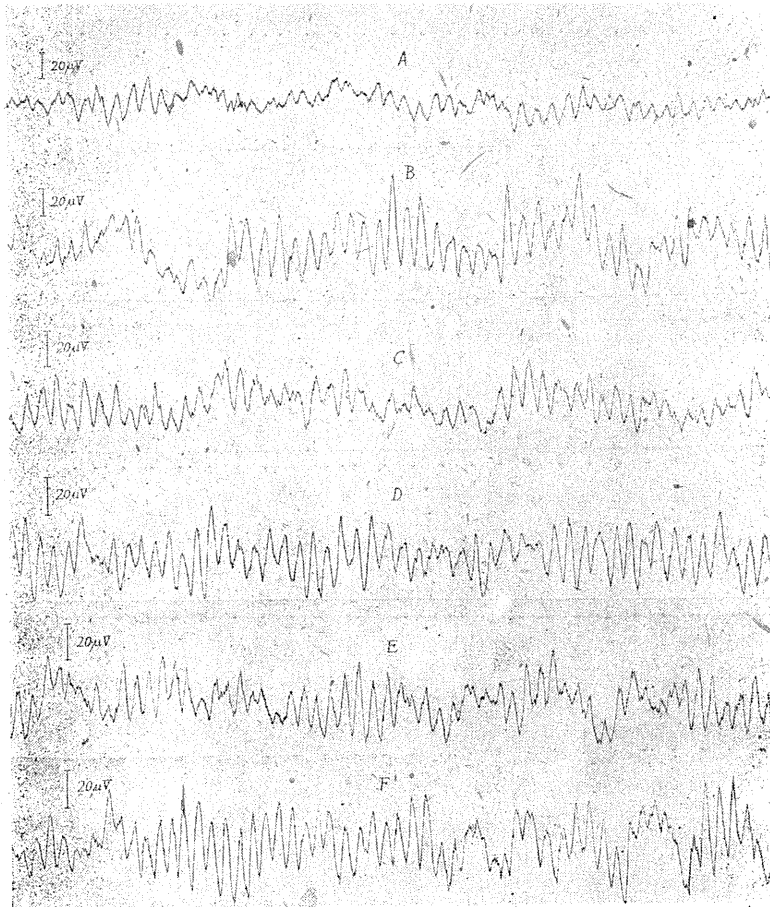
脳波は週期に關しても不規則となり、1/10 秒の週期をもつ α 波のほかに之より週期の短い β 波が多く現れて来る(第3圖 A, B を比較せよ)。又之とは反對に α 波よりも幾分長い週期をもつ不規則な波が現はれたりする(第3圖 B, C を比較)。

3. 波形に關する不規則性

正常時には揃つた波形の α 波が規則正しく現はれる人でも疲労に陥ると波形が亂れて来る。屢々遭遇するのは背の高い瘠せた形の波の出現である(第3圖 E, F を比較せよ)。又尖つた

第4圖 疲労によつて却つて振幅の増す型

A 正常時, B 同人試験直後, C 正常時, D 同人試験直後.
E 正常時, F 同人試験直後.



もの、圓味を帯びたもの、不全波形のものなどが多くなる。

4. 疲労時に基線のずれが甚だしくなる傾向が多い(第3圖 A と B, B と C, C と D を夫々比較せよ)。

以上の特徴は Grüttner 及び Bonkalo (1) の記述と大體一致する。尙兩氏は頭部各所の α 波の同期 (Synchronisation) の仕方が正常時と疲労時とで相違する場合があると云つてゐるが

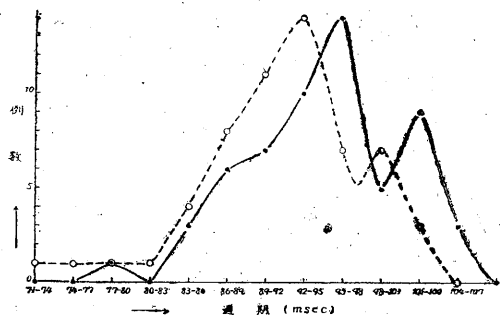
本実験では同時描記を行はなかつたから何とも云へない。確かに同時描記も益する所少くないであらう。

又兩氏等も述べてゐる様に靜的な脳波を問題とするばかりでなく、種々の刺戟に對する脳波の反應の仕方を比較検討する所謂動的實驗も此種の研究に缺くべからざるものと思はれるが此等は勿論將來の研究に俟たねばならぬ。

B: 統計的觀察

以上の如く記録した脳波を示し、疲労時の其の特性を指摘すれば疲労の判定が極めて容易の様にも見えるが、事態は決して左様に簡單ではない。其故は、以上指摘した特性の中に精神疲労時に特異と見られるものは皆無だからである。振幅や週期に關する不規則性は種々の感官刺戟又は精神的興奮の際にも亦認められ、基線のずれは人工的にさへ生じ得る。異常なる波形の出現は正常時には餘り認められないが、之とても疲労時に必ず出現するとは限らない。従つて何れか1つの特性に着目して疲労の診斷を下すことは覺束なく、総合的な判斷に俟たねばならなくなる。茲に総合的と云ふのは凡ての性状を綜合すると云ふ意味ばかりでなく長い時間内の諸變化の綜合をも意味する。正常時規則正しい波を出す人と雖も正常時の凡ての瞬間に規則正しい波を出してゐるのではない。身心の安靜時には規則正しい波を出してゐることが比較的多いと云ふ位の意味である。私かに視覺的な想像をめぐらすと云ふ様な些細なことで脳波は忽ち疲労時と同等或は夫以上に亂れ得るのである。斯る事情を考慮するならば前章に於ける吾々の敘述にも可なりの任意性が含まれてゐることが判る。そこでこの任意性を一掃して、吾々が述べて來た所が確かに疲労時の脳波の傾向を示すものであることを明かにせんが爲に吾々は次の如き統計的な取扱ひ方を試みた。先づ疲労が脳波の週期に如何なる影響を及ぼすかを知らんが爲に各被檢者の正常時及び疲労時脳波の平均週期を求め之を msec で表はし、之を其大きさの順に幾つかの群に分けた。次に各群に屬する例數を検して之を頻度分布曲線に表はして見た。第5圖の實線は正常時點線は疲労時の平均週期頻度分布曲線である。兩者を比較することによつて疲労時の分布曲線が全體として左(週期の小なる方)へずれてゐることが判る。短時間の記録であるから個々の例に就ては正常時却つて興奮してゐる瞬間を記録され、疲労時に却つてのんびりしてゐる瞬間を捉へられて結果が逆になつたものもあるかも知れないが、斯様に統計的に觀察すると疲労は確かに脳波の週期に一定方向の影響を與へてゐることが知られる。併し之が直ちに疲労の影響であるかどうかは更に検討を要する。吾々の學生は試験直後(即ち疲労時)始め

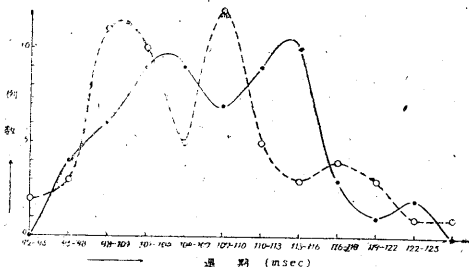
第5圖 脳波の平均週期の頻度分布曲線。
實線は正常時。點線は疲労時



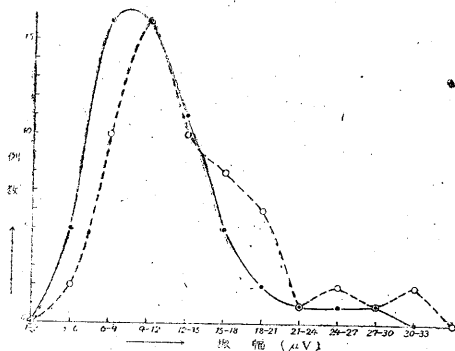
りしてゐる瞬間を捉へられて結果が逆になつたものもあるかも知れないが、斯様に統計的に觀察すると疲労は確かに脳波の週期に一定方向の影響を與へてゐることが知られる。併し之が直ちに疲労の影響であるかどうかは更に検討を要する。吾々の學生は試験直後(即ち疲労時)始め

て脳波と云ふものを撮られたのだから不安や好奇心が作用して學生は相當興奮してゐるに相違ない。所謂正常時の脳波は其後に撮つたのであるから其時は學生の多くは既に馴れて平氣になつてゐるに相違ない。興奮時には平均週期は減少するのが普通だから上記の分布曲線のずれは其爲に生じたものではなからうか。吾々は此異議に答へる爲に對照實驗を行つた。此實驗は他の目的もあつたので單極誘導法を用ひたが、所要の關係は誘導法によつて異なると云ふ理由も

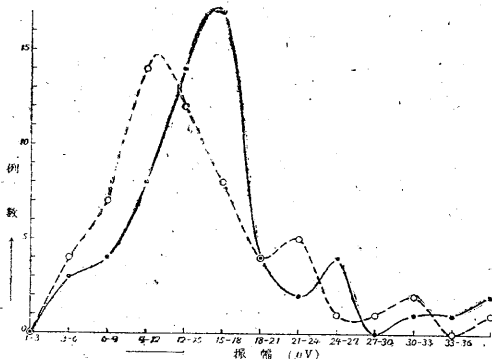
第 6 圖 脳波の平均週期の頻度分布曲線 (對照實驗) 説明本文



第 7 圖 脳波の平均振幅の頻度分布曲線 實線は正常時、點線は疲労時。



第 8 圖 脳波の平均振幅の頻度分布曲線 (對照實驗) 説明本文



ないから充分對照として役立つ。其結果を同じく分布曲線の形として第 6 圖に示さう。茲では第 1 回(實驗疲労時に對應すべきもの)は點線で表はし、第 2 回實驗は實線で示してある。此結果から見ると正常時と疲労時の比較に見られた様な著明な曲線のずれは認められないが初回目の週期は幾分第 2 回目ものよりも小さいから異議を申立てる理由が充分にあつたことが判る。併し疲労時の平均週期の減少はそれが初回であつたと云ふ理由にも幾分は依るとしても其外に疲労自身が影響してゐること明かである。

次に同様の頻度分布曲線を平均振幅に就て描いて見ると(第 7 圖)疲労時の振幅分布曲線(點線)は平常時の夫に比し右(振幅の増す方向)にずれてゐる。然るに對照實驗では初回目の分布曲線(點線)は第 2 回目もの夫(實線)に比し左の方へずれてゐる(第 8 圖参照)。此左方へのずれは初回目の不安・好奇心等により脳波の振幅が減少せしめられた結果である。然るに疲労時の脳波は初回に撮られたにも拘はらず對照實驗とは逆に概して平常時よりも大きく現はれたと云ふことは特に注目すべきことである。

脳波平均振幅を 58 名に就て更に平均をとれば正常時 11.2 μ V, 疲労時 13.6 μ V であつて疲労時には平均 21.4% の増加を

ら眞の増加又は減少であるかは判らないとしても兎も角、週期も振幅も共に減少する様に現はれた例は 27.6% あり、週期は減ずるも振幅の増加する様に見えるものが 62.1% の多きに達してゐる。週期が不変か又は増加するものは全例の 10% であつた。

又週期、振幅及び連続度の變化の程度を示さんが爲に第 2, 3 表に其内譯を掲げよう。之によれば週期の減少は 2~6% のものが大多数であり、振幅の變化は 20~30% のものが大多数である。今記載の便宜上週期も振幅も共に減少するものを第 1 型、週期は減少するも振幅が増加するものを第 2 型と名づけるならば此 2 つの型では連続度の變化が異つてゐる。即ち第 1 型では概して連続度は減少してゐるが第 2 型では連続度の増減は不定である。

振幅の變化率が週期の夫よりも大きいのは殆んど凡ての場合に認められる現象である。

各種の感官刺激が脳波に及ぼす影響をやはり統計量によつて表はして見ると第 4 表に示す如く脳波の三要素即ち週期・振幅・連続度は何れの刺激或は何れの興奮に於ても減少することが判る。吾々の第 1 型に於てはやはり此三要素が等しく減少したのであるから第 1 型は興奮時の所見と質的には區別出來ない譯である。然らば量的に區別出來るか云へばそれも覺束なく疲労第 1 型は弱刺激による脳波の變化と區別出來ない。唯刺激による變化は原因が去れば恢復するが疲労時の變化は之に比して持続的であると云ふ點が異なるだけである。

平均週期が減少しながら平均振幅が増すと云ふことは興奮や刺激だけでは起り得ない。従つて吾々の所謂第 2 型は或程度まで疲労に特有かと思はれる。併し平均週期と云ひ平均振幅と云ひ各人について一定してゐる譯ではなく或幅を持つてゐるのであるから平均週期が減じて平均振幅が増すと云ふことは偶然にも起り得ないことはない。そこで吾々の觀察した第 2 型が偶然の産物であるかどうか對照實驗と比較して見ればよい。

對照實驗では偶然によつて見かけ上の第 1 型、第 2 型が現はれる譯であるが 41 名の中 28 名が見掛上第 1 型、13 名が見掛上第 2 型であつた。之に反して疲労實驗では 52 名中第 1 型が 16 名、第 2 型が 36 名であつて第 1, 第 2 型の比率が對照實驗とは全く異なる。小數例の理論を適用すれば疲労實驗では對照よりも第 2 型が多いと結論しても 1 萬回に約 3 回しか誤りが無い勘定になる。即ち吾々の第 2 型は偶然の所産ではないことになる。

學生の試験時の疲労の如き場合は極めて少ないが平均週期も平均振幅も共に増加する型も存在する様である。EEG の所見では δ 波に屬する大きな波が現はれる場合が此型である。

IV. 考 察

個々の學生が試験の直後、本當に所謂正常時よりも精神的に疲労してゐたかどうかは固より明かでない。疲労感の供述と脳波の所見との間に相關があるかどうか調査して見たが陽性の成績は得られなかつた。供述の睡眠時間との間にも特別の關係は認められなかつた。

恐らく個人によつて睡眠不足に對する抵抗が異なるからであらう。脳波の所見の生理學的意味づけは何か他の精神疲労の徴候と比較して始めて可能となる譯であるが適當な客觀的精神疲

勞の徴候が無いので甚だ困難を感じる。従つて以下述べる所は半ば著者等の想像であり、將來の研究によつて決定すべき問題であることを附言しなければならない。

吾々の疲勞第1型は興奮の所見と擇ぶ所がないから軽度の疲勞の徴候と解したい。此考へを裏書きする事實も無くはない。例へば實驗室内で軽度の精神作業を行つた後では常に第1型が證明されること(タイプライターを數時間に亘つてたゞかせて實驗するのが最も都合がよい)、試験直後學生は疲れてぐつたりしてゐると云ふよりも可なり興奮してゐる様に見うけられたものが多かつたこと、疲勞時にはいらいらして氣持に落ち着きが無いことは吾々の屢々經驗することである事等である。

吾々の疲勞第2型は更に疲勞の程度の進んだ徴候と解し度い。著者等の中の1人が夜行列車で行旅し睡眠不足及び極度の疲勞を感じてゐる時に明かに第2型の所見が認められた。第2型では平均週期が減少してゐることは興奮の所見に一致するが平均振幅が増加してゐることは無念無想に一致する。そこで精神疲勞時には興奮と放心状態が相錯綜して第2型の所見を呈するのではなからうかと考へられる。

更に疲勞の度が高度になると δ 波の如き異常波が現はれる様になり平均振幅も平均週期も共に増加する様になるのではあるまいか。今此型を假に第3型と呼ぶならば疲勞脳波の第1, 第2, 第3型は夫々疲勞第1, 第2, 第3度に相當するのではあるまいかと考へられる。疲勞第3型の脳波は痴呆症の脳波, 睡眠時の脳波等と一脈相通するものがある。

中・山田兩氏によれば低壓室内での脳波は最初平均振幅が減じ續いて平均振幅が増加する時期が認められると云ふ。中樞神経系の酸素不足の程度に應じて吾々の所謂第1, 第2, 第3型が現はれるとすれば上記の解釋もあながち荒唐無稽ではない様な氣がする。

次に脳波を精神疲勞の診斷に用ひ得るかと云ふことに就て一言する。脳波が精神疲勞に對して可なり敏感であることは上述の通りである。タイプライターたゞきの如き軽度の精神作業によつて直ちに明瞭に現はれて來る生理的變化は脳波を描いて他にあるまい。此意味に於て脳波は最も有力な武器たるを失はないであらう。所が脳波には個人差が著しくて唯1回の検査では餘程所見が著しくないと判斷を下せないから正常時の脳波を熟知して置いて疲勞時のものと比較して判斷することがどうしても必要である。又脳波は瞬間々々の腦の状態は之を表はし得るが連續状態を脳波によつて知らんが爲に連續撮影が必要となつて實施に困難を伴ふ。所が吾々が疲勞と呼んでゐるものは瞬間の状態を指すのではなくて可なりの長時間に亘る一般状態を指すのであるから上述の困難を克服しなければ脳波によつて精神疲勞の診斷を下すことは出來ない。若し連續描記して之を分析することが煩に堪へないならば短時間の觀察で全體の状態を窺ひ知ることが出来る様な方法を求めねばならぬ。換言すれば法則性を確立しなければならぬ。本研究は此法則性の確立を目指したものであるが極めて短時間の觀察で充分確實に疲勞を診斷し得るまでには到つてゐない。現在の處では正常時と疲勞時の各々に就て可なりの時間觀察し

て上述した如き所見が認められるか否かを検することが最も確實な方法である。併し今後の研究によつて脳波の疲労法則が確立せられるか或は適當な動的方法が発見せられて瞬間的に疲労の徴候を掴むことが出来る様になればもつと實用性が増すことであらう。今後の研究を切望して止まない次第である。

V. 摘 要

學生 58 名の試験直後の脳波と正常時の脳波とを同一條件の下で描記比較して精神疲労の脳波に及ぼす影響を研究した。

1. 疲労時の脳波は振幅週期波形等不規則である。
2. 週期の平均値は正常時よりも減ることが多く、振幅の平均値は却つて増加することが多い。連続度は減ることも増すこともある。
3. 軽度の精神疲労では興奮時と等しく平均週期も平均振幅も減少し、連続度は小さくなる。疲労度の高い場合には振幅の増大が認められる様である。更に高度の精神疲労では振幅も週期も増加するらしい。
4. 脳波は精神疲労に對して敏感であるから用ひ方によつては其診斷に役立つ。併し目下の處では可なりの長時間に亘つて觀察しないと軽度の精神疲労の場合には普通の精神的興奮と間違ひ易い。

文 獻

- 1) Grüttner, R. u. A. Bonkalo, (1940) Arch. f. Psychiat. 111 652
- 2) 本川弘一 (1943) 日新醫學 32 188, 281
- 3) Motokawa, K. (1944) Tohoku J. Exp. Hed. 45 309

Adrenaline に依る大動脈の收縮過程に就て 612.18

(慈大辛酉會補助に依る研究)

東京慈惠會醫科大學臨床研究室

市河三太

Itikawa-Santa

(昭和19年5月15日受付)

I. 緒言

血管生理學の分野に於て今迄に爲されて來た研究は、主として微細な血管に關するものであり、大きな血管、特に大動脈に就ての研究は極めて少い(2, 5).

私はその研究の端著として、微細な血管に於てその tonus 保有に重大な關係を持つと云はれてゐる(3) adrenaline を用ひ、それに依つて大動脈の收縮して行く過程を調べた。

II. 實驗方法

實驗は1944年3月下旬から4月に之を行つた。

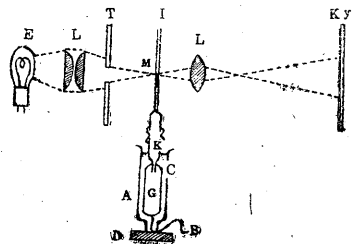
蟾 (*Bufo vulgaris formosus*) の A. sinistra et dextra の合流部以下より A. ilica communis の分れる前迄を灌流し、A. urogenitalis は凡て結紮して A. descendens を摘出、實驗に供した。

實驗裝置は第1圖に示した。即ち、動脈 Kanule は之を毛細管に連絡し約 40 mm H₂O の内壓を血管に加へ次で生體内に於けるのと同じ長さ迄、Bなる絲で血管を伸展し、次で Cなる筒内に 1.8 cc の Ringer-Sozi 氏液を入れその中に摘出した血管を裝置した。筒の上口より所要の濃度より一桁高い濃度の adrenaline を 0.2 cc 靜かに滴下する事に依り血管に所要濃度の adrenaline を作用させた。

血管の收縮は毛細管内の水の上昇に依り之を知り得る。Meniscus, M. の移動を Lens にて擴大し、寫眞 Kymographion で撮影した。毛細管内の meniscus の動きが 1 cm である時は、血管より約 0.0025 cc の水が排出され血管は約 35% 收縮した事となる。

第1圖 實驗裝置

- | | |
|--------|---------------------|
| A: 注射筒 | K: Kanule |
| B: 絲 | I: 毛細管 |
| D: ゴム | Ky: 寫眞 Kymographion |
| E: 光源 | ion |
| G: 大動脈 | L: レンズ |
| | T: 格子 |

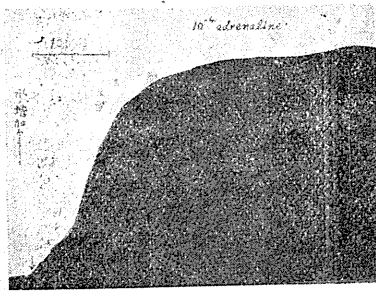


III. 實驗結果

血管を摘出、装置後は血管は収縮の状態にあるが約 15 分程後には殆んど静止する。

此の時、 10^{-4} adrenaline を作用させると初めは筒内の液量が増す爲血管には外圧が作用し、毛細管内の液は急激に上昇する。本装置で、adrenaline 滴下と殆んど同時に筒内全體に adre-

第 2 圖 adrenaline に依る収縮過程
↓adrenaline 滴下



naline が擴散する事は、Patent-blau を加へて滴下した場合滴下後直ちに筒内に擴がる事に依り認め得る。

血管の収縮過程は第 2 圖に示した様に、作用後約 50 秒迄は血管の収縮は緩慢であるがそれ以後になつて急激に収縮を始め、120 秒程で再び緩慢になり 200 秒程後で収縮は最高に達し、約 30% の収縮を見た。其の後は収縮は殆んど見られず時に週期的の収縮を僅かに行ふが大體静止するか又は、漸次擴張して行くのを見た。即ち

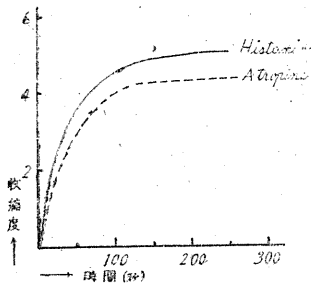
大體 S 字狀をなして収縮した。

次に adrenaline の有效濃度には個體差が強く、又同一血管でも標本の新舊に依つて差が強いので濃度と収縮高との關係に就ては之を詳かに檢索する事が出来なかつたが、大體高濃度程、収縮程度は高く、又収縮後の擴張が見られなかつた。然し収縮過程は濃度に關係なく同一であつた。

IV. 他の血管劑との差異

上述の様に、adrenaline に依る大きな血管の収縮過程は大體 S 字狀を爲してゐるが、adrenaline 以外の血管劑を用ひた場合は必ずしも此の様な収縮過程を示さない。即ち或る藥劑では

第 3 圖 10^{-4} Histamine と 10^{-3} Atropine に依る収縮過程



収縮過程は大體二次曲線を畫いた。今 histamine の場合を示すと作用後 20~60 秒の間が収縮速度最も大であり、其後は漸次緩慢になり、100~150 秒程後で収縮は最高に達した(第 3 圖)。

atropine は渡邊(5)に依れば、 10^{-3} 溶液を作用させても収縮は見られないと稱し、又元村(2)は、伸展抵抗を減少せしめる、換言すれば血管の tonus を減退せしめると稱してゐるが私の場合には明かに収縮を示した。然し、adrenaline と比較すると収縮は弱く 10^{-3} 溶液で約 10.8%

の収縮を示した。

adrenaline, K ion (1) は微細な血管を収縮させるが、histamine (4) では正常血行に於ては濃度の如何に係らず擴張的に働き、atropine (9) は擴張的に働くが、本實驗に於ては凡て収縮を示した。此の収縮性と云ふ事に就ては後に機を見て實驗考察しようと思ふ。

尙 10^{-4} histamine, 1% KCl 溶液も 10^{-4} adrenaline よりは大動脈の収縮度が弱かつた。

V. 結 語

1. 大動脈は adrenaline 其他の血管劑に依つて作用を受けるが微細な血管に比べて著しく收縮性は弱く、高濃度の溶液で始めて收縮を示した。
2. adrenaline に依る收縮過程は大體 S 字狀をなし、1つの不應期の様なものを経て後、急激に收縮し始め約 200 秒程で收縮は停止する。
3. 收縮過程は他の血管劑, histamine, KCl 及び atropin と同一ではない。即ち, adrenaline に依る時は S 字狀であるのに對し, histamine 等では二次曲線を畫いた。
4. atropin は 10^{-3} 溶液で血管の收縮を見た。

文 獻

- 1) 市川三太 (1943) 日本生理誌 8 684
- 2) 元村 馨 (1938) 日新醫學 27 1259, 1377
- 3) 西丸和義・飯塚壽夫・篠崎尙次 (1943) 日本生理誌 8 54
- 4) 篠崎尙次 (1943) 日本生理誌 8 487
- 5) 渡邊嘉造伊 (1943) 日本生理誌 8 546
- 6) 横山 卓 (1938) 成醫會誌 57 1327

温上昇の小血管に及ぼす影響に就て 612.59.018

(藤大辛酉會補助に依る研究)

東京慈惠會醫科大學臨床研究室

福 場 友 重

Hukuba-Tomosige

(昭和 19 年 5 月 15 日受付)

I. 緒 言

温上昇の血管に及ぼす作用に就ては、中川 (3) 及びその門下に依れば、哺乳動物の冠狀動脈は 30°C に於て最も擴大すると云ひ、Krough (2) は蛙の舌を室温以上の温度に保つた時、小血管の擴張と鬱血を見、此の現象は cocaine の作用に依つて消失したので axon reflex に依るものであらうと云ひ其上豫期に反し局所を 2°C に冷却する事に依つて、血管は初期の收縮無しに擴張するのを見、又人體皮膚毛細管に於ては、皮膚温以上の温上昇に對する反應として、冷却の際に見られる様な初期收縮を見なかつたと記載してゐる。田坂 (4) は蛙後肢を、Ringer 氏液で灌流して温度の影響を見に所、一定の成績を得なかつたと報告した。陳 (5) は墓後肢血管灌流實驗に於ては 20°C に於て灌流量最大に達し、又蛙蹠膜血管直接觀察に於ても 20°C に於て著明に擴張するのを見、蛙腸間膜血管では 30°C で最も擴張すると云つてゐる。而して此等は中樞神經には無關係であつたと云つてゐる。

又、木内 (1) は温度が色素粒子の血管壁透過に及ぼす影響を蛙腸間膜小血管系に就て觀察し、 $6\sim 35^{\circ}\text{C}$ の間に於て、温上昇に比例して色素に對する血管壁の透過性が亢進するのを認めた。

以上の様に、温上昇の血管に及ぼす影響並びにその機轉に就ては明かでないものが多々あると考へ蛙蹠膜直接觀察法に依つて實驗を行つたので報告する。

II. 實 驗

A. 實驗方法

蛙 (*Rana nigromaculata* Hall) の體重 $10\sim 15\text{g}$ を、curare 麻酔 (0.1% curare, $0.5\sim 0.75\text{cc}$ 腹部淋巴囊内注射) 後、先に陳 (5) が行つた方法に従つて實驗を行ひ、裝置は小恒温槽内に蹠膜を浸し、絶へず室温水を以て浴槽内を灌流し、灌流液の切換を行ひ大約室温より 10°C 内外高くする事に依り温上昇の蹠膜小血管に及ぼす影響を水浸 Lens を付したる顯微鏡 (280 \times) 下に觀察し、その小血管口径を ocular micrometer で測定した。高温持續時間 2 \sim 3 分で室温水に切換へた。實驗は昭和 17 年 11 \sim 12 月及び翌年 6 月に之を行つた (表及び圖に於ける時間は浴槽内に設けた寒暖計の温上昇と共に測り始めた)。

B. 實驗結果

1. 温上昇の小血管に及ぼす影響

第 1 表に示す様に、温上昇を行ふと初めには血管口径及び血行共に変化を見なかつたが 30 秒前後に於て、著しい一過性収縮が小動脈、分岐毛細管に涉つて見られる。而して此の際血行は緩徐となり、時には内腔は消失して血行の停止を見る事もあつた。此の著しい収縮に際しては網状毛細管、集合毛細管、小静脈はその口径に変化無く、上位部収縮に伴ふ血行の緩徐、或は一時的の血行停止が見られた。上位部の小血管に見られる一過性収縮の持続時間は區々であるが、其の後次第に血行の恢復と共に小動脈、分岐毛細管に涉り血管口径は舊に復するか、僅かに増加するのが見られた。此の際、元の口径に對する収縮率がそれに續く擴張率よりも大であつた事が目に付いた（小動脈に於て、収縮率は 12 例平均 48%、夫に次ぐ擴張率平均 21%であつた）。

又、網状毛細管、集合毛細管、小静脈に於ては血行の恢復と共に passive の僅かな口径の増加を見るが、或は殆ど変化を見なかつた。

第 1 表

1. 小動脈					2. 分岐毛細管				
温 度	22°C	温 上 昇	34°C	34°C	温 度	22°C	温 上 昇	33°C	33°C
血管口径 (所要時間)	16.4 μ	→	8.2 μ	→ 22.6 μ (15')	血管口径 (所要時間)	8.2 μ	→	4.1 μ	→ 12.3 μ (20')
増減率			-50%	+38%	増減率			-50%	+50%
3. 網状毛細管					4. 集合毛細管				
温 度	26°C	温 上 昇	35°C	33°C	温 度	23°C	温 上 昇	31°C	31°C
血管口径 (所要時間)	8.2 μ	→	8.2 μ	→ 8.2 μ (30')	血管口径 (所要時間)	20.5 μ	→	20.5 μ	→ 22.6 μ (30')
増減率			0%	0%	増減率			0%	+10%
5. 小静脈									
温 度	23°C	温 上 昇	31°C	31°C					
血管口径 (所要時間)	32.8 μ	→	32.8 μ	→ 32.8 μ (30')					
増減率			0%	+13%					

血行が盛となるに従つて、小動脈及び分岐部の収縮に依つて支配区域の血行調節をなすのが見られた。又、2~3 分高温水作用後、低温に切換へる時は間もなく血行は非常に盛となつて、口径も亦温上昇時よりも遙に増加するのが見られた。

急速なる温上昇に依り、30 秒前後に見

られる一過性収縮及び夫に次ぐ擴張が、中樞との關係を有するか否かに就ての檢索を行ふ爲、上記反應の著しい小動脈、分岐毛細管に就て次の實驗を行つた。

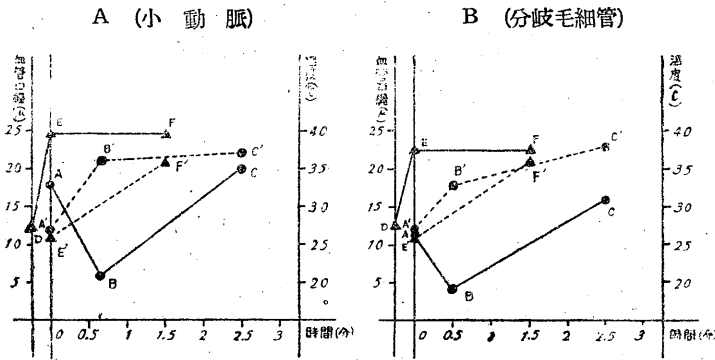
2. 坐骨神經切斷に依り中樞との關係を斷つた場合

A) 切斷直後の温上昇に就て

坐骨神經切斷前に於て反應の見られた小動脈、分岐毛細管に於て、坐骨神經切斷直後に全ての血管が擴張して血流が非常に速い時に温上昇せしめた所、30 秒前後に見られた一過性の收縮も無く、血行の變化も見なかつた(第 1 圖 A, B)。

之は最大の口径を示した各部位血管に就ても同じであつた。

第 1 圖 坐骨神經切斷直後

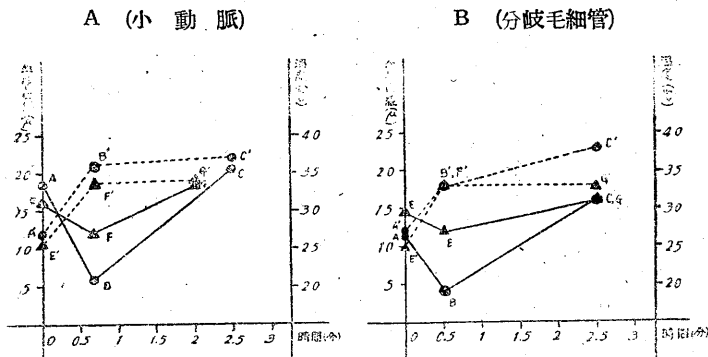


- i) 點線は温度の變化、實線は血管口径の變化を示す。
- ii) A—B—C } 坐骨神經切斷前
 A'—B'—C' }
 E—F } 坐骨神經切斷直後
 E'—F' } (但、D は坐骨神經切斷前口径)

B) 切斷後血管口径が舊に復した場合に就て

坐骨神經切斷後 13 時間を経過して、血管口径が舊に復したのを確かめて後、温度を上昇す

第 2 圖 坐骨神經切斷 13 時間後



- i) 點線は温度の變化、實線は血管口径の變化を示す。
- ii) A—B—C } 坐骨神經切斷前
 A'—B'—C' }
 E—F } 坐骨神經切斷 13 時間後
 E'—F' }

ると切斷前と同じく一過性收縮を 30 秒前後に於て見、然る後血管口径は舊に復するか又僅かに増加するのが見られた(第 2 圖 A, B)。

III. 總括及び考察

1. 急速なる温上昇に對して蹠膜小血管系に於ては、30 秒前後に於て小動脈、分岐毛細管に涉り著しい一過性收縮を見たが、此の現象は小血管の他の部位に於ては見られなかつた。之は Rouget 氏細胞の分布と大體一致する所から、之等の部位に於ける active の收縮に依るものであらうと考へられる。弱擴大で觀察すると、30 秒前後に見られる一過性收縮の著しい際、殆ど全小血管系に涉り血行の停止が見られるが、時には小動脈の一部に尙、血行の存するのが見られた。

2. 温上昇に際しての擴張は一過性收縮に比して著しく無く、又坐骨神經切斷に依る血管口径の擴張に及ばない事、又夫が血行恢復と同時に見られる點等から考察すると、正常血行に於ては温上昇に對する擴張は著しいものでは無いと思はれる。

3. 2~3 分高温を持続して、低温の室温水に返すと共に次第に血行は盛となり、温上昇時よりも更に口径の増加が見られたのは興味ある點であるが、之に就ては後日の検索を俟つ事としたい。

4. 坐骨神經切斷直後に於て、血管が最大の口径を有する際、温上昇に依つては如何なる變化も見なかつた。

5. 坐骨神經切斷後、血管口径が舊に復した時に於ては、切斷前と同じく小動脈、分岐毛細管に於て一過性收縮及び夫に次ぐ僅かな擴張が見られる點から、蹠膜小血管系の温上昇に對する反應は、中樞との連絡無く行はれるものであるが、此が Krough の云ふ様に、axon reflex に依るものか、或は物質代謝産物の影響に依るものか、夫等の機轉に就ての検索は後日に譲り度い。

IV. 結 語

生理的範圍内と思考される温上昇に對し、蹠膜小血管系は、中樞と無關係に小動脈、分岐毛細管は温上昇後 30 秒前後にして毎常著しい一過性收縮を示し、然る後擴張するのが觀察された。

文 獻

- 1) 木内 茂 (1936) 成醫會誌 55 1565
- 2) Krogh, A. (1930) The Anatomy and Physiology of Capillaries Yale press, 167
- 3) Nakagawa, T. (1922) J. of Physiol. 56 340
- 4) 田坂義雄 (1930) 大阪醫學誌 29 4107
- 5) 陳 錫元 (1935) 成醫會誌 54 1014

竊心房室傳導系に於ける干涉期と温度の關係に就て 612.172. 61

(本研究は昭和17年度文部省科學研究費に依る)

金澤醫科大學生理學教室

織 部 道 雄

Oribe-Mitio

(昭和 19 年 5 月 22 日受付)

I. 緒 論

Lewis & Master (2) は犬心の房室傳導系の傳導恢復に關する研究に於て、恢復の初期には興奮が心室まで到達しないに拘らず次の傳導に影響して傳導時間を延長させる時期の存在する事を發見して、之は興奮が傳導系の途中まで進入して消滅した爲と解釋し、此の時期を干涉期 (The phase of interference) と名付けた。その實驗は次の通りである。心房に律動性刺戟を與へつゝそのリズムを漸次増加する時は遂には房室間に 2:1 ブロックを起す。然るに此の時の傳導時間はそのリズムを半減した時の傳導時間に比較して大である。従つて心室に傳はらなかつた刺戟も、傳導系の不應期に落ちて全然傳導系に進入し得なかつたのではなくて、その途中まで進入したものと考へねばならない。又同様に刺戟リズムを半減した時に、その週期の中央部附近に期外刺戟を間投して心房の介在性期外收縮を起させる時は、次の傳導時間を延長させる。此の延長は期外收縮の後期なる程大であるが、充分後期になるとそれは遂に心室まで傳はり、その代りに次の傳導を遮斷する。即ち干涉期中に於て後期なる程興奮が深く傳導系中に進入する事を知る。

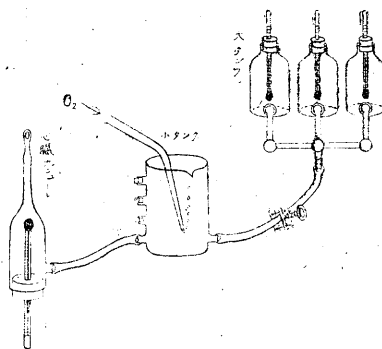
以上の成績に基いて Lewis & Master は犬心に於て干涉期の存在を證明したのであるが、翻つて竊心の房室及び竇房傳導系に就ては、當教室に於て上野教授及び上野 (4) 及び上野 (7, 8) は干涉期の存在を否定した。即ち彼等は心房刺戟の全リズム (2:1 ブロックを起すリズムを云ふ) の場合と半リズムの場合とを比較して傳導時間に通常差異なき事、又時として全リズムの傳導時間が幾分大なる事もあるが、それは心房壁に於ける傳導遲滯として理解出来る事を述べた。殊に上野 (9) は半リズムに於ける介在性期外收縮の實驗をも行つて干涉期の存在を全く否定したのである。

然るに之等の實驗は通常室温 20°C 内外、又は夫以上の環境に於て行はれたものであつて、其の後上野教授は (5, 6) 冬期室温 9°C 内外の時の實驗例中に心室の介在性期外收縮が心房まで逆行しないに拘らず次の傳導時間を延長させ、且その延長が期外收縮の後期なる程大となつた例を見出して、竊心に於ては低温度に於てのみ干涉期が存在すると主張した。然し乍ら此の

所見は逆傳導に關してであり、又多くの實驗例中偶然見出した少數例に過ぎない故、著者は房室間の正傳導に就き低温度に於て常に必ず干涉期の存在を確認し得るや否やを決定せんと欲して本實驗に着手したのである。

II. 實驗方法

實驗は2~3月に亘りて行つた。墓の雌雄を問はず體重220~500g、平均370gのものを用ひ、脊髄穿刺を行ふか、又は25%のUrethanを體重70gに就き1ccの割合に腰薦部淋巴腔に注射して麻酔し、心臟を露出して後大靜脈、左右大靜脈を除く他の總ての血管を結紮切斷し、後大靜脈に第1圖に示す様なカニューレを挿入して靜脈竇よりも遠心部で結紮し、直ちに左右大靜脈を切斷して高野氏液で灌流しながら心臟を體より取出し、心房と心室の收縮が良く分離して描記される様に注意し、堤狀部を有するコルク板に針で固定する。セルフインを介して心尖部にはEngelmann氏型、左心房には郷原氏型描記槓杆を附着させ、東大藥理型キモグラフィオン上の煤紙に搏動を描記させた。



第1圖 灌流装置(各部の寸法は本文に附記する)

灌流液の温度變更には恒温槽を用ひるのは反つて不便が多いので、所要温度の高野氏液を約3l入の硝子製大タンク(下口付の硝子瓶を利用)に入れ、之を容量約30ccの硝子製小タンクに導き此の部で酸素を飽和させる。小タンクの上部には種々の高さの孔を開き(第1圖)その高さを變へて心臟に加はる壓を加減するのである。普通その壓は2~3cm液柱とした。小タンクの底部よりカニューレに連結する。連結に使用するゴム管を成る可く短くして置けば室温に依り温度の變化する事が極めて少くて済み、實驗中灌流液の温度の變化する事は殆どない。小タンクよりは常に液が溢れ出る様に調節して置けば多數のMariotte瓶を用ひる事なく任意の恒温の高野氏液を心搏の遲速に無關係に常に同壓で供給する事が出来る。

實驗温度を變更するには大タンクを2つ以上用ひて小タンクと夫等との間に活栓付多分岐管の切替に依り簡單に行はれる。但し此處に注意して置きたい事は大タンク内の高野氏液の温度差を各5°C以内として置く。然る時は小タンク内に於て混合して更に徐々に温度が上昇又は降下して急激な温度變化を防ぎ得る。實驗はカニューレに挿入された寒暖計の讀みが一定になつた後、約10分を経て行つた。尙實驗温度の範圍は7~16°Cであるから室温はその中間になる様に調節し、その平均は13.3°Cである。

律動性刺激及び期外刺激は上野教授考案(上野武治記載9)の廻轉斷續器と2Vの蓄電池で働かせる2個のPorter型感應電流器(コイル間隔1~2cm)を使用し、三極真空管に依り

閉鎖感應電流を短絡して開放感應電流のみを用ひた。律動性刺戟の週期は電動機回路の抵抗を加減する事に依り、又期外刺戟の位置に廻轉斷續器の褶動子を移動する事に依り任意に變更した。

尙律動性刺戟の週期は Lewis & Master (2) の様に刺戟週期を逐次上昇させて房室間に 2:1 ブロックが起つた時の半分のリズムである。刺戟は總て左心房で房室境界より約 5mm の部分に白金電極で與へた。時標は Jacquet 型時計で 1 秒を描かせ、收縮曲線は日本光學製 0.1 mm 硝子標準尺で計測した。測定點は收縮曲線の起始部である。

III. 實驗成績

實驗は灌流液温を 15°C 内外, 12°C 内外, 9°C 内外の 3 様に交互に變化させ、同一標本に就て常に數回の實驗を行つた。

本篇に於ては間投刺戟に依る房、室の介在性期外收縮を A_E, V_E を以て現はし、期外收縮の直前の房收縮を A_1 同しく直後の房收縮を A_2 とし、以下順次に A_3, A_4 とし、室收縮の番號も之に準ずる。而して A_1-A_E は房期外收縮生起の時期、 $A_1-V_1, A_E-V_E, A_2-V_2, \dots$ は夫々の傳導時間を現はす。本篇の目的は A_E-V_E が無限大なる場合に A_2-V_2 が A_1-V_1 に比して延長するや否やを検索する事である。然るに低温度に於ては $A-V$ の動搖が可なり大であり、又上述の如く心房壁に於ける傳導遲滯も影響する故之等の點を顧慮すると同時に、一方には A_1-A_E を横軸に、 A_2-V_2 を縦軸に採りて A_2-V_2 曲線を描き、それが横軸に平行なる間は全體延長のないものと判定したのである。成績は先づ 2, 3 の例を擧げて説明する。

實驗例 1. 標本 18, 5/III, 室温 18°C

本例は灌流液温を第 1 回に 15°C, 第 2 回に 8°C, 第 3 回に 10°C, 第 4 回に 16°C, 第 5 回に 13°C に變化させて實驗したものである。第 1 表 標本 18, 第 1 回實驗, 液温 15°C (單位秒) 刺戟週期 $(A-A) = 17.8$ 秒, $(A_1-V_1) = 0.57 (0.54 \sim 0.61)$ 秒

週期の中央	A_1-A_E	A_E-V_E	A_2-V_2	A_3-V_3
	.86	∞	.61	.58
	.87	∞	.60	.57
.85 →	.95	∞	.67	.60
	.94	∞	.68	.57
	.97	∞	.74	.61
1.06	∞	∞	∞	.52

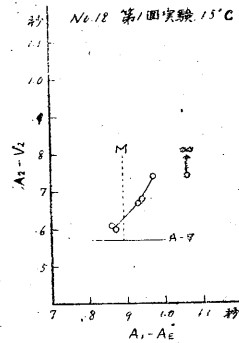
($A-A$) は平均 1.78 秒で、之が上述の半リズムに相當する週期である。而してその中央は 0.89 秒、 A_1-V_1 の平均は 0.57 秒である。第 1 表を見ると此の中央より前の 2 期外收縮では A_2-V_2 が 0.61 秒で、 A_1-V_1 の平均よりも少しく延長して見えるが、之は A_1-V_1 の動搖範圍に屬するのみならず、心房壁中に於ける傳導遲滯としても可能である。然し中央以後では A_2-V_2 は明に A_1-V_1 よりも大きい故之を A_E の干涉に依るものと見做さねばならない。而して干涉期の開始は 0.87 秒と 0.93 秒の間にある譯である。又 A_2-V_2 の延長は A_E の後期なる程強く、 A_1-A_E の 1.06 秒の時には A_2-V_2 も遂に無限大となつた。之は干涉の極大である。第 2 圖を見ると曲線は恰も傳導恢復曲線を左右逆轉した形を呈する。本例では A_E-V_E が有限値になるべき A_1-V_E を求めて無いから干涉期の終りは明瞭でないが、1.06 秒より後な

る事は明である。然し又 1.06 秒よりも遙か後とは考へられない。故に曲線の形も参考にして、干涉期の長さは大體 1.06-0.87=0.19 秒と推定される。第 1 表に於て A_3-V_3 も A_E の後期の時延長し、 A_2-V_2 が無限大になつた時少しく短縮して見えるが、夫等の變化は A_1-V_1 の正常動搖に比較して未だ充分有意義とは云へない。

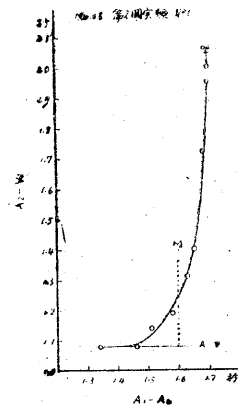
次に第 2 回液温 8°C の成績は第 2 表と第 3 圖に示す。刺戟週期は 3.20 秒、その中央は 1.60 秒、 A_1-V_1 の平均は 1.08 秒であるが、動搖は 1.04~1.13 秒の大きな範圍である。故に第 2 表に於て A_2-V_2 の延長は A_1-A_E の 1.58 秒以後確實と云ふべく、又 A_2-V_2 、 A_3-V_3 共に A_E の後期なる程延長甚しく、 A_2-V_2 は最後の 2 箇の A_E に於て無限大となつたが、 A_3-V_3 もその前の 2 箇の A_E に於て A_2-V_2 の延長著大なるに影響

第 2 表 標本 18, 第 2 回實驗, 液温 8°C
刺戟週期 (A-A)=3.20 秒, (A_1-V_1) =
1.08 (1.08~1.13 秒)

週期の中央	A_1-A_E	A_2-A_1	A_2-V_2	A_3-V_3
	1.34	∞	1.08	1.08
	1.45	∞	1.08	1.08
	1.51	∞	1.14	1.11
	1.58	∞	1.19	1.13
1.60 →	1.65	∞	1.31	1.20
	1.65	∞	1.40	1.24
	1.68	∞	1.72	∞
	1.70	∞	1.95	∞
	1.70	∞	∞	.97
	1.80	∞	∞	1.01



第 2 圖 心室の生起期外収縮の生起時期(A_1-V_1)と次の傳導時期(A_2-V_2)の關係
(M : 週期の中央, 極限は正常の $A-V$)



第 3 圖 心室の生起期外収縮の生起時期(A_1-V_1)と次の傳導時期(A_2-V_2)の關係
(M : 週期の中央, 極限は正常の $A-V$)

されて無限大となつた。而して A_2-V_2 の無限大なる場合には A_3-V_3 は明に短縮した。即ち本例の如き低温度の場合には A_2-V_2 のみならず A_3-V_3 にまで明瞭な影響が認められるのである。而して第 3 圖の A_2-V_2 曲線の形を参考とする時は、干涉期の長さは大略 1.80-1.46=0.34 秒と推定される。

第 3 回(液温 10°C)の成績は第 2 回の成績と接近し、第 4 回(液温 16°C)の成績も大體第 1 回の成績に接近して居る故之を省略して、第 5 回(液温 13°C)の成績を第 3 表と第 4 圖に掲げた。刺戟週期は 2.78 秒、その中央は 1.39 秒、 A_1-V_1 は 0.77 (0.74~0.83) 秒である。第 3 表を見れば A_2-V_2 は A_1-A_E の 1.28 秒の頃より延長し始め、1.63 秒に到つて A_E-V_E が有限値になると同時に A_2-V_2 は無限大になつた。本例に於ては明に 1.62 秒が干涉期の終りである故に第 4 圖の A_2-V_2 曲線の形を参照して干涉期の長さを 1.62-1.24=0.38 秒を確定出来る。 A_3-V_3 の變化は第 1 回と同様必ずしも充分有意義とは云へない。 A_E-V_E

第3表 標本 18, 第5回實驗, 液温 13°C

刺戟週期 (A-A) = 2.78 秒, (A₁-V₁)
= 0.77 (0.74~0.83) 秒

週期の中央	A ₁ -A _E	A _E -V _E	A ₂ -V ₂	A ₃ -V ₃
	1.02	∞	.80	.76
	1.19	∞	.80	.74
	1.24	∞	.79	.74
	1.28	∞	.85	.88
	1.28	∞	.89	.81
	1.33	∞	.90	.86
1.39	1.36	∞	.90	.85
	1.40	∞	1.03	1.00
	1.58	∞	1.05	.85
	1.62	∞	∞	.78
	1.65	1.33	∞	.75
	1.72	1.06	∞	.75

値は2箇得た故参考の爲圖中に記して置いた。

上述の例に依つて墓心の灌流實驗に際し

ては 15°C 内外の液温に於ても既に干涉期の存在する事、又液温が之より低下するに伴ひて干涉が愈々強くなり、干涉期が延長する事を知る事が出来る。但し干涉期の長さは上の例では液温 13°C の實驗でのみ確定し得た。他の實驗に於ても著者は實驗時間を成る可く短縮して標本の疲勞を豫防せんが爲、A_E-V_E が有限値になるに充分な後期の期外刺戟を必ずしも常に試みなかつた爲干涉期を確定し得た例は少いが、その中より 2~3 の例を拾つて下に詳述する事にする。

實驗例 2. 標本 14, 22/II, 室温 12°C

第2回(液温 15°C)の成績を第4表に示す。刺戟週期は 2.66 秒, その中央は 1.33 秒,

第4表 標本 14, 第2回實驗, 液温 15°C

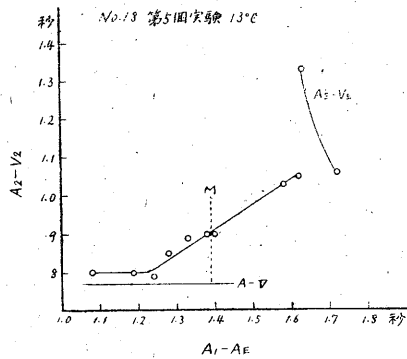
刺戟週期 (A-A) = 2.66 秒, (A₁-V₁)
= 0.70 (0.68~0.76) 秒

週期の中央	A ₁ -A _E	A _E -V _E	A ₂ -V ₂	A ₃ -V ₃
1.33	1.27	∞	.72	.70
	1.36	∞	.70	.68
	1.40	∞	.76	.70
	1.42	∞	.81	.76
	1.44	∞	.83	.73
	1.44	1.22	∞	.68
	1.44	1.22	∞	.68

第5表 標本 14, 第3回實驗, 液温 7.5°C

刺戟週期 (A-V) = 4.36 秒, (A₁-V₁) = 1.53
(1.48~1.57) 秒

週期の中央	A ₁ -A _E	A _E -V _E	A ₂ -V ₂	A ₃ -V ₃	A ₄ -V ₄
	1.58	∞	1.57	1.53	1.48
	1.54	∞	1.57	1.57	1.57
	2.05	∞	1.55	1.52	1.48
2.18	2.13	∞	1.75	1.56	1.53
	2.22	∞	1.58	—	—
	2.25	∞	1.95	1.58	1.57
	2.27	∞	2.00	1.61	1.61
	2.27	∞	2.52	2.43	1.53
	2.27	∞	2.89	2.35	2.00
	2.34	3.05	∞	1.59	1.43
	2.35	2.92	∞	1.57	1.57
	2.43	1.74	∞	1.48	1.39
	2.61	2.57	∞	1.57	1.57



第4圖 心在性期外收縮の生起時期(A₁-A_E)と次の傳導時間(A₂-V₂)の關係 (Mは週期の中央、横線は正常のA-V)

A₁-V₁ は 0.70 (0.68~0.76) 秒である。A₂-V₂ は A₁-A_E の大體 1.40 秒以後延長し、A₁-A_E 1.44 秒では A_E が或はブロックされ、或は心室まで到達して居る。故に干涉期は 1.44 - 1.36 = 0.08 秒と云はねばならない。

又第3回(液温 7.5°C)の成績は第5表に示す様

に刺戟週期 4.36 秒, その中央 2.18 秒, A₁-V₁ は 1.53 (1.48~1.57) 秒であるが, A₂-V₂ は A₁-A_E の 1.84 秒までは A₁-A₁ の最大値に等しく且横軸に平行であるから干涉なしと見て, A₁-A_E の 2.05 秒以後は逐次著明に延長し、最後には實に正常(A₁-A₁)の約2倍に達した。而して A₁-A_E が 2.34 秒になると, A_E は心室まで傳はり、次の A₂ がブロックされた。故

に干涉期は大體 $2.30 - 1.84 = 0.46$ 秒である。本例では尙 A_E の後期なる時延長は $A_2 - V_2$ より次々と $A_1 - V_1$ まで及んで居る。然し $A_2 - V_2$ の無限大なる後の短縮は不定である。

實驗例 3. 標本 12, 15/II, 室温 $11^\circ C$

第 2 回實驗(液温 $13^\circ C$) の成績を第 6 表に示す。刺戟週期は 2.28 秒, その中央は 1.14 秒,

第 6 表 標本 12, 第 2 回實驗, 液温 $13^\circ C$

刺戟週期 (A-A) = 2.28 秒, ($A_1 - V_1$) = 0.8 (0.77~0.83) 秒

週期の中央	$A_1 - A_E$	$A_E - V_E$	$A_2 - V_2$	$A_3 - V_3$
	.82	∞	.82	.33
	.84	∞	.81	.80
	.90	∞	.84	.80
	.95	∞	.83	.85
	.98	∞	.87	.80
	1.00	∞	.88	.77
	1.06	∞	.90	.84
	1.13	∞	.98	.87
1.14 →	1.15	∞	1.00	.90
	1.17	∞	1.04	.87
	1.17	∞	∞	.87
	1.17	1.40	∞	.77
	1.20	1.22	∞	.78
	1.30	1.06	∞	.78

$A_1 - V_1$ は 0.80 (0.77~0.83) 秒である。 $A_2 - V_2$ は $A_1 - A_E$ の 0.95 秒まで $A_1 - V_1$ と大差なく, 0.98 秒以後は順次延長し, 1.17 秒に到つて或はブロックされ, 或は心室に達して居る。故に干涉期は $1.17 - 0.95 = 0.22$ 秒である。本例に於て $A_2 - V_2$ の變化は著明でない。

以上の如くして干涉期の長さを確定し得た例は第 7 表に纏めた。之に依ると $15^\circ C$ に 0.08 秒, $12 \sim 13^\circ C$ に平均 0.25 秒, $7 \sim 10^\circ C$ に平均 0.41 秒で, 低温

になる程長くなる關係が明瞭である。残りの大多數の例では $A_E - V_E$ の有限値になる $A_1 - A_E$ を求めてないので, 實驗例中に説明した様に干涉期の推定値を知り得たに過ぎないが, それは

第 7 表 干涉期の確定値

標本	温度 ($^\circ C$)	干涉期 (秒)
14	第 2 回	15° .08
12	第 2 回	13° .22
18	第 5 回	13° .36
21	第 4 回	12.5° .15
15	第 3 回	10° .31
20	第 4 回	9° .20
12	第 3 回	8° .69
14	第 3 回	7.5° .46

第 8 表 干涉期の推定値

温度 ($^\circ C$)	例数	干涉期 (秒) 平均(最小~最大)
14 ~ 16	7	.13(.08 ~ .19)
11 ~ 13	4	.29(.19 ~ .36)
7 ~ 10	10	.40(.12 ~ .84)

第 9 表 總 平 均

液温 ($^\circ C$)	刺戟週期 (秒)	房室間隔 (秒)	干 涉 期		$A_2 - V_2$ の最大延長	
			時間 (秒)	週期 (%)	時間 (秒)	正常房室間隔 (%)
14 ~ 16	1.98	.94	.13	7	.19	20
11 ~ 13	2.51	1.25	.27	11	.26	21
7 ~ 10	3.41	1.71	.40	12	.57	33

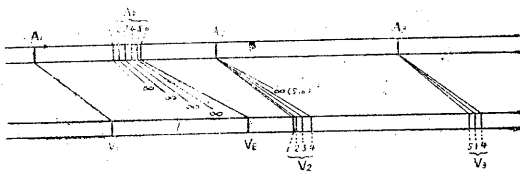
第 8 表に示す様に第 7 表の確定値と良く一致する。故に兩者を合して總平均を第 9 表に掲げた。即ち温度を大體 $15^\circ, 12^\circ, 8 \sim 9^\circ C$ の三段に分つと干涉期は大略 0.1, 0.3, 0.4 秒と逐次大となる。而してそれは刺戟週期の 7%, 11%, 12% に相當する。尙本表には $A_2 - V_2$ の最大延長の絶対値と相對値(正常房室間隔に對する百分率)をも掲げた。 $A_2 - V_2$ の最大延長は無限大になるのであるが, 茲には有限値の最大延長を採つたのである。此の延長も温度の低下に伴ひて増大して干涉程度の強くなる事を示して居る。尙液温は同じでも實驗回数が進めば, 干涉期が延長する傾向が認められた。之は疲労に依る傳導系状態の不良化の影響と考へねばならない。

IV. 考 察

刺戟傳導系の干涉期と云ふ名稱は Lewis & Master (2) が與へたのであるが、干涉の事實は夙に Engelmann (1) が蛙心に就て認めて居り、近くは Masteus (3) も蛙心及び龜心に就て之を記載して居る。彼等の所見は、2:1 ブロックを起す刺戟リズムの全リズムに際しては半リズムの場合に比して房室間隔が延長すると云ふ事であつて、その延長は蛙心に於て 0.3 秒 (Engelmann), 0.2 秒 (Masteus, 龜心の竇房間に於ては實に 0.9 秒) と云ふ。之に反し當教室に於ける上野教授及び上野 (4), 及び上野 (7, 8) の蕁心に就ての實驗に依れば全リズムに際しての延長は全く無いか、有つても 0.05~0.1 秒程度で、それは心房壁に於ける傳導遲滞として可能であるとし、更に又上野 (8) は半リズムに際して週期の中央附近に介在性期外收縮を間投すると云ふ Lewis & Master の方法を用ひて實驗した結果、干涉期の存在を完全に否定した。之等當教室の實驗は冬季にも暖爐を用ひて室温を少くとも 20°C 内外に保ちて行つたものである。然るに其の後上野教授 (5, 6) は 3 月中に暖爐を使用せず、室温 9°C 附近に於て行つた實驗中に偶然干涉期を見出して、蕁心の干涉期は低温度に於てのみ出現すると結論した。而して著者今回の灌流實驗の結果は灌流液温 15°C 内外の時にも既に干涉期が證明され、以下低温になる程干涉期が延長し、干涉程度が強くなる事が確められたのである。但し同一温度に於ても實驗回数の進む程干涉は一般に強くなつた故、干涉期の出現には温度の外に疲労に依る傳導系状態の不良化が原因をなすものと考へられる。

干涉期の長さは 14~16°C で 0.1 秒内外 (搏動週期の 7%), 11~13°C で 0.3 秒 (同 11%), 7~10°C で 0.4 秒 (同 12%) 程度であつた。Lewis & Master の犬心に於ては 0.04 秒程度の極めて短いものであるが、上野教授 (6) の室温 9°C に於ける蕁心の例では約 0.8 秒で、著者今回の成績の最大値も之に一致する。又干涉の程度を房室間隔の延長で現すと、14~16°C で約 0.2 秒 (正常房室間隔の 20%), 11~13°C で約 0.25 秒 (同 21%), 7~17°C で約 0.6 秒 (同 33%) であつた。

尙本篇成績に基き干涉期の著明なる場合を稍々模型的に示せば第 5 圖の様になる。即ち A_1



第5圖 干涉期の模型的説明
(V_2 の数字は A_1 の数字に對應す)。

$-A_2$ を 2:1 ブロックを起す刺戟週期の 2 倍とし、その中央部附近に期外收縮 A_E を起させると、それが充分早期なる間即ち AE_1 までは A_2-V_2 に變化が無いが、稍々後期の AE_2 になると A_2-V_2 が延長する。以後 AE_4 まで A_2-V_2 の延長が逐次大となり、 AE_5 になると遂に無限

大となる。即ち AE_2 より AE_5 まではそれが心室まで傳導されないに拘らず次の傳導時間を延長させる故、Lewis & Master の云ふ如く興奮が傳導系の途中まで進入し、且 AE の後期

なる程深く進入したと考へねばならない。即ち AE_2 より AE_5 までの間が所謂干渉期である。次に AE_5 より僅に後期の AE_6 になると興奮は遂に心室まで到達して VE を生じ、爲に A_2-V_2 は無限大となる。但し實際には AE_5 の時期にも屢々 A_2-V_2 が無限大となつた。即ち $AE-V_E$ と A_2-V_2 が共に無限大となつた事が少ない。一方 AE の影響は A_3 の傳導にまで及び、 AE が充分後期になつて A_2-V_2 の延長が著大になると A_3-V_3 も亦屢々延長を起す。之は直接には A_2-V_2 の影響であつて、即ち傳導系に於て AE の進入後未だ充分恢復しない時期に A_2 が通過した爲、その後の恢復が後れた爲である(上野 9)。而して更に後期になつて A_2-V_2 が無限大となると A_3-V_3 は屢々短縮する。之は一方には傳導系の恢復が一週期中に不完全なりし事を條件とし、他方には A_2 が全く傳導系に進入せずして傳導系の恢復時間が延長した結果として起る現象である。

著者實際の成績に於ては AE_1 の時期にも A_2-V_2 に屢々 0.05 秒程度、時に 0.1 秒内外の延長があつたが、之は上述の如く AE 介入の結果として心房壁に於ける傳導遲滞の影響とも見られるし、又殊に低温度に於ては A_1-V_1 の動搖の相當大なる事を考慮して實驗例中に示した様に、 A_2-V_2 曲線が横軸に平行なる間は延長なきものとして取り扱つたのである。 AE が心室まで傳つて $AE-V_E$ が有限値を示す時 A_2-V_2 が無限大となる事は上野(9)の干渉期なき場合にも認められて居るが、 $AE-V_E$ と A_2-V_2 が共に無限大となる事は干渉期の存在する場合に限る事であつて、上野(9)の實驗には認められず、上野教授(6)の心室の介在性期外收縮の例には之と相似の現象が認められて居る。

V. 總括及び結論

藁心の灌流液温を種々に變じて房室傳導系に於ける干渉期の有無を検して次の成績を得た。

1. 液温 15°C 内外で既に干渉期を證明した。
2. 然し干渉期は低温なる程長く、 15°C 附近で約 0.1 秒、 12°C 附近で約 0.3 秒、 $8\sim 9^{\circ}\text{C}$ 附近で約 0.4 秒である。
3. 干渉の程度即ちブロックされたる期外收縮の次の傳導時間の最大延長は 15°C 附近で平均 0.2 秒、 12°C 附近で約 0.25 秒、 $8\sim 9^{\circ}\text{C}$ 附近で 0.6 秒程度であつた。
4. 干渉期は實驗回数の進む程著大となつた故、干渉期の出現には低温度の外、標本の疲勞に依る状態不良化も一原因と考へられる。

稿を終るに臨み御懇篤なる御指導と御校閲の勞を賜りたる恩師上野教授に深甚の謝意を表す。

文 獻

- 1) Engelmann, Th. W. (1894) Pflügers Arch. 56 149
- 2) Lewis, Th. & A. M. Master (1925-26) Heart 12 209
- 3) Masteus, G. (1935) Zeitschrift f. Biol. 96 381
- 4) 上野一晴・上野武治(昭和 11 年) 十全會誌 41 2537
- 5) 上野一晴(昭和 16 年) 日本生理誌 6 213
- 6) 上野一晴(昭和 17 年) 十全會誌 47 2490
- 7) 上野武治(昭和 11 年) 十全會誌 41 2837
- 8) 上野武治(昭和 12 年) 十全會誌 42 867
- 9) 上野武治(昭和 12 年) 十全會誌 42 2291

臺灣房標本の收縮性に對する陽 ion の作用 612.014.462.17

(慈大辛酉會補助に依る研究)

東京慈惠會醫科大學臨床研究室

市 河 三 太

Itikawa-Santa

(昭和 19 年 5 月 15 日受付)

I. 緒 言

心臟に對する ion の作用は、Ringer 以來數多の研究者に依り研究され、見方に依ると殆んど研究され盡したかの觀がある。

所が最近、福田・松岡(1)の考案に依る臺灣房標本が、adrenaline, acetylcholin の定量に使用する等生理學實驗に用ひられ始めて來た(2,5)ので、私は此の洞房標本に對する各種陽 ion の作用を、比較的系統立てて實驗したので此處に報告しようと思ふ。

II. 實 驗 方 法

實驗は 1942 年 10 月より翌年 3 月に涉つて之を行ひ、蟾(*Bufo vulgaris formosus*)より作成した洞房標本を使用した。

Ringer-Sozi 氏液で之を灌流し心臟の收縮を書積で 3~5 倍に擴大し觀察した。各藥物は之と等張な溶液を作り、Ringer-Sozi 氏液で所要の濃度に稀め、必要に應じては所要の濃度に、該 ion の鹽化物を Ringer-Sozi 氏液に溶かして、其の 1cc を輪道内に注入した。

III. 實 驗 結 果

1. Li ion

LiCl(以下各藥物は凡て小島化學製)の溶液は 1.0% に於て初めて微かに收縮高を減少させ、5.0% では 42% の收縮高減少を見、濃度の増加と比例して收縮高は減少した。而して 10% で本標本は擴張性靜止をする。然し此の時でも靜脈洞は微かに搏動して居た。

2. Mg ion

MgCl₂·6H₂O の 0.5% 溶液を作用させると收縮高には殆んど變化が無いが、Herzblock を起した。1.0% で收縮高は 13% 減少し濃度の増加と共に收縮高は減少し休止期が延長されて來る。而して 5.0% の様な高濃度に於て、擴張期の搏動停止を行ふ。尙 Herzblock の生じない例は、7 例中 1 例であつた。

3. Al ion

AlCl₃·6H₂O を作用させると、0.005% の濃度で作用が現はれ始め 0.02% では收縮高は、

15% 減少する。0.25% では収縮高は作用後 70 秒で 20% 減少するが其後徐々回復し、220 秒後には作用前と同じ収縮高を示すが其の後収縮高は漸次高くなり、900 秒後で最大となり、作用前に比べてその収縮高は 43% の増加を見た。2.0% の濃度では標本は擴張性靜止をする。

4. K ion

實驗には KCl の溶液を使用した。其の結果は、0.05% の濃度で収縮高の減少を見、0.5% 溶液で擴張期に搏動を停止した。

5. Ca ion

$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ を使用した結果、0.003% の濃度で作用が現はれ始め、0.01% で収縮高は 27% 増加した。3.0% 溶液で tonus が上昇し基底線は約 3 倍高となった。心搏動は擴張期が延長し遂に収縮期で停止した。

6. Fe ion

FeCl_3 の 0.05% 溶液を作用させると収縮高は約 20% 減少し、0.5% の濃度では 80% 減少し且つ収縮が不規則となった。1.0% に於て遂に擴張性停止をした。尙 7 例中 4 例に於て Herzblock を起すのが見られた。

7. Zn ion

ZnCl_2 を蒸留水に溶解させる時は水酸化亜鉛の沈澱を生ずるので之に 1% 鹽酸を滴下し此の水酸基を除いたものを實驗に使用した。其の結果 0.001% の濃度では収縮高はやゝ減少を見、0.01% では作用後 30 秒で 13% の収縮高減少、次で 130 秒後には 33% の増加を見、260 秒後に恢復した。濃度の増加と共に収縮高の減少は甚だしくなり後に見られる収縮高増大が減少して来る。2.0% 溶液では擴張性靜止を見る。尙、作用後、収縮高の減少だけが現はれて増加が見られなかつたのは 7 例中 2 例あつた。

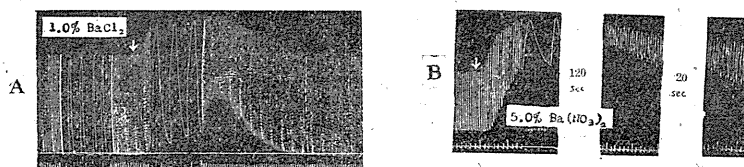
8. Sr ion

SrCl_2 を使用した。その結果 3×10^{-5} の濃度で作用が現はれ初め、0.3% で収縮高の 19% 増加を見、1.0% で 43% 増加、10% の濃度で tonus の極度の上昇を見、基底線は 43 mm 上昇し収縮高は 83% 減少し、Ca と同様に擴張期が長くなった。

9. Ba ion

BaCl_2 は 5×10^{-6} の濃度で已に 15% の収縮高増加を示し 1.0% の濃度で基底線は 18 mm

第 1 圖 BaCl_2 と $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ との心臓作用
A: 1% BaCl_2 B: 5% $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ↓: 注入記號



上昇し、他のアルカリ土金属のものに見られる様に拡張期が著しく上昇され、10% 溶液で収縮期に於て搏動が停止した。

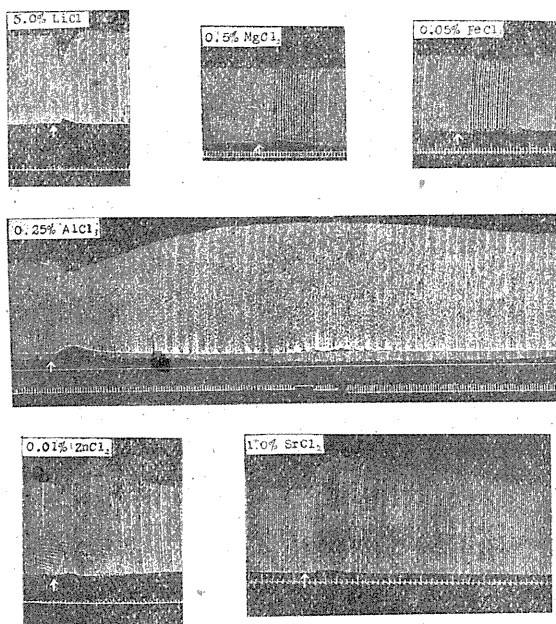
尚 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ を使用した結果は BaCl_2 の場合と殆どその間に差を認める事が出来ず、只毒作用が幾分 BaCl_2 より弱いと思へる程度であり、硝酸 ion の作用は杉崎 (6) の云ふ様に見られなかつた (第 1 圖)。

10. HgCl_2

HgCl_2 は 2×10^{-7} の濃度で已に作用は現はれ始め収縮高は微かに減少し、濃度に比例して収縮高減少し、0.1% 溶液で拡張期に搏動を停止する。

第 2 圖 各種 ion の作用

↓ : 注入記號



IV. 總括及び考察

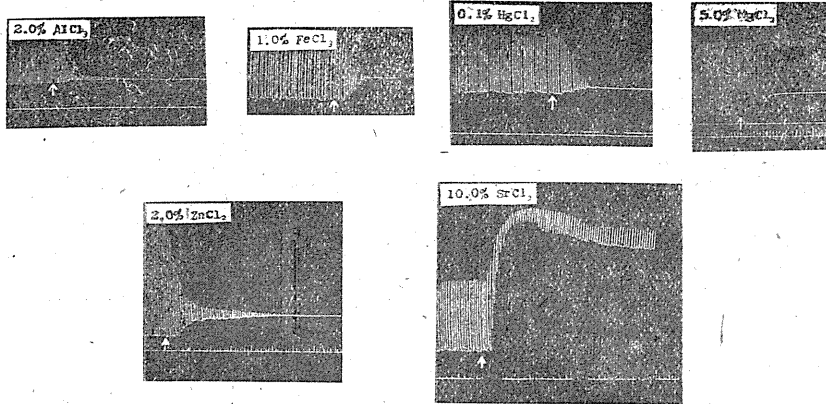
以上の實驗結果を總括すれば、本標本の収縮高を増加させる Ca , Sr , Ba はアルカリ土金属に屬し、稀土類金属に屬する Al 及びマグネシウム屬の Zn は、初め収縮高を減じ後之を増大させた。

搏動停止の時の状態はアルカリ土金属の Ca , Sr , Ba は悉く tonus 上昇を伴ひ収縮期に於て搏動を停止させたが、アルカリ金属の Li , K , 土類金属の Al は拡張期に於て停止させ、マグネシウム屬の Mg , Zn は稍拡張の状態、鉄屬の Fe は中間期に停止させた (第 3 圖)。

アルカリ土金属 ion とアルカリ金属 ion との間には種々の生理學的乃至は物理化學的現象に對し拮抗性を示すと云はれてゐるが、此の事は本實驗に依つても裏書されてゐる。又 ion 作用はその化學的に屬する屬に依つて之を幾つかの系統に分類する事が出来ると思はれる。

第3圖 各種 ion に依る搏動停止状態

↓ 注入記號



ion の生物學的的作用は又、原子番號と並行して増加すると云はれて居り之を駁する報告も見られてゐるが(4)、本實驗では1, 2の例外はあるが第1表に示した様に大體、原子量の大小

第1表 原子番號と最少有效濃度との關係

薬物	原子番號	原子量	最少有效濃度	薬物	原子番號	原子量	最少有效濃度
LiCl	3	6.94	1.0%	FeCl ₃	26	55.8	0.01%
MgCl ₂	12	24.3	0.7%	ZnCl ₂	30	65.3	0.001%
AlCl ₃	13	26.9	0.005%	SrCl ₂	38	87.6	0.002%
KCl	19	39.10	0.05%	BaCl ₂	56	137.4	0.0003%
CaCl ₂	20	40.07	0.003%	HgCl ₂	80	200.6	0.00002%

と關係がある事を推定し得る。即ち、例之、LiCl は 0.8% の濃度で始めて其の作用を現はすが、BaCl₂ では 0.0005% (5×10^{-6})、HgCl₂ では (2×10^{-7}) の濃度で已に其の作用を現はした。

次に ion の生物學的的作用を移動速度と關係づけ(3)、K は移動速度が早い爲毒性が強いと云つてゐるが、移動度の遅い Li が、K より毒性が弱い事より考へれば或は移動速度と生物作用の強弱との間に關係があるとも思へる。

又、Ba, Ca, Sr なる Hofmeister 系列が成立する事から考へると之等 ion の作用機轉に物理化學的な因子が大きな役割を爲してゐる事を知る。ion 作用本態に就ては生物學的に種々の説があるが、本標本は摘出した心臓筋であり、又、本實驗では之を目的とはして居ないので種々考察するのを避け、他の方法で何れ検索しようと思ふ。

尙、本標本に対する pH の作用は殆んど見られなかつた。

V. 結 語

私は蕪洞房標本を使用して、各種 ion がその収縮性に及ぶ影響を見た。

1. 本標本の收縮高を増加させるものは、アルカリ土金屬に屬する Ca, Sr, Ba であり、稀土類金屬の Al, マグネシウム屬の Zn は初め收縮高を減少させ後之を増大させ、其他のものでは何れも收縮高は減少した。
2. 搏動停止の状態はアルカリ土金屬の, Ca, Sr, Ba は tonus を上昇せしめ收縮期に於て搏動を停止させ、アルカリ金屬の Li, K, 土類金屬の Al は擴張期に於て、鐵屬の Fe は中間期に於て停止せしめた。
3. 之等 ion の毒性は大體原子番號と平行して強くなりそれが大きくなる程微量で中毒症狀を現はした。
4. ion の作用機轉に就ては、Hofmeister 系列が有る事から、物理化學的因子が大きな役割をしてゐる事が考へられる。

文 獻

- 1) 福田邦三・松岡脩吉 (1931) 愛知醫會誌 40 2036
- 2) 幸野密二 (1941) 成醫會誌 60 416
- 3) 野村七録 (1931) 生物物理化學 155
- 4) 尾形正治 (1937) 成醫會誌 56 2194
- 5) 篠崎尚次 (1942) 日本生理誌 7 675
- 6) 杉崎行三 (1937) 千葉醫會誌 15 2527

單一神經纖維筋標本に於ける平流開放時興奮 に關する 2, 3 の實驗 612.743

慶應義塾大學醫學部生理學教室 (加藤元一教授)

小 池 昇

Koike-Noboru

(昭和 19 年 5 月 2 日受付)

I. 序 言

扱て髓鞘乾燥法によつて相隣れる 2 個の Ranvier 氏絞輪間を電氣的に絶縁して、兩絞輪間に下向平流電氣を通すれば、極めて僅かの電壓で示標筋の收縮を見るが、又上向平流電氣を通じて置いて之を開放した時も可成り電壓を高めれば同様に收縮を見る事は既に知られた事實であるが、上向平流電氣開放時興奮に關しては、上島 (4) が僅かに之に觸れるのみで文獻として擧ぐべきものが無い。之は一に開放時興奮の極めて不安定な事と、閾値として極めて高い電壓を要する爲に實驗的追求の困難な事とその主なる理由である。著者も同様に以上の難點に遭遇したが、或る程度の知見を得たので此處に報告する。

II. 實驗材料並びに装置

實驗材料は雄蟻、示標筋には腓腸筋、縫匠筋又は半腱様筋を選び、髓鞘乾燥装置によつて別出 2 Ranvier 氏絞輪間を電氣的に絶縁した。電流回路は第 1 圖に圖示した。

實 驗 1.

髓鞘乾燥装置に靜置した標本に於て筋側別出 Ranvier 氏絞輪 N_1 の回路 I のみを用ひて與へた下向平流閉時に於ける閾値 (基電壓) が大體 20—30 mV の時を、絞輪 N_1 が無傷であるを判定して實驗に用ひた。今反筋側池に 3.0% Urethane-Ringer 氏液を導入して絞輪 N_2 を麻痺せしめる。此の時も絞輪 N_1 の基電壓は變化を受けない。次に斯かる標本に於て、矢張り回路 I を用ひて絞輪の上向平流開時に於ける閾値を求めて見る。所が電流開時興奮はその發現の有無頗る不安定で、確實に閾値を指定する事が出来ない。大體電流閉時の約 10 倍即ち 200—300 mV の閾値を示し、此の間では電壓を高めても興奮發現度を高める事は無い。然るに約 300—400 mV の間に於ては、1 回の電流開時刺戟に對して、示標筋は單一の攣縮を以て應ぜず重疊せる收縮を示す様になる。斯かる範圍に於ては興奮發現度は頗る安定し毎回筋收縮が見られるが、然し標本によつては重疊收縮のみ見られるのもあり、又あるものに於ては單一攣縮をその間に混するものもある。然し新鮮標本に於ては容易に重疊收縮を發現するが、刺戟回數を重ねると何んな電壓の範圍でも單一の攣縮しか見られなくなる。且つ標

本を放置して置いても最早恢復しない。即ち開時刺戟に應じて發現する重疊收縮は刺戟電壓とその經歷とに非常な制限がある。大體 400 mV 以上の電壓では發現度安定し 毎回必ず應ずるが、再び單一擊縮となる。以上の關係を示したものが第 1 表である。筋收縮無き時は -、單一擊縮の時は +、重疊收縮の時は 卅 印で表はす。通電時間は約 1 sec で、休憩時間は約 5 sec である。各電壓毎に 5 回試みてある。之によれば單一刺戟に對して示標筋が重疊收縮を以て應ずる範圍は極く限られたもので、A 例では 320 ~ 400 mV、B 例では 300 ~ 340 mV を示してゐる。然し之も一過性のものである事は上述した。

第 1 表 正常状態に於ける上行平流開時興奮の發現度に就いて

(A) 示標筋 M.gastrocnemius 室温 18.0°C
下向平流閉時興奮の基電壓 26 mV

適用電圧 mV	270	280	290	300	320	340	360	380	400	420	440
發現度	-	+	+	+	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅
	-	+	+	+	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅
	-	+	+	+	卅	卅	卅	卅	卅	卅	卅

(+は單一收縮, 卅は重疊收縮を示す)

(B) 示標筋 M.sartorius 室温 15.0°C
下向平流閉時興奮の基電壓 20 mV

適用電圧 mV	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
發現度	-	+	+	+	卅	卅	卅	卅	卅	卅
	-	+	+	+	卅	卅	卅	卅	卅	卅
	-	+	+	+	卅	卅	卅	卅	卅	卅

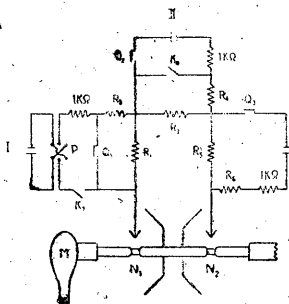
一擊縮の時は +、重疊收縮の時は 卅 印で表はす。通電時間は約 1 sec で、休憩時間は約 5 sec である。各電壓毎に 5 回試みてある。之によれば單一刺戟に對して示標筋が重疊收縮を以て應ずる範圍は極く限られたもので、A 例では 320 ~ 400 mV、B 例では 300 ~ 340 mV を示してゐる。然し之も一過性のものである事は上述した。

實驗 2

扱て斯くの如き興奮發現度並びにその閾値の不安定状態に對して、該 Ranvier 氏絞輪を豫め陰極電氣緊張の状態に置く

時は如何なる影響を及ぼすであらうか。Ranvier 氏絞輪を陰極電氣緊張の状態に置く時は閾値の下降を來たす事は既に知られた事實であるが (3)、之は平流開時興奮の閾値にも適用される

第 1 圖



K₁, K₂ Helmholtz 振子の Key
Q₁, Q₂, Q₃ 水銀斷續器
P Pohl 氏方向變換器
N₁, N₂ Ranvier 氏絞輪
M 示標筋

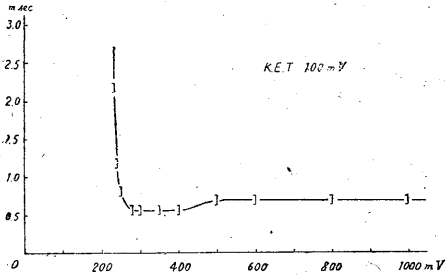
であらうか、第 1 圖の回路 III を用ひて下向きに平流を豫め與へて置いてから、回路 I を用ひて上向きに平流を流し、K₁ を開放する事によつて N₁ に於ける開時興奮を示標筋 M の收縮によつて知る様にした。下行流を約 1 sec 適用した後、上行流を同様に約 1 sec 與へて後之を開放して示標筋の收縮を検し、直ちに Q₃ を開放して後約 5 sec 休憩して再び同様な操作を繰返した。豫め與へる下行流は 10 mV より漸次増強した。之によると第 2 表の 1 例の如く、80 mV 迄は閾値も興奮發現度の不安定さも、陰極電氣緊張状態による影響を受けて居いなが、90 mV 以上になると閾値は俄然下降し、興奮發現度は頗る安定さを増して來る事が判る。然し此の安

定状態へ移行の限界は必ずしも各標本一定でなく、30~100 mV 間の種々なる値を示し、且つ同一標本に於ても又時間を経ると共に變化してゐる。又閾値下降の程度も種々で、時によると僅々數 mV 程度で示標筋收縮を見る事があるが、かゝる收縮は全く一過性で唯 1 度に限り、實に驗對象となり得ない。更に著明な點は正常状態に於ける場合と異り、上行流の強さを種々

2 回通電を添加した爲であると判定する事が出来た。

第2圖はその1例を圖示したものである。室温は 18.0°C で示標筋は縫匠筋である。絞輪 N_1 の下行の閉時興奮の閾値は 24 mV であつた。上行開時興奮の閾値は 300 mV であつたが、

第 2 圖



豫め 100 mV の下行流を與へる事によつて 230 mV で開時興奮が認められた。依つて第2回通電によつて此の開時興奮による示標筋收縮を制止し得る最大間隔を求めると約 $2.1\sim 2.25\text{ msec}$ となる。然し此の開時興奮の閾値附近に於ては此の値は極めて動搖し、殊に空際間隔を漸次大とするか、漸次小とするかによつても甚

しくその値を異にする。然し短時間内に測定を完了すれば割合固定した値が得られる。時間を経過したり、又は屢々反復刺激を繰返したりすれば、此の値は短縮する傾向を示す。斯くにして開時興奮による筋收縮を制止し得る空際間隔を求めて見ると第2圖の様な曲線を得る。即ち平流の強さが閾値より相當強度であると、開時興奮を抑制し得る最大間隔は短くなり、 280 mV 附近よりは略一定して第2圖の例では 1000 mV に到る迄、約 $0.5\sim 0.75\text{ msec}$ を得た。即ち之より間隔を小にすれば筋は收縮を示さない。且つ斯かる範圍に於ては、此の値も可成安定して來る。即ち第2圖の曲線に於て、閾値に近い縦線の部に於ては制止に要する最大間隔は極めて不安定であるが、閾値より可成強い平流を用ふればその値は可成り安定する。

IV. 考察並びに結論

著者は藁の單一神經纖維筋標本を用ひ、髓鞘乾燥装置によつて1個の剔出Ranvier氏絞輪の平流開時興奮に関する2,3の實驗を試みた。髓鞘乾燥装置によれば平流閉時興奮の閾値は頗る安定し、従つて極めて容易に種々なる閾値を目標とする實驗を行ふ事が可能であるが、開時興奮の閾値は甚だしく不安定で且つ強度の平流を要するので、之に関する實驗には種々の困難を伴ふ。閾値の不安定さは同時に一定條件の下に於ける興奮發現度の不安定を意味し、従つて閾値附近の強さを實驗の對象とする事が出来ず、相當強度の平流を用ひる事を餘儀なくされる。この事は更に反復刺激の場合に神經纖維に著明な影響を與へて實驗を困難にする。

斯かる不安定さを除去する目的のために、目標とするRanvier氏絞輪を陰極電氣緊張の状態に置いて、その開時興奮に對する閾値を検して見たが、之によつて一般にその興奮發現は極めて容易になり、ある程度以上の強さの平流を豫め與へて置く時はその閾値も種々なる程度に下降し、同時に發現度安定する事を知つた。然し低電壓を以て開時興奮を起させるのは、時に可能ではあるが、極めて不安定で一過性に現はれるに過ぎない。然しある程度の強さの平流を以て可成り確實に且つ常時發現せしめる事が出来た。この點は第2表にその1例を示してあ

る。

實驗3に於ては此の開時興奮の生起は、平流開時後ある間隔を置いて同方向同強度の平流を與へる事によつて抑制される事を知つたが、此の興奮生起を抑制し得る2平流の間隔に關しては矢張り、閾値附近に於ては著明に動搖する結果を得てゐる。更に此の間隔は開時興奮の潜時と如何なる關係を有するであらうか。平流閉時興奮を動作電流を目標として觀察する時は、その潜時は閾値附近に於て極めて著明に動搖し、平流の強度を増す時は潜時の短縮と共に安定した値を示す事は既に報じた所であるが(5)、此の關係は平流開時興奮にも適用されるであらうか。又第2圖に得られた曲線が單に第1回平流の開時興奮の發現を制止したと考へるのみでなく、平流經過中に與へた矩形空隙による影響と考へる事が可能であるか如何かは、更に詳細なる電氣生理學的の直接觀察を待つて決定せられるものと考へる。

稿を終るに際し加藤教授の絶えざる御鞭撻と久保教授の御懇篤なる御指導並びに御校閲に深謝する。

文 獻

- 1) 清水 (昭和6年) 慶應醫學 11
- 2) 田崎一二 (昭和13年) 慶應醫學 18
- 3) 田崎一二・竹内大二・加納豊哉 (昭和17年) 日本生理誌 7
- 4) 上島 (昭和12年) 應慶醫學 17
- 5) 山田・小池 (昭和 年) 慶應醫學

直流通電に依る蛙皮の分極に就て 612.795

東京帝國大學醫學部生理學教室

江上 義之

Egami-Yosiyuki

(昭和19年5月20日受付)

I. 緒言

直流通電に依る蛙皮の分極像に就ては橋田(2), 朴澤(3), 久米(5), 本川(6)諸氏の業績が擧げられるが(其の他の諸研究は上記諸氏の論文に引用済み!), 本稿に於ては理論的見地より蛙皮の分極像に關して得られた諸知見の本態を總括的に闡明するを主眼とする. 詳細なる解説は Jap. J. Med. Sci., Biophysics に譲る.

II. 方法論的概説

分極像の時間的消長を明白ならしめる爲には蛙皮を通過する電流の函數形を決定せねばならない. 之を一般的條件の下に解く事は稍々困難を伴ふが, Bowden and Rideal が水素過電壓を研究する際に使用した方法と同様, 所謂前置抵抗を充分大きく(従つて之に相應して電源の電壓も亦必要な程度に高く) 撰べば, 通電電流は時間的に略恒常と見做して差聞へない. 従つて此の場合には電極が不分極性電導子で構成されてをれば, 兩電極間の電位差の時間的變動は直接蛙皮の分極像を反映してゐるものと解釋出来る. 何となれば, 蛙皮を浸漬せる bulk としての電解質溶液内に於けるイオンの易動度と蛙皮内に於ける當該イオンの易動度との間には可成りの相違があり, 前者は後者に比して大であるといふ事情に基因して分極の時間的消長を左右する因子は蛙皮内に於けるイオンの易動度に専ら依存すると考へられるからである. 此の兩媒質中に於けるイオン易動度の不均一性は必然的に蛙皮の兩界面に1つの電氣的二重層の形成を許容する結果となり, 此の電氣的二重層の形成といふ過程が分極の本態に他ならないのである.

其處で吾々は蛙皮面を出入する電流の分布に眼を轉じよう. 今, 假に蛙皮を取除いた場合の電解質溶液内の電流の分布を考へれば, 之は勿論蛙皮の挿入に依つて擾亂を受ける. 併し本節の冒頭に於て述べた如く, 前置抵抗を充分大ならしむれば此の擾亂作用を可及的小さく保留せしめる事が出来る. 本稿に於ては斯様な近似的方法を採用する. 従つて吾々の解析的主題は, (i) 蛙皮の存在しない場合の電流の分布状態を決定する事, (ii) 之に基いて蛙皮面に形成された電氣的二重層の形成状態を分明ならしむる事の2項に歸着して了ふ.

III. 蛙皮面に出入する電流の分布

内径 a 、長さ $2l$ なる硝子製圓罎内に比電導度 σ なる電解質溶液を容れる。圓罎の兩端に菲薄な金屬板の不分極性電極 (半径 a の圓盤狀電極) を置き、之等極間に一定の電位差を與へた時の溶液内部に於ける電位並びに電流の分布を考察する。尙、電極板の比電導度は近似的に無限大と見做す。

電位分布の軸對稱性を顧慮するならば、圓罎内任意の點に於ける電位 φ は次記の微分方程式を充たす。

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

更に上式に附帶した境界條件として

(i) $\frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0 \quad r = a \quad \text{で} \quad \dots\dots\dots (2)$

(ii) $-\frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{I}{2\pi\sigma a \sqrt{a^2 - r^2}} \quad z = 0, z = 2l \quad \text{で} \quad \dots\dots\dots (3)$

が要請さるべきは實驗條件に留意するならば明瞭であらう。但し I は通電電流の強さを表はす。其處で所要の解式を求めると

$$\varphi(r, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n e^{\alpha_n z} + B_n e^{-\alpha_n z} \right] J_0(\alpha_n r) + Cz \quad \dots\dots\dots (4)$$

と置く。右邊第 2 項の特解は Dini の定理を考慮して導入したものである (小平 2 氏の著書を参照せよ)。尙、 $J_0(x)$ は第 1 種零階 Bessel 函數にして α_n は $J_0'(\alpha a) = 0$ を満足する相異なる正の實根を表はす。

境界條件 (2)、(3) を満足する如く (4) 式の未定係數を決定すれば、結局所要の解として次式に到達する (途中の計算に就ては原著を参照されし)。

$$\begin{aligned} \varphi(r, z) = \frac{I}{\pi\sigma a^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cosh \alpha_n(2l-z) - \cosh \alpha_n z}{\sinh 2\alpha_n l} \frac{\sin \alpha_n a}{\alpha_n} \times \\ \times \frac{J_0(\alpha_n r)}{[J_0(\alpha_n a)]^2} - \frac{Iz}{\sigma\pi a^2} \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

之より圓罎の中央 $z=l$ なる面に於ける電流の大きさは

$$-\sigma \frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=l} = \frac{2I}{\pi a^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sinh \alpha_n l}{\sinh 2\alpha_n l} \frac{\sin \alpha_n a}{\alpha_n} \frac{J_0(\alpha_n r)}{[J_0(\alpha_n a)]^2} + \frac{I}{\pi a^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

で與へられ、圓罎の長さ $2l$ が充分大きければ上式右邊第 1 項は之を省略しても差闕へない事に氣付く。従つて此の場合には近似的に

$$-\sigma \frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=l} \simeq \frac{I}{\pi a^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

といふ單純化された性質が導かれる。

IV. 分極の計算

充分長い等長の2個の硝子圓壺を取り其の接合端に蛙皮を軸に垂直に挿入して周縁に vaseline を塗布する。前節及び第 II 節で述べた注意に依り蛙皮面を出入する電流の大きさは大略 (7) 式で表記されるものと見做してよい。次に此の通電電流に依つて誘發される蛙皮内のイオン分布を計算する。

蛙皮の厚さを δ , 電流の流入する蛙皮面の座標を更めて $Z=0$ に取る。更に蛙皮内に於けるイオン濃度を記號 ϕ で表はし、且イオンの擴散恒數を D で示す事にすれば、イオン分布の時間的空間的變化は次の方程式で規定される。

$$D \left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (8)$$

因に周知の如く電導度 σ と擴散係數との間には次の關係がある (適當なる化學書参照)。

$$\sigma = \frac{\epsilon^2 n D}{k T}$$

緒而、(8) 式に附隨した諸條件を列擧すれば、先づ初期條件として何等一般性を喪ふことな

$$(i) \quad \phi(r, z) = 0 \quad t=0 \text{ の時} \quad \dots\dots\dots (9)$$

と置ける。次に境界條件の 1 として

$$(ii) \quad -D \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{I}{\pi a^2} \quad z=0, z=\delta \text{ で} \quad \dots\dots\dots (10)$$

が成立すべきは勿論であるが、他の 1 つは蛙皮の周縁に於ける vaseline 塗布部に於けるイオンの漏洩度を示す條件として

$$(iii) \quad \frac{\partial \phi}{\partial r} = -h \phi \quad r=a \text{ で} \quad \dots\dots\dots (11)$$

が追加されるべきである。以上の諸條件に適合する (8) の解は Green 函數を使用すれば簡明直截である。體積素片を dv , 面積素片を dS , 考へる領域を包む表面に於て内側に向つて立てられた法線に沿ふ微分を $\partial/\partial n$ で表はせば、

$$\begin{aligned} \iiint (G\phi)_{z=t-\epsilon} dv &= \iiint (G\phi)_{r=0} dv \\ &+ D \int_0^{t-\epsilon} \left[\iint \left(G \frac{\partial \phi}{\partial n} - \phi \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS \right] dt \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

が成立する。従つて G を (8), (11) 及び

$$\frac{\partial G}{\partial z} = 0 \quad z=0, z=\delta \quad \text{で} \quad \dots\dots\dots (13)$$

で特性づけられた所謂 Green 函数に撰べば, (12) の恒等式より

$$\begin{aligned} \phi(r, z; t) = & \iiint \phi_{t=0} dv + D \int d\tau \left[\iint G \frac{\partial \phi}{\partial z_{z=0}} dS \right. \\ & \left. - \iint G \frac{\partial \phi}{\partial z_{z=\delta}} dS + \iint (G \frac{\partial \phi}{\partial r} - h \phi G)_{r=a} dS \right] \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

が導かれるが, 条件 (9), (11) により右邊第 1 項及び [] 内最後の積分は消失して結局

$$\phi(r, z; t) = D \int_0^t d\tau \left[\iint G \frac{\partial \phi}{\partial z_{z=0}} dS - \iint G \frac{\partial \phi}{\partial z_{z=\delta}} dS \right] \quad \dots\dots\dots (14)$$

が残る. 然るに所要の Green 函数は次式で表現される:

$$\begin{aligned} G(r, \rho; z, \xi; t-\tau) = & \left[\frac{1}{\delta} + \frac{2}{\delta} \sum_{m=1}^{\infty} e^{-D \frac{\alpha_m^2}{\delta^2} (t-\tau)} \cos \frac{m\pi}{\delta} \xi \cos \frac{m\pi}{\delta} z \right] \times \\ & \times \frac{2}{\pi a^2} \sum_{s=1}^{\infty} e^{-D(t-\tau)\alpha_s^2} \frac{\alpha_s^2}{k^2 + \alpha_s^2} \frac{J_0(\alpha_s \rho) J_0(\alpha_s r)}{[J_0(\alpha_s a)]^2} \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

但し α_s は $\alpha J_0'(\alpha a) + h J_0(\alpha a) = 0$ を満足する相異なる正の実根を表はす. 故に (15) を (14) に代入して積分を遂行すれば,

$$\begin{aligned} \phi(r, z; t) = & \frac{2}{\delta} \frac{2hI}{D\pi a^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{s=1}^{\infty} \left[1 - e^{-D(\alpha_s^2 + \frac{m^2\pi^2}{\delta^2})t} \right] \frac{1 - (-1)^m}{\alpha_s^2 + \frac{m^2\pi^2}{\delta^2}} \times \\ & \times \frac{\alpha_s}{k^2 + \alpha_s^2} \cos \frac{m\pi}{\delta} z \frac{J_0(\alpha_s r)}{J_0(\alpha_s a)} \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

を得る. 之より分極像の時間的推移を解析的に追跡する事が出来る. 夫れは

$$\Psi(r, t) = \phi(r, 0; t) - \phi(r, \delta; t) \quad \dots\dots\dots (17)$$

と置いて

$$\bar{\Psi}(r, t) = 2\pi \int_0^a r \Psi(r, t) dr \quad \pi a^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

を作れば, 上式が分極の解析的表示に他ならぬ所以は第 II 節の所論を回顧するならば容易に首肯される處であらう. (16), (18) の兩式より

$$\bar{\Psi}(r,t) = \frac{2}{\delta} \frac{2k^2 I}{D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{s=1}^{\infty} \left[1 - e^{-D(\alpha_s^2 + \frac{m^2 \pi^2}{\delta^2})t} \right] \times$$

$$\times \frac{[1 - (-1)^m]^2}{\alpha_s^2 + \frac{m^2 \pi^2}{\delta^2}} \frac{1}{k^2 + \alpha_s^2} \dots\dots\dots (19)$$

なる結果に到達する。

V. 理論の應用及び考察

久米 (5) は彼の謂ふ $i-t$ 曲線の分析から蛙皮の分極像に 3 個の型がある事を歸納した。勿論現在の儘の吾々の解析的所論に基いて此の 3 型式の存在を理論的に確證する事は不可能である。然し必要な變更を加へれば (mutatis mutandis) 彼の結論に歩み寄る希望も絶たれてゐる譯ではない。此處では主として第 1 型式に就て考察を行ふ。

第 1 型式は分極像の時間的経過は時間 t の單調増加函數で規定される事を主張する。久米は夫れが嚴正な意味に於て指數函數的ならざる點を確認しつつも近似的には指數函數で表現され得る點を指摘してゐる。其の意味に於て彼は分極を支配する因子の多要素性に想到してゐるかに見えるが、之は必ずしも必要な觀念では無い。Schaefer (9) も亦分極の時間的變化は 2 個の指數函數の和で表現さるべき旨提言してゐるが、之とても理論的根據に基く確證に依つて齎らされたものでは無い。彼等は分極の時間的變化の中特に通電遮断後に於ける分極像の消失、所謂 **Depolarisation** を標識として如上の結論を誘導してゐる故、吾々も亦第 1 型式に屬する Depolarisation に就て吟味を重ねる事としよう。偕而、通電時間を t_0 とすれば $t \geq t_0$ に對する分極電位の行動は (19) 式より

$$\bar{\Psi}(r,t) = \frac{2}{\delta} \frac{2k^2 I}{D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{s=1}^{\infty} \left[e^{-D(\alpha_s^2 + \frac{m^2 \pi^2}{\delta^2})(t-t_0)} - e^{-D(\alpha_s^2 + \frac{m^2 \pi^2}{\delta^2})t} \right] \times$$

$$\times \frac{[1 - (-1)^m]^2}{\alpha_s^2 + \frac{m^2 \pi^2}{\delta^2}} \frac{1}{k^2 + \alpha_s^2} \dots\dots\dots (20)$$

に追従すべき所以が判明する。即ち Depolarisation は (Polarisation と同様!) 決して單一乃至 2 個の指數函數では表現されず、久米の抱懐せる分極の多要素性は (20) の表式に内在せる特性として一先づ解明し得るのである。更に又分極像の生成及び消失過程の時間に對する非對稱性、換言すれば通電時間が無限大ならざる限り Depolarisation は Polarisation よりも緩徐な経過を辿るといふ久米の所論もやはり上式に包攝された 1 つの特性に過ぎないのである。因に Schaefer (loc. cit) の分極電位の構成に對する主張は神經纖維の充電曲線の分析より得られた彼の提唱 (尙、昭和 18 年度日本生理學會に於ける 京大大谷氏 (7) の業績をも参照された) と軌を一にするものであつて、後者に就ては筆者 (1) も既に若干の検討を行つて置いた。

最後に第 2, 第 3 型式に就て一言述べて置きたい。筆者の考へでは之等のいはゞ異常型式

は吾々の理論に現はれた物理的因子の時間的可變性に基因するものと見做すべく、就中擴散恒數の不定性、換言すれば蛙皮の透過性の變化を重要視すべきであらう。Rein (8) の實驗の結果も此の點に連繋があるやうに思はれる。何れにせよ、第1型式は物理常數の安定性より見て興味深い範疇に屬する現象であり、吾々の理論的解析は之に對して満足すべき説明を與へる事を強調して置きたい。他の型式に關しては將來の精細なる實驗的分析を俟つのみ。

VI. 摘 要

蛙皮の分極像の生成並びに消失過程の時間的推移を究明する目的の下に、理論的解析操作の單純化される爲の實驗條件を吟味し、吾々の結論を測定結果と對照して考察を行つた。

先づ解析を第1型式(本文参照)に限定し、分極の見掛け上の多要素性は本質的なものではなく、久米、Schaefer等の想定した單一乃至2個の指數函數に依る表示の妥當ならざる所以を證明した。更に分極像の兩過程(生成及び消失)の時間的變化は後者に於ては前者よりも緩除なるべき點を久米とは別個に明白ならしめた。尙、以上の解析より筆者は分極の本態は蛙皮内イオン分布の不均一性に基いて蛙皮界面に形成されつゝある電氣的二重層に他ならぬ事を主張する。

最後に有益なる御助言を賜つた坂本教授・山極・若林兩博士に深甚なる感謝の意を表明する次第である。

文 獻

- 1) 江上義之 (1942) 日本生理誌 7 686
江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci. Biophysics 10 280
- 2) 橋田邦彦 (1922) Journal of Biophysic 1 21, 62
- 3) 朴澤 進 (1931) Z. Biol. 91 297
- 4) 小平吉男 (1940) 物理數學 第2卷 501
- 5) 久米幸夫 (1941) 日本生理誌 6 423, 439, 459, 647
- 6) 本川弘一 (1934—1935) Jap. J. Med. Sci. 3 95, 117, 145, 177, 203
- 7) 大谷卓造 (1944) 日本生理誌 9 368
- 8) Rein, H. (1926) Z. Biol. 85 195, 217
- 9) Schaefer, H. (1933) Z. Biol. 94 11

短時間持續電流による闕下電撃效果に就いて 612.743

慶應義塾大學醫學部生理學教室 (加藤元一教授)

小 池 昇

Koike-Noboru

(昭和 19 年 5 月 2 日受付)

I. 緒 論

闕下刺戟の效果の強さ及び時間的經過に關して提出せられた 2 つの代表的見解としては Katz (6) 及び Blair (1) の兩説を擧げる事が出来る。Katz は短時間刺戟の場合は刺戟效果は刺戟電流經過中に最高値に達し刺戟電流切斷後に單純指數曲線の經過を採つて漸減すると考へ、比較的闕値に近い條件電撃を先行せしめたる際に得られたる曲線が膨みを示すのは刺戟局所に非傳導性小興奮を生じたる爲であるとなして居る。一方 Blair は短時間刺戟の場合は刺戟電流經過後に漸増し最高値に達したる後漸減すると考へ、局所性非傳導性小興奮は生じないと云ひ、以て前者の説に反對して居る。以上の主題に關して田崎の髓鞘乾燥法 (8) を利用して常松 (11)、根岸 (8)、田崎 (10) 等は 2 つの感應電撃又は蓄電器放電を用ひて闕下刺戟效果の時間的經過を追求検討し、刺戟電撃經過後に其效果は漸増漸減するとの見解を發表して居る。

著者は極めて短い繼續時間の短形電流によつて生ずる效果の時間的經過の追求を行ひ、更に之を基礎として 1 個の短持續闕下電撃は如何なる形の效果を生ずるものなるかを推論し、又 3 電撃を用ひて 2 つの闕下電撃の重疊の様子を求めて見た。それは各時點に於ける效果の重疊である事を明かにしたから、圖上で效果の形を求め兩説を批評したい。

II. 2 電撃法による實驗

實驗材料並びに實驗裝置

實驗材料は藁の坐骨神經腓腸筋、縫匠筋或ひは半腱様標本を用ひ、その最遠心位の分枝部に於て單一運動神經纖維を分離別出し、暫時 Ringer 氏液中に靜置した後實驗に供した。實驗裝置としては髓鞘乾燥裝置を採用した。

刺戟裝置は第 1 圖の配線に依り、 K_1 、 K_2 なる Helmholtz 振子の電鍵を“Punktkontakt” (5) に使用して短時間持續の短形電流を與へ得る様にした (電流持續時間は約 30 μ sec)。

實 驗 結 果

第 1 圖に於ける回路 I、II 中の電鍵 K_1 、 K_2 によつて神經纖維に與へられる闕下電撃を夫々第 1、第 2 刺戟とし、前者を條件電撃 (強度一定、刺戟時點一定の電撃) とし、後者を試験電撃 (強度を變化し、種々なる時點に與へる電撃) として用ひる事にする。條件電撃の強さはそ

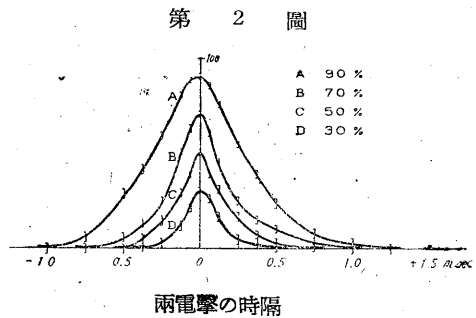
の閾値を抵抗 R_2 の読みを以て豫め求めて之より算出した。

今試験電撃のみを與へた場合の閾値を S_0 とし、條件電撃と共に與へた時は閾値を S とする。之より $100 \times (1 - \frac{S}{S_0})$ を算出して得たる値を閾値下降度と呼ぶ。2 電撃の効果の總和が一定値に達した時に興奮を生ずると云ふ見解に従へば、此の値は即ち閾下條件電撃が神經纖維に及ぼせる効果の度合を示すものと考へられる。條件電撃を與へた時點の前後種々なる間隔を以て試験電撃を與へてその閾値を求め、之より閾値下降度を計算する。之を條件電撃を與へた時點を零とし、閾値下降度を縦軸にとり時間間隔を横軸にとつて圖示すれば所謂閾値下降度時間曲線を得る。

(1) 條件電撃が下向流の場合

試験電撃は常に下向流として與へる。第 2 圖は其中の 1 例であるが、4 つの曲線は何れも零—漸増—極大値—漸減—零の経過をとり、大體左右對稱であるが正側が負側に比してその経過稍緩除である。而して B 及び C に於てはその形が大體相似形をなすが、A はその経過の途中に於て左右に膨みを生じてゐる。D に於ても僅かながらその傾向を認める。然し何れも時點零に於ては、用ひた條件電撃の強さ即ち閾値の百分率と算出せられた試験電撃の閾値下降度とは嚴密に一致する。

閾値下降變

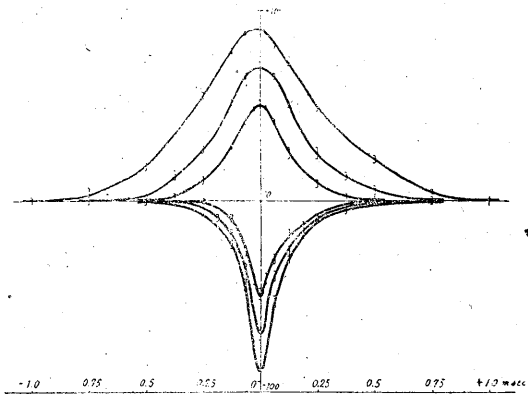


第 3 圖

(2) 條件電撃が上向流の場合

試験電撃は常に下向流として與へる。第 3 圖の下方に凸なる 3 曲線はその 1 例で、下方より夫々條件電撃の強さが閾値の 90%、70% 及び 50% の場合である。此の場合閾値下降度は負なる値となるからその絶対値をとつて之を閾値上昇度と呼んでも良い。猶同圖には同一標本に於て求めた條件電撃が下向流の時の曲線をも對照として描いてある。

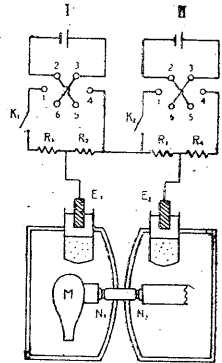
閾値下降度 ↑
閾値上昇 ↓



兩者を比較して見ると一見して閾値上昇度時間曲線の方がその経過が急峻であるのが判る

第 1 圖 實驗裝置

1, 2, 3, 4, 5, 6 Pohl 氏方向變換器の連結點
 K_1, K_2 Helmholtz 振子の電鍵
 E_1, E_2 不分極電極
 N_1, N_2 Ranvier 氏絞輪
M 示標筋



が、その縦軸の左右を比較すればやはり右方に於て稍緩徐な事は前述の場合と同様である。而して條件電撃が閾値に比較的近い強さの時(本例では 90%)にも閾値上昇度時間曲線にはその経過の途中に於ける膨みは見られない。時點零に於ては前者と同じく用ひた條件電撃のその閾値に對する百分率と試験電撃の閾値上昇度とは矢張り嚴密に一致する。

以上の實驗に於ては試験電撃は常に下向流であつたから、試験電撃の閾値は何れも第 1 圖に於ける筋側絞輪 N_1 の各時點に於ける閾値を示したものである。従つて求められた閾値下降度は絞輪 N_1 に於ける條件電撃の効果を表すものと考へられる。但し前述の様に曲線に膨みを生ずる場合には必ずしも單純に條件電撃の効果のみを表はすとは考へられないが、之に就いては後に詳細に述べる。閾値下降度時間曲線が第 2 圖の様に正の數値を示し、且つ漸増一極大點一漸減の経過をとる事は兩電撃は絞輪 N_1 に於て同方向の効果を生じ、第 3 圖の様に負の數値を示し、前者と反對の経過をとる事は逆の効果を生ずる事を示してゐる。

第 2 圖に於て條件電撃が閾値の 90%、30% の場合にはその曲線の経過の途中に膨みを生ずるが、之を非傳導性局所性小興奮の生起を假定して説明せんとする Katz (6) とは著者は反對の立場をとる(理由後出)。

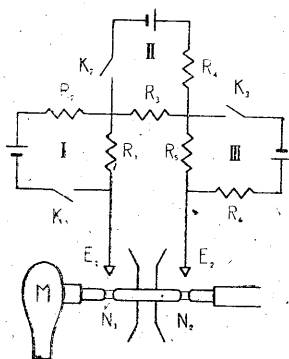
又第 3 圖に於て閾値上昇度時間曲線の方が閾値下降度時間曲線に比してその経過著しく急峻であるが、之に關しては Katz (6) は閾値を同じくするか時間恒數を異にする纖維の存在を考へて説明してゐる。然し本例に於ては別出せる單一神經纖維を用ひてあるので、斯かる假定は存在の餘地が無い。

III. 3 電撃法による實驗

實驗裝置

實驗裝置は第 4 圖にその概略を示してあるが、第 1 圖と異なる點は唯回路 III を挿入した事

第 4 圖 實驗裝置



である。回路 I, II を用ひて第 1, 第 2 條件電撃を與へ、回路 III を用ひて試験電撃を與へる。

實驗結果

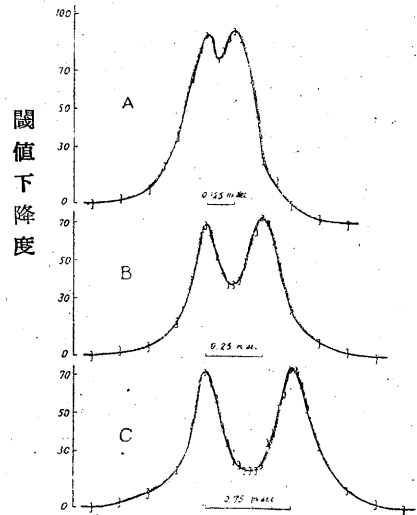
2 電撃法を用ひた場合に、試験電撃の閾値下降度(或ひは上昇度)は條件電撃の効果を割合を示すものとすれば、條件電撃を 2 つ相續いで與へれば此の時の試験電撃の閾値下降度(或ひは上昇度)は、連續條件電撃の重疊効果の割合を示すであらうと考へられる。即ち第 1 條件電撃を一定時點に固定し、その後種々の間隔に於て第 2 條件電撃を與へた時、その効果重疊の

形を試験電撃を以て検査して見たら如何なる形の閾値下降度(或ひは上昇度)時間曲線が得られるであらうか。

第 1, 第 2 條件電撃をある時間間隔を以て相續いで與へた時の重疊効果は電撃を全部下向

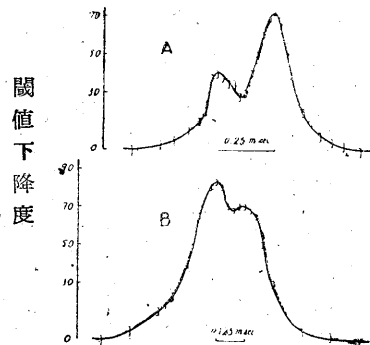
流として與へれば、2つの極大點を有する連続曲線が得られると考へられる。又然し第1、第2の兩電撃が融合した1つの効果を残す事も考へられないでもない。斯かる實驗例を2、3圖示すれば第5圖及び第6圖の様になる。第5圖は兩條件電撃を各々閾値の70%に固定し、Aはその時間間隔最も小で、Cは最も大である。即ち兩條件電撃の時間間隔と閾値下降度時間曲線の2つの極大點(峯)間の時間間隔は嚴密に一致し、更に又その峯の高さを檢するとC例に於てはその2峯の大きさは左側に示す尺度の70の線を僅かに越すのみであるが、BよりA例に至るに従ひ段々峯は高さを増す。又何れの場合も第1峯よりも第2峯の方が高いのが認められるが、之は前章に述べた様に閾値下降度時間曲線の經過が正側に於ては負側よりもその經過緩徐な事によると考へられる。

第5圖



第6圖は兩條件電撃の強さが異なる例で、A例は第1條件電撃が閾値の30%、第2條件電撃が70%で、B例は前者が70%、後者が50%である。

第6圖



若し兩條件電撃間隔を第5圖A例又は第6圖B例よりも更に小とすれば、此の兩電撃のみで既にその重疊効果は閾値を越して興奮を生起せしめる故、その時間間隔と電撃の強さにはある程度制限がある。

以上の2代表例の示す様に2電撃を相次いで與へた時、その重疊効果の形は各々の効果の各時點に於ける和を示す形となつて現はれる。従つて2電撃の効果はその何れが優勢となつても即ち何れの峯に於て一定値(閾値)に達しても興奮を生じ得る。

此の事は強さを異にする2電撃を選んだ第6圖の例に於てその時間間隔を更に段々小にして行くと、何れもある間隔以下に於て電撃のみで興奮を生じ、之は兩電撃の順序に關係しない事から推知される。之によつて、種々なる強さの閾下電撃の生ずる効果の形は其基本形となるべきものを得れば、容易にその重疊効果の形を察知し得る譯である。

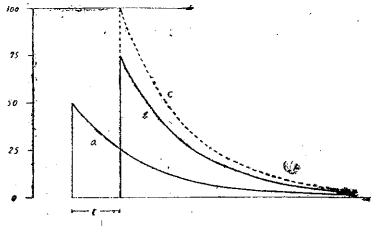
IV. 作圖に依る考察

前章に於て閾下電撃効果の基本形を決定すれば、それによつて重疊効果の形を推定し得ると述べた。然らば如何なる形を基本形として採用すれば、前章の實驗結果を良く説明し得るであらうか。2つの閾下電撃を與へるとその効果の重疊が一定値(閾値)に達した時に興奮が起ると

云ふ見解に従へば、重疊の法則を利用する事に依つて、圖形上から重疊効果の形を求め得られる。依つて著者は閾下條件電撃による効果を示すものとして Katz, Blair の 2 つの形を基礎とし、種々の時間間隔に於て重疊して丁度閾値となるべき試験電撃の強さを計算的に求めて見た。

Katz の主張するが如き形に於ては、短時間矩形電流の場合には增強の時間は減弱の時間に較べて非常に短いから之を垂直に上昇すると見做し得る。又漸減の形は單純指數曲線の經過を

第 7 圖

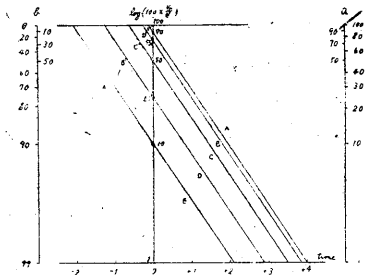


採る故之を圖にすれば第7圖の如くなる。而して重疊された刺戟効果の大きさは各個の刺戟効果の各時期に於ける値を夫々加算せるものとして表はす事とする。

例へば第 7 圖に於て閾値の 50% の強さの條件電撃を與へ、t 秒後に其の効果が半減したとすれば、此の時閾値の 75% の強さの試験電撃を同方向に與ふれば

2つの刺戟効果は試験電撃効果の最高期に於て重疊して丁度閾値 100 に達しそれより効果は漸減する(曲線 C)。

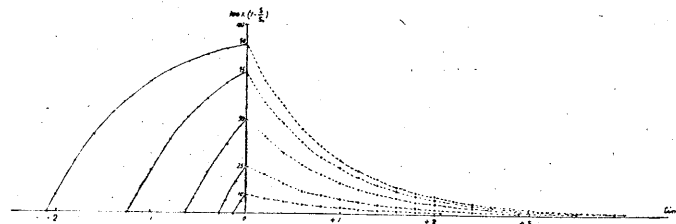
第 8 圖



條件電撃効果の經過中の種々なる時期に於て重疊して丁度閾値となるべき試験電撃効果の最高値を求むるには、第8圖の如き圖型を用ひる事により容易に計算する事が出来る。刺戟効果減弱が單純指數曲線であるから、半對數方眼紙を利用すれば直線として表はせる。第8圖では、電撃強度は閾値の百分率、時間は任意且盛、直線の傾きも任意とした。b は目盛 a の値を 100 より減算せる値である。時間軸の正負は條件試験兩電撃の先後を示す。

第 8 圖の直線 A, B, C, D, E は夫々 90%, 75%, 50%, 25% 及び 10% の條件電撃を用ひた場合である。而して各時期に於ける刺戟効果の大きさは平行線上の各點を目盛 a にて讀みたる値であり、之等の點に於て重疊して丁度閾値となるべき試験電撃効果の最高期の大きさは夫々の點を目盛 b にて讀みたる値を以て表はされる。且つ此の場合は重疊効果の最高

第 9 圖



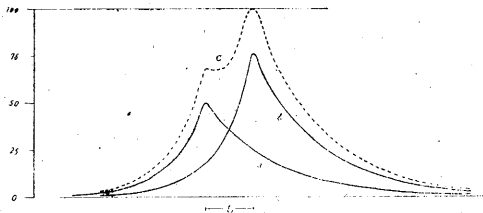
期は、條件電撃を與へたる後如何なる時期に於ても必ず試験電撃効果の最高期と一致する事は當然である。依つて斯かる試験電撃効果の値を閾値下降を以て表はせば第9圖

右半點線にて示せる如くなる。即ち上方より夫々先行條件電撃として閾値の 90%, 75%, 50%, 25%, 10% を用ひた場合である。之等の曲線は實驗から得た閾下電撃効果の形と大體一致する故、此の點からのみ考へると Katz の形は基本形としても差支なく、従つて Katz の所謂 hump は局所的非傳導性小興奮の存在によると云ふ事も考へられる。

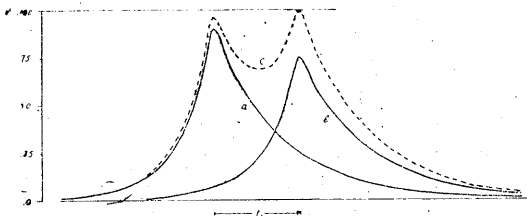
次に試験電撃を條件電撃よりも先行せしめた場合、重疊して丁度閾値となるべき試験電撃の強さを求めて見る。此場合試験電撃効果の漸減せるものに條件電撃効果の最高値が加り、閾値に達するものであるから、使用條件電撃強度を 100 より減算せる値を原點とし負方向へ引いた直線に依つて試験電撃強度は表される。直線 A', B', C', D', E' は夫々條件電撃強度が閾値の 90%, 75%, 50%, 25%, 10% の場合を示して居る。此の場合重疊効果の最高期は前述の條件電撃が先行する場合と異り、何れも試験電撃効果の最高期と一致しない。今之を試験電撃の閾値下降度時間曲線として圖示すれば第 9 圖の左半實線を以て示せる曲線となり、其の形は實驗より得た閾値下降度曲線の形と全く似ないものとなる。従つて試験電撃の強さから閾下刺戟の効果の形を察知する事は不可能である。

基本形として不適當である事、即重疊が各時點效果の重疊であり、重疊した値が閾値に達し

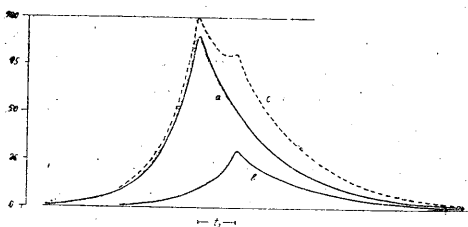
第 10 圖 A



第 10 圖 B



第 10 圖 C



て興奮すると云ふ見解が許さるる限り閾下刺戟の効果は Katz の云ふが如き形ではない。

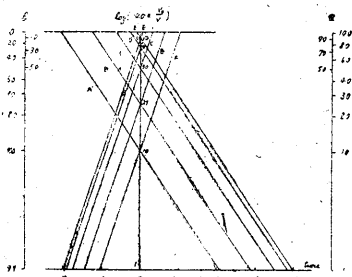
次に Blair の主張する如く刺戟效果の形は刺戟電流經過後に初めて漸増し次いで漸減するものとの立場で、田崎 (6) が 2 感應電撃を用ひて閾値下降測定によつて求めた曲線がある。之によれば第 10 圖の如く漸増の状態は漸減の状態に極めて良く似て居るが稍其の經過が急峻である。斯かる形を基礎として 2 つの閾下電撃の重疊效果の時間的經過を圖示する。

第 10 圖 A に於て曲線 a は先行條件電撃として閾値の 50% を用ひた場合の效果を示す實驗曲線である。其の最高期より t_1 時間後に其の效果が最高値に比し半減したりとすれば、丁度此の時最高値に達する様な時間に閾値の 75% の試験電撃を同方向に與ふれば、興奮が生ずる。

試験電撃のみの効果は a 曲線を比例擴大して得られるものとすれば、曲線 b の如くなる。此の兩電撃効果の重疊せる形は a, b 兩曲線を重疊せしめたる曲線 c によりて表はされる。即ち曲線 b の最高期に一致して閾値に達し、條件電撃効果の最高期に於ては重疊曲線は未だ閾下である。且つ a 曲線の後如何なる時期に b 曲線を置いても、重疊曲線の最高期は必ず b 曲線の最高期に一致し、a 曲線の最高期に於て既に閾値に達する様な事は無い。

條件電撃として閾値に比較的近い強さを用ひたる時は少しく様子を異にする。第 10 圖 B に於て曲線 a を閾値の 90% の條件電撃の効果、b を閾値の 80% の試験電撃の効果を示すとすれば、重疊効果を示す曲線は c の如くなる。即ち重疊曲線は b 曲線の最高期に於ては丁度閾値に達せるも、條件電撃効果の最高期に於ては未だ閾下である事が判る。然し第 10 圖 C に於ける如く試験電撃効果の漸増の相が條件電撃効果の最高値と重疊して丁度閾値となる様に試験電撃を與へる事も出来る。同圖は閾値の 90% の條件電撃の効果が最高期に達したる後 t_0 時間後に最高値が閾値の 30% に達する様に試験電撃を與へた事に相當すると考へられる曲線で、b 曲線の漸増の部分が a 曲線の最高期に於て既に 10% に達したるために重疊して閾値に達し、b 曲線の最高期に於ては重疊しても閾下である事が判る。以上 2 例の示す如く條件電撃が閾値の 90% の場合には、兩電撃の時間間隔如何によつて、重疊効果の丁度閾値に達する時期は兩電撃効果の最高期の内何れか一方に一致する事が考へられる。

第 11 圖



以上の關係を曲線の上昇及び下降の経過を指數函數的であると考へて一般的に簡単に求めるには第 11 圖の如き圖型による。即ち縦軸上の 90, 75, 50, 25, 10% を示す點より左下方及び右下方へ引ける平行線は閾値の夫々の百分率の條件電撃を用ひたる時の刺戟効果の漸増及び漸減の状態を示し、線上の各點を目盛 a にて讀みたる値は各點の示す時期に於ける効果の大きさを示す。之等の點の示す各時期に於て重疊して丁度閾値となるべき

試験電撃効果の最高値は、之等の各點を目盛 b にて讀みたる値を以て示される。勿論試験電撃を條件電撃よりも後に與へる場合には縦軸より右下へ引きたる線上條件電撃よりも先行せしめた場合には左下方へ引ける線上の各點の示す時期にその最高期が一致すべきである。

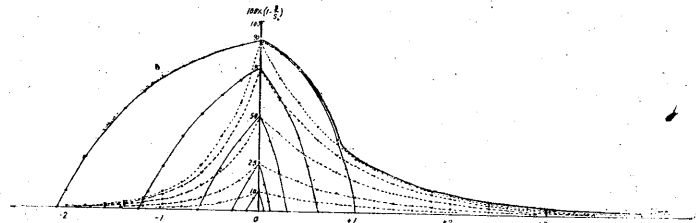
然るに前述の如く條件電撃効果の最高期に於て重疊効果が閾値に達する様な場合には、使用條件電撃強度を 100 より減算せる値を縦軸上に求め、之等の點より右上方及び左上方へ前述の平行線の延長線を引く事によつて容易に計算し得る。即ち平行線 A, B, C, D, E 上の各點を目盛 a にて讀めば、之等の各點の示す時期に夫々の値の示す如き最高値に達する如き試験電撃を與ふれば、その効果漸増の途中の部分が夫々の條件電撃効果の最高値と重疊して閾値となる事を示し、平行線 A', B', C', D', E' 上の各點を目盛 a にて讀めば同様にして効果

漸減の途中の部分が重疊して閾値となる事を示す。勿論此の場合試験電撃効果の最高期に於ては重疊効果は未だ閾下である。

斯くの如くにして求めたる重疊して丁度閾値となるべき試験電撃の強さをその閾値下降度として圖示せば、第 12 圖

第 12 圖

の如くなる。即ち點線にて示す曲線は夫々縦軸上の強度を條件電撃として用ひたる時に、重疊効果が試験電撃効果の最高期に一致して丁度閾値とな



る様な試験電撃の強さをその閾値下降度時間曲線として表はしたもので、細き實線にて示す曲線は重疊効果が條件電撃効果の最高期に一致して丁度閾値になる様な試験電撃の強さを示すものである。

扱て第 12 圖に示す如く、如何なる強度の條件電撃強度を用ひた場合でも、重疊効果の目標を兩電撃効果の何れの最高期に採るかによつて試験電撃の閾値下降度時間曲線は理論的には 2 種類のもを生ずるわけであるが、實際上實驗結果としてはより大なる閾値下降度を示す方の経過を採つて、太き實線を以て示す如き曲線を得る事は勿論である。今斯かる曲線の経過を検討するに、條件電撃を先行せしめた場合には(第 6 圖縦軸より右側)條件電撃が閾値の 75% 及び 90% の時には曲線はその経過の初めに於て所謂 hump を有して居るが、50%、25%、10% の時には hump を有せず指數曲線的漸減の経過を示す。又試験電撃を先行せしめた場合には(第 6 圖縦軸より左側) 90%、75% の時は左方に大きく膨大せる経過を示し、50% の時も未だ少しく hump を有し居るも、25%、10% の時は最早 hump は見られない。之等の形は 2 感應電撃法による常松(11)、根岸(8)の實驗結果と大體同一傾向を示してゐる。

斯くして閾下刺戟効果の形としては短時間刺戟の場合は刺戟電流經過後に初めて効果漸増して最高期に達し次いで漸減するものと考へれば、作圖に依つて求めた曲線の示す如く條件電撃の強さが閾値に比較的近い場合には電撃効果の重疊最高期が兩電撃間の間隔に依つて條件電撃の最高期から試験電撃効果の最高期に移動するため hump を示すのは當然にして、Katz の言へる如く刺戟局所に於ける non-conducted response の生起を假定する事なくして充分説明し得られると信ずる。従つて又試験電撃の閾値下降度より條件電撃効果の形を察知推論するには、條件電撃の強度を閾値の半分以下に限定しなければならぬと云ふ事になる。

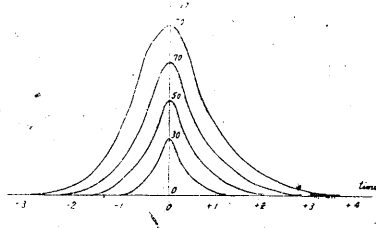
更に條件電撃を上向流にする場合は重疊効果は必ず試験電撃(下向)効果の最高期に一致すると考へられるから hump を示す様な事は絶対に起り得ないのは自明の理である。

以上によつて刺戟効果が上昇又は下降に際して指數曲線的経過を採ると假定した場合の圖型

による考察を行つたが、扱て第 1, 第 2 章の實驗結果を説明するには稍不十分である。即ち上述の解釋によれば條件電撃が 50% 以下の場合は單純に指數曲線的經過を採る結果になるが、實驗結果を通覽すると、斯かる形を採るものは全然見られない。即ち條件電撃を如何なる強さに選んでも、生ずる閾値下降度時間曲線はその極大點附近に於て上方に凸なる連續曲線をなし、且つ所謂 hump の位置は極大點附近と云ふよりは寧ろ上昇又は下降經過の途中に存し、實驗に際してはこの部に於て極めて不安定である。この實驗結果の不安定なる時點に關しては、それが曲線經過の途中に存する事は中村(3)も強調する所であつた。

之等の點を解決する爲には次の様に考へたい。即ち條件電撃の強さを閾値の 70% に固定した時に得られる試験電撃の閾値下降度時間曲線を 1 つの刺戟効果の基本形として採用し、條件

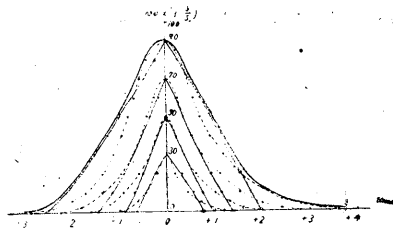
第 13 圖



電撃の強さに應じてその極大値の正比例する相似形を採るとする。即ち第 13 圖には條件電撃が閾値の 90%, 70%, 50%, 30% の場合を示してある。

今かゝる形の曲線を種々なる時間間隔を以て重疊せしめた時、重疊して丁度閾値となるべき試験電撃効果の大きさを求めて見る。此の時は前述の場合の様に對數値を利用して簡單に算出する事は出來ないが、70% のものを相似形に擴大或は縮小したものを考へて、試験電撃効果の最高期に一致して閾値に達するとした場合と、條件電撃のそれに

第 14 圖



一致して達すると考へた場合とに分けて求める。その結果は第 14 圖に示す様に前者は點線、後者は實線で表はす形となり、實際實驗上では條件電撃が 90% の時は曲線の上昇又は下降の途中に膨みが見られる様な形をとり、70%, 50% の時には殆んど膨みは見られず、30% の時は僅かに認められる事と良く一致する。従つて條件電撃効果の

形を試験電撃の閾値下降度から推知するには條件電撃として閾値の 70% 近邊を採用する事が必要となる。

V. 結 論

以上の考察によつて短時間持続矩形電流が神經纖維に及ぼす効果は、Blair や田崎の様に該電流の切斷後ある時間の後最大に達し、後次第に減ずると考へる方が妥當である。又その効果の形に關しては次の様に述べる事が出来る。即ち 1 つの閾下電撃が神經纖維に及ぼす効果の時間的經過を示す曲線は單純指數曲線的に經過すると考へるよりは、寧ろ極大點附近に於ては極めて滑らかな上方に凸なる連續曲線をなすと考へた方が實驗結果を良く説明する。此の形は條件電撃を閾値の 70% 附近に固定して求めた試験電撃の閾値下降度時間曲線に一致する。

而して條件電撃の強さに正比例して極大點の値を異にする相似形を以て、種々の強さの閾下電撃効果の形を表はす事が出来る。之を基本形として如何なる形の重疊効果を生ずるかを求めて見ると、條件電撃の強さが閾値の 70% 近邊から大小何れかに傾くと、閾値下降度時間曲線がその上昇又は下降の途中に於て膨みを生ずる機轉を理解する事が出来る。

稿を終るに臨み加藤教授の絶えざる御鞭撻と久保教授の御懇篤なる御指導及び御校閲に對して深く感謝する。

尚ほ本論文の要旨は昭和 16 年 12 月 26 日慶應義塾大學醫學部に於て開催された大日本生理學會第 4 回小講演會に「潛重疊に就ての一考察」と題して口演發表された。

文 獻

- 1) Blair (1938) Amer. J. Physiol., 123
- 2) Erlanger and Blair (1931) Amer. J. Physiol. 99
- 3) Gildemeister (1908) Pflügers Arch. 124
- 4) 林 (昭和 2 年) 慶應醫學 7
- 5) Hozawa (1928) Pflügers Arch. 219
- 6) Katz (1937) Proc. Roy. Soc. B. 124
- 7) 中村 (昭和 17 年) 慶應醫學 22
- 8) 根岸 (昭和 15 年) 同誌 20
- 9) 田崎一二 (昭和 13 年) 同誌 18
- 10) 田崎一二 (1940) Pflügers Arch. 244
- 11) 常松 (昭和 15 年) 慶應醫學 20

毛細管中の血液の流れに就て 612.135

第 1 報

東京帝國大學醫學部生理學教室

江 上 義 之

Egami-Yosiyuki

(昭和 19 年 5 月 20 日受付)

I. 緒 言

粘性流體としての血液が毛細管中を定常的に流動してゐる場合には、Hagen-Poiseuille の法則が適用され得る事は周知の處であり、事實之に基いて臨床的にも血液の粘性が測定されてゐる(例へば W. Ostwald の粘度計)。

本論文に於て吾々は單に血液の定常の流れに議論を限局するを止め、寧ろ血液速度分布の過渡的變化を追跡するを趣旨とする。例へば毛細管の兩端に於ける壓力差が時間の函數として與へられた場合、毛細管中の血液の流動速度分布は如何なる形態を取るかの如き問題に回答を齎らさんとするものである。勿論、人體にあつては其の正常な生理的環境に於て毛細管内血流速度分布は心臟の搏動には影響されず定常的な流速像を示す事は屢々指摘された處であり、從つて上に提示した主題の如きは一見無用かに見える。然し左様ではない。現實の問題として人體に加速度負荷を與へた場合、容積力の急激なる變化は毛細管内血流速度分布に異常な影響を喚起するに相違ない。例へばその際血液瓦斯交換の態度如何? 更に又、毛細管乃至小動脈に限らず、一般動脈に於ける心臟搏動の反映たる血流速度分布の週期性は Thermostromuhr (Rein) に依る血流速度測定に對して如何なる要素として働くや? (第 III 節参照)、之等の問題を考慮するならば、上に提示した主題の解決も決して無意義ではあるまい。本論文には先づ第 1 報として毛細管の兩端に突然一定の壓力差が印加された場合の血流速度分布の時間的變化を取扱ふ。尙、吾々は巨視的立場より血液の構造は等質、非壓縮性で且流れの状態は所謂層流 (laminar flow) であると假定する (第 III 節参照)。詳細は Jap. J. Med. Sci., Biophysics に發表の豫定。

II. 本 論

内徑 R 、長さ l なる毛細管を取り、その中心軸を z 軸に撰ぶ。毛細管の兩端に於ける壓力の分布が軸對稱であれば、毛細管中の血流速度分布は圓壘座標 r, θ, z を導入した場合 θ に關する成分は消失して了ふ。其處で r -及び z -方向の血流速度を夫々 u, w 、血液の密度及び粘性係數を ρ, k とすれば、緒言で述べた假定の下に次の運動方程式が成り立つ。

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{u}{r^2} \right] \dots\dots\dots (1) \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \dots\dots\dots (2) \end{aligned} \right.$$

此處に吾々は z 軸方向に働く容積力 Z のみを考慮した。尙、 p は壓力、 ν は動粘性係數で ν, ρ, k の間には $\nu = k/\rho$ なる關係がある。偕而、毛細管の兩端 $z=0, z=l$ に於ける壓力が一樣な強さ P_1, P_2 を有すれば、血流速度分布は z 軸に平行と見做してよく、従つて(1)、(2) は更に單純化されて

$$\frac{\partial w}{\partial t} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right] \dots\dots\dots (3)$$

のみ残る。

一方、運動方程式の一般式より

$$\nabla^2 p = 0$$

なる關係が誘導されるが、之も單に

$$\frac{d^2 p}{dz^2} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

に歸着せしめられる事が判明する。此の式の解は上掲の境界條件に適合して

$$p = \frac{P_2 - P_1}{l} z + P_1 \dots\dots\dots (5)$$

と決定され、之より $\partial p/\partial z = (P_2 - P_1)/l$ が出て来る。従つて此の値を(3)に代入して基礎微分方程式

$$\nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = \frac{\partial w}{\partial t} - a \dots\dots\dots (6)$$

が導かれる。但し簡單の爲

$$-\frac{1}{\rho} \frac{P_2 - P_1}{l} + Z = a \dots\dots\dots (7)$$

と略記した。次に境界條件の設定であるが、理論の一般性を喪はぬ爲に先づ毛細管壁に於て之りが存在する場合を考察する。外部摩擦の係數を h^* で表はせば (ν に相應して ν^* を導入)、

$$\left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)_{r=R} = -\frac{\nu^*}{\nu} w = -h w \dots\dots\dots (8)$$

と置ける。勿論 $h = \nu^*/\nu$ 。

最後に初期條件であるが、之は

$$w(r, t) = 0 \dots\dots\dots (9)$$

なる場合を考察する事にしても何等支障は来さない。上掲の 2 条件を満足する (6) の解は次記の特性函数:

$$G(r, \rho; t-\tau) = \frac{\lambda}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n^2 e^{-\nu \alpha_n^2 (t-\tau)} \frac{J_0(\alpha_n \rho) J_0(\alpha_n r)}{(h^2 + \alpha_n^2) [J_0(\alpha_n R)]^2} \dots\dots\dots (10)$$

の助けを籍りて簡潔に

$$w(r, t) = a \int_0^R \rho d\rho \int_0^t G(r, \rho; t-\tau) d\tau \dots\dots\dots (11)$$

で與へられ事は容易に檢證出来る。但し (10) に於て $J_0(x)$ は第 1 種零階 Bessel 函数にして α_n は

$$\alpha J_0'(\alpha R) + h J_0(\alpha R) = 0$$

を満足する相異なる正の實根を示すものとする。其處で (10) を (11) に代入、積分計算を遂行すれば、

$$w(r, t) = -\frac{\lambda a}{\nu R} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-\nu \alpha_n^2 t} \right] \frac{1}{\alpha_n} \frac{h}{h^2 + \alpha_n^2} \frac{J_0(\alpha_n r)}{J_0(\alpha_n R)} \dots\dots\dots (12)$$

なる解式に到達する。

之より $t \rightarrow \infty$ の時の血流速度分布を求めてみると

$$w(r) = \frac{a}{4\nu} (R^2 - r^2) + \frac{aR}{2\nu^*} \dots\dots\dots (13)$$

が導かれる (計算はやゝ厄介)。

次に境界条件を少しく變更して毛細管壁に於て入りが存在しない場合に移る。之は該管壁に於ける血液流動速度が零であるといふ条件に對應するものであるが、此の場合には (8) を

$$(w)_{r=R} = 0 \dots\dots\dots (14)$$

で置換すれば良い。前同様、特性函数:

$$G(r, \rho; t-\tau) = \frac{\lambda}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\nu \alpha_n^2 (t-\tau)} \frac{J_0(\alpha_n \rho) J_0(\alpha_n r)}{[J_0'(\alpha_n R)]^2} \dots\dots\dots (15)$$

(但し α_n は $J_0(\alpha R) = 0$ を満足する相異なる正の實根)

を利用して所要の解

$$w(r, t) = a \int_0^R \rho d\rho \int_0^t G(r, \rho; t-\tau) d\tau \dots\dots\dots (16)$$

が求まる。積分の結果は次の如し。

$$w(r,t) = \frac{2a}{\nu R} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-w_n^2 t} \right] \frac{1}{a^2} \frac{J_0(a_n r)}{J_1(a_n R)} \dots\dots\dots (17)$$

上式に於て $t \rightarrow \infty$ ならしめれば, Hagen-Poiseuille の法則

$$w(r) = \frac{a}{4\nu} (R^2 - r^2) \dots\dots\dots (18)$$

が誘導されるが, 之は $k^* \rightarrow \infty$ と置いたものに他ならない.

次に軸に垂直な任意の切断面を通して流れる flux Q を計算する. 之は何れの場合でも差異は無いから第 2 の場合(管壁に迂りの存在しない場合)のみに就て計算を行ふ事とする.

$$Q = 2\pi \int_0^R w(r,t) r dr = \frac{2a}{\nu} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-w_n^2 t} \right] \frac{1}{a^2} \dots\dots\dots (19)$$

之より定常状態に於ける flux として

$$Q = \frac{\pi a R^4}{8\nu} \dots\dots\dots (20)$$

なる表式を得る. flux なる概念より吾々は血流の平均速度 \bar{w} を定義する事が出来る. 即ち

$$\bar{w} = \frac{Q}{\pi R^2} \dots\dots\dots (21)$$

III. 理論の應用及び考察

前節の解析的所論を展開するに當り吾々の許容せる假定の妥當性に對する吟味, 並びに一般 Hämodynamik に導入せられたる諸概念の再検討と共に既に得た血液流動速度分布の嚴正解を毛細管の形態上の特性に基いて可及的單純化ならしめるのが本節の目的である.

先づ毛細管内血液の層流の假定を批判する. 此の假定の妥當性に對しては疑ふ餘地は無い. Hürthle(4) の研究に依れば直徑 1.1 mm の毛細管(1)に於て確實に層流の現存を認めると言ひ, Hess(1, 2) 及び Thoma(8) は毛細管のみならず, Aorta に於てすら亂流(turbulent flow)の存在は否定的で之の生成は期待出来なかつたと報告してゐる(2). 吾々は勿論層流の安定性を規定する Reynolds 數の循環系に亘つて探索すべき必要を痛感するものであるが, 現在迄の諸家の業績を總攬すれば, 毛細血管に於ては確實に, 又一般小動脈に於ても殆んど確實に層流の存在を肯定し得ると思ふ.

次に毛細管壁に於ける血液の迂りに論及する. 血液が血管内膜に固着し, 従つて管壁に於ける血液の迂りは否定的である事は Lewy(5, 6) の實驗に依つて明瞭となつた. 以上の文獻に徴しても, Hess(3), Thoma(7) が主張してゐる様に吾々の考察の範圍に於て Poiseuille の法則の成立を容認する事は決して危險を犯すものではない.

(1) 毛細管の長さも問題になる.
 (2) 之は更に實驗的分析を重ねる必要がある.

次に毛細管の抵抗に就て述べる。壓力の分布は z 方向に對して直線的に變化するから吾々は單位長互りの壓力差を以て壓力勾配の測度と見做し得る。従つて簡單の爲容積力を無視すれば、(7), (8)の兩式より

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = \frac{kQ}{2 \sum_{n=1}^{\infty} [1 - e^{-\nu a^2 t}] \frac{1}{a_n^2}} \dots\dots\dots (22)$$

が導かれる。上式に於て Q を固定して置けば、夫れに對應して時間の函數としての毛細管の見掛け上の抵抗が定義される。

尙、之に附隨して内部摩擦の存在に基因して熱 Energie に轉換される Energie 散佚の割合を計算しよう。先づ流體(此處では血液)の運動は irrotational で無い事を證明する。便宜上一般運動方程式より再出發し vector 表現を籍りて議論を進める。 q で速度 vector を表はせば⁽¹⁾基礎方程式は

$$\rho \frac{\partial q}{\partial t} = -\nabla p + k \nabla^2 q \dots\dots\dots (23)$$

之より直ちに $\omega = \text{curl } q$ と置いて

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} = k \nabla^2 \omega \dots\dots\dots (24)$$

が導き出せ、運動は irrotational で無い事を教へる。流體内に 1 つの閉曲面で圍まれた領域 V を考へ、此の領域に亘つて (23) を積分すると

$$\int_V \rho q \frac{\partial q}{\partial t} dv = - \int_V q \nabla p dv + k \int_V q \nabla^2 q dv \dots\dots\dots (25)$$

となるが、非壓縮性の條件を斟酌しつゝ次式

$$\begin{cases} q \nabla p = \nabla(pq) - p \nabla q = \nabla(pq) \\ q(\nabla^2 q) = -q(\nabla \times \omega) = \nabla(q \times \omega) - \omega^2 \end{cases}$$

を(25)に代入して

$$\int_V \rho q \frac{\partial q}{\partial t} dv = - \int_V \nabla(pq) dv + k \int_V \nabla(q \times \omega) dv - \int_V \omega^2 dv \dots\dots\dots (26)$$

を得る。更に Gauss の定理:

(1) 以降 a の如き符號は vector を表はす。尙簡短のため容積力は無視した。

$$\left\{ \begin{aligned} \int_V \nabla(pq) dv &= - \int_S p n q ds^{(1)} \\ \int_V \nabla(q \times \omega) dv &= \int_S n(q \times \omega) ds \end{aligned} \right.$$

を使用して (26) を變形すれば

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \frac{1}{2} \rho q^2 dv = - k \int_V \omega^2 dv + \int_S p n q ds - k \int_S n(q \times \omega) ds \quad \dots (27)$$

が導かれる。 併而、上式を圓筒座標に轉換して書き直せば、前節の結果を参照して

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \frac{1}{2} \rho q^2 dv = - k \int_V \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 dv + (P_1 - P_2) Q \quad \dots (28)$$

となる。(27)式右邊最後の積分は毛細管壁に迂りが無いといふ條件、及び毛細管軸に垂直な切斷面に於ては $n(q \times \omega) = \omega(n \times q) = 0$ の爲消失してしまふ。Energie 散佚の割合は上式右邊第 1 項にて與へられ、之を計算すれば Bessel 函数の直交性に留意して

$$\begin{aligned} k \int_V \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 dv &= 2\pi k l \int_0^R \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 r dr \\ &= 2\pi k l \frac{4a^2}{\nu^2 R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-\nu a_n^2 t} \right]^2 \frac{1}{a_n^4} \frac{\int_0^R r [J_1(a_n r)]^2 dr}{[J_1(a_n R)]^2} \\ &= 2\pi k l \frac{2a^2}{\nu^2 R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-\nu a_n^2 t} \right] \frac{1}{a_n^4} \quad \dots (29) \end{aligned}$$

なる結果に到達する。定常状態に於ては

$$k \int_V \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 dv = \frac{\pi k l a^2 R^4}{8 \nu^2} \quad \dots (30)$$

となる。之等は之れも單位時間に發生する熱 Energie 量を表はす。併而、一定の Q に對して a は半径の 4 乗に逆比例する故、熱 Energie の發生量も亦半径の 4 乗に逆比例する結果となる。巷間に流布せる一般生理學教科書には體溫維持に關與する熱發生機關として上述の要素の有する役割を無視した傾きがあるが、之は一應は検討を要する問題で、筆者は他日稿を更めて詳細に論じて見度いと思ふ。更に毛細管壁よりの熱の散率に對する血流速度の影響の問題がある。之も近く發表の拙論に譲る。

(1) n は法線 vector を示す。

最後に吾々の誘導せる厳正解が更に一層單純化され得ざるや否やを考究しよう。尙而、 $J_0(\alpha R) = 0$ の零點の若干を列記してみれば

$$\alpha_1 R = 2.405 \qquad \alpha_4 R = 11.792$$

$$\alpha_2 R = 5.520 \qquad \alpha_5 R = 14.931$$

$$\alpha_3 R = 8.654$$

假に毛細管の半徑を $R = 10^{-3}$ cm 程度に見積れば、 $\alpha_1^2, \alpha_2^2, \alpha_3^2, \dots$ は急激に増大し、(12) で表示される級數は最初の數項で打ち切つても大した誤差は生じない。斯くして吾々は數値計算を遂行する事に依り既述の厳正解の近似値を可成り精密に算出し得る。因に血液に就て $\rho = 1.055$, $k = 0.043$ (18°) 従つて $\nu = 0.041$ なる値が得られてゐる事を附記して置かう。

IV. 摘 要

毛細管及び一般動脈内に於ける血流速度分布の究明は、瓦斯交換、體温の調節及び Thermoströmuhr の使用に際して樞要なる地位を占める。筆者は先づ本論文に於て毛細管の兩端に突然一定の壓力が負荷された場合の血流速度分布の過度的變化を解析的に追及し、血液の運動は層流であるとの假定の下に Hämodynamik に導入さるべき 2, 3 の概念に就て吟味考察を加へた。

文 獻

- 1) Hess, W. R. (1906) Dissertation, Zürich.
- 2) Hess, W. R. (1917) Pflügers Arch. 168 477
- 3) Hess, W. R. (1927) Bethe-Bergmanns Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. VIII/Teil 2.
- 4) Hürthle, K. (1918) Pflügers Arch. 173 158
- 5) Lewy, B. (1897) Pflügers Arch. 65 447
- 6) Lewy, B. (1899) Arch. f. Anat. u. Physiol. 89
- 7) Thoma, R. (1893) Untersuchungen über die Histogenese und Histomechanik des Gefäßsystems. Stuttgart.
- 8) Thoma, R. (1910) Dtsch. Arch. f. klin. Med. 99 565

毛細管中の血液の流れに就て⁽¹⁾ 612.135

第 2 報

東京帝國大學醫學部生理學教室

江 上 義 之

Egami-Yosiyuki

(昭和 19 年 5 月 20 日受付)

I. 緒 言

第 1 報(1)に引續き、毛細管の兩端に印加された壓力(又は容積力)が時間の週期函數として與へられた場合、毛細管内血流速度分布は如何なる形式を取るかを本論文に於ては取扱ふ。本篇に於て展開される解析的手法は單に毛細管のみに限らず、管内の流れが層流でさへあれば一般動脈にも亦適用され得ること第 1 報と異なる處は無い。

尙、任意の週期函數は適當なる條件(Dirichlet の條件!)が満足されれば三角級數にて表示可能であるといふ事情に鑑みて、何等一般性を傷ける事なく壓力差は時間の餘弦函數と見做して解析を進める。記號は第 1 報に於て使用済みのものを其の儘踏襲する事とした。

II. 本 論

簡短の爲容積力を省略すれば基礎微分方程式は次の形を取る。

$$v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = \frac{\partial w}{\partial t} - a \cos ft \quad \dots\dots\dots (1)$$

上式に隨伴せる條件として

(i) 初期條件:

$$w(r, t) = 0 \quad t = 0 \text{ の時} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(ii) 境界條件:

$$w(r, t) = 0 \quad r = R \text{ で} \quad \dots\dots\dots (3)$$

の充たさるべき事が要求される。斷る迄も無く最後の條件は管壁に於て血液の迂りの存在せざる事を物語る。

之等の要請に應へる(1)の解は周知の如く特性函數:

$$G(r, \rho; t - \tau) = \frac{2}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\gamma \alpha_n^2 (t - \tau)} \frac{J_0(\alpha_n \rho) J_0(\alpha_n r)}{[J_0'(\alpha_n R)]^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(1) 詳細は Jap. J. Med. Sci., Biophysics に譲る。

を導入すれば直ちに

$$w(r, t) = a \int_0^R \rho \, d\rho \int_0^t \cos f\tau \, G(r, \rho; t-\tau) \, d\tau \quad \dots\dots\dots (5)$$

で表示される事は容易に了解出来る處であらう。積分計算を實行して定常状態に關係ある項のみを抽出すると次式が残る。

$$w(r, t) = \frac{2a}{R} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\nu a_n^2 \cos ft + f \sin ft}{\nu^2 a_n^2 + f^2} \cdot \frac{1}{a_n} \frac{J_0(a_n r)}{J_1(a_n R)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

上式は次のやうに書き換へられる；

$$w(r, t) = \frac{2a}{R} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(ft - \phi_n)}{\sqrt{\nu^2 a_n^2 + f^2}} \cdot \frac{1}{a_n} \frac{J_0(a_n r)}{J_1(a_n R)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

但し $\tan \phi_n = \frac{f}{\nu a_n^2}$

上式が定常状態に於ける血流速度分布の表式であるが、級數に依る表示を避けるには次のやうに進めばよい。

(1) を次の如く書く。

$$\nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = \frac{\partial w}{\partial t} - a e^{ift} \quad \dots\dots\dots (8)$$

其處で暫定的に

$$w(r, t) = e^{ift} \Omega(r) \quad \dots\dots\dots (9)$$

と置いて(8)に代入すれば、 Ω は瞭らかに次記の微分方程式を満足せねばならぬ。

$$\frac{d^2 \Omega}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\Omega}{dr} - i\kappa^2 \Omega + \frac{a}{\nu} = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

但し $\kappa^2 = f/\nu \quad \dots\dots\dots (11)$

借而、境界に於て要請さるべき條件： $\Omega(R) = 0$ を顧慮するならば、所要の解式は次式に依つて與へられる事は容易に判明する。

$$\Omega(r) = \frac{ia}{\nu \kappa^2} \left[\frac{J_0(\kappa r i^{\frac{3}{2}})}{J_0(\kappa R i^{\frac{3}{2}})} - 1 \right] = \frac{ia}{\nu \kappa^2} \left[\frac{\text{ber } \kappa r + i \text{bei } \kappa r}{\text{ber } \kappa R + i \text{bei } \kappa R} - 1 \right] \quad \dots\dots (12)$$

此處で更に周知の恒等式：

$$i = e^{\frac{1}{2}\pi i} \dots\dots\dots (13)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \text{ber } z + i \text{bei } z &= M_0(z) e^{i\theta(z)} \\ M_0(z) &= \sqrt{\text{ber}^2 z + \text{bei}^2 z} \dots\dots\dots (14) \\ \theta_0(z) &= \tan^{-1} \frac{\text{bei } z}{\text{ber } z} \end{aligned} \right.$$

等を援用すれば(12)は次の如く變形出来る。

$$\Omega(r) = \frac{a e^{\frac{3}{2}t}}{\nu \kappa^2} \left[\frac{M_0(\kappa r)}{M_0(\kappa R)} e^{i\Theta} - 1 \right] \dots\dots\dots (15)$$

但し $\Theta = \theta_0(\kappa r) - \theta_0(\kappa R)$

此處で(15)を(9)に代入して實數部分のみを取出せば結局次式が残る。

$$w(r,t) = \frac{a}{\kappa^2 \nu} \left[\frac{M_0(\kappa r)}{M_0(\kappa R)} \cos\left(ft + \Theta + \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(ft + \frac{\pi}{2}\right) \right] \dots\dots\dots (16)$$

上式右邊第1項は血流速度分布に及ぼす f の影響を如實に反映してをる因子であるが、其中速度變動の空間的分布、換言すれば振幅の大きさに對する影響は $M_0(\kappa r)/M_0(\kappa R)$ で表現され、又位相のズレに對する影響は Θ で代表される點に留意を要する。

本稿に於ては之等の Graph の揭示を省略するが(原著参照)、大體の輪廓を伺ふには彼の Jahnke-Emde (3) の函數表を使用すれば良い。

次に軸に垂直な横斷面を横切つて流れる flux を計算する。夫れには更めて(8)の解の1つの表現式：

$$w(r,t) = \frac{a}{\nu \kappa^2} e^{i\left(ft + \frac{\pi}{2}\right)} \left[\frac{J_0(\kappa r i^{\frac{3}{2}})}{J_0(\kappa R i^{\frac{3}{2}})} - 1 \right]$$

より再出發する。従つて

$$\begin{aligned} Q_t &= 2\pi \int_0^R r w(r,t) dr \\ &= \frac{2\pi a}{\nu \kappa^2} e^{i\left(ft + \frac{\pi}{2}\right)} \left[\frac{1}{\kappa i^{\frac{3}{2}}} \frac{J_1(\kappa R i^{\frac{3}{2}})}{J_0(\kappa R i^{\frac{3}{2}})} - \frac{R^2}{2} \right] \\ &= \frac{2\pi a}{\nu \kappa^2} e^{i\left(ft + \frac{\pi}{2}\right)} \left[\frac{e^{-\frac{3}{4}\pi i}}{\kappa} \frac{M_1(\kappa R)}{M_0(\kappa R)} e^{i\Theta} - \frac{R^2}{2} \right] \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

但し $\Theta^* = \theta_1(\kappa R) - \theta_0(\kappa R)$

より實數部分のみを抽出して

$$Q_t = \frac{2\pi a}{\nu \kappa^2} \left[\frac{1}{\kappa} \frac{M_1(\kappa R)}{M_0(\kappa R)} \cos\left(ft + \Theta^* - \frac{\pi}{4}\right) - \frac{R^2}{2} \cos\left(ft + \frac{\pi}{2}\right) \right] \dots (19)$$

が導かれる。 借而、交流理論よりの類推に基き半週期に就ての flux の平均値、即ち平均 flux \bar{Q}_t は次式で與へられる事になる。

$$\bar{Q}_t = \frac{2a}{\nu \kappa^2} \left[R^2 - \frac{2}{\kappa} \frac{M_1(\kappa R)}{M_0(\kappa R)} \sin\left(\Theta^* - \frac{\pi}{4}\right) \right] \dots (20)$$

次に Energie 散佚の割合を算出する。 前同様半週期に於ける熱發生量の平均値 \bar{W}_t は

$$\bar{W}_t = \frac{f}{\pi} \int_{\epsilon}^{\epsilon + \frac{\pi}{f}} dt \int_V \left(\frac{\partial w}{\partial r}\right)^2 dv \dots (21)$$

で與へられる事は容易に首肯れる (第1報参照)。 借而、

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial r} &= \frac{i^{\frac{1}{2}} a}{\nu \kappa} e^{ift} \frac{J_1(\kappa r i^{\frac{1}{2}})}{J_0(\kappa R i^{\frac{1}{2}})} = \frac{a}{\nu \kappa} \frac{M_1(\kappa r)}{M_0(\kappa R)} e^{i\left(ft + \Theta^* + \frac{\pi}{4}\right)} \\ &= \frac{a}{\nu \kappa} \frac{M_1(\kappa r)}{M_0(\kappa R)} \cos\left(ft + \Theta^* + \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned}$$

之より

$$\left(\frac{\partial w}{\partial r}\right)^2 = \frac{a^2}{\nu^2 \kappa^2} \frac{M_1^2(\kappa r)}{M_0^2(\kappa R)} \cos^2\left(ft + \Theta^* + \frac{\pi}{4}\right)$$

となる故、此の式を (21) に代入し下記の積分公式：

$$\int_0^R M_1^2(\kappa r) dr = \frac{R}{\kappa} M_0(\kappa R) M_1(\kappa R) \cos\left(\Theta^* - \frac{\pi}{4}\right)$$

を利用しつゝ積分計算を遂行すれば結局次式に到達する。

$$\bar{W}_t = \frac{\pi \ell i a^2 R}{\nu^2 \kappa^3} \frac{M_1(\kappa R)}{M_0(\kappa R)} \cos\left(\Theta^* - \frac{\pi}{4}\right) \dots (22)$$

之より單位容積に就ての Energie 散佚の割合は

$$\bar{W}_{t;c.c.} = \frac{\ell a^2}{\nu^2 \kappa^2} \frac{1}{\kappa R} \frac{M_1(\kappa R)}{M_0(\kappa R)} \cos\left(\Theta^* - \frac{\pi}{4}\right) \dots (23)$$

で表現される値を持つ。

III. 考 察

毛細管の両端に於ける壓力差が時間の週期函数として變動してゐる場合の血液の流れの状態は僅かに Hürthle (2) に依つて探索されてゐるに過ぎない。彼は斯様な條件の下に於ても尙且 Poiseuille の法則の成立し得る事を実證してゐる。従つて流れの状態が層流であるとの假定より出發して展開された以上の解析は何等事實と抵觸するものではない。

先づ(16)式に基いて血流速度分布の状態を伺つてみよう。函数 $M_0(kr)/M_0(kR)$ の性質を吟味すれば、血流速度の絶對値は壓力差の周波數の増加に伴ひ毛細管の中心軸より遠ざかるにつれてより急速に減少する事が判明する。之は所謂 skin effect と對蹠的な現象で血液は主として毛細管中心軸周邊の極く狭い範圍を流れる傾向を持つものと解釋される。

次に任意の横斷面に於ける血流速度分布を考へれば、血液の流れの方向は一樣でなく所謂位相のズレが見られる。従つて毛細管の中心軸より管壁に向ふいはば減衰的な波動が發生する事になる。事實毛細管内血流像に見られる流れの方向の不均一性は、例へ他の原因が介入してゐるにせよ、其の一半は上述の事態を反映してゐるものと見做してよいであらう(心臟搏動の週期性に留意して)。

次に熱 Energie 發生の情態に就て若干考察を加へてみることにしたい。夫れには(23)式を吟味すればよい。

偕而、函数

$$\frac{1}{kR} \frac{M_1(kR)}{M_0(kR)} \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)$$

は正の値を持ち0より増加して $kR \doteq 2.5$ あたりで最大値を取り此の點より漸次減少して再び0に收斂する性質を持つ。之より吾々は單位容積あたりの熱 Energie 發生量の大きさを周波數の函数として導き得るのであるが、此處では詳細の議論を展開する事は割愛し原著に譲ることにしたい。

IV. 摘 要

第1報に引續き、毛細管の両端に時間の餘弦函数として與へられた壓力差が加へられてゐる場合の毛細管内血流速度の定常的分布を追跡してみた(流れの状態は Hürthle の實驗に準據して層流と假定した)。之は心臟搏動の週期性に留意して壓の時間的變動に就て Fourier 展開を行ひ、其の中の1項を取上げた操作に對應するものであるが、解析的に見て何等一般性を喪失するものではない。解析の範圍は

- (i) 血流速度分布の決定
- (ii) 平均 flux の決定
- (iii) 摩擦に依つて失はれる Energie 散佚の割合

文 献

- 1) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 742
- 2) Hürthle, K. (1918) Pflügers Arch. 173 158
- 3) Jahnke-Emde (1933) Funktionentafeln mit Formeln und Kurven. Leipzig und Berlin.

會 報

會 員 移 動 (12月15日まで)

入 會 (8名)

	所 屬	住 所	紹 介 者
尾崎久雄	東京帝大醫學部生理	東京都杉並區中通町 52	福田邦三
矢尾板孝一	東京帝大醫學部生化	東京都日本橋區濱町 1の5	同上
佐々木陽一	新潟醫大生理	新潟醫科大學生理學教室	高木健太郎
長谷川友也	同上	同上	同上
須田圭三	同上	同上	同上
福留徹		東京都澁谷區代々木山谷440松尾方	井上清恒
清宮澄子		東京都澁谷區西大久保1の497	同上
樫田良精	東京帝大醫學部佐々内科	東京都日本橋區通 3丁目1	若林勳

轉任・轉居

上小鶴克巳	鹿兒島縣薩摩郡高城村城上(舊東京)
岸本正義	鳥取縣出雲市今市本町(舊埼玉)
土肥要	名古屋市市中村區日比津町道下中村保健所
宇野幸	東京都葛飾區金町3の1998(舊千葉)
鈴木晃太郎	大阪府北河內郡寢屋川町香里園霞丘(舊高槻)
辻口清孝	石川縣鹿島郡中島村(舊大連)
壽原健吉	北海道帝國大學超短波研究所(舊東京)
下泉重吉	東京都小石川區久堅町 85

會員 平良和彦君戰死せられた謹んで弔意を表す

會員 高田精一君、加瀬金一君逝去せられた謹んで弔意を表す

昭和19年9月5日印刷

昭和19年9月13日發行

編輯兼發行者

戸塚武彦

東京都本郷區元富士町
東京帝國大學醫學部生理學教室
電話小石川(35)5588

印刷者

武藤龜吉

東京都王子區堀船町1ノ785

(東京 654)

印刷所

文友社

東京都王子區堀船町1ノ785

配給元

東京都神田區
澁路町二丁目九番地

日本生理學雜誌第9卷第8號

定價 1圓

發行所

大日本生理學會

事務所 東京帝國大學醫學部生理學教室

振替東京 86430 番 電小石川 5588

會員番號 216029番

發賣所

岩波書店

東京都神田區一ツ橋通町

電話九段(33)代號 0187(4)

振替口座東京 26240番

承認番號 40號

日本出版配給株式會社

結核の早期診断に!

小原染色液

專賣特許

小原染色液は醫學博士小原正生先生發見創製に係る結核菌即時染色判定用にして、在來の長時間、要熟練、不鮮明、不確實の缺點を一掃し、短時間、簡易、鮮明、確實の大特長を有す。

軍隊、學校等大量的診斷に當つて劃期的飛躍を示せる最新理想的診斷液にして、既に東大、九大、慶大等の實證的營養報告あり、今更ら喋々を要せず、今回イデチゲンの妹姉藥として發賣す。奮つて御使用あらんことを。

第一液 小原染色液

試藥及 二十四アンブル入 (A、B) 定價
特製試藥管 二二個
特製ビベット 二二個
附屬器具 セスリ 一個
使用説明書附 定價 二・五〇

第二液 戸田複染色液

最も使用に便なる

メチレン 靑液 定價 五十圓

集團的結核菌 簡易染色裝置 一具 定價 一四・五〇

發賣元 東京 本郷 いわしや大磯商店藥品部

(全國有名器械店及藥店にて 販賣實驗報告集第一輯贈呈)

鎮咳祛痰藥

“北研” さびとん

理學博士 北里壽次郎氏創製



ムクロシンナトリウムを主成分とする

純化學的製品にして何等の副作用なし。

❖ 文献至上 ❖

東京市芝區白金三光町138

北里研究所販賣部

★ 集團接種愈々普及する ★

細胞に免疫を興へる

結核免疫元 ワクナール

北里研究所製品

“北研”

適應症

内科、小兒科、眼科、婦人科、皮膚科、外科等各科領域に廣く治療効果を認められる。

東京市芝區白金三光町一三八
北里研究所販賣部

大販賣所

大阪・東京 株式會社 鹽野義商店 東京・本町 株式會社 中村彌商店



312

【成分】牛腦下垂体抽出前葉ホルモン

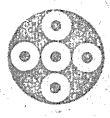
【適應症】

1. 男女生殖腺及生殖器發育乃至機能不全
2. 月經異常、卵巢性子宮出血、出血性メトロパチー
3. ホルモン性子宮腔部糜爛、外陰部癢痒症乳汁分泌不全、白帶下
4. 骨盤内炎症、腰痛、腰部下肢の冷感
5. 早産兒哺育
6. 新陳代謝異常、老耄諸現象に對する賦活
7. 妊娠惡阻、喘息、血壓異常、耳鳴、船車暈
8. 諸般の皮膚病（圓形禿髮症、濕疹、疱疹）
9. 神經及精神病、神經衰弱、神經質、不眠症
10. 腦下垂体性惡液質

注射液 100單位乃至1000單位及錠劑 50單位

塩野義製藥株式会社
大阪・東京・京城

プレホルモン



出血性の素質の徹底的治療に

ビタミンK剤 スクワテンジ

プロトロンビン減少に起因する各種出血性疾患、殊に早・新生兒の出血性素質は死亡率極めて高くその治療は從來頗る困難とされてゐたがビタミンKたるジエンテックスは劃期的新止血劑として此等諸疾患に實用せられる

包装 注 10(100mg) 10管

3-18

製造販売元・大阪市東區堂島町 田邊製藥株式会社
 関東販賣元・東京都日本橋區本町 東京田邊製藥株式会社

結核新劑

(白金パラジウム-ベルオキントーゼ)

結核全般
 肺結核・咽頭結核・ルイレンキ・腸結核・
 腎臓結核・腹膜結核。

山内製藥所
 東京市赤坂區青山南町五ノ七九
 電話青山(36)二六三八番
 振替東京四五八一

最高度組織内酸化增強劑 (副作用一切なし)

オキシドールは特殊装置により製作されたる白金・パラジウム電化液にて從來のものと免疫學上、治療學上根本的に其趣を異にし、腦及び肺臓を主とし、諸臓器組織内深く沈着し、其強力なる接媒性能により組織内酸化工作を最高度に增強し、其寄生する結核菌を酸化撲滅するものなり、また豫防に用ひて効果顯著なり。

定價十管入金十圓 (文獻贈呈)

オキシドール

武田發賣品

製造發賣元
武田藥品工業株式會社
大阪市東區道修町



【包裝】一〇〇瓦 五〇〇瓦

【適應症】カタル性黄疸、サルバルサン黄疸、急性慢性膽石症、慢性膽囊炎、膽道炎等。

一、肝・膽道疾患の主訴たる苦痛即ち肝臓・膽囊部の疼痛、緊張感、壓迫感を速かに消退若くは減退せしむ。

一、急性の肝臓に因る高田氏反應陽性の陰性轉化を促進せしむ。

一、肝のガラクトーゼ處理作用を著明に亢進す。

一、ウロビリソンの病的増量を顯著に減少す。

一、十二指腸ソルテを用ひて十二指腸に注入するときは胆汁の腸内流出量は著明に増加す。

一、急性の肝臓に因る高田氏反應陽性の陰性轉化を促進せしむ。

ンロクルク

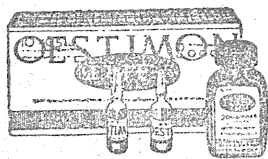
道 膽・肝
劑 療 治 患 疾

434

内服効果を誇る

ステルベン系・卵胞ホルモン類

エストロモン



錠	0.1錠	0.5錠	1.0錠
容	0.5cc	10管	50管
容	0.1錠	100瓦	500瓦
錠	0.1錠	50錠	100錠

本劑は合成品なるため價均齊、奏効迅速にして、確實なる内服効果の特徴とするもので、凡ゆる卵胞ホルモン適應症に賞用される。殊に特有の末梢血管擴張作用は末梢血流を改善して新陳代謝を旺盛ならしめ凍傷・凍瘡・凍瘻の新治療劑として益々好評である。

3-115

製造發賣元・大阪市東區道修町
田邊製藥株式會社

圖東販賣元・東京部日本橋區本町
東京田邊製藥株式會社

アレルギー性 疾患に

ミノファージンC

ミノファージンCはアレルギー及び特異體質性疾患を惹起する最も主要器官たるショック器官 Retikuloendothelialsystem より抽出せるグルクロン酸を Vital な處置によつて安定化したものである。

アレルギー性疾患

喘息・麻疹疹・濕疹・密疹症・小兒ストロフルス・ロイマチス

中毒性疾患

サルバルサン・ズルファミン・プラスモヒン・キニーネ等ニ依ル中毒・自家中毒・血毒病

合資會社 ミノファージン製藥本館
東京都四谷區内藤町一