

Nihon Seiri. Z.



最新 除倦覚醒劑

ビロホ

文獻申込次第贈呈

製造元
大日本製藥株式會社

本店 大阪市東區通津町
大日本製藥株式會社
支店 東京都日本橋區本町

包裝
錠劑 3錠 20錠 100錠 500錠
散劑 (百倍稀釋)
100ml 150ml 1000ml
注射劑 10ml 100ml 1000ml

- 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、藥物醉
 - 四、各種憂鬱症

製法特許

集茂 21-Phenyl-2-methylamino-propyl-CH-CH-NH-CH₃-CH₃の塩酸塩なり。

葡萄糖・食塩と 複塩注射劑

葡萄糖注射は近時價格關係に因るならんか、品位の低下に伴ふ副作用等憂慮さるゝ聲を屢々聽に至れり。本品は無色透明の液なり而して葡萄糖注射液の重要性に鑑み、特別の操作に因り濾過滅菌等、品質の完璧を期したるものにして價格の低廉と共に他に比を見ざる特長を有す。本劑は單一なるものに比し効果優秀なるは藥理學的に判定さるゝ處なるが、動物並に臨床實驗成績はより以上の卓越を如實に立證さる。

本品の特長

- 一、原料葡萄糖の品位極めて高級にして、從來の市販品を遙に凌駕する事
- 一、食鹽との複鹽は葡萄糖の連續注射により招來さるゝ事ありとされる、アシドウデスの傾向を排除するは勿論諸疾病に續發さるアシドウデスを緩和する事として最も好適である事

(包裝) 5% 10% 30%

製造發賣元 島居製藥株式會社
東京都日本橋區本町三丁目

リグーナー

著名器械店へ
乞御照會
各種型錄謹呈

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 中野四三三七・四三三八
大阪營業所 大阪市北區堂本二階 電話 北區



YASHIMA TOKYO

ヤシマ顯微鏡

心臓球各部及び房室境界の結紮效果に就いて(第4篇) 612.171

心臓電氣描圖に就いての研究

(本研究の費用の一部は昭和17年度文部省科學研究費に依れり)

金澤醫科大學生理學教室

藤 條 久 成

Tozyo-Hisanari

(昭和18年11月8日受付)

I. 緒 論

著者は前3篇(7, 8, 9)に於て心臓球各部及び房室境界の結紮に際して起る心室及び球の收縮に關して詳細なる觀察を報告し、殊に第3篇(9)に於ては室と球の收縮曲線を描記して兩者の關係を明かにしたが、心臓各部の關係を知るには電氣描圖が最も便利な事は言ふ迄も無く、殊に當教室に於ける上野教授の研究に依り特殊の誘導法を用ひ、容易に球棘(B_0)を検出し(12)又心房收縮が竇よりの刺戟に依るものか、或は室よりの逆行刺戟に依るものかを明確に判定し得る(10)に到つて居る故、著者は此の方法を用ひて、改めて各結紮に於ける球、室、房の搏動の關係を研究して、特に球自動より漏斗自動への移行の關係を明確にする事が出來た。

II. 實 驗 方 法

Urethan 麻酔又は脊髓穿刺の墓に於て、第1篇(7)以來記載して來た方法に従つて心臓各部間の心外膜竝に結締織を充分に剝離した後、心臓を體外に切出しコルク板上に兩側動脈幹を昆蟲ピンで固定した後、後大靜脈より灌流用カニューレを挿入して靜脈竇の前部でカニューレを支持器に固定し、高野氏液を通ずる。之より横河製電磁型 Oscillograph (同所製真空管增幅器併用)を以て電氣描圖を描記する。誘導法は竇尖誘導(10, 14)の外、上野教授考案の球室底誘導(13)を併用し、後刻漏斗自動の有無を確實に檢査する爲には、又竇房誘導(10, 14)を併用した。Stannius 氏第I結紮(I.L)は竇房境界を、挿入のカニューレの上で行つた。而してI.L後も竇棘が屢々著明に現はれて後刻他の棘との判別が困難になる事もあつた故、結紮後竇を切除した事もある。又球結紮に際しては、其の灌流を中止して房室の膨隆を豫防した。

球結紮後の各棘の判定を容易且確實ならしめる爲に、先づ正常搏動時の電氣描圖を描記し、次にI.L後房、室、球を夫々刺戟して、其の電氣描圖を描記した。刺戟にはPorter 氏感應コイルと白金電極を用ひ、刺戟部位は房、室では常に其の境界に充分近い部位、球では略々中央部を撰んだ。刺戟の強さはコロイド電池1箇を連結して房、室ではコイル間隔5~7 cm、球では稍々強く4~5 cmとした。電氣描圖上の各棘の間隔は特に注意して測定した。即ち正常時の

P~P(又は R~R), P~R, R~B₀ 間隔の測定は球室底誘導描圖に就いて行つたが, 球結紮後の R~P, R~P' 等の測定は各棘の最も明確なものを撰んだ結果, 球室底誘導の外, 竇房誘導描圖に就いても行つた. 一般に球室底誘導描圖に於ける P~R, R~B₀ 等は竇房誘導描圖に於ける測定値よりも少々大であるが(夫は棘の大きさが異なり, 従つて測定起點が多少移動する爲), 其の差は通常測定誤差及び各値の正常變動の範囲内である.

III. 實 驗 成 績

今回の實驗は昭和 17 年 12 月, 20 匹の墓に就いて行つた. 室温は煖爐を用ひたが, 9.5~16°C 平均 15°C 位の割合の低温であつた. 電氣曲線の不良な 2 例を除き, 18 例中球の電氣的刺戟が逆行して室の收縮を惹起し, 従つて後の B₁L (球と動脈幹境界の結紮), B₂L (球中央部の結紮) に際しても室が球に追隨し得たのは僅かに 8 例であつた. 而して此の 8 例中 4 例には漏斗自働又は房自働を併發した. 故に之等を夫々分類して詳述する.

以下の挿圖に於て下の描圖は常に竇房誘導, 上の描圖は多くは球室底誘導, 稀に竇房誘導に依るものである.

1. 室球間の逆行可能な場合

a. 漏斗自働又は房自働の併發した場合

此の場合が本篇に於て最も興味あるものである.

例 1. 標本 No. 2 (4/XII 18°C)

本例は I.L に依り一時完全に静止したが, 球刺戟を試みる頃より房自働が開始した. 先づ球結紮前の電氣描圖を第 1 圖に示す. 其の a は正常保血心臟の電氣描圖で, 上は球室底誘導, 下

は竇房誘導に依るものである. 上

の描圖には P が 2 棘性, R は 2 相性, B₀ (球の初棘 12) は陰性に現

はれた. T_b は球の終末棘 (15) である. b は房刺戟の場合で, 上の

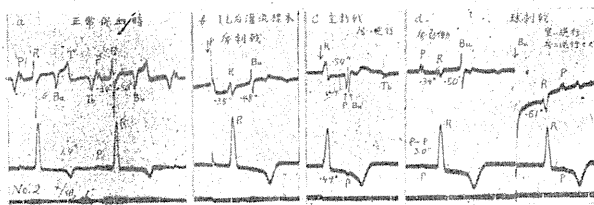
描圖で B₀ は陽陰の 2 相性になつて居るが, 之は室に近き電極を球

の近心端に近く置いた爲である

第 1 圖、基心電氣描圖

上の曲線は球室底誘導, 下の曲線は竇房誘導

(以下の圖にも同様)



(15). c は室刺戟の場合で, 夫は房に逆行して陰性の P を生じ, 又球に正行して正常形の B₀ を生じた. d の球刺戟の場合には, 其の前に房自働が生起して正常順序の搏動が起つて居た.

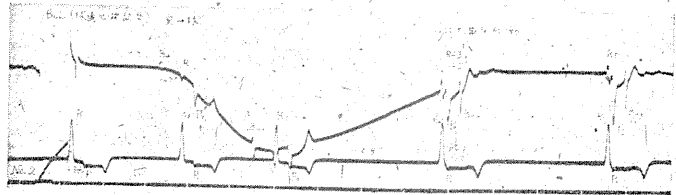
此の圖では P が R の後方適當な間隔に在つて一見逆行の様に思へないでもないが, P が逆轉して居ない事, 又此の前後の部分に於て P の間隔は整然として亂れず, 又球刺戟に依る R との関係が不定である事に依り逆行の起らなかつた事は明かである.

之丈の豫備實驗の後に I.L を行つたが, 其の頃には房自働は漸次衰へて標本は再び完全に

静止して居た。而して第2圖に示す様に B_1L に依り多數の R を生じた。以下 R 及び B_u に番號を附けて説明する。 B_1L 直後の R_1 は既に其の後方 0.34 秒に陰性の P 棘 (第1圖 c と比較せよ) を伴ふ故、之が球

→室の搏動なる事が明で、
 R_2, R_3 は更に前方 0.47 秒に B_u を伴ふ故、球よりの逆行に依る事が愈々確實である (只 B_{u3} の形が正常と

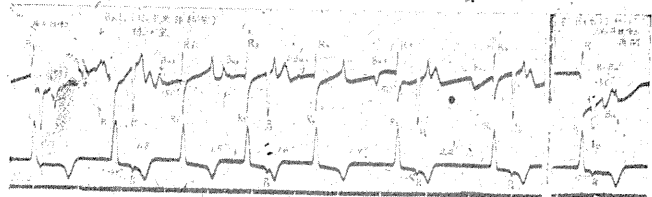
第2圖 B_1L に依り球→室、收縮3回にして漏斗自働を誘發した。



同じである事は奇異であるが之に就いては後で考察する)。

然るに R_4 になると却つて後方 0.42 秒に B_{u3} を生じ、 P_3 も又著しく R_3 に接近 (R_3-P_3 は 0.12 秒) して居る。故に R_3 は漏斗自働に間違ひない。而して R_5 以下は全く R_1 と同じ關係である。即ち本例では球からの逆行が僅かに 2 回にして既に漏斗自働を誘發したのである。 R の週期 (1つの週期とは夫と其の直前の R との間隔を言ふ。他の棘に就いても同様である) は、 R_2 に 2.7 秒、 R_3 に 2.1 秒、 R_4 及び R_5 に 3.8 秒であるから、漏斗自働への移行の直前には殆んど休止期は無かつたと言つて宜しい。即ち心室の收縮曲線に依つたならば、漏斗自働への移行は見逃がされたであらう。尙 R の週期は R_4 頃から徐々に延長して R_5 に到つて 4.4 秒になつた。即ち此の場合の漏斗自働は Rhythm of development を呈せずに Rhythm of excitation の様相を呈したが、然し之は奇異で無く却つて球から逆行した興奮に依り房室漏斗が刺戟されて自働を誘發されたと言ふ考へ方に良く一致する譯である。此の漏斗自働は尙數分間持續して漸次緩徐になり、 B_2L の直前には (第3圖 a の左端の R を見よ) $R-P$ が少しく延長して 0.17 秒になつた。之は

第3圖 B_2L に依り球→室收縮9回にして、15秒の休止の後漏斗自働に後歸す。



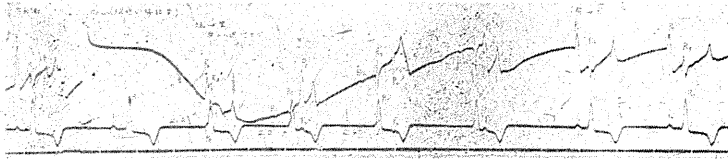
漏斗中に於ける自働部位の移動の爲と考へるより、傳導系の疲勞の爲と考へる方が確からしい (下記の如く B_2L 後は更に延長して居る)。此時 B_2L を行ふと第3圖に見る様に R_1 に於て P

が R の充分後方 (0.49 秒) に離れ、又 R_2 以後は R の前方 (約 0.50 秒) に B_u が明瞭に認められて、球→室→房の搏動なる事が知られる。 B_u の形は次々と變化して行つたが、之は球中央部の結紮である爲器械的傷害が強い結果と考へられる。 R の週期は R_5 以後漸次延長し R_9 に於て 3.4 秒となり、以後静止した。即ち B_2L に對する反應は球室共に 9 回である。此の静止は 15 秒持續し、次いで又漏斗自働が生起した (第3圖 b)。特異な事は R_2 と R_4 に P を伴はぬ事であるが、之も傳導系の疲勞の爲 2:1 Block を起したと考へれば宜しい。殊に b に於ける

R~P が著しく延長して 0.27 秒になった事は疲勞進行の證據である。

最後に B₃L (室球境界結紮)を行つたが此時は B₁L 前と同様に房自働が起つて居た。第4圖で B₃L の正確な位置は不明であるが、兎に角 R₂ 以後 R₅迄は室球境界の興奮に依るもので

第4圖 B₃L に依り室と球は無關係に數回收縮して後既存の房自働に復歸す。



ある。其の證據には P が 2.5 秒の週期で整然として亂れないのに R と P との時間的關係が一定でない。只 P₃ のみは陰

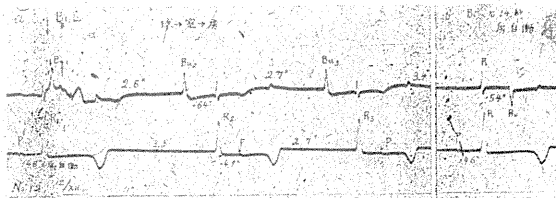
性に變化し且 R₁~P₄ が 0.42 秒で B₂L の R~P に略々等しい故、此の1回丈室→房の逆傳導が起つたと言はねばならぬ。而して P₅以後は房→室の傳導に復歸した故、B₃L に對する心室の反應は4回である。又 R₃~R₅の前には B_uと推測される小棘が見えるが、其の判定は必ずしも確實でなく、且著者が第1篇(7)に述べた様に境界部結紮に際しては、其の兩側部の收縮には必ずしも一定の時間的關係の存在すべき理由は無いのである(後に尙實例を擧げる)。尙他の諸例でも B₁L, B₂L を行つた後には球の傷害が強く、B₃L に際して B_uは屢々明瞭でなかつた。

之を要するに本例に於ては B₁L に際して球、室の反應は僅かに2回にして、其の後に殆んど休止なくして漏斗自働を誘發し、後者が著しく緩徐になつた時期に行つた B₂L に際しては球、室は9回反應し、次いで15秒の休止の後漏斗自働が再開し、最後に房自働が生起して搏動中に行つた B₃L に對しては室は4回反應し、其の中の1回丈房に逆行したが、夫以外は房の搏動を亂す事はなかつた。

例 2. 標本 No. 12(12/XII 16.5°C)

本例は IL を行ひ各部の刺戟を試みた後に緩徐な房自働(週期 9.5 秒位)が起つた。之に B₁L

第5圖 B₁L に依り球收縮5回(第2以後は室に逆行)起り、14秒の休止の後房自働に復歸す。



を行ふと第5圖 a に見る様に B_{u1} は R₁ の直後に起つたから逆行は出来なかつたが、B_{u2} 以後は皆室、房迄逆行した。B_u の週期は 2.6 秒に始まり、2.7, 3.4, 5.4 秒と延長し B_{u5} を以て終り、其後 14 秒の休止を置いて房自働が再開した(第5圖 b)。

尙本例では B_u が B₁L 以後陽性に逆轉して、興奮が結紮部位即ち球の遠心端に始まつた事を明示して居る。

次に B₂L を行ふと(第6圖 a)球は6回應じ、夫が皆室、房迄逆行した。B_u (又は R) の週

期は B_{u4} 迄は 1.9 秒、以後 2.6, 3.0 秒と延長し、 B_{u5} を以て終つた。其後は 14 秒の休止を置いて房自働が再開した(第6圖b)。

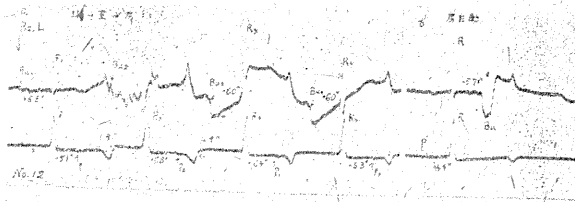
a では B_{u1} は陽性であるが、 B_{u3} 以後は陰性に變化し且形が崩れた。

最後に B_3L を行つた所(第7圖a)直ちに室收縮を惹起した。上の曲線は竇房誘導であつて B_u は認められないが直接觀察では球收縮が2回位認めら

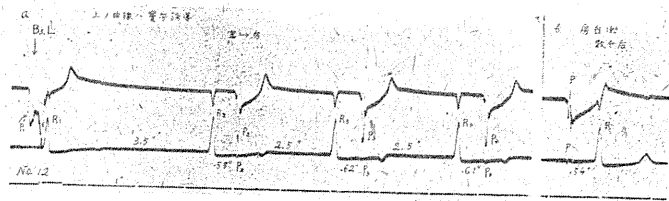
れた。 R_1 には P を伴つて居ないが(其前の陰性棘が恐らく結紮の際房に觸れた爲に生じた P である) R_2 以後は常に後方 0.60 秒に P を伴つて居る。 R の週期は R_2 に 3.5 秒であるが、 $R_3 \sim R_4$ には 2.5 秒に短縮し、以後次第に延長して R_7 に 2.9 秒、 R_{11} に 3.7 秒になつた。

此處で描記を中止したが、搏動は尙暫く繼續した。而して數分後には又房自働が開始した(第7圖b)。

第6圖 B_2L に依り球→室收縮6回起り、14秒の休止の後房自働再開す。



第7圖 B_3L に依り室收縮多數起る。數分後には既に房自働に復歸して居る。上の曲線は竇房誘導で、球棘 B_u は見えず。



以上本例は緩徐な房自働の搏動中に球各部の結紮を行ひ、其の都度球→室→房の搏動を起して房自働が一時抑制された事を示す。

例 3. 標本 No. 16 (16/XII 12.5°C)

本例は IL 後緩徐な漏斗自働が起つて居た。 B_1L では球→室→房の收縮を 4 回起し、17 秒の休止の後漏斗自働が再開した。 B_2L では多數(描記したのは 10 箇)の球→室→房の收縮を起した。 B_3L では B_u は 2.2, 3.1, 4.7, 6.5 秒の間隔を以て 5 箇現はれ、 R は 2.8, 4.3, 2.5, 2.4, 2.5, 2.8 秒……の間隔を以て多數(描記したのは 20 箇)現はれた。即ち B_u と R とは無關係、異週期的(heterochron)であるが、P は常に室からの逆行に依つて生じた。

例 4. 標本 No. 17 (16/XII 12.5°C)

本例も IL 後 5 秒の週期を以て漏斗自働の持續して居たものである。 B_1L に依つて球→室→房の收縮が 2 回(間隔 2.7 秒)起り、7 秒の休止を置いて漏斗自働(週期約 6 秒)に復歸した。 B_2L では反應は只 1 回で、7 秒の休止の後又漏斗自働(週期約 6 秒)に復歸した。 B_3L では室→房搏動が先づ 5 回起り(B_u は不明であるが 1 回限りであるらしい)、其の週期は 2.0, 2.2, 2.5, 3.4 秒と徐々に延長し R_5 の後 14 秒の休止を置いて尙 1 回の室→房收縮が起り、次いで 8 秒の後漏斗自働(週期約 8 秒)に復歸した。然るに暫くして後描記すると、今度は明かに室→房收縮が起り、其後又暫くして描記したものには漏斗自働が現はれた。

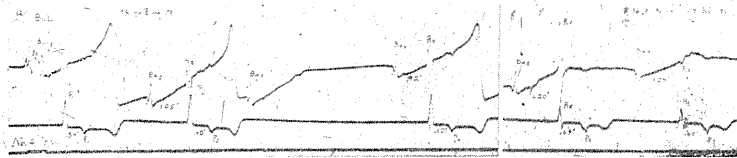
故に本例では B_3L 以後に球 (厳密には室球境界) の自働と漏斗自働の間に一種の競争 (Wettstreit) が起つたものと思はれるが、電気描圖を連続的に描記しなかつた故遺憾乍ら委しい事は言へない。

b. 他部の自働を伴はなかつた例

No. 4, 6, 11, 19 の4例では IL 後完全に静止し, B_1L , B_2L は常に球→室→房の搏動を惹起した (但し No. 11 丈は室→房の傳導に Block があつた). B_3L では球と室が違つた Rhythm の搏動を起した。

B_1L に對する反應の著明であつた1例を第8圖に掲げる. 本例 (No. 4 5/XII 14°C) は B_1L に依り陽性の主棘を持つ B_u を多數 (描記したのは4箇) 生じ, B_{u3} 以外は皆室, 房へ傳つた。

第8圖 B_1L に依り球と室と無關係に多數の收縮を起した。

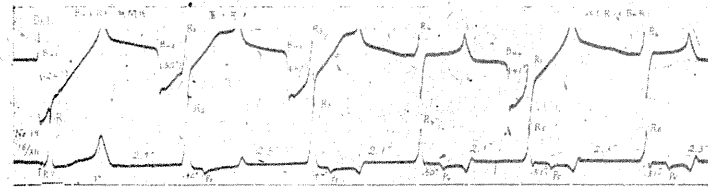


B_u の形は B_{u9} に到つて少しく變つて來たが、之は誘導電極が滑れて夫迄室底部に接觸して居た (其

爲 $R.T$ が著しい 11 412) が、室底から脱れて球の上丈に觸れる様になつた ($R.T$ が低くなつたのが其の證據) 爲である。 B_u の週期は 2.7, 2.7, 4.0, 4.5, 4.9 秒と B_{u7} 迄延長し、其後急に 3.2, 3.2 秒に短縮し B_{u10} からは又 3.4, 3.6, 4.2, 4.6, 5.2 秒と漸次延長した。

B_3L は3標本に行つたが、No. 4 では B_u は2箇で後は不明、室→房收縮は8回以上 (週期 3.8, 4.3, 4.4, 4.7 秒……), No. 11 では B_u は不明、恐らく起らなかつたらしく室→房收縮は7回以上であつた。 No. 19 (18/XII 14°C) では B_u と R の無關係な事が良く示されて居るから特に第9圖に示す。本例は B_1L , B_2L にも球→室收縮が數回起つたが、 B_3L では B_u は4

第9圖 B_3L に依り球と室と無關係に收縮した。



回、 R は多數發生した (其の週期は R_9 に 2.5 秒、以後急に延長して 5 秒以上になつた)。圖を見ると B_u は4箇共 R の前方にあるが、 $B_u \sim R$ 間

隔は一定でなく (順次に 0.24, 0.52, 0.43, 0.41 秒) 且 R_1 の前後には缺けて居る故勿論球→室傳導ではない。又 B_u の週期は最初の 2.5, 2.6 秒から B_{u4} には突如 6.9 秒に延長し以後全く消失した。即ち B_u と R とが全く無關係、異週期的に生じた事が明かである。 P_2 以下は常に R の後方に位して居るが、 P_1 らしきものが R の前方に見える。之が眞の P であるとすれば結紮の際心房に接觸又は動搖の刺激が加はつて生じたものであらう。

IL は2例に行つたが No. 6 では P は3箇、 R は之と無關係に5箇以上生じ、No. 11 では

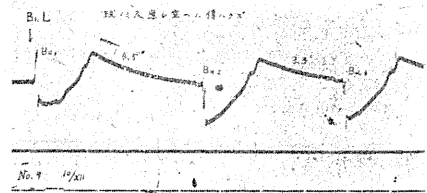
R が1箇で P は6箇以上生じた。

2. 室球間の逆行不可能なりし場合

球の電氣的刺激に際し室の逆行不可能なりし例は9例で其の成績は便宜上各結紮に分つて述べる。

a) B_1L 5例で B_1L を行つた所、球収縮は1例に1回、1例に2回、1例に多數續發し、2例は無反應であつた。而して球収縮は全く室へ逆行しなかつた。第10圖は球のみの反應の著明な例 (No. 9 10/XII 13.0°C) で、 B_u の形は稍々亂れて居るが初棘の存在する事が B_{u1} では確實、 B_2 以下では下行部に潜存するを認める。之は7箇迄描記したが、其の週期は 4.5, 3.3, 3.7, 4.0, 4.5, 5.5 秒と大體逐次延長した。

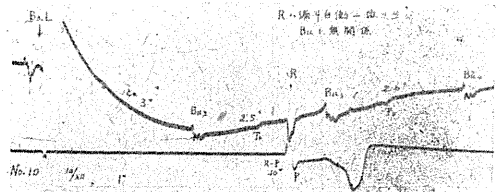
第10圖 B_1L に依り球のみ収縮し室の収縮しなかつた例。



b) B_3L 上述の如く B_2L を行ふと殊に B_u の形が亂れる故、之を行はずに、又一部には B_1L も行はずに9例の全てに B_3L を行つた所、球は1例を除いて皆搏動を起したが室は1例に反應したのみで、他は皆反應せず且既存の漏斗自働が何等影響を受けなかつた。此の事は之等の標本が何れも室球間の逆傳導を起し得なかつた點から考へて、室球傳導系が不良状態にあつた爲と推測されるのである。其の中著明な2例を掲げる。

第11圖 (No. 10 10/XII 13.0°C) の例は $I.L$ 後漏斗自働の起つて居たもので、其の週期は B_3L の前後に約9秒であつた。 B_3L を行ふと球のみ應じて漏斗自働の室には少しも影響を及ぼして居ない。 B_u は10箇迄描記したが、其の週期は B_{u6} 迄 3.0, 2.5, 2.6, 2.8, 3.0 3.4 秒と徐々に延長した。

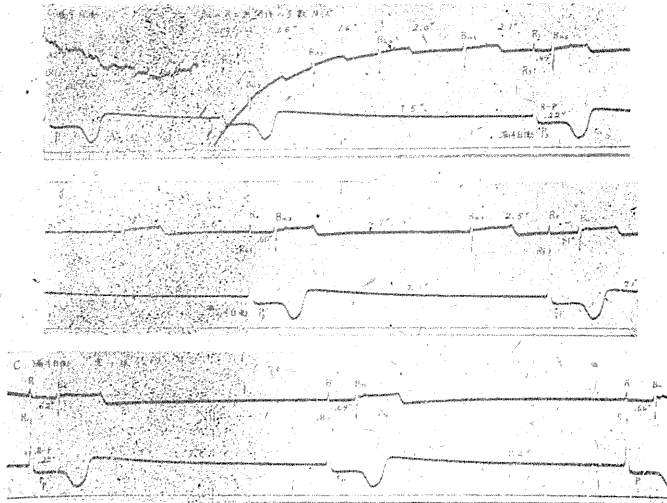
第11圖 B_3L に依り球のみ多數の収縮を起した例。



第12圖 (No. 15 15/XII 16.0°C) の例も $I.L$ 後漏斗自働の出現したもので、其の B_3L 前後の週期は約7秒である。圖の左端の R_1 は漏斗自働に依るもので、其の後方約0.2秒に P_1 、0.42秒に B_u が續いて居る。扱 B_3L を行ふと直ちに B_{u1} が起り、次いで急速な Rhythm で B_{u6} 迄起り、後は少し緩徐になつて連續描記に B_{u10} 迄認めた。 R_3 と R_4 は B_3L に無關係な漏斗自働であるが、 R_2 と R_1 との間隔が 4.2 秒で他の R_1 の間隔約7秒と大きな差がある故、或は結紮操作の際室又は房に Pincette が觸れて収縮を起したのかも知れない。問題となるのは B_{u2} , B_{u6} , B_{u8} が夫々 R_2 , R_3 , R_4 から傳はつたのではないかと言ふ事である。 B_3L は室球境界の結紮であるから第1篇に述べた様に刺激にはなつても室球間の傳導は遮斷される筈である。然し或ひは遮斷が絶對でなくて幾分恢復する事も考へられる。即ちb後暫くして描記したcに於ては B_u は R の後方略々一定 (0.62~

0.64秒)の所にのみ現はれるから、之は確かに室(夫は漏斗自働なる事確實)からの傳導に依るも

第12圖 B₃L に依り室に無關係に球のみの收縮を起した例 (a と b は連續), c では室收縮が球に傳導したものらしい。

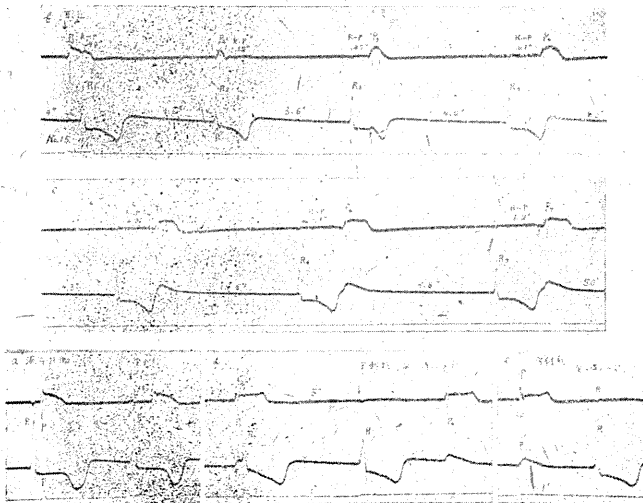


く後に描記した描圖には最早や Bu は全く認められなかつた。

之を要するに室球境界の結紮には室と球とが互に無關係に異週期的の搏動を起す事が明かである。

c) II.L 6例に於て B₃L 後房室境界を結紮した所、1例に房が1回のみ、1例に房が1回も收縮しなかつたのを例外として、残りでは房室共に多數の收縮を起したが、兩者の間に全く

第13圖 II.L に依り室と房の收縮が多數現はれたが、兩者が全く無關係なる事を示す (b と c は連續)。



のと思はれる。又 b に於て週期が B_{u9} では4.7秒に延長し、B_{u10} では2.5秒に短縮したのは室からの傳導で亂されたものと思はれるのである。只然し a と b では尙 R~B_u の動搖が甚だしいから室→球の收縮は斷定する事は出來ないで B_u の週期の動搖の結果偶然 R の後方適當な位置に生じたと言ふ方が確からしい。c では上述の様に室球間の傳導が恢復したと考へねばならないが、夫は永くは續かず暫

一定の時間的關係を缺く事 B₃L の場合と同じであつた。

1例を舉げて第13圖に示す。本例は第12圖と同じ標本 (No. 15) で、第12圖 c の後暫時にして資房誘導を行つた描圖 (第13圖 a) には P が明瞭に認められる。尙之が室を刺戟して逆行に依り生じた P と全く同形である事を示して置いた。抑此の時 II.L を行ふと (同圖 b 及び c) 直ちに室と房の搏動を惹起したが、其の最初の P₁ は R₁

より少しく先に起つたが他の例でも屢々斯かる事があつた。之は結紮の際房の遠心端が結紮絲の接觸に依り早く刺戟を受ける爲であらう。次の P_2 は既に R_2 の後方になり P_3 以後順次に $R \sim P$ 間隔が延長した。即ち房の週期は室の週期より強く延長した。然し之は必ずしも持続的でなくて、暫時の後描記した描圖 (第13圖 d) では P が R の後方より次第に前方に移動したが、兎に角 P と R と無關係な事は明かに知られる。尙此の室及び房を刺戟して夫が何れの方にも傳導しない事を d 及び c に示して置いた。本例では II.L に依つて房と室とが割合に規則正しく搏動したに拘らず P と R の無關係な事が明瞭である。 P と R の週期が稍々不規則な場合には兩者の關係は一層亂れて來る。

IV. 考 察

以上の成績から次の諸點を考察する。

1) 球結紮效果の漏斗自働への移行

前諸篇 (7, 8, 9) に於て著者は球結紮に依り起つた持続的の室搏動は其の全部が球收縮の逆行に依るものでなくて早晚漏斗自働へ移行する可能性を論じたが、本篇の電氣描圖に依る研究に於ては球、室、房各部の收縮と其の時間的關係を精密に追跡して最も明確に漏斗自働への移行を證明する事が出來た。即ち今回の實驗に於ては結紮試驗前電氣的刺戟に依つて室球間の逆傳導の可能な事を確かめられた標本の半数に於て、球の遠心端又は中央部の結紮に依る球收縮は割合に少數 (2~9回) で比較的速に漏斗自働に移行した。殊に1例、結紮前靜止中の標本 No. 2 では B_1L に依る球→室收縮僅かに2回にして殆んど休止期を示さずに直ちに漏斗自働を誘發したのであり、他の場合 (No. 2 の B_2L , No. 12 の B_1L と B_2L , No. 16 の B_1L , No. 17 の B_1L と B_2L) では結紮前より起つて居た緩徐な漏斗自働 (又は房自働) への移行は可成り早期に起り得るものであり、且休止期を缺く事もある故、室丈の收縮曲線描記法を以てしては見落す恐れがある事を記憶せねばならない。又 B_2L に際しても No. 17 では少し關係が複雑であるが兎に角漏斗自働に移行した。

然し乍ら持続的な室收縮の全てが漏斗自働生起の爲とは言へない。No. 4 の如く球→室の收縮が長く續いたものもある。

2) 室球境界及び房室境界の結紮に就いて

著者は第1篇 (7 268) に於て境界部の結紮は結紮直下の部位を刺戟するものでなくて、其の兩側近接部位に於て自働を誘發するものであり、且結紮下の部位では傳導が遮斷される筈であるから、兩側心臟部の搏動は同週期的たるを要しない事を論じて置いた。而して今回の電氣描圖に就いて見ると室球境界の結紮に當つての球と室の搏動、又は房室境界結紮に當つての房と室の搏動が全く無關係、異週期的たる事を確認したのである。而して前者には室と球の何れか一方丈に搏動が起る事もあるが、通常は双方に起り且一般に室に於て長く持續した。又房室境界の結紮に際しては心室丈が應ずる事あり、多くは房室共に應ずるが室の搏動が週期も稍々短く

且長く持続した。

3) 球各部結紮に際しての B_u 棘の形

球室底誘導に於ては正常搏動時の B_u は主として陰性棘として現はれるが、室底側の電極が室底に接觸せずに球の近心端にのみ接觸する時は弱陽性、強陰性の2相になつて現はれるものである (15 169 尙之は本篇第1圖 a, b を見られ度し)。従つて B_1L に依つて興奮が球の遠心端に發生して興奮経路が正常と逆になる時は B_u も逆轉して少くとも其の主棘が強陽性となるべきで、又實際第5圖では B_u が、又第8圖では其の主棘が陽性となつて居る。然し乍ら他の例では必ずしも常に斯様に著明な B_u の逆轉は見られず、例へば第2圖では B_{u3} が B_{u1} 以下の正常形と同形であり、第11圖では B_{u2} 以下は單相性活動流様の陰性波の初期に陽性棘が吸收されて居る。此の第2圖の例では結紮が球の遠心端に加へられたに拘らず爾後の自働は球の近心端(室球境界)に發生したものの様に思はれるが、他の例では B_{u1} の形が種々に變化したものが多から結紮に依る球の多少の傷害と誘導電極の多少の移動に依つて形が變化する事も考へねばならない。即ち B_u の形から逆に自働發生部位が球の遠心端か近心端か簡単に推定する事は出来ない。

B_2L に際しては第3圖の B_{u5} 以下、第12圖の B_{u3} 以後に見る様に單相性の陰性波様に現はれる事が多い。之は結紮部位なる球の中央部より近心部のみ收縮し、遠心部が静止した状態に相當する様に思はれるが、此際にも新結紮 (B_3L) 及び前結紮 (B_1L) に依る傷害の影響を考へねばならない。

最後に B_3L に際しては興奮は正常方向に進行する譯であるが、 B_1L , B_2L を實行した以後ならば球の傷害の甚だしい事を考慮せねばならない。實際 B_1L , B_2L を行つた後の B_3L に際しては第4圖に見る様に B_u の不著明な事が屢々ある。第9圖は B_1L 後直ちに B_3L をしたのであるが B_u は單相性の陰性波として現はれ、第11圖も B_1L 後の B_3L であるが B_u は小なる動搖を伴ふ陰性波を示して居る。只第12圖の例の様に B_1L , B_2L 共實行せず全く健全な球に於て B_3L を行つた場合には B_u は全く正常形を示して居る。

4) 漏斗自働に於ける房室間隔に就いて

漏斗自働に際して室と房が殆んど同時に收縮して其の間隔が極めて短い事は Engelmann (1 511) 以來知られて居る所で、平位 (3 1726) は收縮曲線に就いて測定して房と室が同時又は室が房より 0.06~0.15 秒、平均 0.11 秒先に收縮する事を見出した。

著者が今回の電氣描圖で觀察した所に依れば常に P が R の後方に現はれ、R~P 間隔は8例に於て 0.07~0.15 秒平均 0.11 秒で室温低きにも拘らず平位の値に良く一致した。但し之は實驗の初期であつて後期には延長する。例へば No. 2 で B_1L 後に 0.12 秒であつたものが B_2L 直前に 0.17 秒、 B_2L 後には 0.27 秒になり、又 No. 15 では 0.17 秒から 0.22 秒に延長した。此の延長は漏斗中の自働部位が多少心室側に移動した爲とも考へられるが、疲労の結

果と考へる方が妥當である。

5) 正傳導時間と逆傳導時間の比較

房室傳導系に於ける正の方向の傳導時間と逆の方向の傳導時間を平位 (2 625) は灌流墓心の收縮曲線に就いて比較し後者が前者の 1.35 倍と言ふが、上野教授 (13 219) は正常保血墓心の電氣描圖に就いて測定して兩者は殆んど等しいと言ふ、即ち Engelmann (1 511) の所說に一致する。又織部、藤條 (4 1782) は正常の P~R と、室刺戟時の RE~PE とは平均に於て一致するが、P~R より興奮が心房壁を通過する時間を減じて比較すれば 1.19 の比になると言ふ。

著者は後篇に報告する懸垂曲線に就いての研究に於て房室間の逆傳導時間が實驗經過中に屢々正傳導時間よりも著しく短縮する事を認めた故、今回の電氣描圖に就いても出来る丈精密に測定して比較を試みた。

先づ房室間に就いては (1) 正常保血時の正傳導時間 (P~R), (2) 灌流中房刺戟時の正傳導時間 (之を PE~RE とする), (3) 室刺戟時及び (4) 球刺戟時の逆傳導時間 (之を RE~PE とする) を測定した。第1表に就いて (1) と (2) を比較すると一般に (2) が小さい。此の差は上野、上野

第1表 正傳導時間と逆傳導時間の比較標

標 本 番 號	搏 動 週 期 (秒) (P-P)	房 室 間				室 球 間			
		(1) 正 常 (秒) (P-P)	(2) 房刺戟 (秒) (PE-RE)	(3) 室刺戟 (秒) (RE-PE)	(4) 球刺戟 (秒) (RE-PE)	(5) 正 常 (秒) (R-Ba)	(6) 房刺戟 (秒) (RE-BaE)	(7) 室刺戟 (秒) (RE-BaE)	(8) 球刺戟 (秒) (BaE-RE)
2	1.7	0.24	0.25	0.49	—	0.50	0.46	0.54	0.01
3	1.5	.44	.60	.77	—	.57	.55	.65	—
4	2.6	.61	.56	.48	.57	.85	.81	.57	1.10
5	2.4	.49	.54	.43	—	.59	.43	.68	—
6	3.4	.75	.71	.81	.74	.79	.70	.81	.91
7	2.8	.65	.57	—	—	.57	.63	—	—
8	2.7	.44	.42	—	—	.60	.70	.70	—
9	2.3	.69	.66	.65	—	.79	.67	—	—
10	1.8	.54	.45	.46	—	.50	.48	.56	—
11	2.1	.53	.62	—	—	.37	.22	—	.35
12	1.7	.58	.46	.51	.46	.54	.45	.55	.60
14	2.5	.57	.60	.45	—	.56	.46	.48	—
15	2.0	.51	.49	.51	—	.53	.45	.42	—
16	2.4	.93	.50	.54	.46	.74	.47	.51	.68
17	2.1	.54	.49	.50	.50	.68	.67	.72	.70
18	2.3	.64	.52	.58	—	.61	.60	.57	—
19	2.2	.57	.40	.45	.39	.37	.25	.32	.36
20	2.0	.54	.45	—	—	.47	.55	.64	—
平均	2.3	0.58	0.52	0.55	0.51	0.62	0.50	0.58	0.66

(17 2538) に依れば理論上には興奮の心房壁通過の時間に相當する譯であつて (今回の刺戟は房の遠心端に與へられた故) 實際平均値の差は 0.06 秒で上野 (10 10) の P 棘の上行脚の中 0.07 秒又は 0.1 秒に充分一致する。

正逆の比較は同一状態と言ふ意味で (2) と (3) 及び (4) に就いて行はねばならぬ。(3) と (4) とは多くは一致して居ないが、(3) は (2) に比べて 0.05 秒以上大なる事 6 例、小なる事 3 例他は大差がない。又 (4) と (2) の差は 0.04 秒以下で平均値が良く一致する。故に房室間の正傳導時間と逆傳導時間には大差がないと言ふ事になる。個々の標本に於て實驗經過中に RE~PE が

動搖する事もあつたが、夫は同時期の PE~RE が測定してないから比較は出来ない。

尙逆正傳導時間の比を第1表の個々の例に就いて計算して見ると $\frac{(3)}{(1)}$ 即ち $\frac{PE-RE}{P-R}$ では

(No. 16 $P \sim R$ が異常に長く而も $P_E \sim R_E$ は其の約半ばに短縮して居るから除外する) 0.79 ~ 1.75, 平均 1.00 (但し 0.90 以下が 5 例) であるが, $\frac{(3)}{(2)}$ 即ち $\frac{R_E - P_E}{P_E - R_E}$ では 0.80 ~ 1.40, 平均 1.06 (0.90 以下が 2 例) になる. 又織部, 藤條 (4 1732) の第 2 表に就いて計算すると $\frac{R_E - P_E}{P - R}$ は 0.80 ~ 1.25, 平均 1.00 (0.90 以下は 3 例), $\frac{R_E - P_E}{P_E - R_E}$ は 0.84 ~ 1.25, 平均 1.05 (0.90 以下は 1 例) であつて著者今回の成績と良く一致する. 但し織部, 藤條の $P_E \sim R_E$ は心房の略々中央部を刺戟した場合, 著者今回の $P_E \sim R_E$ は心房の遠心端を刺戟した場合で, 厳密に言へば同じ意味には取り扱へない譯であつて, 大故織部, 藤條は $P \sim R$ に補正を加へて $R_E \sim P_E$ と比較して其の比を 1.19 としたのであるが, 然し個々の場合には 1 より小なる事も少なからず, 殊に稀には 0.8 ~ 0.9 の相當小なる値を採る事もある事を茲に注意して置くものである.

次に室球傳導系に就いては (5) 正常保血時の正傳導時間 ($R \sim B_u$), (6) 房刺戟時及び (7) 室刺戟時の正傳導時間 ($R_E \sim B_{uE}$), (8) 球刺戟時の逆傳導時間 ($B_{uE} \sim R_E$) の測定値を第 1 表右半に掲げた. (6) と (7) とは通常一致せず (7) が大であるが, (5) に比べると (6), (7) 共に小である. 斯かる不一致を上野教授 (12 116) は興奮の刺戟部位より室球境界に達する経路が必ずしも同じでない爲と考へて居る. 次に逆傳導時間 (8) は (6), (7) に比べて殆んど常に大である. 然し球の刺戟は其の中央部に與へられたから, $B_{uE} \sim R_E$ には興奮の其處より室球境界迄達する時間が含まれて居る譯で, 之を考慮に入れると正逆の差は幾分小になる譯である. 然し兎に角室球間の逆傳導時間は概して正傳導時間より大なりと言へる.

6) 傳導系に於ける疎通 (Bahnung) の現象に就いて

著者は第 3 篇 (9 283) の室球標本に於ける漏斗自働の觀察に於て, 週期の變化の如何に拘らず室球間隔は常に最初著しく大なる値を示し, 夫が時間の経過に伴つて或程度に短縮し, 遂には再び延長する事を認め, 前半の短縮を Skramlik (5 30 ~ 31, 6 58) の所謂疎通 (Bahnung) の現象と認定し, 後半の延長を疲勞の結果と推定した. 今回も亦 I. L 後静止中の灌流標本に於て房又は室を刺戟する時, 房室間又は室球間の傳導時間が最初の收縮に長く第 2 又は第 3 の收縮

第 2 表 傳導時間の逐次短縮 (疎通) * は逆行時間

標本 番號	刺戟 部位	刺戟 秒大 週期	R ~ B _u (秒)			
			第 1	第 2	第 3	第 4
No. 16	房	3	.56	.47	.49	.47
	室	3.5	.65	.50	.52	.51
	球	4	*.73	*.72	*.63	*.65
No. 18	房	3.3	.58	.48	.49	.49
	室	3	.69	.56	.58	.58

以後に短縮すると言ふ一種の疎通の現象を認めた. 夫は室球傳導に多かつたが數例を第 2 表に示す.

疎通の反對は疲勞である. 球結紮の場合には灌流を停止し且實驗が長時間に亘る故不全 Block を起す事がある. 之が規則正しく起る時には上野, 上野 (16 2541) の所見と等しく傳導時間は

逐次延長して遂に無限大 (Block) となり, 次に急に短縮し其の次から延長して之を繰り返す.

第3表に示す例では最初 6:5, 次に 3:2, 次に 2:1 と Block の程度が逐次進行した。

第3表 B₂L に於ける不全 Block (No. 6)

収縮番號	:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
球週期	:	—	3.3	2.9	2.9	2.5	3.0	2.4	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	5.1	7.1
B _a ~ R	:	.88	1.27	1.34	1.77	2.78	∞	1.07	2.46	∞	1.64	∞	1.56	∞	2.17

7) 渡邊 (17 51, 53, 18 56) は室球標本に於て少くとも最初は球が Pace maker になると言つて居るが, 著者は第3篇の室球標本に於て, 自然に生起する搏動が常に漏斗自働に依る室→球の順序であつて球自働は1回も認めなかつたが, 今回の實驗に於ても球自働の自然生起は認められなかつた。

V. 總 括

第I結紮後の墓心に於ける球各部及び房室間結紮の效果を電氣描圖に依り研究して次の成績を得た。

1) 球の遠心端及び中央部の結紮は球の搏動を惹起し, 夫は室房に逆行する。此の搏動は長く続く事もあるが, 屢々數箇に止まり, 次いて漏斗自働を誘發し, 又は既存の漏斗自働若しくは房自働に復歸した。其際には通常約 10 秒内外の休止期が介在した。換言すれば結紮前より存在する緩徐な漏斗自働及び房自働は球搏動の逆行に依り一時的に抑制された。

2) 室球境界の結紮には室と球とは無關係に異週期的に搏動し, 又何れか一方のみ收縮する事があつたが, 室の搏動が一般に速く且持續的で房へも逆行した。

3) 房室境界の結紮でも同様に室と房とは無關係に搏動を起し, 一方のみ (殊に室のみ) 搏動を起す事があつたが, 一般に室の搏動が速く且持續的であつた。

4) 第I結紮後静止中の心房又は心室の刺戟に際し, 時として房室傳導又は室球傳導, 殊に後者に疎通の現象を認めた。

5) 正傳導時間と逆傳導時間を比較するに, 總括的に見れば房室傳導系に於ては殆んど差異なく, 室球傳導系に於てのみ逆傳導時間の方が一般に長いと言ふ結果になるが, 個々の例に就いて見ると房室傳導系で逆傳導時間の方が相當短くて正傳導時間との比が 0.8~0.9 の小なる値を示す事も稀にある。

擧筆に臨み終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜はつた恩師上野教授に深謝す。

文 獻

- 1) Engelmann Th. W. (1903) Arch. f. Anat. u. Physiol. G. g. 1903, S. 505
- 2) 平位順一郎 (1938) 十全會誌 43 622
- 3) 平位順一郎 (1938) 十全會誌 43 1723
- 4) 織部道夫・藤條久成 (1943) 十全會誌 48 1774
- 5) Skramlik E. v. (1920) Pflügers Arch. 180 30
- 6) Skramlik E. v. (1920) Pflügers Arch. 184 1

- 7) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 268
- 8) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 279
- 9) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 283
- 10) 上野一晴 (1941) 十全會誌 46 1
- 11) 上野一晴 (1941) 日本生理誌 5 411
- 12) 上野一晴 (1941) 日本生理誌 6 113
- 13) 上野一晴 (1941) 日本生理誌 6 213
- 14) 上野一晴・熊澤清行 (1941) 十全會誌 46 649
- 15) 上野一晴・前川廣光 (1942) 日本生理誌 7 167
- 16) 上野一晴・上野武治 (1936) 十全會誌 41 2537
- 17) 渡邊嘉造伊 (1938) 日本生理誌 3 51
- 18) 渡邊嘉造伊 (1938) 日本生理誌 3 56

心臓球各部及び房室境界の結紮效果に就いて(第5篇) 612.171

球結紮と漏斗自働の干涉に就いて

(本研究の費用の一部は昭和16年度文部省科學研究費に依れり)

金澤醫科大學生理學教室

藤 條 久 成

Tozyo-Hisanari

(昭和18年11月15日受付)

I. 緒 論

著者は墓心を用ひ第1篇(1 268)及び第2篇(2 279)に於ては心臓收縮曲線に就いて第4篇(4 379)に於ては心臓電氣描圖に就いて、心臓球各部の結紮が漏斗自働又は房自働に干涉する關係を報告した。

其の干涉關係を要約すれば、1) 球結紮に依り起つた球→室の搏動が或時間の後漏斗自働を誘發して爾後室→球の搏動が長く持續する事、2) 既存の漏斗自働又は房自働が球結紮に依る球收縮の逆行に依り一時抑制され後再び開始する事、3) 此の抑制は既存の自働收縮の Rhythm が比較的速い時は起り難い事であつた。

干涉の事實は以上の3篇に盡くされて居るが、著者に尙多數の標本に就いて球結紮後の球→室搏動より室→球搏動即ち他部自働への移行の時間的關係を觀察した故、夫を報告する。

II. 實 驗 方 法

實驗は主として室球標本に就いて行つた。即ち第3篇(3 283)の方法に依り室球標本を作製灌流して漏斗自働の生起するを待ちて後、球各部の結紮を行つたのである。描記は心室の收縮曲線のみで、球の收縮は直接觀察に止めた。

III. 實 驗 成 績

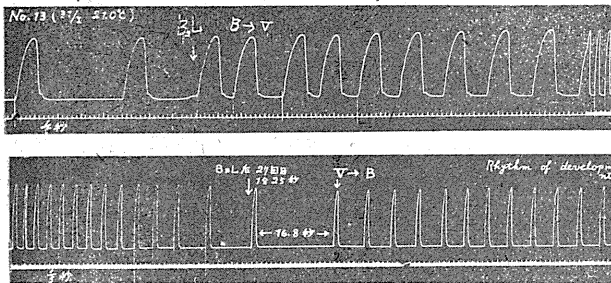
本實驗は昭和16年12月より17年2月に掛けて多數の墓を用ひて行つた。室球標本に於て漏斗自働の開始する迄の時間は第3篇(3 283)に於ては平均30分であつたが、今回は3~45分平均17分であつた。

扱漏斗自働に依り緩徐に搏動しつつある時、球の遠心端 (R_1)、中央部 (R_2) を次々と結紮すると、通常室收縮は突然急速となり、次いで數回又は數十回の收縮の進行中漸次緩徐になる (Rhythm of excitation)。之は勿論球收縮の室へ逆行した爲であるが、尙又球の直接觀察に依つて收縮が其の間球→室なる事が確められる。斯くして再び緩徐になつた收縮は、1) 或る時期になると室→球、即ち漏斗自働に復歸した事が認められ、2) 又は一度全く靜止して數秒又

は數十秒の後再び緩徐な搏動を開始する。後の場合の収縮も室→球で漏斗自働の再開である事が明瞭であり、且搏動 Rhythm は或る程度逐次増加して Rhythm of development を呈する事が多い。即ち漏斗自働は球より逆行する収縮に依つて一時抑制され、次いで或は認め得べき休止時間無く、或は著明な休止時間を置いた後漏斗自働へ復歸するのである。

多數の實驗例中球結紮に對し反應ありしもの B_1L (球遠心端結紮) 12 例, B_2L (球中央部結紮) 13 例中、休止なくして漏斗自働へ復歸した場合は B_1L に 6 例, B_2L に 6 例であり、又休止を伴つたものは B_1L に 3 例, B_2L に 7 例であつた。又 B_3L (室球境界の結紮) に際しては、第 4 篇 (4 379) で述べた如く室と球は無關係、異週期的に収縮する (今回の室球標本でも之を擴大鏡の觀察に依り確めた) 故、室と球の搏動は前後關係を論ずる事は無意味であり、又夫に基いて漏斗自働が否かを判定する事も出来ない。従つて明瞭に休止を伴ふか又は Rhythm of excitation より Rhythm of development への移行が認められなければ確かに漏斗自働へ移行したとは言へない。而して B_2L に對し反應を呈した 12 例中、一時的の休止を伴つたものは 5 例, Rhythm of excitation より Rhythm of development へ移行したものは 2 例であつた。

1 例を挙げると No. 13 (31/I 21.0°C) は正常保血時週期 1.97 秒のもので、灌流後約 8 分にて漏斗自働 (室→球搏動) が生起し週期は 6.3 秒より漸次短縮し、週期約 5.4 秒の時 B_1L を行つた。 B_1L に依る球→室搏動は 3 回 (週期は 4.2 秒, 4.9 秒) で 7.4 秒の休止を経て漏斗自働 (室→球搏動) が再發し、週期は 5.7 秒より 5.5 秒と漸次短縮した (Rhythm of development)。此の漏斗自働發生後約 3 分 33 秒 (45 回の搏動後) に B_2L を行ふと下圖に示す様に Rhythm は再



球結紮に依る漏斗自働抑制の 1 例。室→球搏動 (漏斗自働) 持續中に B_2L を行つた處球→室搏動に變化したが、それは 1 分 25 秒持續した後、16.8 秒の休止を置いて、漏斗自働に、後歸した (委細は本文参照)。

び促進し搏動順序も球→室となつた。尚 B_2L 直前の漏斗自働の週期は 4.7 秒, B_2L 後の週期は 1.6 秒, 2.1 秒, 1.9 秒……で、11 回目の週期 (之は第 4 篇 4 379 の週期の現はし方に準ずる) 3.9 秒になり、更に 25 回目, 26 回目には急激に延長して、夫々 4.4 秒, 6.5 秒となり、次いで停止した。

即ち B_2L に依る反應は搏動數 27

回、搏動時間 1 分 25 秒で其後 16.8 秒の休止を経て再び漏斗自働 (室→球搏動) が生起し、其の週期は最初の間漸次短縮して 6.4 秒より 5.6 秒となつた (Rhythm of development)。此の漏斗自働復起後 2 分 4 秒 (26 回の搏動後) に B_3L をすると室と球は第 4 篇で述べた如く異週期的に搏動し、且心室の週期も最初の間は 3.0 秒, 10.2 秒, 6.2 秒, 6.2 秒……で爾後漸次延長した (Rhythm of excitation)。

扱結紮に依つて直接反應として現はれた心室の搏動數と搏動時間及び休止時間を纏めると第1表の結果を得た。之を見ると各結紮間の差異は割合に小であるから論じないとして、總括的に休止を伴はぬ場合は3~52秒、平均24秒間漏斗自動が抑制された後漏斗自動に復歸し、他の場合は2~64秒、平均15秒抑制され、更に4~62秒、平均13秒の休止(従つて全抑制時間は平均28秒)の後漏斗自動が再開した。即ち兩者を通じて漏斗自動が球結紮に依つて抑制された時間は平均約30秒である。

第1表 漏斗自動中の球結紮效果

	休止を伴はぬ場合		休止を伴つた場合		休 止 時 間
	例 數	結 紮 效 果 (搏動回數及び搏動時間)	例 數	結 紮 效 果 (搏動回數及び搏動時間)	
B ₁ L	6	2~15回 平均 7回 8~24秒 平均 14秒	3	3~15回 平均 7回 5~19秒 平均 11秒	4~9秒 平均 7秒
B ₂ L	6	5~15回 平均 10回 22~52秒 平均 35秒	7	2~26回 平均 7回 1.4~64秒 平均 14秒	4~62秒 平均 19秒
B ₃ L	2	9~13回 平均 11回 3~32秒 平均 18秒	5	2~14回 平均 7回 2~39秒 平均 19秒	4~17秒 平均 9秒

然るに著者は尙多數の例に於て漏斗自動がB₁L又はB₂Lに依り、其の直接效果の消失後5~17分の長きに亘り停止した場合を経験した。之は夫以上待つ事なくして次の結紮に移つたので果して漏斗自動が斯かる長時間の抑制の後再開し得るものか否かは判らないが、斯かる例では其の結紮效果が長期に亘るもの(B₁Lで23~60回、1~8分、平均38回、3分17秒、B₂Lで16~82回、40秒~2分30秒、平均29回、1分37秒)、又は其の結紮效果が1~7回、5~30秒、平均5回、15秒と言ふ極めて短時間のものゝ兩者である事から、恐らく標本の状態が悪くなつて漏斗自動が全く停止するに到つたものであらう。

次に第3篇(3283)に述べた様に漏斗自動開始を促進する爲 Adrenalin の比較的少量(五千倍乃至一萬倍の Adrenalin 5~10cc)を灌流ゴム管に注入させると、搏動が多少不規則になり Luciani 氏週期又は群收縮を呈し、且暫時搏動順序が球→室を呈する事があり(50例中11例)比較的速に(短

第2表 漏斗自動停止後に於ける
球結紮效果 (18例)

	搏動回數	搏動時間
B ₁ L (15例)	1~60 平均 13	0~8' 30" 平均 1' 24"
B ₂ L (16例)	1~82 平均 20	0~2' 26" 平均 1' 14"
B ₃ L (13例)	4~133 平均 31	12"~33' 05" 平均 4' 36"

きは30秒乃至1分以内、普通4~25分、平均19分)疲勞して停止するに到つた。斯かる例(18例)で球結紮を行ふと、2~3の例外を除いて常に數回又は數十回の搏動 (B_1L , B_2L では終始球→室, B_3L では球と室は異週期的に搏動する)の後停止し、其の後は漏斗自働の再開を見る事は殆んどなかつた。而して此の時の結紮效果は第2表に示す様に B_3L に最大で、次いで B_2L , B_1L の順序に小になる事、第1~2篇の成績に一致する。尙又其の値は第1表の漏斗自働持續中の値に比して大である。斯様に球各部結紮の效果が漏斗自働停止後に於て、漏斗自働持續中よりも大なるは、前者に於て房室漏斗が疲勞して自働を再開し能はざる爲と解すべきである。

IV. 總 括

室球標本に就いて漏斗自働の發生中心臟球各部の結紮を行ふと、漏斗自働は抑制されて球→室搏動となり、之が數秒乃至數分持續して後、數秒乃至1分内外の休止を伴ふか又は全く休止を伴はずして漏斗自働に復歸した。然し漏斗自働が疲勞して自然に停止した後には、球結紮後漏斗自働に復歸する事なく、且球結紮效果たる心室搏動は一般に長時間持續した。

撰筆に臨み御懇篤なる御指導と御校閲を賜はつた恩師上野教授に深謝す。

文 獻

- 1) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 268
- 2) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 279
- 3) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 283
- 4) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 379

心臟球各部及び房室境界の結紮效果に就いて (第6篇) 612, 171

特に蛙心及び龜心に就いての研究

(本研究の費用の一部は昭和16~17年度文部省科學研究費に依れり)

金澤醫科大學生理學教室

藤 條 久 成

Tozyo-Hisanari

(昭和18年11月22日受付)

I. 緒 論

著者は墓心を用ひて第1篇(15 268)に於て, Stannius 氏第I結紮(I.L)後の靜止心臟, 第2篇(16 279)に於てはI.L及び房室間の純粹の第II結紮(II.L)後の靜止心臟に就いて, 球の各部即ち球と大動脈幹との境界(B_1), 球中央部(B_2), 室球境界(B_3)の3部を次々と結紮し, 之を第1球結紮(B_1L), 第2球結紮(B_2L), 第3球結紮(B_3L)と稱し, 其の何れに依つても球の收縮を惹起し, 之が室, 又は室房へ逆行する事を認め且其際の室の搏動數及び搏動時間を比較して球の自動性は室球境界(B_3)に最も良く發達せる事, 但し B_3L よりも II.L がより效果的なる事, 従つて房室間と室球間を一緒に結紮する普通の II.L に際して主役を演ずるのは矢張り房室間の結紮である事を報告した。

直接刺戟に依つて起る球收縮が室, 房(時には竇迄)に逆行する事及び球の自動性は, 第1篇に紹介した様に古くから多くの學者に依つて認められて居るが, Skramlik (13 57) は蛙心に於て自發的球收縮の室, 房への逆行が明確ならざる事のある事を報告し, 又上野, 前川 (21 402) も墓心に於て室の早期刺戟に隨伴して起つた球の續發性期外收縮が通常室に逆行しない事を報告して居る。

蛙心に就いては渡邊は心臟球を「所謂大動脈球部」と稱し, 之を心臟球部と大動脈球部の二部に分け (23 15), 前者の結紮(即ち球中央部より心室寄りの結紮)では心室搏動を惹起すが, 後者の結紮(即ち球中央部より大動脈幹寄りの結紮)では心室搏動を起す事が出来ぬ事から, 彼の心臟球部には自動性は存在するが, 大動脈球部には自動性は存在しないと言ふ (22 15). 著者の墓心に於ける成績は既報の如く之と異なり, 球の遠心端の結紮でも球の自働を起したのである (15, 16, 17, 18).

次に龜心に就いては Hofmann (6 307) は球自身自發的收縮を起さず, 従つて血液が心室に逆行する恐がない故, 室球境界には瓣膜が存在しない (Skramlik 12 125 は瓣膜の存在する部位に自動性が在ると言ふ) と言ひ, Skramlik (14 40) も亦, 此の部に自發的收縮が見られぬ事から彼の蛙心や墓心に於ける所謂第Ⅲ自働中樞を龜心に於て強調せず, 龜の種類に依つて自働

性の存在に變動のある事を報告して居る。其他 Dogiel u Archangelsky (1 790) は龜心の心臟球は普通の横紋筋で出来て居ると言ふ。

以上の如く蛙心と龜心とでは球の自働性に明確ならざる點が有る故、特に之等に就いて墓心同様の實驗を試みたのである。又墓心に就いても房、室の懸垂曲線を描記しつつ球結紮を行つて、房室間の逆傳導時間を精密に觀察し正傳導時間と比較研究を行つた。

II. 實驗方法

實驗材料として墓 (*Bufo japonica*), 蛙 (*Rana nigromaculata* L), 石龜 (*Clemys japonica* Temminck et Schlegel) を用ひた。實驗方法、實驗中の操作及び注意等は第1篇 (15 268) に於けると全く同様であるが、唯墓心に於てのみ一部第4篇 (18 379) に於けると同様灌流實驗を行つた。

實驗は第1篇以來述べて來た様に盛夏の候は好適では無いが、蛙心の心臟球は小さくて各部を別々に正確に結紮する事が困難であるから、出来る丈大なる蛙 (體重 70g 内外) を使用する必要上夏季に行つた。標本作製中の人工呼吸は龜では氣管カニューレを用ひ、蛙では特に尖端の細いカニューレを肺尖に挿入して二連球を以て行つた。又麻醉は墓、蛙、龜を通じて體重 70 g に對して 25% Urethan 1cc を用ひた。時標は Gagnet 氏 Chronograph に依り 1/5 秒又は 1 秒を描記した。

III. 實驗成績

本篇の實驗は墓心は 3~5 月及び 11~1 月、蛙心は 6~8 月、龜心は 6 月中に行つた。實驗は第1篇に於けると全く同様に I. L 後の靜止心臟に於て球各部結紮を行ひ、最後に房室間の純粹の II. L を行つた。墓心に於ける一般的成績は第 1~2 篇に述べた處と一致する故省略して唯特殊事項に關してのみ蛙心、龜心と一緒に述べる。

1) 蛙心に於ける成績

體重 70g 内外の大きな蛙と雖も心臟球は可成り小さく所期の目的たる球結紮を B₁, B₂, B₃ の部位で正確に實施する事は困難であり、且球を室及び房の心外膜より充分剝離する事が出来ない事があり、又屢々準備の手術中に出血を來たして實驗の目的に副ふものが極めて少なかつた故に 23 例中良好であつた 8 例に就いて述べる。之等では B₁L, B₂L, B₃L の何れに依つても常に室→房搏動を惹起す事が出来た。1 例を擧げて説明する。本例 (No. 8 12/VIII 28.0°C 69 g) は正常保血時週期 1.16 秒、房室間隔 0.30 秒のもので、I. L 後 1 分 29 秒で B₁L を行ふと、第 1 圖 a. に示す様に直ちに球が反應して室→房の搏動を開始した。此の搏動は 114 回約 5 分持續した後、圖 b. に示す様に突然搏動順序が房→室と變つたが、其の房室間隔が殆んど零 (0.03 秒) である事から漏斗自働に移行した事がわかる。尙 B₁L 後の心室週期は 3.9, 10.8, 9.5 秒……で爾後逐次短縮し 33 回目には 3.6 秒となり、次いで再び漸次延長し漏斗自働へ移行する直前には 3.9 秒であつた (房室間隔は 0.40~0.34 秒)。又漏斗自働に依る心室週期は 2.9

秒より漸次短縮し Rhythm of development を呈した。

次に此の漏斗自働生起後約6分(72回の搏動後)で B_2L を行つた處、圖 c に示す様に搏動順序は再び室→房と變り、結紮後最初の9回は室と房は 3:2 Block を呈したが其後は房收縮は常に規則正しく室收縮に追隨した。 B_2L 後の心室週期は 2.1, 2.1, 1.2 秒……で B_2L 直前の漏斗自働の 2.9 秒に比べて短かく、且 1.1~2.5 秒の間を動揺し、次いで 120 回目頃より漸次延長した(房室間隔は 0.44~0.28 秒)。此の室→房搏動は 141 回、約6分持續した後、認むべき休止期なくして再び搏動順序が房→室、房室間隔 0.03 秒の漏斗自働に復歸した(圖 d)。

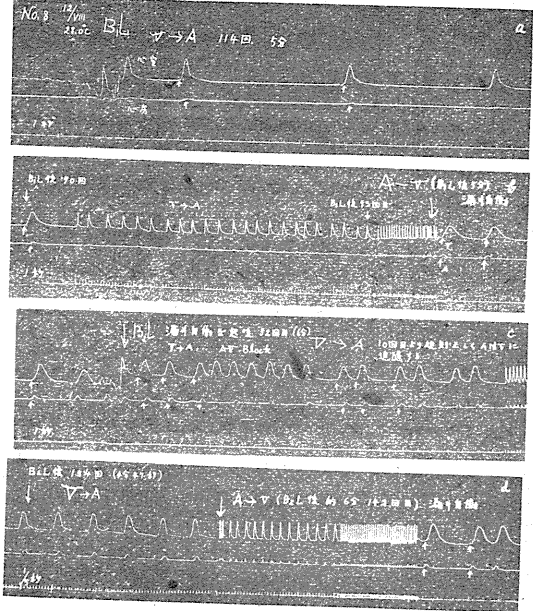
此時の週期は 1.6 秒又は 3.9 秒の長短二様の群收縮を呈した。

更に此の漏斗自働復歸後 3 分 14 秒(58 回の搏動後)で B_3L を行つた處第 2 圖 e に示す様に結紮後最初の 7~8 回は依然として群收縮狀の漏斗自働であつたが、 B_3L 後 22 秒(9 回の搏動後)頃より規則正しい Rhythm で室→房搏動となり、夫は約 22 回(約 40 秒間、心室週期は 1.4~1.9 秒)續き其後室→房搏動(室房間隔 0.42~0.34 秒、心室週期 1.6~2.9 秒)と漏斗自働(搏動順序は房→室、房室間隔 0.03 秒、心室週期 3.22~3.15 秒)が競争を呈し B_3L 後 1 分 2 秒後には全く漏斗自働のみとなつた(其の週期は 3.2 秒、房室間隔は 0.03 秒)。此時に II.L を行つたが室は停止し房收縮(群收縮を呈し週期は 2.8 秒より 1.6 秒と漸次短縮し Rhythm of development を示す)のみ長期に亘り持續した。

搏動數と搏動時間とは、其の最大なる

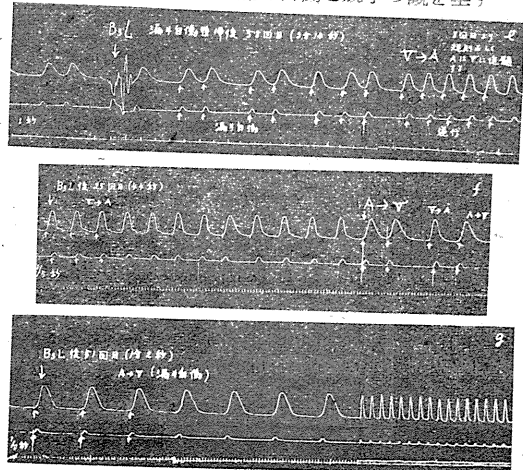
第 1 圖 蛙 心 (No. 8)

- a..... B_1L に依り室→球搏動生起す
- b.....右端の↓に於て突然漏斗自働に變ず
- c..... B_2L に依り再び室→球搏動生起す
- d.....中央部の↓に於て突然漏斗自働に變ず



第 2 圖 蛙心の續き

- e..... B_3L 後暫くして室→房搏動生起す
- f, g.....室→房搏動と漏斗自働と競争の觀を呈す



ものは、 B_1L で 114 回, 5 分, B_2L で 141 回, 6 分, B_3L で 168 回以上, 5 分 32 秒以上 (煤紙の關係上 B_3L に依る搏動途中で次の $II.L$ を行つた) であるが, 他は一般に B_1L , B_2L , B_3L の順序に搏動數を増し搏動時間も長くなる. 次に $II.L$ では心室のみ搏動する事, 又は心房のみ搏動する事もあつたが, 夫等の搏動數, 搏動時間は共に球結紮の何れに依るよりも多く且長時間に亘り, 又其の Rhythm は速い. 即ち蛙心に於ても球の自働性は渡邊の言ふが如く中央部より遠心部に存在しないと言ふ事は無く, 又室球境界に最も良く發達して居るが夫も房室漏斗には劣る事等, 前報告の蟾心の場合に一致する. 故に蛙心に於ても亦渡邊の所説と異なり房室境界と室球境界を一緒に結紮する普通の方法の Stannius 氏第 II 結紮に於て, 重きをなすものは室球境界の結紮でなくて房室境界の結紮と考へねばならない. 尙球結紮後漏斗自働又は房自働に移行したものもある. 夫に就いては第 4 項に述べる.

2) 龜心に於ける成績.

龜心に於ては蛙心及び蟾心と異なり心室基底より左右大動脈及び肺動脈の 3 本の血管が發し其の基部を輪狀筋纖維が取り巻いて居る (夫は肺動脈基部に最も良く發達して居る). 此の部分を Sabattier (10 1041) は Cravatte bulbaire, Greil (3 1041) は Bulbusring と稱した. 著者は之を心臟球として取り扱ふ. 此の部分は極めて短小であり, 又心室との境界にも蟾心の様な狭窄はない. 故に 3 部に分かつて結紮する事は困難であるから, 球の遠心端と近心端 (室に充分近く) を結紮したが, 之を B_1L , B_3L と呼ぶ事にする.

擬 $I.L$ 後静止中の龜心に於て B_1L に依つて直ちに室→房の搏動を起したのは 24 例中僅かに 2 例で, 其の搏動は夫々 1 回及び 3 回に過ぎず, 又 B_3L に依つて同様の收縮を起したものは 11 例で, 其の中搏動數僅少な 2 例を除き他は搏動數 9~62 回, 平均 28 回, 搏動時間 23 秒乃至 7 分, 平均 2 分 32 秒であつた. 但し B_1L 後 1~3 回の室→房搏動の起つたものは恐らく B_1L の際結紮絲が心室に觸れ, 之が刺戟となつたものであらう. 夫故龜心に於ては球の自働性は全く否定出來ないにしても, 蟾心及び蛙心に比べると極めて微弱と考へねばならず且室球境界に於てのみ自働性が存在するものと言へる. 即ち Skramlik (14 40) の所説に反して龜心に於ても室球境界には自働性の存在を認めねばならない.

尙球結紮直後 (B_1L , B_3L 共) 房→室又は漏斗自働の收縮を惹起した事が, より屢々あつたが, 夫は結紮時の牽引又は動搖が房又は房室漏斗の刺戟となつて其の自働性を誘發したものと考へねばならない.

最後に $II.L$ を行ふと殆んど例外無く, 室及び房の收縮を惹起したが, 兩者の搏動は勿論無關係で且蟾心, 蛙心と異なり, 房の搏動の方が一般に長く持続し且 Rhythm も速い.

1 例を舉げて第 3 圖に示す. 本例 (No. 18 17/VI 25.0°C) は正常保血時週期 1.43 秒, 房室間隔 0.61 秒のもので, $I.L$ 後 1 分 27 秒で B_1L を行つたが反應無く (圖 f), 次に B_3L を行ふと直ちに室→房搏動が起り, 夫は 20 回, 1 分 43 秒持続した後, 圖 c の矢印の處で突然房→室

の搏動順序に轉じた。此時の房室間隔は正常時房室間隔に比べて短いが尙 0.48~0.40 秒である事から房自働なる事が分かる。又 B_3L 後の室→房搏動中の室房間隔は 0.56~0.73 秒、心室週期は 1.6, 1.4, 2.0 秒……より漸次延長し 11 回目には 7.2 秒、17 回目には 11.22 秒となつた (Rhythm of excitation)。尙房自働の週期は 4.8 秒より漸次短縮し 3.8 秒になり、次いで再び 4.2 秒より更に漸次延長した。此の房自働生起後 13 分 22 秒 (190 回の搏動後) に II.L を行ふと (圖 d)、室と房は直ちに搏動を停止したが、次いで 20 秒後に心房は搏動を開始し其の收縮高は Bowditch 氏階段現象を呈し週期は 5.2 秒より漸次短縮して 3.4 秒となり、次いで 8.2~10.4 秒と延長し、極めて長期に亘つて搏動を持続した。一方心室は II.L 後 1 分 21 秒で心房と無關係な緩徐な短時間の搏動 7 回 (週期 17.1 秒) を起したのみである。

3) 球結紮と房自動及び漏斗自動との干涉

蛙心及び龜心に於ても I.L 後又は球結紮實驗中に自然に房自働又は漏斗自動が覺醒する事屢々で、其の搏動持續中に球結紮を行ふと、其の有効な場合には少時間既存の自動を抑制し、次いで少時間の休止を置き又は殆んど休止なくして元の自動に復歸する事を認めた。

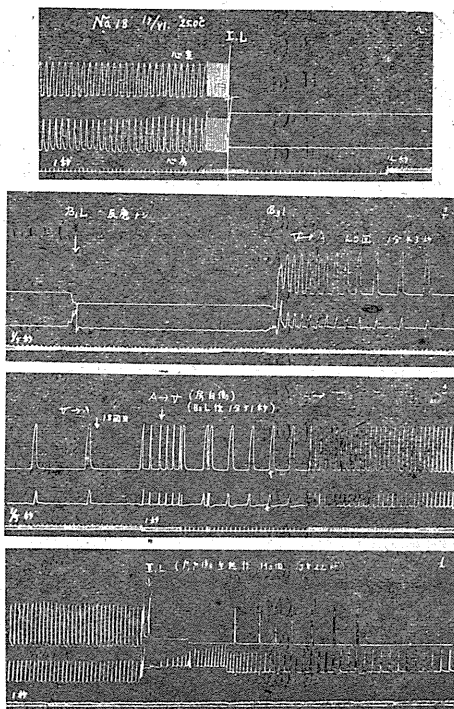
4) 球結紮效果の長時間持續に就いて

第 2 篇に於て球結紮の直接效果である心室搏動の搏動數及び搏動時間を測定し、 B_1L では平均 10 回、43 秒、 B_2L で平均 17 回、1 分 30 秒、 B_3L で平均 19 回、2 分であるが、特殊例として搏動數が異常に多く (100 回以上)、搏動時間の異常に長いもの (10 分以上) があり、之は漏斗自動生起の疑あるものと述べて置いたが、今回墓心、蛙心、龜心を通覽すると結紮效果が確かに 5~10 分以上も持續した場合は極めて稀である。

蛙心に就いては既に例示した No. 8 (第 1~2 圖) に於て B_1L に際し 114 回、5 分持續し、次いで漏斗自動が生起したが、此の漏斗自動中に B_2L を行ふと 141 回、6 分持續した後再び漏斗自動に復歸した。更に此の時に B_3L を行つた處室→房搏動と漏斗自動が競争を演じたので B_3L の直接效果は不明である。又 No. 15 (25/VI 24.0°C 66 g) は B_1L で反應無く B_2L

第 3 圖 龜 心 (No. 18)

- a..... B_1L に依る完全靜止
- b..... B_1L に反應なく、 B_3L に依り室→房搏動生起す
- c.....↓で突然房→室搏動に變ず
- d.....II.L に依り房に頻繁、室に少數の搏動起る



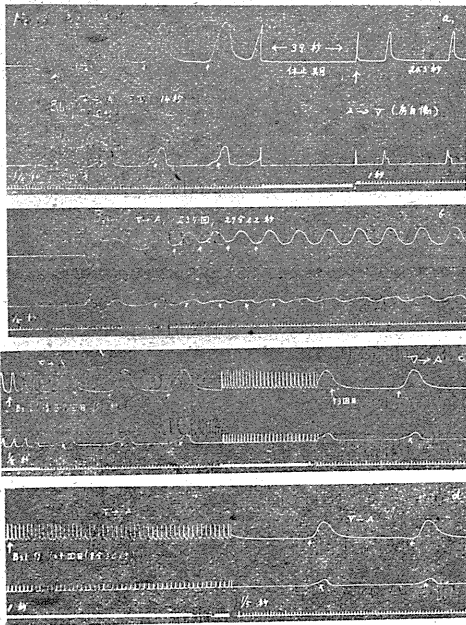
で35回, 1分9秒であつたが B_3L では155回以上, 5分32秒以上(煤紙の関係で次の H.L. をした爲) 持續した。即ち B_1L で114回, 5分, B_2L で141回, 6分, B_3L で155回, 5分32秒以上と言ふ長時間の搏動である。

龜心に於ける最大效果は No. 15 (16/VI 24.5°C) の B_3L で62回, 7分であつた(尙龜心に於ては B_1L で反應の無い事は上に述べた所である)。

臺心に於ては B_3L でのみ長期に亘るもの2例(灌流實驗 No. 16, 保血實驗 No. 21)を得たに過ぎないが, No. 16 は球結紮效果に引續いて房自働が生起し且興味ある例である故に特に第4~5圖に示す。本例 (No. 16 8/XII 12.0

第4圖 臺 心 (No. 16)

- a..... B_1L に依り室房搏動生起す, ↑で房→室搏動に變ず
b..... B_3L に依り再び室→房搏動生起す
c, d.....室→房搏動持續す



に第4~5圖に示す。本例 (No. 16 8/XII 12.0°C) は正常灌流時週期 2.87秒, 房室間隔 0.70秒のもので, I.L. 後1分23秒で B_1L を行つた處(第4圖 a) 其の效果は室→房搏動5回, 心室週期 2.6, 3.5, 4.2秒室房間隔 0.68~0.63秒), 搏動時間14秒で次いで39秒の休止を経て房自働が生起した(房週期約 20.3~17.9秒, 房室間隔 0.70~0.67秒)。次に房自働生起後3分(11回搏動後)にて B_3L を行ふと, 室→房搏動29回(心室週期は 2.1, 2.1, 2.15秒……2:2秒……2.8, 3.1秒……第18~20回目に5.6, 6.1, 6.6秒となり爾後更に延長した。又室房間隔は 0.86~0.63秒である), 搏動時間1分58秒で, 次いで3分10秒の休止を経て再び房自働4回(房週期 18.2~20.3秒, 搏動時間1分35秒)が生起して然る後に停止した。此の靜止状態の時に B_3L を行ふと(第4圖 b), 其の直接效果たる室→房搏動が實に237回, 27分22秒の長期に亘り持續(其の間の心室週期は最初の5回は1.8秒内外, 爾後次第に延長して14~16回目に2.3秒, 41~42回目に3.9秒, 57~59回目に約7秒, 205~206回目には約10秒になり, 又室房間隔は 0.5~1.11秒)した後, 第3圖 cに示す様に認むべき休止なくして突然房自働(房週期 12.9~7.0秒, 房室間隔 0.92~0.91秒)に轉じた。最後に房自働生起後4分40秒(34回の搏動後)に H.L. を行ふと(第5圖 g), 心室の搏動は忽ち促進した(H.L. 前の週期 14.1秒, H.L. 後の週期 2.2秒)が心房の搏動は停止し, 次いで11.8秒後に心室と無關係に緩徐な收縮を再開した。斯くして房室共に40分以上(煤紙の関係で描記中止)も搏動を持續した。

尙 No. 21 (3/V 17.5°C) は B_1L で1回, B_2L で3回, 4.9秒, B_3L で109回, 7分55秒の

後漏斗自働に移行した。

斯様に球結紮に依つて長時間に亘る室→房搏動が惹起される場合は確かに有るにはあるが、夫は稀であつて今回の實驗には B_3L の2例に過ぎなかつた。一方上述の例で明かな様に室→房搏動は屢々全く休止を伴はずに突然漏斗自働又は房自働に移行する事がある（之に關しては第4篇 18 379 心臟電氣描圖に於て既に述べた處である）のであるから、球結紮後の長時間に亘る室搏動は搏動順序が球→室（第5篇 19 参照）、又は室→房なる事を確めた上でなければ決して球結紮の直接効果と言ふ事が出来ないのである。

換言すれば球結紮後長時間に亘る室搏動は大部分は漏斗自働又は房自働の生起に依るものであると言へる。

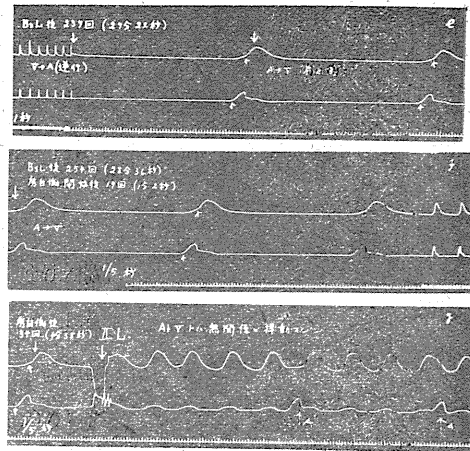
5) 球各部結紮時の室房間隔に就いて

房室間の正傳導時間と逆傳導時間の關係に就いて著者は第4篇 (18 379) に委しく論じて置いた。蛙心又は蟾心に於ては Engelmann (2 511), 上野教授 (20 220) は兩者は略々等しいとし, Skramlik (13 59), Ishihama (7 308) は蛙心に於て, 平位 (4 622) は蟾心に於て, Ishihama (3 58), 平位 (5 1119) は龜心に於て逆傳導時間が長いと言ふ。逆傳導時間と正傳導時間の比（以下之を單に傳導比と稱する）は平位に依れば灌流蟾心に於て平均 1.35 である。心臟電氣描圖に就いて測定した織部, 藤條 (9 1777), 及び著者の第4篇 (18 379) で詳述した成績から傳導比は通常 1 より大であるが, 小なる事も少からず, 稀には 0.8~0.9 の小なる値を示した。即ち正常には 0.8 を以て大體傳導比の下限と看做して宜からう。

但今回の實驗に於ては、蟾心、蛙心、龜心の何れに於ても、最初保血（又は灌流）正常の心臟に就いて房室間隔を測定して、之を正常傳導時間とし、球結紮に依り室→房搏動を起した時の室房間隔（逆傳導時間）を逐次測定して傳導比を求めた處、其の値は多くの場合 1 以上で、稀には時間の経過に伴つて 1.5~2.0 内外の大なる値を取る事もあつた。室房間隔の異常なる延長は傳導系の疲勞として別に不思議はない。然るに一方には屢々傳導比が 0.6~0.7 位の小なる値を示す事もあつた。室房間隔の絶對値が 0.1~0.2 秒位の時は漏斗自働と看做すべきであり夫は又疲勞に依つて 0.3 秒近くにもなるものである（第4篇 18 379）が、夫が 0.3~0.5 秒内外で而も傳導比が 0.6~0.7 の時には簡単に漏斗自働か否かの判斷が出来兼ねるのであるが、著者は此の時心室又は心房に期外收縮を起させて、通常代償性休止を伴ふ事から、漏斗自働でな

第5圖 蟾心の續き

e.....突然房→室搏動に變ず
f.....房→室搏動持續す
g.....II. L に依り室に頻繁、房に緩徐な搏動生起す



くて室房間隔の異常な短縮と断定した。尤も此の場合の傳導比は其の時期の房房間隔を測定して求めなければ正確とは言へないので、心房に期外收縮を起させ代償性休止を伴つた時の期外收縮の房房間隔と期外收縮前後に於ける球結紮效果である室→房搏動の室房間隔を測定した所傳導比は 0.8~1.5 であつた。又球結紮後の室房間隔の絶對値の變化を追跡するのみでも其の異常なる短縮は確認し得る譯である。此の短縮は球結紮後の室→房搏動の初期數回にのみ起る事が多いが、又其の搏動の長時間持續する時途中に起る事がある。即ち室房間隔は漸次短縮し次いで又漸次延長する事が屢々あつた。後の現象は Skramlik (11 30, 32, 13 58) の *Bahnung* の現象として説明し得られるものであつて、著者は又第3篇 (17 283) に於て、室球標本が自然搏動を開始する場合室球間隔に就いて同様の現象を認めて居る。但し Skramlik (13 22, 33) は蛙心、Ishihama (8 58) は龜心に就いて、房室漏斗は其の部位に依り正逆の傳導性を異にする事を證明し、殊に Skramlik は各部の加温又は冷却に依り傳導比を 0.67 又は 4.86 に變化させ得る事を認めて居る故、標本の状態に依り逆傳導が正傳導よりも遙かに良好になり得る場合もあり得る事は充分考へられる。

IV. 總括及び論結

蓋心の外に蛙心、龜心に就いても球結紮實驗を行つて次の成績を得た。

1. 蛙心に於ても心臟球の遠心端の結紮 (B_1L) 及び同中央部の結紮 (B_2L) が球の搏動を惹起し、夫は室房へ逆行する。室球境界の結紮 (B_3L) に依つては球と室が、又第 II 結紮 (II. L) に依つては室と房が異週期的に搏動する。心室の搏動回数及び搏動時間より判定すると結紮效果は II. L に最大、次は B_3L , B_2L , B_1L の順序になる。之等の關係は蓋心に於ける成績と全く一致する。故に蛙心に於ても普通の II. L では矢張り房室間の結紮が重きをなすものと考へねばならない。
2. 龜心に於ては B_1L は無効で球の自働性の存在を疑はしめるが、 B_3L は有効で頻回の室→房收縮を惹起した。即ち Skramlik の所説に反し、龜心でも室球境界に自働性を認めねばならない。又 II. L では室と房は異週期的に收縮したが、蓋心、蛙心と異なり、房の搏動が一般に頻回であつた。
3. 蛙心、龜心に於ても第 I 結紮後、又は球結紮實驗中に生起した漏斗自働又は、房自働は球各部結紮に依り一時的に抑制せられ、其後或は休止を伴ひ或は之を伴はずして元の自働に復歸した。
4. 球結紮の直接效果たる室→房搏動が長時間 (5 分以上) に亘つて持續する事は極めて稀で、通常は漏斗自働又は房自働に移行する事に依つて長時間の搏動を示すものである。
5. 蓋、蛙、龜の何れに於ても屢々球各部結紮後の室房間隔が正常時の房房間隔に比べて著しく短縮して其の比が 0.6~0.7 になる事がある。夫は Skramlik の *Bahnung* か、Skramlik Ishihama の言ふ特に逆傳導に適する筋束に依るものであらう。

擧筆に臨み終始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なる謝意を表す

文 献

- 1) Dogiel, u Archangelsky, (1907) Arch. f. Mikkro. Anat. S. 790
- 2) Engelmann, Th. W. (1903) Arch. f. (Anat. u) Physiol. g. g. 1903, S. 505
- 3) Greil, (1925) Zitiert. von Brücke : Wintersteinsche Handb. d. vergleich. Physiol. Bd. 1, 1. Hälfte. S. 1041
- 4) 平位順一郎 (1938) 十全會誌 43 622
- 5) 平位順一郎 (1938) 十全會誌 43 1119
- 6) Hofmann, C. K. (1890) Bronn's Klassen u Ordnung des Tier-Reihes 6 307
- 7) Ishihama, F. (1924) Pflügers Arch. 202. 308
- 8) Ishihama, F. (1927) Zeitsch. f. vergleich. Physiol. 6 58
- 9) 織部道夫・藤條久成 (1943) 十全會誌 48 1774
- 10) Sabattier, (1925) Zitiert von Brücke : Winterstein'sche Handb. d. vergleich. Physiol. 1 1041
- 11) Skramlik, E. v. (1920) Pflügers Arch. 180 30
- 12) Skramlik, E. v. (1920) Pflügers Arch. 183 125
- 13) Skramlik, E. v. (1920) Pflügers Arch. 184 1
- 14) Skramlik, E. v. (1932) „Herzmuskel u Extrareiz" Jena 40
- 15) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 268
- 16) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 279
- 17) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 283
- 18) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 379
- 19) 藤條久成 (1944) 日本生理誌 9 393
- 20) 上野一晴 (1941) 日本生理誌 6 213
- 21) 上野一晴・前川廣光 (1942) 日本生理誌 7 397
- 22) 渡邊嘉造伊 (1935) 東京醫事新誌 2918 15
- 23) 渡邊嘉造伊 (1935) 東京醫事新誌 2930 15

色素に依るラ氏絞輪の生理學的研究 612.81

慶應義塾大學醫學部生理學教室

網 藏 平 三 郎

Amikura-Heizaburo

(昭和18年11月15日受付)

I. 緒 言

曩に吾教室に於て小野(1)は單一神經纖維の別出部位に於てラ氏絞輪及び其附近に於ける閾値の著明な變化を發見し、ラ氏絞輪の生理學的意義に對して特筆すべき問題を提示した。其後田崎(2)は更に髓鞘乾燥絶縁法を創始し、此新實驗法に依り麻醉藥を用ひてラ氏絞輪と髓鞘被覆部との麻痺時間を比較して其間に著るしい差のある事を認めて、麻醉藥はラ氏絞輪のみに於て神經纖維を侵害して髓鞘被覆部は實際上麻醉藥の侵害を受けぬであらうとの見解を發表した。田崎の此新知見に基き、當時(昭和11年~昭和12年)吾教室はラ氏絞輪の生理學的意義を糾明しつつあつたが、著者も又單一神經纖維に直接顯微鏡下に變化を追及し得られる色素を用ひて之を研究しようとした。

死滅せる神經幹を細裂して鍍銀法に依り神經纖維を染色する際、色素は抵抗の弱いラ氏絞輪より軸索内に侵入して神經纖維が染色される事は既知の事實である。然らば生存してゐる單一神經纖維に於て、之を正常或は非正常の狀態に置いて長時間色素を作用せしめた際、ラ氏絞輪を中心として單一神經纖維に如何なる變化を認められるや、此點を明らかにしようとして本實驗を行つたのである。

II. 實 驗 方 法

實驗材料 日本産雄蟻を用ひ所謂單一神經纖維筋標本を作製した。單一神經纖維の分離別出に際し、別出した單一神經纖維に組織片或は異物が附着して之等の附着物が色素に依り染色され、其爲に實驗結果に誤りを生ずる事を虞れて、著者は別出操作に注意し、又標本を Ringer 氏液にて良く清洗して明瞭清淨な單一神經纖維の別出に努めた。別出した單一神經纖維はラ氏絞輪を1箇以上有し絞輪の構造の正型鮮明なものを撰び使用した。

實驗に用ひた色素は Neutral red, Methylene blue, Trypan blue 及び Eosine 等であつて此各色素を單一神經纖維用 Ringer 氏液に所要の濃度に溶解させた。色素と同時に麻醉藥を作用させた例があるが、それには Utethane を使用した。

實驗裝置及び方法 硝子板の邊緣に Paraffin 又は Shellack を塗つて堤防を作つたものと、田崎の髓鞘乾燥法に基いて細い金屬線を Paraffin 又は Shellack にて封じて硝子板上に堤防を

作つたものの2種を使用した。前者はラ氏絞輪も髓鞘被覆部も同時に色素液に浸漬する時用ひ、後者は堤防間の小溝に色素液を満してラ氏絞輪或は髓鞘被覆部のみを選択的に浸漬する際用ひた。

色素液と Ringer 氏液との置換には硝子製の尖端を細く作つたスポイト及び毛筆を利用した。

標本を載せた硝子板は顯微鏡の載物臺上に置き、其標本の近心部神経幹に白金電極を配置し、刺戟電流は單一開放感應電流或は強直刺戟として神経に毎秒10乃至50回の範圍の頻度にて強直刺戟を與へた。刺戟電流の強さは常に閾値より稍強くして置いた。

實驗開始に當り先づ標本の近心部神経幹に單一刺戟を與へて、其剔出された神経纖維が傳導可能なる状態にある事を確めておき、然る後 Ringer 氏液を所要濃度の色素液と置換して放置した。此間傳導の中斷如何の起るか否かを絶えず檢し、一定時間後色素液を Ringer 氏液と置換し、直に顯微鏡下に神経纖維の着染の状態を調べた。鏡檢は主として弱倍率(120×)にて行つた。尙傳導の中斷を來した場合には、色素液を Ringer 氏液と置換した後傳導の恢復の有無を檢する事とした。又單一神経纖維を色素液に浸漬しつゝ近心部神経幹に強直刺戟を與へる場合には、刺戟開始後1~5分間にして筋は疲勞の爲收縮を營まなくなるものであるが、刺戟は筋の疲勞後も尙持續的に與へ、一定時間後色素液を Ringer 氏液と置換して直に鏡檢した。

單一神経纖維に着染の認められる場合には接眼鏡筒内に挿入した Micrometer に依り其着染部位の長さを測定した。

III. 實驗結果

(1) 0.5~1% Neutral red-Ringer 氏液, 1~2% Methylene blue-Ringer 氏液, 0.5~0.7% Trypan blue-Ringer 氏液及び 0.2~0.3 Eosine-Ringer 氏液等の色素液に於ては、30~60分之久の色素液に單一神経纖維を浸漬せる儘放置しても、多くの場合傳導の中斷或は死滅を來す事はなかつた。此長時間色素液に浸漬せる單一神経纖維を Ringer 氏液と置換して後直に鏡檢したが、此場合には着染上何等の變化も認められなかつた。

更に色素液に浸漬してある單一神経纖維に強直刺戟を與へた場合、又 Methylene blue-Ringer 氏液に Urethane を 0.8~1.0% の割合に溶解させて單一神経纖維を麻痺せしめると同時に色素を作用させてみたが、何れの場合にも着染上の變化は見られなかつた。

(2) 次に上述の(1)の場合より少し濃い色素液を用ひた場合には、色素液の作用によつて興奮傳導の中斷を來す事が認められた。此傳導の中斷に陥つた單一神経纖維をその儘構はず色素液中に浸漬して後鏡檢した結果が、第1表に示されたものである。此場合には明らかに神経纖維の髓鞘被覆部が着染されてゐる例を認めた。然し此着染された單一神経纖維は、其色素液を Ringer 氏液と置換して傳導の恢復を調べても、再び傳導性を恢復して來る事はなかつた。着染されてはいない單一神経纖維に於ては多くの場合傳導の恢復が認められたが、表中唯1例に

於ては恢復が見られなかつた。

以上の結果を換言すれば、色素液に浸漬中神経纖維が死滅したと判断される場合（即ち興奮傳導の恢復なき場合）には殆んど常に神経纖維の着染が認められ、神経纖維が單に或る時間麻痺状態にある場合（即ち傳導の再び恢復する場合）には着染が認められないと云ふ事になる。

第 1 表

色素	例数	ラ氏絞輪	濃度 (%)	浸漬時間 (分)	浸漬時間 (分)	恢復	着染 (μ)
ニトロブルー	I	1	2	3	23	+	-
	II	1	2	8	30	+	-
メチレンブルー	I	9	2	160	31	-	26
	II	3	3	70	23	-	73
トリバナー	I	1	0.7	160	15	+	-
	II	1	0.6	10	30	-	-
	III	2	1	6	20	-	30
エオジン	I	2	0.3	30	20	-	55
	II	1	0.4	2	20	+	-
	III	1	0.4	53	18	+	-
	IV	22	0.4	20	22	-	繊維全部

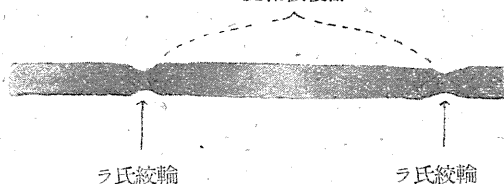
着染の長さ (μ) はラ氏絞輪より一側の髓鞘被覆部の着染を表す

第 2 表

色素	例数	ラ氏絞輪	濃度 (%)	浸漬時間 (分)	着染	生存せる場合		死滅せる場合	
						着染長さ (μ)	着染長さ (μ)	着染長さ (μ)	着染長さ (μ)
メチレンブルー	I	2	0.5	60	-	10	20	73	200
	II	1	1	42	-	15	73		
	III	1	1	30	-	30	91		
	IV	3	2	60	-	60	127		
エオジン	I	2	0.4	13	-	13	109		
	II	1	0.4	18	-	18	11		
	III	2	0.4	20	-	20	164		
	IV	2	0.4	30	-	30	165	165	173

第 1 圖

髓鞘被覆部



(3) 上の結果に基き單一神経纖維が生存してゐる場合と死滅した場合の着染上の差違をはつきりと觀察する爲に、同一の神経纖維を用ひて此2つの場合を比較對照してみた實驗の結果が第2表に掲げたものである。

着染された單一神経纖維の染色の模様は第1圖の模型圖の如く、ラ氏絞輪を中心として之に連る兩側の軸索に絞輪より色素液が浸入して着染されたものと認められ、絞輪に近い髓鞘被覆部は濃く着染し、絞輪を遠ざかるに従ひ薄く染つてゐた。又1つの絞輪の兩側の髓鞘被覆部は必ずしも同じ長さだけ着染されては居なかつた。

絞輪そのものの着染に關しては、絞輪の構造が極めて微細である爲、如何なる場合に如何なる程度にそれが着染されるかをはつきり決定する事は困難であつた。

IV. 總括並びに結論

種々の色素を單一神經纖維用 Ringer 氏液に溶解させ、之を單一神經纖維に作用させて着染の状態を検してみた。其際、單一神經纖維に色素液を作用させつつ同時に電氣刺激を與へた場合、同時に麻酔藥を加へて神經纖維を麻痺させた場合、或は色素液そのもので麻痺を來さしめた場合等、種々の實驗條件の下で觀察を行つたが、何れの場合にも單一神經纖維の生存してゐる間は着染上髓鞘被覆部に及び變化は認められず、ラ氏絞輪及び髓鞘は共に色素液を軸索内に侵入せしめなかつた。

單一神經纖維が死滅した時にはラ氏絞輪より色素液は軸索内に侵入して明らかに髓鞘被覆部の着染を認めた。

稿を終るに臨み恩師加藤教授の御懇篤なる御指導並びに御校閲と田崎講師の御校閲に對し深謝する。尙本實驗は昭和11年暮より昭和12年にかけて行つたのであるが、同年秋著者は應召し昭和18年春迄公務に従事してゐた爲發表の遅延した事を附記する。

文 獻

- 1) 小野定男 (昭和12年) 慶應醫學 17
- 2) 田崎一二 (昭和13年) 慶應醫學 18

血管收縮神經に及ぼす nicotine, curare の作用に就て 612.815

(慈大辛酉會補助に依る)

東京慈惠會醫科大學臨床研究室

篠 崎 尚 次

Sinozaki-Naotugu

(昭和18年11月20日受付)

I. 緒 言

曩に西丸等(4)は血管運動神經素に關し、その生成並びにその作用と、各種化學的物質との關係を明示したのであるが、一般に運動神經毒であると云はれてゐる curare 及び主として synapse に特異的に作用すると考へられてゐる nicotine が、自律神經殊に血管收縮神經に如何なる作用を有するものなるか、單に自律神經の末梢を刺激或は麻痺すると云ふ様な表現を以てしては、現在我々には理解し難い處であるので、我々の行つてゐる研究方法に依つて此等藥物と血管收縮神經との關係、及びその作用本態を追及するの必要を認め、次の様な實驗を行つたので、その成績を報告する。

II. 實 驗

A. 實驗方法

蟾 (*Bufo vulgaris formosus*) 約 200g 前後を用ひ、その胃腸血管を Ringer-Sozi 氏液(7)で灌流し、又幸野(3)が所謂血管收縮神經素に就て行つた實驗の様に、左右内臟神經を感應電流(刺激強度 65~75mm, 10,000 回)に依つて刺激し、その流出液を洞房標本(5)に導入してその收縮機械曲線を畫き、或は對照試驗として灌流輪道中に藥物を注入し、灌流量は Mariotte 瓶の氣泡數(6)を以て測定した。

尚、curare は一定量づゝ瑪璃製乳鉢で研摩し、その溶液を作り、例之、Ringer-Sozi 氏液 1cc 中 10mg の curare を含有する溶液を $1:10^2$ として實驗を行つた。

B. 實驗方法

I. nicotine (Merck) に就て

nicotine-Ringer-Sozi 氏液 $1:10^6$, $1:10^5$, $1:10^4$, $1:2 \times 10^3$, $1:10^3$ 等の溶液を作り、之を胃腸血管系に灌流すると、血管系は Ringer-Sozi 氏液に比してその灌流量の $1/2 \sim 1/3$ 程度の減少を見るが、灌流量の一定となつた時、左右内臟神經を電氣刺激すると、何れもその刺激に依つて灌流量の顯著なる減少を見る(第1圖)。而して、この灌流液は洞房標本の收縮機能曲線を増強する。又、 $1:10^3$ nicotine 溶液に於ても、その灌流時洞房標本並びに胃腸血管系は

$1:10^7$ adrenaline-Ringer-Sozi 氏液に依つて毎常 adrenaline 作用を顯著に見た。

尚, $1:10^3$ nicotine-Ringer-Sozi 氏液より濃度大なる時は胃腸血管系は全く收縮するが, $1:2 \times 10^3$ nicotine-Ringer-Sozi 氏液を灌流し, 血管系が全く收縮した時直ちに Ringer-Sozi 氏液に替へ5分後に電氣的に刺激すると nicotine の濃度小なる時と同様灌流量の減少, 及び洞房標本の收縮機械曲線を増大ならしめた。

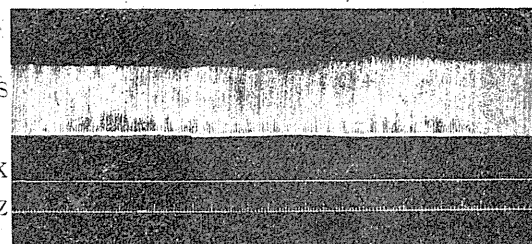
II. curare (Merck) に就て

curare-Ringer-Sozi 氏液, $1:10^4$, $1:2 \times 10^3$, $1:10^3$ 等の溶液を作り, 之を胃腸血管系に灌流するに, 血管系は收縮して, その灌流量は減少するが, 略一定となつた時, 左右の内臓神経を電氣刺激すると, 何れもその刺激に依つて, 著名な灌流量の減少を見, 而して洞房標本への流入液はその收縮機械曲線の増強を見る(第2圖). 即ち, curare のかかる濃度に於ては, 常に血管收縮神経素の生成は影響されない事を示し, 又 $1:2 \times 10^2$ curare-Ringer-Sozi 氏液灌流中に於て, その洞房標本並びに胃腸血管系は $1:10^7$ adrenaline-Ringer-Sozi 氏液に依つて毎常 adrenaline 作用を顯著に見た。

III. 總括及び考察

nicotine 及び curare が, 所謂血管收縮神経素生成並びに血管收縮性機構に如何なる影響を有するかは, 血管生理學研究上, 我々に1つの問題を提供してゐる處であり, 曩に羽賀(2)は nicotine, curare の何れもが, nicotine は $1:10^3$ に於て curare は $1:10^4$ に於て血管收縮神経素の生成を全く消失せしむると思考される事を報告したのであるが, 其後自分は該問題をさらに詳細に追及するの必要を認めて, 實驗を進めた結果, 灌流實驗の可能な最大濃度即ち nicotine は $1:2 \times 10^2$, curare は $1:10^3$ の濃厚溶液の使用に於ても, 該神経の興奮乃至刺激に際しては所謂血管收縮神経素の生成を見る事を知り, 又 nicotine, curare 灌流中と云へども, adrenaline に対しては胃腸血管系及び洞房標本が常に adrenaline 作用を現はす事は此等

第 1 圖



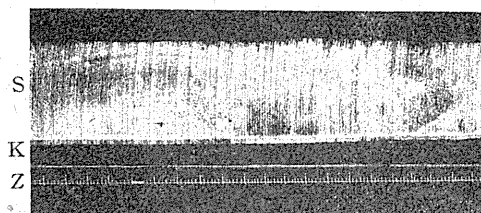
$1:2 \times 10^2$ nicotine-Ringer-Sozi 氏液灌流中電氣刺激效果

S.....洞房標本收縮機械曲線

K.....灌流液 Mariotte 瓶氣泡數

Z.....時間(1分) CD=6.5cm

第 2 圖



$1:10^3$ curare-Ringer-Sozi 氏液灌流中電氣刺激效果

S.....洞房標本收縮機械曲線

K.....灌流液 Mariotte 瓶氣泡數

Z.....時間(1分) CD=6.5cm

藥物が血管收縮神経素作用機構及び收縮機構にも影響の少い事が思考される。

IV. 結 論

蓋胃腸血管系灌流實驗に於て nicotine 及び curare の血管收縮神経に對する作用本態を追及した結果、實驗可能最大濃度である nicotine $1:2 \times 10^3$, curare $1:10^3$ に於て共に血管收縮神経素の生成作用收縮等の機構に影響の少い事を知つた。

文 獻

- 1) 百々芳雄 (1942) 日本生理誌 7 608
- 2) 羽賀一男 (1943) 第 21 回日本生理學會, 福岡
- 3) 幸野密二 (1942) 成醫會誌 60 416
- 4) 西丸和義・飯塚壽夫・篠崎尙次 (1943) 日本生理誌 8 54
- 5) 篠崎尙次 (1942) 日本生理誌 7 675
- 6) 篠崎尙次 (1942) 日本生理誌 8
- 7) Sozi T. (1941) Jap. J. of Med. Biophys. Ⅲ 7 295

小血管系血行に對する adrenaline, pituitrin

の作用に就て 612.146.2

(慈大辛酉會補助に依る)

東京慈惠會醫科大學臨床研究室

篠 崎 尙 次

Sinozaki-Naotugu

(昭和18年11月20日受付)

I. 緒 言

adrenaline は Schäfer and Oliver (8) 以來、その生理學的作用機轉が重要視され、又最近血管收縮神經素として (2, 4)、血管生理學領域に於ても、その作用に就て多くの研究が行はれて來た。

曩に西丸等 (7) は、この物質の血管收縮神經終末組織よりの生成及び、その作用機構に關して明示した處であり、又一方 pituitrin に就ては Pohle 等は大腦垂體切除によつて水腫を起し、而も毛細血管の異常に擴張する事を認め、Krogh (5) は該物質は蛙の蹼膜血管に收縮を起さしめ、灌流液中に $1:2 \times 10^5$ 乃至 $1:10^6$ の割合に之を含有せしむる時は水腫を起し難い事を報告した。木内 (3) はさらに蛙腸間膜毛細血管に對して濃度の小なる時は擴張作用があつて色素の血管壁透過性を亢進し、濃度の大きな時は血管收縮作用があつて、其透過性を減少せしめる事を報告したが、自分は曩に血管擴張物質である acetylcholine 及び histamine の小血管系に對する作用を追及したのであるが、然らば血管收縮物質である adrenaline 及び pituitrin は如何なる作用機構を有するか、又血管口徑の變化、即ち血管の見掛けの收縮擴張の本態は如何なるものであるか、果して此等藥物による血管口徑の増減が active の收縮と云ひ得るか、又血管の收縮乃至擴張が Rouget 氏細胞の收縮にその本態を歸一せしめ得るか等に就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), ($\uparrow$ 15~20g) の腸間膜を直接顯微鏡下に ocular micrometer で小血管の口徑の變化を adrenaline, pituitrin の種々の濃度を滴下して觀察した。その詳細に就ては既に (9) 報告したので、此處には重複を避けたい。

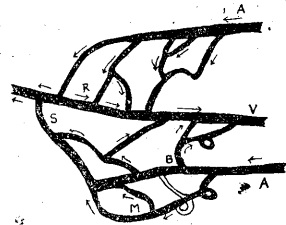
B. 實 驗 成 績

1. adrenaline に就て

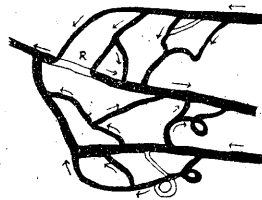
adrenaline-Ringer-Sozi 氏液各濃度の溶液を腸間膜面に滴下して、その血行の變化を觀察した結果は第1圖で、その血管口径の變化を表示したものが第1表である。

第 1 圖

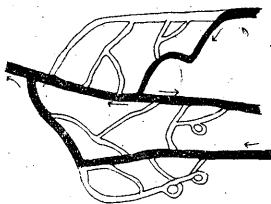
小血管系に對する adrenaline 作用 (蛙腸間膜)



A. 正常血行
矢印は血流方向充實部は血行存在す
A.....小動脈
B.....小動脈分岐部
M.....網狀毛細管
S.....集合毛細管
V.....小靜脈
R.....連絡枝



B. $1:10^5$ adrenaline-Ringer-Sozi
氏液 1 cc 滴下
小動脈分岐部及び網狀乃至集合毛細管の一部に強い收縮が見られ、又それによつて血行の變化が見られる



C. $1:10^5$ adrenaline-Ringer-Sozi
氏液 1 cc 滴下
小動脈に單に 1 條の血行が認められるのみで著しい血行の變化が小靜脈に認めらる

第 1 表

adrenaline 溶液滴下による小血管系血流狀態及びその血管口径變化

狀 態 名 稱	正常血行	$1:10^5$ adrenaline	血流の有無	減少%
小 動 脈	28.3 μ	21.4 μ	有	24.4
分岐毛細管	14.3 μ	12.8 μ	無	10.5
連 絡 枝	17.8 μ	14.3 μ	無	15.4
網 狀 毛 細 管	21.4 μ	16.5 μ	無	22.9
集 合 毛 細 管	30.7 μ	26.4 μ	無	14.0
小 靜 脈	35.7 μ	28.3 μ	有	20.7

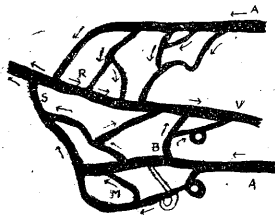
$1:10^5$ adrenaline 溶液 1 cc 滴下によつて小血管系に 1 條の血行を認め得られる場合に於ける血管口径の變化

2. pituitrin に就て

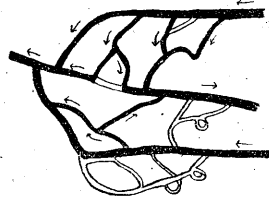
pituitrin-Ringer-Sozi 氏液各濃度の溶液を腸間膜面に滴下して、その血行の變化を觀察した結果は第2圖で、その血管口径の變化を表示したものが第2表である。

第 2 圖

小血管系に對する pituitrin 作用 (蛙腸間膜)



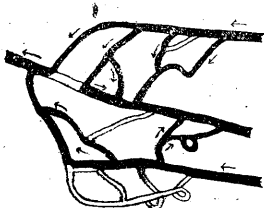
A



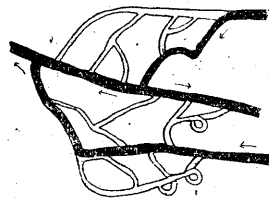
B

A.....正常血行
矢印は血流方向充實部は血行存在す
A.....小動脈
B.....小動脈分岐部
M.....網狀毛細管
S.....集合毛細管
V.....小動脈

B. 1:10⁷ pituitrin-Ringer-Sozi 氏
液 1cc 滴下
單に連絡枝と考へらるゝ處に血
行停止が見られる



C



D

C. 1:10⁴ pituitrin-Ringer-Sozi
氏液 1cc 滴下
小動脈分岐部及び網狀毛細管の
分岐部に收縮が見られる

D. 1:10⁵ pituitrin-Ringer-Sozi
氏液 1cc 滴下
小動脈に單に 1 條の血行が認め
られるのみで著しい血行の變化
が小動脈に認められる

第 2 表

pituitrin 溶液滴下による血管系血流状態及び
その血管口径の變化

状 態 稱 名	正 常 血 行	1:10 ⁴ pituitrin	血 流 の 有 無	減 少 %
小 動 脈	21.4 μ	17.9 μ	有	16.4
分岐毛細管	16.5 μ	14.3 μ	無	15.4
網狀毛細管	21.4 μ	19.3 μ	無	9.8
集合毛細管	32.1 μ	28.3 μ	無	11.8
小 靜 脈	39.3 μ	32.1 μ	有	18.3

1:10⁴ pituitrin-Ringen-Sozi 溶液 1cc 滴下によつて小血管系に 1 條の血
行を認め得られる場合に於ける血管口径の變化

III. 總 括 及 び 考 察

A. adreraline に就いて

adrenaline による血行、特に小血管の血行の變化はその濃度小なる場合に於てのみ見られる程度で、所謂血管口徑の變化は見られなかつたが、唯血行が停止してゐたものに血行が認められれば擴張し、逆に血行のあつたものが停止すれば、血管口徑が變化する事は論を俟たない。

故に、正常血液循環による該部血行の調節は小動脈の分岐部及び網狀毛細管に於ける連絡枝が絶えず開閉する事によつて行はれ、特に化學的物質の有効量が一定の血管系に混入した場合、又は異常な物理化學的變化があつた場合には、小動脈分岐部の開閉によつて小血管の血行調節が行はれるものと思考される。

B. pituitrin に就いて

pituitrin による血行の變化はその濃度小なる時は、adrenaline の場合即ちその濃度小なる時と、差異は認められず、濃度大なる場合に於ては adrenaline と同様に1條乃至2條の血流を認めるのみで他は總て血行が停止するのを常とした。この場合 adrenaline と pituitrin とはその作用に於て、ほとんど差異は認められず、pituitrin は他の藥物同様に濃度大なれば Rouget 氏細胞、換言すれば、小動脈分岐部又は特に Rouget 氏細胞分布の多い網狀毛細管の部に作用して、それを收縮せしめ、それによつて血行の調節をはかると思考され、分岐部の Rouget 氏細胞の active の收縮によつて、實際の血管口徑は passive にその見掛けの口徑を變化するものであると思考される。

IV. 結 論

1. adrenaline, pituitrin は共に Rouget 氏細胞の分布密度の多い小動脈分岐部、又は網狀毛細管の連絡枝に作用して血管を收縮せしめる。
2. 血流量の増減は分岐部等の開閉に主として左右され、網狀毛細管、集合毛細管、小靜脈、連絡枝等の收縮擴張は、分岐部の開閉による血流量の増減及び内壓の變化に影響されるものであつて、
3. 即ち、かかる化學的物質による小血管系の收縮擴張は、Rouget 氏細胞の收縮性にその本態を有して、該細胞の多く分布する分岐部の開閉によつて主として行はれることが明かとなつた。

文 献

- 1) Dale, H. H. (1934) Bri. Med. J. 3827
- 2) 百々芳雄 (1942) 日本生理誌 7 608
- 3) 木内 茂 (1936) 成醫會誌 55 569
- 4) 幸野密二 (1942) 成醫會誌 60 416, 61 531, 540, 1235, 1261
- 5) Krogh, A. (1922) The Anatomy and Physiology of Capillaries 121, 135
- 6) Pohle, E. (1920) Rehberg P. B. (1922) cited from Krogh's The Anatomy and Physiology of Capillaries (1922) 156
- 7) 西丸和義・飯塚壽夫・篠崎尙次 (1943) 日本生理誌 8 54
- 8) Schäfer, A. E. and G. Oliber, (1895) Journ. of Physiol., xviii, 230
- 9) 篠崎尙次 (1943) 日本生理誌 8

蛙皮電位のリチウム週期に及ぼす各種藥物 の影響に就て 612.423

東北帝國大學醫學部第2(本川)生理學教室

杉 下 孝 人

Sugisita-Takato

(昭和18年12月29日受付)

I. 緒 言

蛙皮内面に Ringer 氏液外面にリチウム溶液を用ひて皮膚電位を測定した場合靜止電位に著明な週期性動搖を示す事は橋田 (3) によりて發表せられ、其の後この特異なる現象に關しては本川 (9, 10), 竹中 (16, 17) 等によりて種々検討が加へられた。而も此の現象はリチウム溶液を蛙皮内面に用ひたのでは發見し難い事も事實であつて、これは本川等の實驗から結論出来る様に蛙皮靜止電位源が表皮の生活細胞層 (Stratum germinativum) に在ると言ふ事と良く一致する事である。而し乍ら如何なる機序によりてリチウム溶液にのみ斯る特異現象を現はすものなるか、今日尙ほ審かにされて居ない。余は既に此の現象と温度との關係を研究し適温範圍内にては略ぼ Q_{10} 則に一致するが適温以外に於てはそれに合致しないと言ふ事を確認した。

茲に於て更にリチウム溶液に他の各種藥物を混和して、即ち Li イオンと各種のイオンとを共在せしめて其れが蛙皮電位の週期性動搖現象に如何なる變化を及ぼすものなりや、即ち (i) イオン相互間の拮抗作用によりて Li イオンが最早や表皮生活細胞層に對して何等の影響をも有せざるに至るか、(ii) 或はそれ等の溶液が表皮に對して有害に働き Li イオンの存在によりても最早や電位の動搖性を現はさざるに至るか、(iii) 或は混在溶液によりて Li イオンが生活細胞層に到達し得ざる如き一種の不透性層を形成するか、(iv) 或は又混在溶液の靜止電位に對する影響は存在するもリチウムの特異現象そのものに對しては殆んど何等の影響も有せざるか、等の疑問を解決せんが爲に次の實驗を行つた。

II. 實 驗 方 法

Rana nigromaculata の摘出背皮を長さ 6cm, 内徑 1.2cm の硝子管の一端に木綿絲を以て結びつけ表皮面が常に外方に向ふ様にした、而して内面は常に 1.5cc の Ringer 氏液に浸り外面は常に 40cc のリチウム溶液に浸る様にした。誘導電極は Ringer 一甘汞電極を用ひ擴散電位を顧慮せず直接内外誘導液より誘導した。蓋し擴散電位が週期的變化を示しリチウム週期を亂すが如き事は決してあり得ないからである。電位差は補償法により通常 30 秒乃至 1 分おきに測定した。零器としては Siemens-Halske の反照電流計を使用した。リチウム溶液は 0.011

Mol LiCl 及び 0.1/4 Mol LiNO₃ を用ひ Ringer 氏液の組成は NaCl 0.6%, KCl 0.02%, CaCl₂ 0.02% のものを使用した。尚ほ温度は測定上の便宜より略ぼ 20°C に一定した。

測定は通常 Ringer-Li 誘導にて週期性動揺を確認し次いで被検物加リチウム溶液に代へて其の電位現象を測定し、次いで再び原液に返して常に其の可逆性を檢した。液の交換に際しては常に表皮面に残存せる液を吸取紙を以て注意深く除去した。

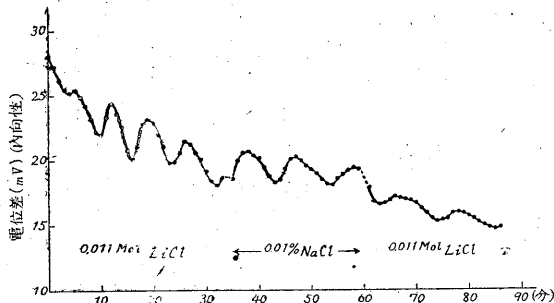
III. 実験成績

此の実験は殆んどすべて温度 20°C に於て行はれたがこれは余の前の実験成績により温度 20°C の場合の動揺週期が略ぼ 6~8 分にして振幅も亦大きく動揺経過も長期に亘ると云ふ事の測定上の便宜及び其れが適温範囲内の実験として妥當なりと認めたからである。尚ほリチウム溶液は NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, BaCl₂, AlCl₃, 葡萄糖, Saponin, KCN, 單沃度醋酸の場合には LiCl を用ひ Strychnin, Atropin, Eserin, Adrenalin, Acetylcholin の場合には LiNO₃ を使用した。

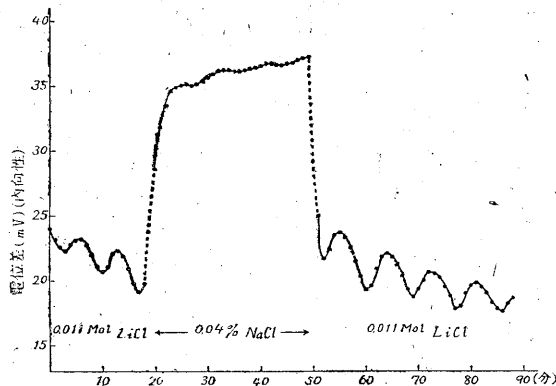
A. Na の影響

外方誘導液即ちリチウム溶液中に幾%或は何 Mol 濃度の NaCl が存在する事によりリチウム性動揺現象が如何様なる變化を受けるか、或は周知の如く生物の構成上最も緊密なる関係に

第 1 圖 (a)



(b)



ある Na の介在は何等の影響をも示さざるものかを知る爲に次の如き濃度に就き実験を行つた。

成績は第 1 表に示される如く略ぼ 0.03% (1/195 Mol) の微量の NaCl の存在によりてリチウム現象に對する影響が可成り著明に認められる、即ち 0.001~0.02% の存在にては何等の影響無きか或は殆んど認められざるものが 0.03% 以上の存在によりて次第に著明に影響を受け (第 1 圖) 殊に電位は急激に上昇し週期は稍延長し振幅も亦縮少し、更に濃度 0.1% (1/58 Mol) 以上に至りては電位は殆んど動揺を停止して略ぼ直線狀と成る。上述の電位の上昇は Orbeli (13), Schwarz (15), 橋田 (4) 等の研究からも明らかな様に Na⁺

の蛙皮内向性静止電位を増大せしめると言ふ性質に歸すべきであるが、僅かに 0.03% と云ふ微量の面も生理的に無害なる NaCl によりてリチウム週期現象がかくも著明なる抑制を受ける事は夢想だもしなかつた所であつて甚だ注目すべき現象と言はねばならぬ。第 1 圖に見る如く此の Na^+ 抑制作用が完全に可逆的であると言ふ事も亦注目すべき事である。

B. K^+ の影響

1) リチウム現象に對する KCl の影響は第 2 表に示す如く甚だ微弱である。即ちリチウム溶液中 0.1% (1/75 Mol), 0.2% 更に 0.5% の大量の KCl 存在によりても殆んど影響無く 1% (1/7.5 Mol) によりて始めて著名な影響を示し、電位の急激な低下を來すが尙ほ動搖現象は完全には消失しない、併し 2% に至りては電位は速かに下降して其の向きを變じ且つ動搖は完全に消失し可逆性も亦充分ではない。併し斯る

大量の KCl の存在による影響は其の毒作用に由るものと考へるを至當とすべく、此の作用を除外して考へればリチウム現象に對する K^+ の影響は殆んど皆無に近いものと認めざるを得ない。

以上述べた様に一般に毒性少なき Na^+ がリチウム週期に對して甚だ著明な抑制作用を有し、之に反し毒性強き K^+ が何等の影響をも呈しないと

言ふ事は他の生理現象に殆んど認められない事であつて、リチウム週期發現機序の考察に當つて特に留意すべき事である。

C. Ca^{++} , Mg^{++} , Ba^{++} の影響

Ca^{++} , Mg^{++} , Ba^{++} 等の二價の陽イオンを持つ鹽化物の影響も KCl の場合同様殆んど認められない。即ち CaCl_2 の場合には 0.01~1% にて殆んど影響無く 2% にて始めて著明に影響を受ける。

MgCl_2 では 0.1% にて殆んど影響無く 0.5~1% にて僅かに影響が認められ 2% に於て CaCl_2 同様始めて著明に影響を受ける。

BaCl_2 では 0.1%, 0.5% 共に影響無く、1~2% に於てすら殆んど影響が認められない。

即ち斯の如く二價の陽イオンを持つ鹽化物では何等リチウム現象に對して影響を現はさざる事明瞭であるが濃度大なる場合のものに就てはそれ等イオンに特有なものでは無く所謂鹽類の過大濃度に由る障碍と考ふべきものであらう。

第 1 表

濃 度	MaCl の影響	可逆性
0.001% (M/5800)	—	+
0.01% (M/580)	—	+
0.02% (M/290)	±	+
0.03% (M/195)	+	+
0.05% (M/115)	+	+
0.1% (M/58)	+	+

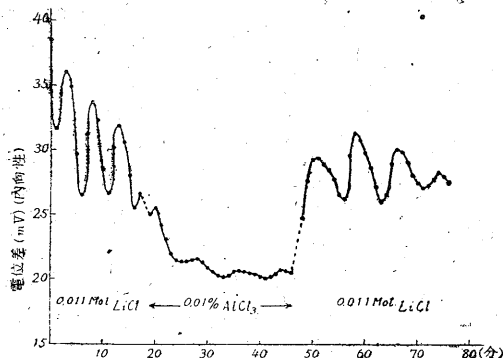
第 2 表

濃 度	KCl の影響	可逆性
0.01% (M/750)	—	+
0.1% (M/75)	—	+
0.5% (M/15)	±	+
1.0% (M7.5)	+	+
2.0% (M3.8)	++	±

D. Al^{+++} の影響

$AlCl_3$ の如き三價の陽イオンを持つ鹽化物の影響に就ては既説鹽化物と異り可成りの影響を認める事が出来る。即ち 0.001% (1/13000 Mol) の如き微量にては殆んど影響を認めざるも

第 2 圖



0.005~0.01% に於ては可成り著明に影響が認められる(第2圖), 即ち電位は著しく降下し振幅も亦僅かに微弱と成り週期も稍延長するに至る。而し可逆性は尙は明瞭に存在し電位は速かに舊位に回復する。而して溶液の pH は以上の濃度にては 5.3~5.1 にして pH に由る影響は此の場合考へる必要はない。何故ならば竹中(16)の實驗によれば pH はリチウム

現象に関しては極めて粗なる關係にあり, LiCl に於て大體 4.8~10.6 以内に何等影響を有しないと言ふ。而るに 0.05% (1/260 Mol, pH 4.4) 以上にありては影響更に著明にして電位

第 3 表

濃 度	$AlCl_3$ の影響	pH	可逆性
0.001% (M/13000)	—	5.3	+
0.005% (M/2600)	+	5.2	+
0.01% (M/1300)	+	5.1	+
0.05% (M/260)	+	4.4	+
0.1 % (M/130)	+	4.1	+
0.2 % (M/67)	++	4.1	+

の低下と共に動搖現象は殆んど消失するの狀態と成り可逆性も亦可成り不充分と成る。これは無論 Al^{+++} の影響に依る事は言ふ迄もないが更に pH 4.4 以下の酸度の影響も加味せるものならんと想像せられる(第3表)。

E. 葡萄糖の影響

葡萄糖の影響は 0.1~2% の大量に於ても尙は全然認められず。即ち其の存在はリ

チウム現象に對して何等の影響性をも有せざる事明瞭である。

F. Saponin の影響

第 4 表

濃 度	Saponin の影響	可逆性
0.01%	±	+
0.05%	±	+
0.08%	±	+
0.1%	++	±
0.2%	++	±

Saponin の如き表面活性物質は蛙皮靜止電位に對して著しき影響を及ぼし殊に電位の低下, 酸素消費の低下等に關しては Ponder 及び Macleod (14), 遠藤 (2) 等に依りて發表せられて居るが, リチウム動搖現象に及ぼす影響に關しても略ぼ同様の事が立證出来る。即ち第4表の如く 0.01~0.08% にては僅かに電位の低下を證明し得る程度の影響なれ共 0.1~0.2% に至りては其の影響

著明にして殊に電位は急激に低下して終に逆轉し動搖現象は僅かに認め得るか或は完全に消失するに至り、更に可逆性も亦僅かに認め得るか或は完全に消失するに至る。これは Saponin の表面活性により靜止電位源たる生活細胞層が著しく障礙される事に由るものなるは明瞭である。

G. KCN の影響

青酸加里の蛙皮電位に及ぼす影響に就ては Lund (8), Adolph (1), Huf (5, 6, 7), 成田 (12) 遠藤 (2) 等によりて詳細に研究發表せられたが余の實驗に於ても亦著明な影響が認められた。

即ちリチウム溶液中の青酸加里

量が 0.0005 (1/13000 Mol) ~

0.001% (1/6000 Mol) にては何

等影響なきか或は殆んど影響を

認めないものが 0.003% (1/2100

Mol) にて始めて著明に影響を

示すに至る、即ち動搖現象は消

失し電位は速かに減少しつゝ零

に至る。但し可逆性は再び電位

の上昇回復と共に尙ほ明らかに認められる (第3圖)。更に濃度 0.005~0.01% に至りては電

位の低下は一層速かにして動搖性の片鱗をも現は

さずして零位に至り可逆性も亦電位の漸次上昇に

も拘らず完全に消失する。

斯様にリチウム現象が呼吸毒に敏感であると云

ふ事は此の現象が單なる物理化學的變化では無く

生命現象と密接に關係してゐる事を示すものであ

る (第5表)。

H. 單沃度醋酸の影響

蛙皮に單沃度醋酸 (MJE) を作用せしめて新陳代謝障礙を起さしめた場合靜止電位は低下し殊に凡そ 1/500 Mol 以上の濃度に於て著しいと言ふ事は既に先人によりて認められて居る。

リチウム現象に對しても MJE は KCN と同様の作用を呈し第6表の如く 0.001% (1/18000

Mol) にては僅かに電位の低下振幅の減少を示す程度にして左したる影響は認められないが

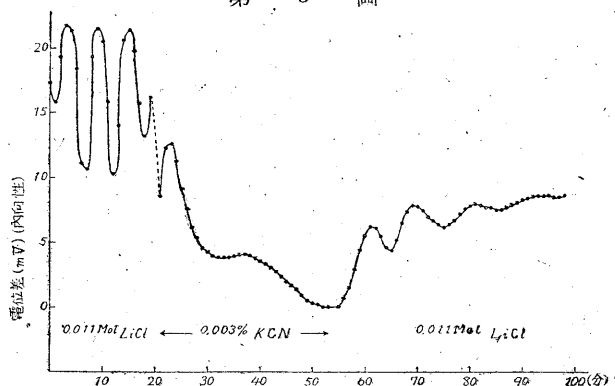
0.005~0.01% にては影響著しく、動搖現象は完全に消失し電位の低下も亦著明にして略ぼ

5 mV 以下と成る、但し可逆性は可成り明瞭に存在し電位も亦速かに上昇して元の電位に還る

(第4圖)。更に 0.03% (1/600 Mol) に於ては電位の低下は同様著明なるも前者と異り約 5 mV

より再び漸次上昇回復の途をたどる、即ち動搖現象は完全に抑制せられるにも拘らず電位の漸

第 3 圖

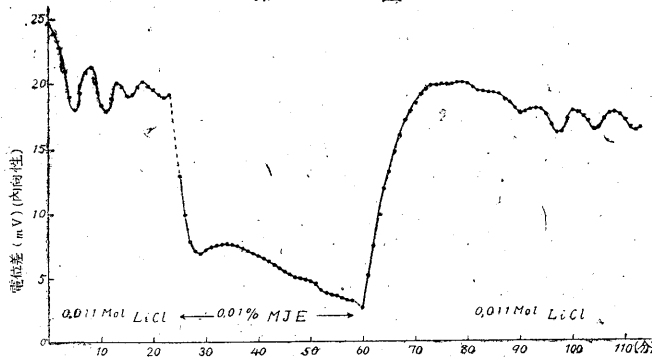


第 5 表

濃 度	KCN の影響	可逆性
0.0005% (M/13000)	—	+
0.001% (M/6000)	±	+
0.003% (M/2100)	+	+
0.005% (M/1300)	++	—
0.01% (M/600)	++	—

増が認められるのである、茲に於て溶液を交換して可逆性を検しても依然として動揺現象は消

第 4 圖



失の儘なるにも拘らず電位の
み速かに上昇して再び元の電
位に復る。これは勿論青酸加里
同様 MJE に依る物質代謝
の障碍に由るものなるは明白
にして加ふるに 0.01% 以上
の濃度にては pH 4.6 と言ふ
可成りの酸度も之が一役を演
じて居るものなる事はリチウ

第 6 表

濃 度	MJE の影響	PH	可逆性
0.001% (M/18000)	±	5.1	+
0.005% (M/3700)	+	5.0	+
0.01% (M/1800)	+	4.6	+
0.03% (M/1600)	+	4.4	-
0.05% (M/370)	+	4.0	-

ム現象の場合當然首肯出来る。

I. Strychnin の影響

Strychnin は興奮薬に屬し血管竝に呼吸
等の中樞を興奮せしめ脊髓の反射興奮性を
昂めて所謂強直痙攣を起さしめるものであ
るがリチウム現象に對する影響は甚だ微弱
である、即ち 0.01 (1/4000 Mol) ~ 0.05%
(1/800 Mol) にては僅かな電位の低下及び
週期の延長が認められる外特に影響なく可

逆性も亦明瞭に存在する、更に 0.1% の大量に於ても電位の低下、週期性の抑制等は可成り
認められるが尙ほ完全に阻止される事無く存在し可逆性も亦不定形乍ら認められる。更に此の
ものを皮下に注射して強直痙攣を起さしめたもの、摘出皮を用ひてリチウム現象を検した場合
に於ては蛙皮外表に直接作用せしめたものに比して可成り著しき影響を認める事が出来る、即
ち週期に於ては餘り變化なきも振幅は微少と成り略ぼ 1 mV 以下にて始終する。これは Stry-
chnin を直接外表面に作用せしめたのでは末梢神経に對して左程著しき影響を有せざる事の證
據にして、即ち注射により中樞、脊髓に作用せしめて強直痙攣を起さしめた場合始めて末梢に
影響を及ぼし、従つてリチウム現象に對する抑制作用と成れるものと推定せらる。

J. Atropin の影響

皮膚の靜止電流は Atropin 等の皮膚神経末端に働く毒物に依りては餘り影響されないと
言はれて居るが余の實驗に於ても略ぼ同様の事が認められる。即ち硫酸アトロピン 0.05 (1/1400
Mol) ~ 0.1% (1/700 Mol) の濃度に於ては僅かに電位の低下週期の延長等の外特別に影響は認
められないが、更に増量して 0.5% (1/140 Mol) に於ては可成りの影響が認められ動揺現象は
殆んど消失する。併し乍らこのものは硫酸アトロピンの高濃度による毒性の影響とも考へられ

更に又硫酸アトロピンは可成り酸性にして (0.5% に於ける pH 4.6) 其の酸度の影響もあるものと考へられる。同一蛙に就き左右對照實驗により右半を對照として先ず摘出實驗し、次いで硫酸アトロピン 10mg 注射後 10 分にして左半を摘出實驗せるに前項の硝酸ストリヒニンの場合同様可成り著明な影響を認める事が出来た。

K. Eserin の影響

Eserin のリチウム現象に對する影響は餘り著明では無い。即ち 0.05% (1/820 Mol) に於て僅かに電位の低下を來すのみにして變化なく、漸く 0.1% にて不定形の動搖電位を示すのみにして所謂週期性は完全に消失するに至る。

L. Adrenalin の影響

Adrenalin は通常交感神経系に刺激的に作用するものであつて本劑の注射に依りて血壓上昇、末梢血管の收縮等を招來する。更に又粘膜に對する局所作用も著明にして余の實驗に於ける影響も亦著しきものがある。即ちリチウム溶液中の Adrenalin (Bosmin) 0.0005 (1/44000 Mol) ~ 0.001% (1/22000 Mol) には僅かに電位の低下週期の延長等が認められるに過ぎないが、0.005% (1/4400 Mol) に至りて俄然著しき影響が認められる、即ち電位は急速に略ぼ直線狀に下降すると共に動搖現象は完全に消失する、而して此の際 pH は 4.9 にして何等影響を及ぼさざる事は明白である。

M. Acetylcholin の影響

蛙皮電位に對する Acetylcholin の作用に關しては本川(11)に依り詳細に報告せられてゐるが、要するに Acetylcholin は蛙皮内面に作用せしめた場合著明に定型的な電位の變動を來すものであつて殊に特異なる點は其の動作電位に對する作用が強直的刺戟に非常に類似して居る點である、而も非常に小濃度に於て作用する、而るにリチウム現象に對しては案外有効で無い。殊に蛙皮表皮面に作用せしめたのでは何等の影響をも現はさない、即ち 0.002 (1/9000 Mol) ~ 0.2% (1/90 Mol) の濃度に於てすら電位の低下のみ著明にして動搖現象に對しては何等の影響無く可逆性も亦完全である。尙ほ蛙皮内面の Ringer 氏液を 0.01% の Acetylcholin に代へて、即ち Acetylcholin-Li 誘導で其の影響を検しても僅かに振幅の縮少、電位の低下を認めるのみにして動搖現象に對しては何等の影響をも證明し得なかつた。

IV. 考 案

週期的な電位變動は神経系、心臟其他多くの器官、組織に證明されるが其の發生機序は必ずしも凡て明かにされてはゐない。

蛙皮電位は一般に非週期的な變化しかないが Li イオンの存在に於て著明な週期性を帯びると云ふ事は生物の週期的電氣現象の發生機序に何物かを暗示する様に見える。而も斯様な作用を呈する物質は今日までリチウムの外には知られてゐないのである。如何にして週期的な電位變動が起り得るかに關しては固より吾々は確實な智識は持ち合はせてゐないが少なくとも次の

様な可能性を擧げる事は出来る。

(1) 興奮が週期的に起りそれに伴つて電位も週期的に変化する。

(2) リーゼガング輪其他で見る様な週期的な物理化學變化が界面に起つて其の爲に界面に存在する電位が週期的に変化する。

謂はば生理學的な考へ方と物理化學的な考へ方である。

リチウム週期は其の何れに屬するであらうか。

KCN や單沃度醋酸, Adrenalin 等の物質代謝に著しい影響を持つ物質がリチウム現象を著明に抑制するといふ事實は本現象を單なる物理化學的現象として片づけて了ふ譯には行かなくする。物理化學的現象であるとしても其れは細胞又は組織の生理的な状態の上に立つてゐる現象であると看做さねばならぬ。此の現象は非生理的な條件の下では直ちに止んで了ふ様な不安定な現象である。物質代謝の障碍によつて細胞又は組織の状態が變化すると起り得ない様な現象である。

斯様に考へると第一に擧げた週期的興奮に隨伴する電位變動ではないかと云ふ疑が濃厚に成る普通興奮は神經から皮膚の細胞へと送られるのであるから若し週期的興奮を考へるとすれば神經の興奮様式を一應考へて見なければならぬ。そこで神經殊に皮膚神經の屬する自律神經系に作用する Acetylcholin, Eserin, Atropin 等を可成りな濃度に作用せしめても本現象には殆んど無影響であると云ふ事實は神經からの週期的興奮を考へにくくする。Strychnin も直接皮膚に作用せしめたのでは效かず、中樞神經系に作用せしめて激しい強直痙攣を起させた蛙の皮膚で始めてリチウム現象が抑制されてゐる事を見出し得ると云ふ事も Strychnin に特有な作用と考へる事は出来ない、恐らく激しい興奮による物質代謝異常の二次的效果であらう。

神經からの興奮を考へなくて良いとすれば次に皮膚細胞自身の週期的興奮に依るのでは無いかと疑はねばならぬが Li イオンが筋其他の細胞に週期的な興奮を惹起する事は未だ經驗されてゐない。殊に興奮として理解し難い事は鹽類の影響である、K イオンや Ca イオン等は一般に細胞の興奮性を變化せしめるに極めて有効なイオンである事は周知の事實である。然るに此等のイオンは 0.5~1% と云ふ様な大量に於てもリチウム現象に殆んど影響を與へないのである。之に反して組織にも大量含まれて居り且つ生理的に無害な Na イオンが微量で此の現象を完全に抑制する。此等の事實は今日迄の生理學的常識としては本現象を週期的興奮の立場から理解する事を著しく困難とする。又イオン間の拮抗作用の立場からも説明困難である。

Loeb 以來の研究に依ればイオン間の拮抗作用は其のイオンの性質が異なる程著しい、即ち一價の陽イオンの毒性は二價のイオンによつて一價のイオンによるよりも容易に打消され、又一價のイオン同志でもリチウムの毒性は生理的に之と近縁にある Na に依るよりも K に依る方が拮抗作用が著明に證明される。然るにリチウムによつて惹起された電位週期的變動は之と近縁なる Na によつて打消されるのに K や二價の陽イオンでは少しも打消されない。

次に第二の立場即ち物理化學的な見方からするならば Li イオンに限つて此の現象が見られるとするならば何か Li イオンに特別な物理化學的性質に着眼するのが最も捷徑である。Li イオンは水化(Hydration)によつて其の移動速度が他のイオンに比して小さいと云ふ事を先ず其の特徴として擧げる事が出来る、従つて此の性質が此の現象の根本に横はつてゐるとすれば Li に特有であると云ふ事は理解出来る。電位發現にはイオンの移動速度が關係する事は容易に考へられ、又移動速度は細胞組織の性状、状態等によつても異なるものであるから正常な皮膚の表層に於て Li イオンの移動が或週期性を帯びると云ふ事も考へられない事はない。従つて Saponin の如き表面活性の物質が皮膚表面に多量に吸着され Li イオンの接近を妨げる時は勿論リチウム現象は抑制されなければならぬ筈である、而して實際其の通りである。

又橋田 (4) に依れば蛙皮電位の形成にはイオンの吸着が大きな役割を演じ、Na イオンは大なる靜止電位を生ずるものであるから従つて蛙皮に對する吸着性が大なりと看做すならば Saponin の如く作用してリチウム現象を阻止すると考へる事が出来る。

併し之等の考へは將來の研究によつて更に検討されねばならぬ。

V. 總 括

Li イオンの存在に依り蛙皮電位は數分の週期をもつて動搖する。此の現象を以下リチウム現象と呼ぶ事にする。

1. リチウム現象は 0.03% 以上の NaCl に依り著しく抑制されるが、KCl では 0.5% の大量で影響無く Ca, Mg, Ba 等の二價の陽イオンにも 1% の高濃度で殆んど影響されない。Al イオンは 0.005% で抑制作用を示す。

2. KCN は 0.003% 以上にてリチウム現象を完全に抑制し、單沃度醋酸は 0.005% 以上で同様に作用する。

3. Strychnin は皮膚に對し直接作用せしめる時は 0.1% でも作用微弱であるが、Strychnin 痙攣を起した蛙の皮膚ではリチウム現象は現はれない。

Atropin, Eserin, Acetylcholin 等の藥劑も餘り有效で無い。之に反し Adrenalin は 0.005% で既に著しき抑制作用を示す。

拙筆に臨み特に御懇篤なる御指導と御校閲の勞を賜つた恩師本川教授に心からなる謝意を表す。

文 獻

- 1) Adolph, E. F. (1929) J. Exp. Zool. 53 313
- 2) 遠藤尙義 (2603) 日本生理誌 8 303
- 3) Hasida, K. (1922) J. of Bioch. 1 62
- 4) Hasida, K. (1922) J. of Bioch. 1 21
- 5) Huf, E. (1935) Pfl. Arch. 235 655
- 6) Huf, E. (1936) Bioch. Z. 288 16
- 7) Huf, E. (1938) Pfl. Arch. 240 573
- 8) Lund, E. J. (1926) J. Exp. Zool. 44 383

- 9) 本川弘一 (2596) 科學 6 415
- 10) Motokawa, K. (1938) Jap. J. Med., Sci., III Bioph. 5 67
- 11) Motokawa, K. (1939) Jap. J. Med., Sci. III Bioph. 6 215
- 12) Narita, T. (1941) Jap. J. Med., Sci., III Bioph. 7 241
- 13) Orbeli, La. (1910) Zeits. f. Biol. 54 329
- 14) Ponder, E. and J. Macleod, (1937) J. of Gen. Physiol. 20 433
- 15) Schwarz, A. (1915) Pfl. Arch. 162 547
- 16) Takenaka, S. (1937) Jap. J. Med., Sci., III Bioph. 4 143
- 17) Takenaka, S. (1937) Jap. J. Med., Sci., III Bioph. 4 282.

人體耳翼皮膚溫の冷却に對する反應に就て 612.592

名古屋帝國大學醫學部生理學教室(久野教授)

新 田 初 雄

Nitta-Hatuo

(昭和19年1月14日受付)

I. 研究の趣旨

手足を氷冷の水中に浸す時はその指趾端の皮溫が、一旦甚しく下降せる後自然に上昇に轉じ其後全冷却期を通じて波動狀の週期的動搖あり、是によつて指趾の凍傷の防止せらることは周知の事實にて、斯の如き皮溫の變動は指趾端に存在する特有の動靜脈吻合枝の週期的擴張に起因するものと信ぜられてゐる(之に關する文獻竝に詳細の記述は高橋(3)の著述に述べられてゐる)。指趾と共に凍傷の危險に曝露されてゐる器官は耳翼であつて、Lewis(1)は人が $2\sim 9^{\circ}\text{C}$ の外氣に曝されてゐる時、耳翼の皮溫は稀には 12°C に迄も下降して反應性上昇を呈する場合のあることを報告し、村上及天野(2)はその論文に零下約 -12°C 竝に -19°C の外氣中に於て耳翼皮溫の變動狀況を曲線として示してゐる。その曲線では -12°C の場合でも輕度の週期的動搖があるが、 -19°C の場合は曝露30分以上となつた後に極めて顯著な動搖が現はれてゐる。この報告以前に京大の正路教授は北滿に於ける耐寒實驗に於て耳翼皮溫に時として劇しい週期的動搖の起ることを認められ、その曲線を當教室の久野教授に個人的に示されたことがあるが、その動搖は前記村上及天野兩氏の著述中に在るもの以上の劇しい程度のものであつた。

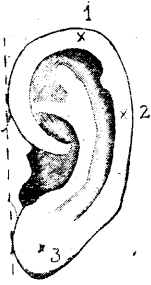
これ等の事實により耳翼にも亦指趾に類する皮溫の防寒的動搖を起す機能の存在することは凡そ確實と思はれるのであるが、茲に疑義の生ずるのは、指趾に於て皮溫の動搖を起す特殊器官と認められている動靜脈吻合枝の存在が人類の耳翼に於ては從來の組織學的研究によつて未だ確認されてゐないことである。若し上述の皮溫の反應性動搖の存在と動靜脈吻合枝の缺如とが共に人類の耳翼に於て事實であるならば、その皮溫變動が如何にして發現し得るか云ふ新しい興味ある問題が擡頭する。この點が我々の研究せんとする當面の問題である。

この問題の研究は人類耳翼の血管の構造と性能とに第1の重點を置かねばならぬものであるが、それと共に冷却時の皮溫の反應性動搖の性狀を更に精査して、之と血管自己に關する研究成績とを對照考慮する要がある。當教室に於てはこの2方面を分擔研究することとし著者は後者の擔任に當つた。前者の研究は未了であるが、先づ本研究の成績だけを茲に述べることにする。

II. 實驗方法

本實驗は全耳翼を第1圖點線の部まで氷冷の水槽に40分乃至60分間浸漬して其の間の皮膚溫の變動を耳輪上端部(第1圖1)、其中央部(2)及耳朵(3)に就て測定した。

第1圖



皮膚溫の測定は總て銅コンスタンタンの單線接合を使用し電位差計を用ひて計測した。何れも接合端をコロヂオンにて該皮膚に密着せしめ、其上を長さ1.0~1.5cm、巾0.5cm、高さ1.0cmのセルロイド皿にて被覆した。従て接合端は水と直接してゐないこととなる。

實驗は之を3群に分ち、第1群は昭和18年2月、水溫 $2.0 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$ の冷却、第2群は同年4月、水溫 $-1.0 \sim +0.5^{\circ}\text{C}$ 、第3群は同年5月1側耳翼を水溫 $-1.5 \sim +1.0^{\circ}\text{C}$ にて冷却し、實驗終了後約1時間の休息を與へて更に他側の耳翼を水溫 $2.0 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$ にて冷却し、各群に於ける成績を觀察比較して冷却時の皮溫變動の性狀並にその強度及耳輪と耳朵との反應の差異個人的並に冷却水溫の高低による差異、冷却前皮溫の高度との關係及季節の影響等に就て精査し且冷却時に於ける耳翼と指趾の皮溫反應の比較觀察を行つた。被驗者は健康な男女11名と1名の左側交感神經節切除患者で何れの場合にも實驗開始に先立ち實驗室内に約1時間安居せしめ、上述の裝作を施して後冷却前より皮溫の測定を始め、冷却直後より實驗終了迄は2分毎に測定を反復し其間痛覺及知覺異常の生ずるや否やを檢索した。

III. 實驗成績

上述の如く本實驗は12名の被驗者につき合計32回行はれたのであるが、いつれの實驗も耳翼の皮溫が冷却により急に著しく下降した後、自然に上昇し、その後多少とも波動狀の週期的動搖を呈する點に於ては悉く一致してゐる。即ち耳翼が冷却された時は、恐らくその血管に擴張反應が起り過度の冷却を自然に防止する作用のあること恰かも指趾に於けると同様である。しかしその反應の狀況並に程度は個人的に差異あり又耳翼の部位によりても相違がある。以下少數の實驗例を擧げて成績の要點を説明することとする。

A. 冷却時皮溫變動の性狀及強度

耳翼を冷水中に浸せばその皮溫は急速に下降して數分間にして水溫に近き溫度となるが、之に強いで多くは急速な上昇が起る。この下降の度は使用する水の溫度が低ければ顯著であるが又冷却前の皮溫の高度にも關係し、又同様條件の場合でも人により又時により一様でない。反應性上昇の度にも亦少なからざる差異がある。諸實驗例につきこの關係の概要を一括して示せば第1表の如き關係となる。尙本實驗は冬季と春季とに於て行はれたものであるが、その成績に季節的影響と認むべき程のものはなかつた。

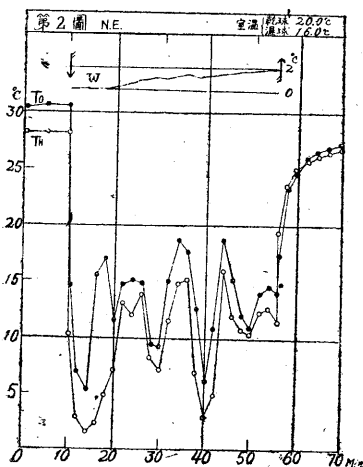
上述の如くにして第1回の反應性上昇が起つた後、その皮溫は再び下降するけれども、初期下降の程度に迄降ることは稀有であつて、その以前に第2の上昇が起り、爾後斯様な波動狀の

第 1 表

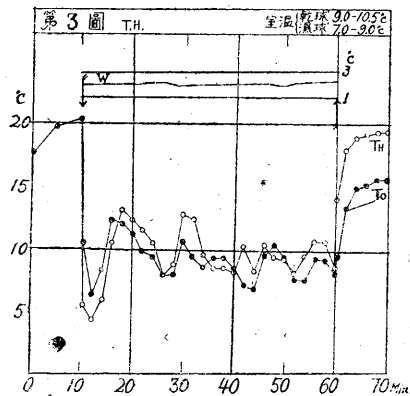
實 験 節	室温(平均)℃		冷水 和 温 (℃)	測 部 定 位	例 數	初 温	最初下降最低温	下降に要す時間	反應に上る最高温	反應に上る上昇温
	乾燥	濕環				(℃)	(℃)	(分)	(℃)	(℃)
2 月	9.6	7.7	2.0 - 4.0	耳 輪	6	20.3 - 26.8	4.1 - 8.0	2 - 6	12.0 - 15.74	4.8 - 8.66
					1	33.96	8.42	2	16.18	7.76
				耳 朶	9	17.65 - 26.7	3.94 - 9.0	2 - 8	5.82 - 14.7	1.89 - 6.85
					1	35.0	13.65	14	16.1	2.25
4 月	12.6	10.0	-1.0 - 1.0	耳 輪	5	22.1 - 28.2	1.25 - 3.7	2 - 6	5.2 - 13.3	3.4 - 9.6
					1	29.94	2.98	8	10.0	7.02
				耳 朶	4	20.3 - 27.45	0.9 - 1.6	4 - 8	2.8 - 4.22	1.2 - 2.77
					2	29.16, 34.1	3.5, 6.55	4, 6	15.1, 9.6	11.6, 3.35
5 月	18.6	15.2	2.0 - 4.0	耳 輪	4	23.55 - 27.1	3.15 - 4.1	2 - 10	10.2 - 13.0	6.7 - 9.1
					2	34.9, 35.6	9.15, 9.7	2, 8	20.62, 16.55	11.47, 7.65
				耳 朶	5	23.55 - 26.1	3.0 - 4.8	1 - 6	3.5 - 9.15	0.5 - 4.25
					1	30.6	7.0	4	14.2	7.2
			-1.5 - 1.0	耳 輪	4	26.6 - 28.2	1.5 - 4.0	1 - 10	8.3 - 13.3	6.7 - 11.5
					1	31.6	6.19	2	15.15	6.55
				耳 朶	4	24.2 - 25.4	0.5 - 3.5	1 - 6	2.9 - 10.6	2.4 - 7.1
					1	30.6	5.3	4	17.1	11.9

變動が連續して結局耳翼の溫度は水温よりも遙かに高位に維持されるのである。しかしこの動搖は人により少なからざる差異があり、又同一人に於ても波動の振幅には時として著しい變化がある。動搖の形式にも亦差異があるが就中次の如き2型を區別することが出来る。

第2圖は動搖の最も顯著であつて且つそれが冷却中殆ど減弱する事なく繼續した例である。皮溫測定の部位は耳輪と耳朶とであつて、兩所共に類似の動搖があるが、耳朶の皮溫が常に高位を占めてゐる。この點は寧ろ稀有の例と云ふべきであるが、それに就ては次項に述べること



第2圖 NE. 室温 乾燥 20.0℃
濕環 7.7℃
曲線 W は冷却水温, Th は耳輪(耳朶)
To は耳輪(中央部), To は耳朶皮膚温。
矢の部 ↓ に於て耳翼を冷水中に没し,
↑ に於てこれよりあげる。
以下諸圖之に同じ。



第3圖 TH. 室温 乾燥 20.0℃
濕環 7.7℃

とする。

第3圖は第1回の反應性上昇の後、同じく波動性動搖が現はれてゐるが、各波動の振幅が冷却時間の進行と共に減少してゐる點が前圖と異つてゐる。但し波動は減弱したけれどもこの皮溫の高度は最初の下降位からみれば遙かに高い。即ち冷却に對する保護の目的は達せられてゐるのである。

以上2圖は言はば代表的の例であるが、他の實驗例中にはこの兩者の中間のもの、第3圖よりも更に一層動搖の微弱なもの、或は動搖が不規則で冷却の間に認むべき原因なくして大きな動搖が現はれるもの等極めて區々である。しかし何れの場合に於ても、反應性の皮溫上昇があり、本實驗條件に於ては冷却のために凍傷に瀕する如きことは絶無であつた。

感覺の上にも甚しい苦痛が無い。即ち $2.0 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$ の水を用ひた場合には痛覺を訴へる者は殆どなく、稀にそれがあつても極めて軽度であつた。 -1°C 内外の水を用ひた場合には、冷却開始後間もなく痛覺が起り時と共に増強し10分内外にて輕減して知覺鈍麻となるのであるがこの痛も嚴冬に戶外に於て感ずる程度のものであつた。

この點は手足を同様の水を以て冷却した場合の甚しい疼痛竝に知覺麻痺に比して格段の差異があることは注目に價することである。

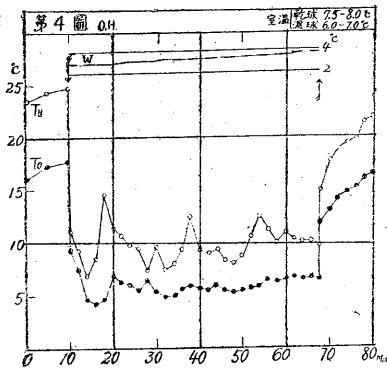
更に最も注目すべきことは、皮溫動搖の時間的關係が指趾に於けるそれと甚しく相違することである。從來の實驗報告によれば指趾の冷却時の皮溫動搖は凡そ30分内外の長い週期を以て繰返されるものであるが、上掲の第2及3圖竝に後に掲げる諸圖に於て明かなる如く耳翼皮溫の動搖は之よりも遙かに迅速であつて、1波動の週期は多くは10分、長きものでも數十分を超へる例はないのである。これは皮溫の反應性上昇を由來する機轉が耳翼と指趾とに於て同一ならざることを暗示するものであつて、將來その機轉を考按する場合に重要な意味を有する點である。

尙ほ本實驗には2週間前に左側交感神經節切除手術を受け顔面、上肢共左半身の全く無汗となつた1人の患者をも使用したが、その左耳輪皮溫は冷却により正常者と大差なき反應性動搖を示した。この點は指趾に於て從來知られてゐる成績と同様である。

B. 耳輪と耳朵との反應差異

耳輪と耳朵とに於ては冷却中の皮溫反應に屢々著しい差異が認められる。これは個人的素質の差によるものの如くである。第2及3圖ではこの兩部の反應が殆んど一致してゐるが、斯の如きは寧ろ少數例と云ふべきもので、多くの人に於ては兩部に多少の差異があり、殊に耳朵の反應が耳輪のそれよりも軽度であり且つ前者の皮溫が常に低位にある場合が多數を占めてゐる。從て第2圖の如く耳朵皮溫が耳輪皮溫よりも高位にあるものは例外と云ふべく、12名の被験者中第2圖被験者1名のみに於て之を認めたのである。

第4及5圖に示すのは耳輪に著明な反應があるのに耳朵の反應の甚だ輕微な例である。

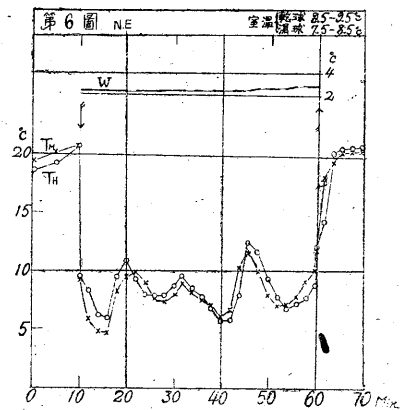
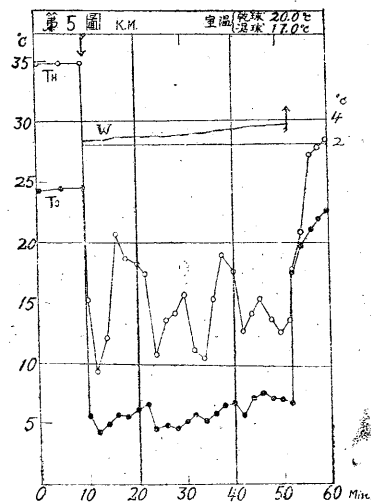


耳朶の皮溫には耳輪皮溫の動搖に一致する波動の形跡だけはあるけれども、それは極めて微弱であり、その結果耳朶の溫度は、當時の水溫に比し凡そ3度以内の高位を維持するに過ぎないのである。

第4及5圖は極端な例であるが、12名の被験者中9名に於てはいずれも耳朶の反應が耳輪のそれに比し多少とも劣位にあることが認められた。即ち冷却に對する反應が耳輪に於て發達してゐる者が多數を占めてゐるのである。茲に最も注意すべきことは、この耳輪と耳朶との反應の強弱關係がそれ等の部の本來の皮溫の高度と關係のあることである。即ち第4及5圖はそれぞれ別個の被験者の成績であるが、その冷却前の皮溫を觀るに、第4圖では耳輪皮溫 24.8°C に對して耳朶皮溫は 17.7°C、第5圖ではそれぞれ 34.9°C 及 24.4°C であつて兩者共に耳朶が遙かに低温である。この他耳朶の反應の輕度な被験者には多くは之と同様の關係が認められる。第2及3圖はこの點に於て例外の例であつて、第3圖の被験者では兩部の皮溫が同高 20.3°C、第2圖ではその關係が逆で耳朶皮溫が 30.6°C、耳輪皮溫が 28.2°C である。而して第3圖では耳輪と耳朶との溫度が冷却中も略ぼ同高で同様の動搖を示し、第2圖では冷却中も耳朶皮溫が耳輪皮溫よりも常に高位を保つてゐるのである。

これ等の事實を綜合すれば平素耳朶の冷たい性質の者では冷却時に於ける反應もこの部に於ては顯著に現はれることが出来ないものであるといふことが出来る。

この冷却中の反應性動搖の經過から觀ても、耳輪と耳朶とに於ては完全に一致せざる點がある。即ち第4及5圖に於て兩者に大差あることは勿論であるが、第2及3圖の如く兩部共に顯著な反應の現はれた場合でも、仔細に觀れば兩部の曲線の經過には所々多少の異



同點が認められるのである。

之に反し耳輪の上端と中央部とで測定を行つた實驗ではこの兩部の皮溫の経過は常に良く一致してゐる。第6圖はこの關係を示す實驗の1例である。即ち耳翼は冷却に對する反應に於て換言すればその皮膚血管の性能に於て、耳朶とその他の部との間に差異のあることが推定される。これは他日耳翼の血管構造の検査を行ふ場合に前述の波動週期の短小な事實と共に大に參考となすべき點である。

IV. 摘 要

本實驗は人の耳翼を冷却した時、その皮溫に如何なる反應性變動が起るかを觀察したもので全耳翼を氷冷の水中に浸し、60分に亘りその皮溫を電氣的に測定した。

(1) 耳翼冷却中その皮溫には波動狀の反應性上昇が現はれ、皮溫が常に水溫よりも遙かに高位に維持される。

皮溫反應の強度には個人的差異があり、又同一人にあつても時により變動があるが、水溫が低ければ反應は著明となる。又冷却前の皮溫の高度にも關係がある。

冷却前耳輪皮溫が耳朶皮溫よりも高い者が多く、反應性上昇は前者に於て顯著である。兩所の皮溫變動曲線の経過には所々に多少の異同點が觀られる。

(2) 交感神經節切除者でも反應は同様である。

(3) 冷却時に於ける耳翼と指趾の皮溫變動の狀況を比較するに、皮溫動搖の時間的關係に著しい差異がある。即ち指趾に於ては凡そ30分内外の週期を以て動搖が繰返されるものであるが、耳翼に於ては波動の週期は多くは10分内外である。

痛覺及感覺異常に就ても兩者の間に著明な差異が認められ、耳に於て遙かに輕度である。

文 獻

- 1) Lewis, Sir Thomas (1931) Heart 15 351
- 2) 村上徳治・天野 榮 (1941) 軍醫團誌 339號 1053
- 3) 高橋史郎 (1943) 日本生理誌 8

電氣刺激強まり要素測定の新法及び夫による直流通 流の神經に於ける該要素に對する影響の觀察 612.816.1

千葉醫科大學生理學教室

坂 本 健 次 郎

Sakamoto-Kenjiro

(昭和19年4月22日受付)

I. 緒 論

電氣刺激に際し、被刺激形體が刺激されて興奮するために、その刺激たる電氣的變化の持たねばならぬ變數は、刺激側の性質としても被刺激性としての立場に於ても、之を要素と名づけ得て、夫には強さ、時間、強まり方なる3要素が重要であること鈴木(16)の説く通りである。而してその強まり要素に關する研究の歴史は、之又鈴木(17)の綜説に明かであるが、我教室に於ては茲10年以來この要素に就き研究が行はれて居り、その成績の一部は綜合的に發表されてある(鈴木19, 20)所である、本業績もその一斑をなすのであつて鈴木(20)にも一部は豫報されてある。

電流刺激強まり要素を實驗的に測る方法は何れも漸増電流を用ひ、その刺激效果によりその要素を測るのであるが、電流を漸増さすのに從來より2つの方法がとられてゐる。前世紀の古典的な Rheonom を以てする實驗には主として直線的に強まる電流が用ひられたのであるが、之により嚴密な直線的強まり電流を得ることは困難なので、Gildemeister(4)以來自己感應或は電氣容量によつて容易に得られる指數函數的強まり電流を用ひる様になり、Schriever(12)の忍込時間(Einschleichzeit)及びLapicque(7)のclimalyseの閾等の計測もこの方法によつてゐる。更にA. V. Hill(5)が刺激理論を公にした際に提唱したaccommodationの恒數 λ なるものも、この指數電流によつて計測する事を得、理論的に一定意義を持つものである爲、從來本教室に於ては主として之を測定して來たのである。然るにこの恒數 λ の計測は、1つの値を決定する爲に數回に及ぶ閾値の測定を要して煩しいのみならず、殊に與へられた條件による變化を繼時的に追求せんとする如き場合には不都合を感ずるのである。

そこで私はこの強まり要素を測る方法としてFabre(3)が提唱した直線恒數(constante linéaire)なる恒數測定法を採り揚げた。之は眞空管の飽和電流を利用して得る直線的に強まる電壓を利用するのであつて、2つの閾値測定で彼の直線恒數(以下c.l.と書く)を定め得るのである。このc.l.はLucas(8)が特殊の方法にてやはり直線的強まり電流を用ひて測つた。彼の最小勾配(minimal gradient)の逆數に當り、 λ と同一の値なのである。Fabreはその實驗に於て

は真空管に2極管又は3極管を用ひたが、鈴木(15)の見た如く之等の真空管に於ては性質優良な飽和電流が仲々得られないものである。私は之に對し5極管を應用した裝置を考案して容易に c. l. を定める事に成功した。

而してこの方法により神経の強まり要素に及ぼす影響として、直流通流電極の作用を検討したのである。一般興奮性形體殊に神経に直流電流を通じたとき、その電極附近の神経部分に現はれる機能的變化は、夙に電氣緊張の名を以て呼ばれ Pflüger 以來極めて多く觀察されてゐる。が私が茲に直流通流電極の作用と述べたのは之の謂ではない。即ち生理學的の電氣緊張にせよ、物理的の電氣緊張電流にせよいはゆる電氣緊張と呼ばれる現象は、電極下の神経部分の限界膜に於ける分極現象に基くものであることは云ふ迄もなく、夫等は通流後直ちに或は餘り長からざる時間後に觀察される現象である。然るに直流電極なるものにはこの分極そのこと以外に更に別の作用があるもので、通流が少々長く或は強いときには分極性を變化せしめるものである。即ち陰極はこの分極性を小ならしめ陽極は大ならしめる。分極性に對する直流電極のこの云はゞ二次的の作用は、生理學的には Werigo (22) の陰極抑壓、Bethe (1) の染色分極像、Scheminzky (11) の轉換效果として現はれ、物理的には鈴木(14)、Ebbecke (2)、三浦 (9) の電氣緊張電流經過となつて現はれる現象であつて、この生理學的作用はイオン作用その他と關連し、生體の受ける物理化學的環境として興味深いものゝ一つである。上に述べた所の私が検討しようとした直流通流電極の作用とは即ち之を指すのであつて、先に本教室に於て鈴木均(13)は、この作用が神経に於ける他の直流閉鎖刺激及び同開放刺激閾値に及ぼす影響を検したのであつた。私はこの作用が強まり要素にいかなる形響を及ぼすかを見たのである。

II. 直線恒數(c. l.)新測定法

Fabre (3) は彼の c. l. 測定に當つて、2極管又は陽極と格子とを短絡した3極管に於て、纖維條を比較的低温で加熱した場合の飽和電流を大なる容量の蓄電器の兩端に通じ、この兩極間の電壓が直線的に上昇するのを利用して生體を刺激したのであつた。このとき飽和電流の強さを I とし蓄電器の容量を C とすれば、その電壓は I/C なる傾斜を以て直線的に上昇する。彼は C を一定にして置き、不充分加熱の度を加減して I の大きさを變化し、刺激し得る最小の傾斜 I/C を測り之を *pente limite* (p. l.) と名づけた。そして之を以て別に測つた基電壓 V_r を割つたものを c. l. と名づけたのである。即ち

$$V = \frac{I}{C} t \text{ であるから } \frac{I}{C} = \frac{V}{t} = \text{p. l.}$$

$$\text{c. l.} = V_r / \frac{I}{C} = V_r / \frac{V}{t} = \frac{V_r}{V} t$$

即ち c. l. は時間の dimension の値であり、p. l. が基電壓を切るに至る迄の時間を表はすのである。併し乍ら V が I/C なる傾斜で直線的に昇るのは、嚴密に云へば蓄電器の兩端間が開いてゐる時であつて、實際は被刺激形體を含む回路が之に並列に連るので、その回路の抵抗を

R とするとき、C の兩端に於ける電壓 V は次の如くなる。即ち R を通る電流 i は

$$i = I(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \text{となる、之を展開すれば}$$

$$= \frac{I}{CR} t - \frac{I}{2! C^2 R^2} t^2 + \frac{I}{3! C^3 R^3} t^3 - \dots$$

となる。そしてたゞ $t^2/C^2 R^2$ 以上が t/CR に對して無視され得る如き t に於てのみ

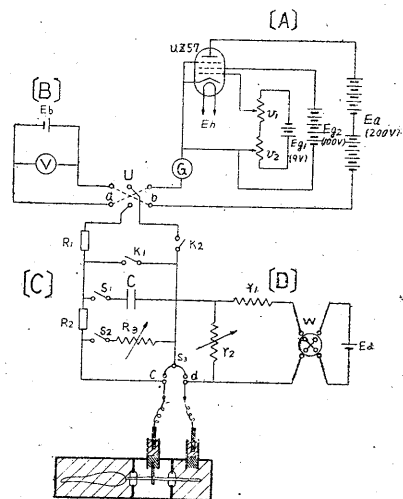
$$i = \frac{I}{CR} t \quad \text{従つて} \quad V = iR = \frac{I}{C} t$$

即ち上の如き t の間のみ直線的に上昇すると見得るのである。刺激が直線的上昇電流で行はれるためには、その際の利用時が上の條件を充たす t 以内であらねばならない。

次に又上の如く V が直線的に上昇する爲には、I は飽和電流、即ちその回路内の抵抗や逆起電力の増加に拘らずその大きさを減じない電流であらねばならない。然るに鈴木(15)に明かなる如く、普通市販のいかなる 2 又は 3 極管に於ても、それを不充分加熱によつて得られた飽和電流は良好でない。そして真空管 UZ—57 に於て始めて理想的の飽和電流が得られる。この故に私は本法に於てはこの真空管を用ひた。即ち鈴木(18)がこの飽和電流を以て刺激を行つたときと同様な配線を利用したのである。本測定法全部の配線は第 1 圖 (但し同圖中 [D] の部は後段の實驗裝置なる故今は考へない。又水銀電鍵 S_3 は d 側に連つてゐると考へる。又 U に於ける點線は無視する。) に示す通りである。猶本法は、現在本法を以て神経の電氣刺激強まり要素に對するイオンの作用を検しつゝある吳 (6) と共に、その有能性を検討したのであつた。

[A] は飽和電流發生部で、この 5 極管 UZ—57 の陽極板回路に得られる飽和電流を以て一定容量の蓄電器即ち [C] に於ける C を充電せしめ、その兩端子間の電壓上昇を神経に通じ直流的に上昇する電流として利用するのである (但しこの場合 S_2 は開き R_3 を用ひない)。この 5 極管は 3 つの格子を持つてゐる。第 1 格子 (制御格子) には乾電池により 4.5~9.0V の負電壓を與へる。第 2 格子 (遮蔽格子) には陰極との間に 100V の電壓を與へ陽極板回路の電流變化を安定ならしめる。第 3 格子 (抑制格子) は管外に於て陰極に接續し、真空管内に於ける二次電子放射の影響を無くし、第 2 格子と相俟つて陽極板回路に於ける飽和電流の安定性を更に良好ならしめてゐる。陽極板回路を流れる飽和電流の強さは、第 1 格子に與へる電壓を 2 つの粗及び密なる Variobhm v_1, v_2 を加減する事により極めて微細に調節する事が出来る。刺激電流として

第 1 圖 實驗配線圖及び裝置



用ひられる 10 乃至 100 μ A 程度の電流は第 1 格子電壓 -6.0 ~ -7.5V の範圍に於て得られ、この電流は陽極電流の 10 ~ 200V の間殆んどその電流値に變動を見ない。即ち飽和電流は極めて良好である。この飽和電流の強さは G の横河製 Mikroammeter により計る。

[B] は通常電流電源で Eb には 2V の蓄電池を用ひ、實驗の最初と終りにその電壓を計り、直流刺激閾値算定の本とする。

[C] は刺激回路で K_1, K_2 は橋田式 Rotatorium の接觸點で、之により刺激電流を一定時間開閉する。 R_1, R_2 はラジオ用棒抵抗で共に約 10 K Ω (計算には精密較正值を用ひる)、C は蓄電器で約 1 ~ 10 μ F の間 1 μ F 毎に可變し得る如く自製せるものである (較正值に關しては前同斷)。又 R_3 は無誘導抵抗函 (安藤製) である。[C] は切替器 U により交替に [A] 又は [B] と連る。飽和電流刺激に於ては [C] を [A] に連ね、 S_2 は開いて R_3 を用ひず、 S_1 を閉ぢて C を連ねる。この際前述の如く、所用電壓を直線的に近からしめんためには C を出来るだけ大ならしめる事が望ましい。故に大部分の實驗に於ては C は 10 μ F に一定して實驗を行つたのであるが、p.l. の値が非常に大きくなる如き場合には、この容量が大き過ぎると飽和電流を非常に強くしても刺激効果を見る事が出来ないで、かゝる場合のごく一部の例に於ては、C の容量を 10 μ F 以下に下げて實驗した場合もある。即ち一定の C に於て刺激し得る最小飽和電流 I を計れば I/C が p.l. である。次に通常電流刺激に於ては [C] を [B] に連ねる。而して S_1 を開いて C を用ひず、 S_2 を閉ぢて R_3 を連ねる。刺激電壓は Eb が R_3 より potentiometrisch に神經にかゝることになり $E_b \cdot R_3 / (R_1 + R_2 + R_3)$ より閾値 V_r が計測される。かくして得られる $V_r / (I/C)$ が c.l. である譯である。

Fabre の原法に於ては、通常電流刺激に際して 100V を以て閾値たらしめる様に前置抵抗を入れ、その回路に對し飽和電流刺激を行ひ、C は豫め一定しておくため、c.l. は飽和電流値 I のみに依存することとなり、彼は檢流計を c.l. に目盛つて直ちに読み得るやうにしたのであつたが、私の方法に於ては上述の如く p.l. と V_r とを求めて夫より c.l. を計算した。實驗の順序は先づ U を b 側に倒し S_1 を開き S_2 を閉ぢて R_3 を接續する。そして Rotatorium の回轉により一定時間 (100 ~ 200 msec) の直流刺激を與へ、 R_3 の加減により直流閉鎖閾値 V_r を決定する。次に U を a 側に倒し S_2 を開き S_1 を閉ぢて C を接續し、 K_1, K_2 を閉ざした際の電流の強さ I を G を以て測つて置いて、前同様 Rotatorium の回轉により一定時間飽和電流による刺激を與へる。この際一定の C に於て刺激し得る最小の I を求めれば I/C が p.l. であり、 V_r を之にて割つたものが c.l. である。即ち

$$c.l. = V_r / I/C = V_r C / I$$

本法を用ひ次章に述べるやうな材料に就き蛙神經刺激に於て c.l. を測つてみるに、神經筋標本作製裝置直後より繼時的に觀察した 1 例を擧ぐるに第 1 表及び第 2 圖の如くである。即ち V_r

第1表 實驗番號 V-Nr. 4

正常標本裝置直後よりの経過. 昭17.10.6
(曇), 室温 21° 恒温箱. 温度 19°, 裝置
終了10時15分

刺激時	時間	Vr (mV)	C (μF)	I (μA)	p.l. (V/sec)	c.l. (msec)
10.20	5	48.5	2	1.8	9.0	5.6
10.45	30	84	2	3.3	16.5	5.1
11.15	100	112	2	4.4	22.0	5.1
11.45	130	118	2	4.5	22.5	5.2
12.45	230	106	2	3.2	16.0	6.6
13.45	330	97	2	2.4	12.0	8.7
14.45	430	90	2	1.7	8.5	10.6

及び p.l. は切出し直後1~1.5時間は急に上昇するが、爾後は緩やかに下るか又は殆んど恒常に経過する。然るにその比たる c.l. は殆んど全體を通じて恒常である。爾余の各例に就て見るも、切出し後2時間以後に於ては Vr, p.l. 何れ

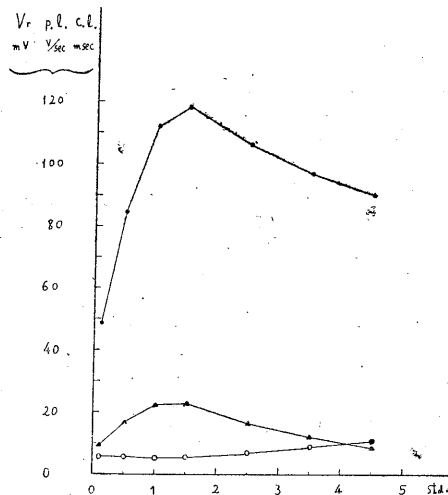
も殆んど恒常であつて、c.l. は室温に於て略々 10 msec 内外の恒常値を示すことを見る。この値は大體に於て從來諸家にて見られた c.l. 又は λ と一致するものである。即ち神経筋標本の興奮性略々一定に達した以後に於て本法は十分 c.l. 測定に堪へるものなるを知る。本業績に於ては爾後本法によつて通流電極の効果を檢したのであつた。

III. 爾余の實驗方法

前章で述べた c.l. 新測定裝置以外の實驗方法に就き記述する。第1圖に於ける[D]は直流通流用の起電力部である。r₁, r₂ は島津製 P.O. 型抵抗函, Ed は 2V 蓄電池であつて轉換器 W により適當なる方向の通流を, 2極水銀電鍵 S₃ を通じて神経に對し行ふのである。即ち實驗開始時に於て S₃ を d 側に倒し前章 II 記述の如く正常時の c.l. を測定した後 S₃ を c 側に倒せば、神経には W の方向に従ふ一定符號の $Ed.r_2/(r_1+r_2)$ なる電壓の通流が加へられることになる。かくしてこの通流を續け乍ら繼時的に c.l. を測定するのであるが、通流電壓をして刺激電壓に何等の影響をも與へしめないために、通常電流刺激のときも飽和電流刺激のときも、各刺激直前に S₃ を d 側に倒して通流電壓を短絡し、神経を無通流の状態に還元して刺激を加へ興奮の起否を檢し、刺激が終れば直ちに S₃ を c 側に倒して、各刺激間隔に於ても通流は行はれるやうにした。このため S₃ の d→c への倒しは Rotatorium の余勢を用ひて行はれるやうに裝置した。本實驗は數時間に亘る通流の結果を見ようとするのが目的であるから、各刺激直前の極めて短時間内の無通流状態は、夫迄の通流によつて起つてゐると思はれる神経限界膜の變化を餘り變へないとの假定の下に、この實驗方法を採用したのである。

第2圖 正常標本裝置直後よりの経過

縦軸: ●...Vr, 單位 mV; ▲...p.l., 單位 V/sec; ○...c.l., 單位 msec
横軸: 裝置直後よりの時間, 單位時間



實はこの刺激直前に通流を中斷しての實驗方法は、本實驗の後段に至つて採用されたのであつて、最初に於ては S_0 に 1 極電鍵を用ひ d 端は常に開かれてゐて、c 端のみが必要に應じ開閉される方法が採られた。即ち c 端は常に閉ぢられてゐて、各刺激の直前に之が開かれ前述の順序に實驗される。之に於ては各刺激電流は通流電壓と重合して與へられることになる。但し刺激電流が與へられた直後に於て、通常電流の場合は R_0 があるからそんなことはないが、飽和電流の場合は一時通流が中斷される。併し直ちに K_1 を閉鎖することにより通流は更に加へられたのである。この云はゞ重合刺激法は山中 (23)、鈴木均 (13) に於ても行はれたゝめ最初は採用されたのであつたが、その成績に疑問が起つたので、後段に於ては前述の云はゞ刺激直前短時通流中斷法が採られたのであつた。

猶この兩方の刺激法の成績を比較するために、鈴木均の實驗を短時中斷法により再試する必要を感じ、最後段に於て之を行つた。即ち直流通流が他の直流閉鎖或は開放閾値に及ぼす作用に就てゝある。このためには第 1 圖に於て [A] 部は不要であるから之を外し、切替器 U を轉換器として用ひ (圖中の點線)、閉鎖刺激と開放刺激とに於て刺激電極を夫々陰極及び陽極ならしめるため、Eb の方向を轉換して作用せしめた。

標本はとのさま蛙 (*Rana nigromaculata*) の坐骨神経腓腸筋標本を用ひ、圖示の如きセルロイド製電極函中に装置し、通流、刺激共に同一電極を通じて行ふ。筋に近い方を刺激電極として $Zn-ZnSO_4$ -ゼラチン絹糸の空中電極とし、通常、飽和電流刺激に於てともにこの電極を陰極ならしめる。又神経中樞側は液體電極とし等張 $CaCl_2$ 溶液を約半量加へた Ringer 液中に浸し、この極から開放刺激の起ることのないやうにした。刺激電極なる空中電極に對し、W を適當に廻して Ed より通流を陰極或は陽極ならしめ、その影響を觀察したのである。但し最後段の實驗に於ける開放刺激閾値測定に際してのみ、この空中電極を刺激電壓の陽極とし、此所に於ける開放刺激を觀察した。この電極函を二重壁流水恒温箱中に入れ、その蓋の窓より擴大鏡を通して筋の最小攣縮の起るのを見て閾値を決定した。實驗期間は昭和 17 年 10 月より翌年 5 月に渉る間に行つた。

IV. 實驗成績

A. 刺激時も通流を持続せる場合 (所謂重合刺激法)

1) 通流陰極の影響 (第 3 圖)

直流電壓 100.6mV の場合の 1 例に就て説明する。閉鎖刺激閾値 (V_r) は通流前の正常値 88 mV のものが通流 1 時間後には 275mV と約 3 倍に、2 時間後には 355mV と約 4 倍に、3 時間後には 450mV と約 5 倍に、即ちはゞ直線的に上昇するのを見る。又 p.l. は正常値 14V/sec なるものが 1 時間後 150 と約 11 倍に、2 時間後には 200 と約 14 倍に、3 時間後には 450 と約 32 倍に上昇する。従つてこの兩者の商なる c.l. は正常値 6.3msec なるものが、毎 1 時間後に夫々 1.87msec, 1.77msec, 1.00msec と左下に凹形の曲線を畫いて下降する結果となる。

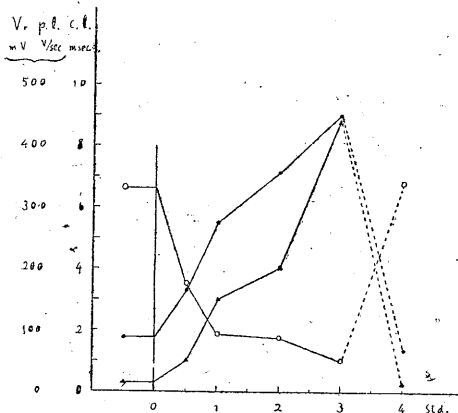
以上3つの値は通流開放約1時間後には夫々 68mV, 10V/sec 及び 6.8msec とは、最初の正常値に近い値に還るのを見る。従つて以上の變化は通流作用による可逆的の變化である事が知られる。

第3圖 重合法通流陰極の影響

通流電壓：100.6mV

縦軸：●...Vr, 單位 mV; ▲...p.l., 單位 V/sec; ○...c.l., 單位 msec; 直線は通流開放後の経過 (以下各圖共同様)。

横軸：通流時間, 單位時間

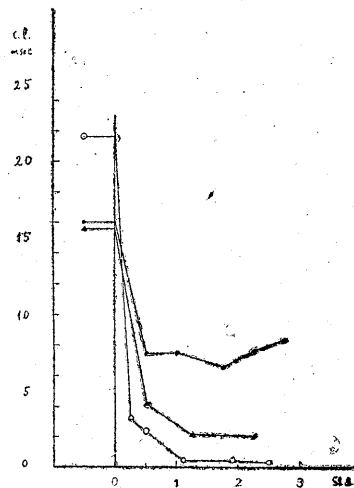


第4圖 重合法通流陰極の影響

(通流電壓に依る差異)

縦軸：c.l., 單位 msec; 通流電壓：●...50.7mV, ▲...100.6 mV, ○...198.2mV

横軸：通流時間, 單位時間



この c.l. の値のみを通流電壓を色々異にした場合に就てみると (第4圖), 通流前の正常値には標本により 6~20msec 間の動揺があるが, 大體に於て通流電壓の上昇に伴ひ c.l. の下降度は急激となるのを見る。即ち通流陰極では一定の電壓の下では通流時間の進むに従ひ, 又通流電壓が強くなるに従ひ c.l. は小となり, 忍び込みが容易となる。

2) 通流陽極の影響 (第5圖)

前同様通流電壓 100.6mV の1例に就てみると, Vr は正常値 116mV のものが通流後30分にして 312mV と約2.7倍に急昇し, 以後時間とともに漸増して3時間後には 550mV と約4.7倍に達する。然るに p.l. は正常値 9.0 V/sec のものが通流とともに急速に減少し, 30分後には 3.25 と約36%に下り, この時期を極小として次で漸増し始め約3時間後には 5.5 正常値の約61%に昇る。従てこの兩者の商なる c.l. は正常値 12.9msec のものが通流とともに飛躍的上昇を見, 30分後には 96msec と約7.5倍に昇り, 次で漸増の経過をとり2時間15分後には 115 msec と約9倍に達する。而して以上の各々の値が通流開放後約1時間にして夫々 200mV, 7.0 V/sec 及び 36msec とは、正常値か又はそれに近い値に還る事は通流陰極の場合と同様である。即ちこの變化も通流による可逆的の作用であると見做し得る。本例に於ては最初下つた p.l. が

後徐ろに上がることが見られたが、約半数の例にあつては最初の 1~1.5 時間に下つた高さをそのまゝ保ち他の半数に於て後に僅かな上昇が見られた。

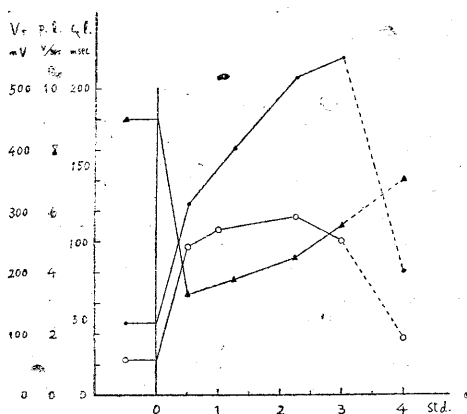
第 5 圖 重合法通流陽極の影響

通流電壓：100.6mV；

縦軸：Vr, 単位 mV；▲...p.l., 単位 V/sec；

○...c.l., 単位 msec

横軸：通流時間, 単位時間



第 6 圖 重合法通流陽極の影響

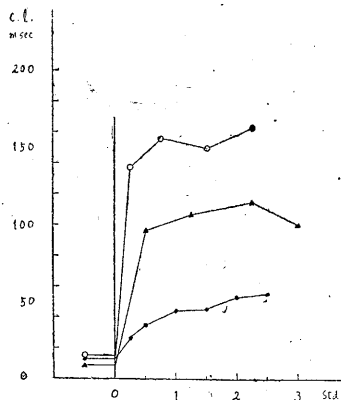
(通流電壓に依る差異)

縦軸：c.l. 単位 msec

通流電壓：●...50.7mV,

▲...100.6mV, ○...198.2mV

横軸：通流時間, 単位時間



又この場合の c.l. の値のみを、通流電壓を種々變へて比較してみると第 6 圖の如く、各電壓に就ては通流時間とともに c.l. の上昇を見又通流電壓の上昇とともに p.l. の上昇度も著明となる経過を示してゐる。但し第 3 圖と第 5 圖、並びに第 4 圖と第 6 圖との比較に當つて注意すべきことは、陰極通流の場合と陽極通流の場合とに於て p.l. 及び c.l. の尺度の盛り方に大差のあることである。即ち 10 内外の値の p.l. 及び c.l. が一方では増大し他方では減少するのであるから、圖に於てその變化を見易からしめるためにかく尺度を變へねばならないのである。

かくの如くして陰極通流と陽極通流は c.l. に對し相反する影響を與へる如く見えるのであるが、之を結果する Vr 及び p.l. の變化を見るに、陰極にあつては兩者同方向に變化し、Vr の變化より p.l. の變化大なるため c.l. の減少を來たしてゐるのに、陽極にあつては Vr と p.l. とは變化の方向が逆であつて、ために甚だ大きな變化を c.l. がなすことになつてゐる。この兩極の作用が質的に異なることは些か疑念を起さしめることである。併し基電流 Vr 即ち直流閉鎖刺激閾が陰極通流にても陽極通流にても上昇することは鈴木均(13)の見た所であり、私が上に c.l. 觀察のために見た Vr の變化は陰極及び陽極通流共鈴木均が見た閉鎖閾の變化の経過と同様であつて、等しき條件を検してゐることは間違ない。然るに鈴木均及び山中(23)が用ひ、又私が上に用ひた所謂重合刺激法は一考を要する點を含むのであつて、いかにも一定電壓を以て陰極又は陽極に通流しておき、この電壓を起點として刺激電壓を加へるのであるが、殊に陽極通流に於ては刺激電壓と反對向きである。通流後時間長くして之を新しい起點と見得るとはい

ふもの、こゝに刺激電壓を加へる際に通流電壓の減少乃至消失するといふことが、刺激電壓の作用以外に刺激作用を展開し得ることは考へられる。かくては純粹に刺激電壓の作用とは云はれない。この意味で重合法には面白からぬ點がある。そこで刺激直前に通流を中斷することは、通流なる條件を中絶するのであるけれど、長い通流による限界膜の變化といふものを見てゐるとすれば、各刺激直前の短き中斷は大なる膜の變化還元を起さぬとの假定の下に、所謂中斷刺激法により c.l. を求めてみたのである。

B. 刺激を與へる間通流を斷つた場合 (所謂刺激直前短時通流中斷法)

1) 通流陰極の影響 (第2表, 第7圖)

通流電壓 80mV の1例に就きその経過をみるに、先づ V_r は通流前の正常値 93mV であるが、通流開始とともに上昇を始め30分後には 144mV、1時間半では 190mV と正常値の約2

第2表 實驗番號 IX-Nr.9

中斷法通流陰極の影響 昭 18.3.12(晴),
室溫 11° 恒溫箱. 溫度 13°, 裝置終了 9
時30分, 通流電壓 80mV

刺激時 通流時間	V_r (mV)	C(μ F)	I(μ A)	p.l.(%)	c.l.(msec)	
11.30 (前) 30	93	2	23	11.5	8.6	
12.00	0	→ ⊖ 80 mV				
12.30	30	144	1	26	26	55
13.30	130	190	1	52	52	365
14.30	230	220	1	57	57	385
15.30	330	222	1	58	58	38
開放後						
16.30	1.00	85	1	10	10	85

倍となり、2時間半では 220mV、3時間半後には 222mV とその経過は上凸形の曲線を畫いて昇る。p.l. は通流前 10 V/sec 前後で

あるが、通流開始と共に上昇して30分後には 26 と約 2.3 倍に、1時間半後には 52 と約 4.8 倍になり以後漸増して3時間半後には 58 と約 5 倍に達する。即ちこの兩者はほぼ同形の上昇経過をとるのであるが、後者の上昇速度が前者に比して大なるため、この兩者の商を以て現はさるれ c.l. の値は通流直後より下降の経過をとり、通流前の正常値 8.6msec なりしものが30分後には 5.5msec と約 65% に、1時間半では 3.65msec と 4.2% に下り以後は同じ値を保つ。而して通流開放1時間を経た際の各々の値は夫々 85mV、10 V/sec、8.5msec とは正常値に還ることは前の場合と同じである。

通流電壓を 50, 80, 100, 150, 200, 300mV 附近とする6つの場合に就て c.l. の變化の模様を述べれば(第8圖)。

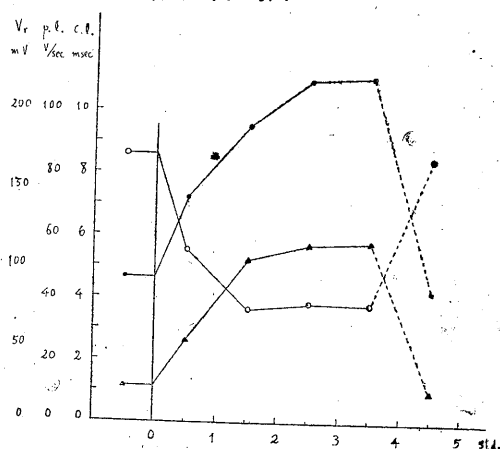
第7圖 中斷法通流陰極の影響

通流電壓 : 80mV ;

縦軸 : ●... V_r , 單位 mV ; ▲...p.l., 單位 V/sec

○...c.l., 單位 msec

横軸 : 通流時間, 單位時間



50mV の場合：通流による影響は餘り明瞭に現はれない。Vr, p.l. 共に前述 80mV の時と同様の経過にて變化するが、その大きさは夫より小さく又兩者の變化度が同一に近いため

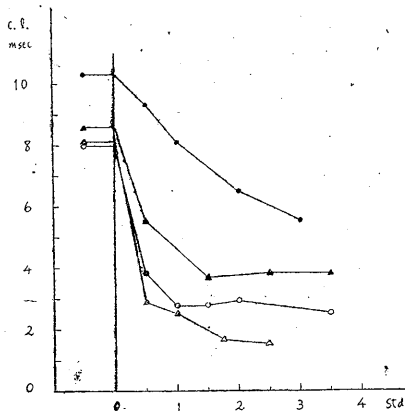
第 8 圖 中斷法通流陰極の影響(通流電壓に依る差異)

縦軸：c.l. 單位 msec ;

通流電壓：●...50mV, ▲...80mV,

○...100.6mV, △...201mV

横軸：通流時間, 單位時間



に, c.l. は大體正常値に止まるか或は時間とともに僅かな下降を見る程度にすぎぬ.

80mV の場合：Vr, p.l. の變化の経過は前述の如く c.l. は通流直後より約 30 分間に比較的急速に下降し、時間と共にその下降度はゆつくりとなり、3 時間前後では一定値に達する。終末値は正常の 40~50% の降下を見る。

100.6mV の場合：Vr, p.l. の變化は通流前半は前述 80mV のときの如く上凸の曲線形だが、後半にはそのまゝ直線的に近く上昇する。その比なる c.l. は通流直後より 30 分位迄の間に、80mV に於けるより更に急激に下降し、それ以後 3 時間迄の経過は尙漸減はしてゐるが餘り著しくない。即ち通流の効果は最初の 30 分では完成されると見做し得る。

以上の通流電壓程度に於ては通流開放後 1 時間位で Vr, p.l., c.l. 等の諸値は何れも大體正常値に戻る。

151.6mV の場合：Vr, p.l. の變化は前述の各電壓の場合より更に大きく、又その経過も最初より直線的に近く上昇する。そして兩者の比たる c.l. の経過に就ては、通流初期の下降は更に急激となり大體 30 分乃至 1 時間で一定となる。この終末値は正常値の約 30~40% に達する。而して通流開放後 1 時間を経ると正常値の方向に復する傾向は示すが大體正常以下に止つてゐる。併し Vr, p.l. の大きさは正常の大きさの次序に戻る。

201mV の場合：Vr, p.l. の變化は更に著しくなりその経過は上凹の曲線に沿ひ後直線形となる。例によつては 3 時間以内に Vr が ∞ となる。c.l. は上述と大體同様の経過を示すが、初期の降下は更に急速であつて通流 30 分以後略々一定値に達する。その終末値は正常値の 20% 前後に止まる。Vr が ∞ になる場合は c.l. は定められない。

301mV の場合：通流初期の経過は 200mV の場合と同様であるが、多くの場合 1 時間以後は Vr, I 等の閾値が非常に大きくなり、可成の強流による刺激に應じなくなるために c.l. も計測不能となる。

2) 通流陽極の影響(第 3 表, 第 9 圖)

通流電壓 80mV の 1 例に就きその経過をみると、Vr は正常値 90mV なるに通流開始 30 分後には 71mV と約 80% に、1 時間半後には 65mV と約 70% に降下し、以後大體その値を

第3表 實驗番號 IX-Nr. 10

中斷法通流陽極の影響 昭 18.3.12(晴),
室溫 12° 恒溫箱. 溫度 13°, 裝置終了9
時5分, 通流電壓 80mV

刺激時	通流時間	Vr (mV)	C (μF)	I (μA)	p.l. (V/sec)	c.l. (msec)
11.00	(前) 30	90	2	23	11.5	7.8
11.30	0	→ ⊕ 80 mV				
12.00	30	71	10	70	7.0	10.1
13.00	1.30	65	10	53	5.3	12.2
14.00	2.30	67	10	47	4.7	14.2
15.00	3.30	65	10	40	4.0	16.2
閉流後						
16.00	100	102	2	21	10.5	9.7

保つてゐる. p.l. は正常値 11.5 V/sec のものが30分後には 5.3 と約 45% に減少し, 以後尙漸減して3時間半後には 4.0 と正常値の約 35% に迄降下する. この兩者より計

算される c.l. の値は後者の降下速度が前者のそれよりも大なるために上昇経過を示し, 正常値 7.8msec のものが30分後には 10.1msec, 1時間半後には 12.2msec, 3時間半後には 16.2 msec と正常値の約 2.8 倍に達する. 通流開放後は各々の値がやはりほぼ正常値に戻る.

この作用を通流電壓夫々約 50, 80, 150, 200, 300mV 附近に於て述べれば(第10圖)

50mV の場合: Vr は變化餘り著しからざるか, 又は前述の 80mV のときの如き経過の, 大きき大ならざる變化を示し, p.l. はやはり 80mV のときの如き大量ならざる變化を示す. 従つて c.l. は正常値に比し殆んど變化無いか, 或は時間とともに僅かに上昇し3時間後に正常値の 1.5~2 倍程度に達するに過ぎぬ.

80.6mV の場合: Vr 及び p.l. は前述の如き變化を示し, その比なる c.l. は通流とともに緩やかな傾斜を以て直線的に上昇して, 3時間後の値は正常値の 2~3 倍に達する.

100.6mV の場合: Vr, p.l. は 80mV のときと同様な, 大ききは夫より大なる變化を示し, c.l. はやゝ急速に上昇して, 3時間後の終末値は正常値の 2~5 倍に達する.

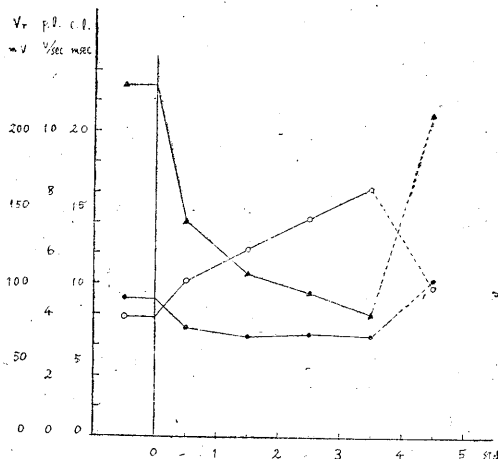
第9圖 中斷法通流陽極の影響

通流電壓: 80mV;

縦軸: ●...Vr, 單位 mV; ▲...p.l., 單位 V/sec

○...c.l. 單位 msec

横軸: 通流時間, 單位時間

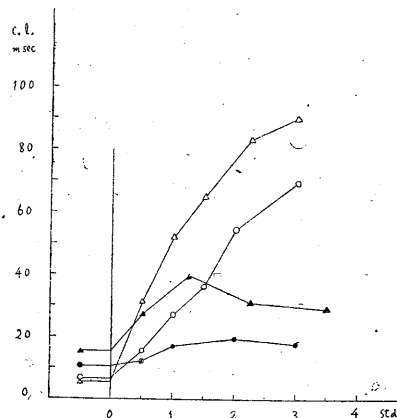


第10圖 中斷法通流陽極の影響
(通流電壓に依る差異)

縦軸: c.l. 單位 msec;

通流電壓: ●...50mV, ▲...100.6
mV, ○...151.6mV, △...201mV

横軸: 通流時間, 單位時間



151.6mV の場合：Vr の最初の低下は正常値の約 50% に達するが、通流後半に於て稍々再び上昇する傾きを示す。p.l. は最初の 1 時間に正常値の 30~40% に低下し全通流期間 その高さに止まる。従つて c.l. の通流による増大は更に急激となり、はゞ直線的に上昇して 3 時間後は正常値の 5~8 倍に達する。

以上の各通流電壓の場合には、通流開放後約 1 時間にして Vr, p.l. 及び c.l. 等の値ははゞ正常値に近い値に返る。たゞ Vr は通流後期にその上昇の度著しき例にあつては、開放後正常値より高い値に移る傾きがある。

201mV の場合：Vr は一旦下降し後漸次上昇して通流 3 時間後には正常値附近に返り、開放後は夫より高い値に移る。p.l. は正常値の 20% 内外に迄下り通流期間 その値を保ち、開放後は正常値より稍々低い値に返る。従つて c.l. は益々急激にやゞ凸形の曲線を畫いて上昇し、3 時間後には正常値の 10~15 倍に達する。通流開放後は 1 時間にして正常値の方へ返る傾向を示すが、多くの場合 Vr, c.l. の返戻値の傾向に従ひ、正常値よりも高い値に止まる。

301mV の場合：Vr, p.l. の變化は 201mV の程度であるが、Vr のみならず p.l. も通流後期に上昇を示し、且つ低下上昇とも兩値の變化度が近いため、c.l. としては却つて 200mV 附近の場合より影響を受けること少く、80mV 程度の通流の場合に似た経過を示す。

本項に於ける成績を前項 A に於ける夫と比較するに、著しく整つた成績であることを見る、即ち通流陰極に於ては Vr, p.l. 共に上るが、後者の上昇の程度大なるため c.l. は下る。之に反し通流陽極にあつては Vr, p.l. 共に下るが、之又後者の變化がより著しきため c.l. は上昇する、といふすべての値に於て明かな拮抗作用を見る。従つて又 c.l. そのものゝ變化も、兩極の作用の間に於て A 項に於けるが如き大なる次序の差を示さない。之等のことはこの短時通流中斷法が刺激直前に通流を極めて僅か中斷するけれども、通流の効果を追求するには極めて適切な方法なることを示すものと云ふべく、この方法によつて得られた本項の成績こそ、求める所の眞の通流の影響を表はすものと云ふことができるのである。即ち A 項に於ける成績の就中 B 項の成績と最も著しき差異を示す通流陽極に於ける Vr の變化には何か間違が含まれてゐなければならず、之には A 項の末尾に述べた如く、直流刺激を與へるとき陽極通流を切ることが何かの作用を與へると見ねばならない。然るに山中(23)、鈴木均(13)は前述の如く、A 項に於ける刺激法にて通流の作用を見てゐるのであるから、B 項に於ける刺激法によりその成績を見直す必要がある。そこで私は次項に於てこの刺激方法により鈴木均を再試し、直流閉鎖閾及び開放閾に對し通流がいかん作用するかを檢したのである。

C. 直流通流が他の直流閉鎖閾及び開放刺激閾値に及ぼす影響

前項末尾に述べた如き理由によりこの實驗を行つた、が直流閉鎖閾値は Vr に他ならず、之に對する影響は B 項に於て、陰陽兩極に就き種々の通流電壓を用ひて觀察されてゐる。且つ本項に於て究明すべき目標は主として開放刺激閾値であり、而も目的は鈴木均(13)の觀察との

比較にあるので、一方實施上の都合もあり、使用電壓には鈴木均の實驗に於て最も著しき影響を與へた 200mV 附近のものを選んだ。

1. 通流陰極の影響

通流電壓 201mV の 1 例に就き説明すると (第 4 表, 第 11 圖), 直流閉鎖閾値 ($V_{r(s)}$) は通流開放直後より上昇し, 時間の進むに従ひ急激な上昇角を以て 1 時間後には正常値の約 10 倍, 2 時間後は約 30 倍に達し, 3 時間後には測り得なくなる。即ち輕度の凹狀曲線を畫いて急速に上昇する。

第 4 表 實驗番號 XI-Nr. 8

中斷法通流陰極の影響

昭 18.9.16 (晴), 室温 28° 恒温箱

温度 20°, 裝置終了 7 時 10 分,

通流電壓 201mV

刺激時 刻	通流時間 (分)	$V_{r(s)}$ (mV)	$V_{r(o)}$ (mV)
8.30	30	54	663
9.00	0	→ 201mV	
9.15	15	118	130
9.30	30	119	147
10.00	1.00	554	241
10.30	1.30	1260	388
11.00	2.00	1770	450
11.30	2.30	∞	511
12.00	3.00	∞	554
開放後			
13.00	1.00	85	674

直流開放閾値 ($V_{r(o)}$) は通流の最初 30 分乃至 1 時間半の間に急激に下降して極小値に達する, その値は大體正常値の 20~30% で

ある。而してその後は漸増の経過をとるが, その上昇度は非常にゆつくりで 3 時間後も極小値と餘り變らぬ場合と, 漸次上昇してはゞ正常値に近い値に還る場合とがある。

この兩閾値の變化は共に, 通流開放 1 時間後にははゞ正常値に近い値に還る。即ち兩閾値に及ぼす影響は通流による可逆的作用の現はれであると見做し得る。

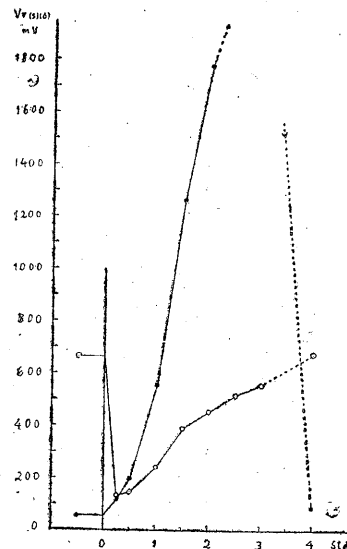
この成績を鈴木均と比較するに大體に於て同様の所見と云ひ得る。即ち閉鎖閾はこの通流電壓のために, 私の殆んど全例に於て 3 時間目に 2V 内外に達し, 鈴木の場合より稍々變化が大きいかと思へるが, 變化の経過は大體同様であり大きな差異とは認められない。又開放閾も通流直後受けた大きな下降が, 或は通流期間中極めて徐ろに上るか或はその間に殆んど元の高さに還るかであること, 鈴木の見解と一致する。即ち通流陰極の影響は重合法と中斷法とに於て大なる差異を示さないと見ることができ, 之は A, B 兩項に於ける成績が陰極に於ては餘り違

第 11 圖 通流陰極の影響

通流電壓 : 201mV ;

縦軸 : ●... $V_{r(s)}$, ○... $V_{r(o)}$, 共に
單位 mV

横軸 : 通流時間, 單位時間



はないことと一致する所見である。

2. 通流陽極の影響

陽極の影響は陰極に比較して輕微である。第5表及び第12圖に示すは通流電壓 201mV の例であるが、閉鎖閾値 ($V_r(s)$) は通流直後正常値の約 80% に下降し、次で通流期間中徐ろに上昇して元の値に戻る。この最初の下降は一般に正常値の 70~90% の間を往來し、通流期間中下

第5表 實驗番號 XI-Nr. 7

中斷法通流陽極の影響

昭 18.9.15(晴), 室溫 30°, 恒溫箱溫度 20°, 裝置終了 10 時, 通流電壓 201mV

時刻	通流時間	$V_r(s)$ (mV)	$V_r(o)$ (mV)
12.30	0	489	470
13.00	0	→ 201mV	
13.15	15	71	402
13.30	30	73	425
14.00	100	75	402
14.30	130	82	414
15.00	200	80	439
15.30	230	82	559
16.00	300	93	554
	間放後		
17.00	100	181	670

降値に止まるものもあるが、多くの例に於ては緩

やかな上昇が続く。そして通流開放後多くは更に

正常値より高い閾値に至るが、之は通流電壓が高

すぎるためであるべく、B 項にて見た如く低い通流電壓に於ては、下降した閾値が通流期間中その低い値に止まるのである。通流電壓 150mV に於ても數例觀察したが、最初の下降は正常値の 50~70% に至る程度である。

開放閾値 ($V_r(o)$) に對しては閉鎖閾値より更に影響が輕微である。本例に於ては最初若干下降した後稍々上昇してゐるが、増減の大きさは 10% 内外である。最初の下降が更に短いもの又は之を缺くものもある。そして多くの例に於てその變化の大きさはこの程度であつて、大きいものでも 20% を出でない。通流電壓 150mV の例にあつては影響が更に輕度である。

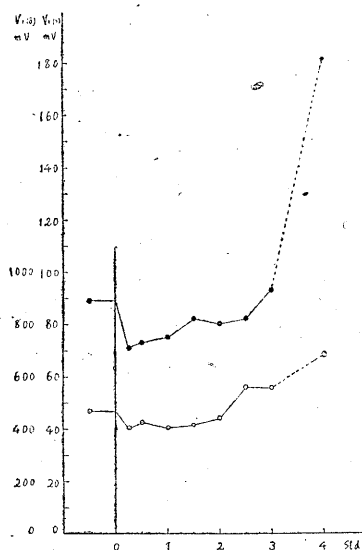
この所見を鈴木均と比較するに、開放値の變化は略々同様である。即ち全體として變化は著しくない。(尤も鈴木は更に高い通流電壓に於ては、後期に稍々著しい上昇を見てゐる。)然るに閉鎖閾値に於ては大なる差異があるのであつて、鈴木にあつては急激な且つ著しい上昇が見られたのに、私に於ては下降を見るのである。而して實際 A 項に於ては私も V_r の急峻な又著しい上昇を見たのであるから、重合刺激法に依れば閉鎖閾値が陽極通流のため急な上昇を示す

第12圖 通流陽極の影響

通流電壓：201mV；

縦軸：●... $V_r(s)$, ○... $V_r(o)$ 共に單位 mV

横軸：通流時間, 單位時間



といふ所見は、私も鈴木に一致するのである。たゞ中斷法を用ひれば閉鎖閾値の明かに下降すること、本 C 項及び B 項實驗の示す通りであつて、この陽極通流の他の直流閉鎖刺激に對する作用のみが、重合法と中斷法との著しき成績の差異を示す場合に當り、之が又 A, B 兩項に於て通流陽極の效果に大差ある成績を得た原因となつたのである。

茲に於て本項の成績を總括すれば、通流陰極及び陽極の作用が他の直流閉鎖並びに同開放刺激に對して示す影響を、中斷法を以て檢して之を鈴木の中合法に依る成績と比較するに、上記影響の 4 つの組合せの内 3 つのものに於ては餘り著しく異つた結果を示さないが、たゞ通流陽極が他の直流閉鎖に對する作用に於ては、甚だ相違した成績を見るのである。そしてこの組合せこそ、重合法に於ては直流閉鎖に當つて通流電壓の開放といふことが重なり、之等が相干するといふ不都合の考へられる場合に當るのである。中斷法に於てはかかる干渉を考へる要なくこの意味で B 項の成績が A 項の夫に比し、より正しいと云ひ得るのである。

V. 考 察

上述實驗成績の章に於ても順序に従つて述べて來た如く、同章 A 項に於ける實驗は文獻に於ける鈴木均(13)、山中(23)等に従つて行つたのであつたけれども、その成績が通流の陰陽極に於て B 項に於ける成績程美しく對立せざること、又 C 項に於ける成績を鈴木均の夫と比較すること等により、通流と刺激との兩電壓の所謂重合法は方法として面白からず、B 項に於ける刺激直前短時通流中斷法が、眞の通流の效果を檢するに適當なる方法なることを知るのである。即ち所謂中斷法に於ては極めて短時間通流を中斷するけれど、問題は數十分乃至數時間といふ通流による限界膜の性質變化を目標とするのであるから、短時間の中斷は大した影響なしと見られるに反し、重合法に於ては現に A 項及び鈴木均の成績に見るが如く、中斷法による B 項及び C 項と比較して些か不合理な結果を示すのである。

この兩方法の成績を比較するに大體に於て、通流陰極にあつては他の直流閉鎖閾並びに開放閾の何れに對しても、兩方法は大差ある影響を示さない。又通流陽極に於ても開放閾に就ては著しく差ある結果を示さない。獨りこの陽極が他の直流閉鎖閾に對して示す影響に於て、甚だ大なる差異を見るのである。即ち重合法に於ては閉鎖閾が著しく且つ急峻なる上昇を示すが、中斷法では却つて低下を來すのである。この理由を考へるに、鈴木均、山中及び私を通じて、通流及び刺激兩電壓を同一の電極により作用せしめるのであるが、今問題の 1 電極が通流陰極なるときと同陽極なるときに於て、この電極に夫々閉鎖刺激(刺激電壓の陰極)或は開放刺激(同陽極)が與へられるといふ 4 つの組合せがある。この 4 つの組合せの内、通流陰極に刺激陰極が加はるときは、重合法に於て中斷法と餘り異なる事情が起るとは考へ得ない。又通流陰陽極何れに於ても開放刺激の檢せられる場合は、刺激電壓が先づ加へられ、一定時間流れて夫々が開放されるときに效果が見られるのであるから、重合法と中斷法とが大程差異ある結果を與へるとの根據は考へられない。實際之等 3 つの場合は兩方法に於て大差なき結果なること

上述の通りである。然るに通流陽極に閉鎖刺激を加へる場合に於ては、刺激電壓は通流電壓とは逆向きである。従つて重合法に依つて刺激電壓を加へるときには、通流電壓が開放されることになる。通流は長時間行はれ神経限界膜は一定の順應 (accomodation?) をなしてゐるかも知れないが、その通流が開放されると、この極が通流陽極であるから、茲にそのため刺激が行はれ得るのである。即ち陰極として刺激電壓の閉鎖刺激ならして、陽極として通流電壓の開放刺激が起つてゐるとも見られる。前章に於ては之等が相干涉すると言現はしたが、その真相を明かに云ふことは出来ない。たゞこの際陽極の開放刺激が主に起るとするならば、その閾値は閉鎖刺激に比して著しく大であるから、夫が刺激陰極閉鎖といふ形で大きく現はれるといふことも考へられるのである。之は重合法に於てのみ起るのであつて、中斷法ではこの通流電壓の開放を、豫め行つておいた上で刺激陰極閉鎖を行ふのであるから、閉鎖刺激のみが行はれるといふことになる。之がこの場合に兩方法に於て大差ある結果を來す理由である。

このことは成績の差異を示すこの組合せの場合に特に著しいのであるが、他の3つの組合せに於ても、通流電壓の加へられてある電位を基點とすることは合理的とは云へない。従つて何れの場合も、刺激直前の短時間無通流であるといふ缺點はあるが、中斷法の方が正しい通流効果を見るに適すると考へ得る。而も前章 B 項に見る如く、Vr, p.l., c.l. 等に美しい對立を示す整つた成績を結果することは、愈々夫を裏書すると云はねばならぬ。A 項、C 項の實驗は即ち B 項の成績が正しいものであることを證明するためになされたものと見ることができるのである。

茲に於て直流通流が神経に於ける電氣刺激の強まり要素に及ぼす影響を見るに、之は前述の如く前章 B 項の成績が夫である。即ち通流陰極に於ては Vr, p.l. 共に上る、而して後者の上昇度の方が強いため c.l. は下降する。又通流陽極に於ては Vr, p.l. 共に下降するが、後者の下降度が大であるため c.l. は上昇する。そして之等の効果は兩極何れに於ても通流電壓の大なる程強大である。之等の變化を考へるに、Vr と p.l. とは上昇下降何れの方向の變化に際しても、兩者は同一の方向に變化する。そして又その何れの方向の變化に於ても p.l. の方が Vr よりも變化の大きさが著しい。夫が Vr の變化と c.l. の變化が逆方向に大いさを變へる理由である。而して Vr は基電壓即ち強さ要素を示す値である。そして p.l. は Vr と同じ電壓單位で表はされた最小勾配、即ち刺激し得る限りの最も小なる電壓の傾斜であつて、之即ち強まり要素そのものである。Vr と c.l. とが大きさの逆方向の變化に於て相伴ふといふことは、強さ要素と強まり要素が常に同一方向に大きさを變へ、後者の變化が常に前者の變化より著しく起ることを示すのである。

Vr と c.l. とが逆方向の大いさ變化に於て相伴ひ、その意味は今述べた如き關係に於ける強さ要素と強まり要素との變化の同伴であることは、頃日鈴木及び石井 (21) が、石井の曾て觀察した蛙縫匠筋の隔絶刺激に於ける λ (Hill 5) 或は climalyse 閾値 (Lapicque 7) に對するイオ

ンの作用の成績を再檢し、Hill によれば c.l. と同一値たる λ 或は夫等と平行的に變化する climalyse 閾値と、 V_r とが互に逆方向の大いさ變化を以て相伴ふことを見、その意義を考察した際にも論ぜられた所である。而して彼等はその文獻に就きて檢討し、Kahn, Lucas, Schriever, Jahn, 小島 (21 文獻) 等が筋又は神經に於て溫度、イオン、滲透壓等の環境條件の變化に際し、基電流と強まり要素に關する値とが同様の變化を呈することを見た事實を挙げ、一般興奮性形體がその環境條件の變化によりその被刺激性を變化する際には、その強さ要素と強まり要素との同一方向に變化し、且つ強まり要素の強さ要素よりもより著しく變るといふことが、典型的の變化形式なることを論じたのであつたが、私が本業績に於て見たことは、鈴木及び石井が上の論文に舉げた環境條件に直流通流なる 1 つを加へたことになるのであつて、この新條件の下に於ても兩要素は全く同様に變化し、而も陰極と陽極との下に於ては、互に全く反對の方向に變化することを見るのである。

直流通流なることは緒論に於て述べた如く、從來電氣緊張として見られた限界膜の分極現象でなくて、通流電壓又は通流時間に於て更に加はる際に起る限界膜分極性を變化せしめる所の通流の云はゞ二次的作用に因る現象である。この現象の物理的現はれは緒論に舉げた如き電氣緊張電流の長時間の経過 (Ebbecke 2, 鈴木 14, 三浦 9) であるし、その生理學的現はれも同所に述べた如き現象であるが、中んづく Werigo (22) の陰極抑壓、Scheminzky (11) の轉換效果として現はれる如く、陰極に於ては刺激が困難となり陽極に於ては逆に容易となることを以て現はれ、普通の電氣緊張に於ける變化とは電極の符號に關し全く逆の關係となるのであるが、この間に於ける閾値の系統的觀察は割合に少ない。山中 (23) は通常の電氣緊張と稱せられる時期より上述の二次的電極作用の發展する期間にかけて、及び通流を開放して以後の直流閉鎖閾値の變化を追求し、鈴木均 (13) は二次的作用による影響を直流閉鎖並びに開放閾に就て觀察してゐる。山中によれば神經、筋に於ける共に、通流直後 (即ち電氣緊張期) にあつては通流陰極に於て閾値下り同陽極に於て閾値上るが、何れも直ちに反對方向への變化が始まる。即ち陰極にては閾値上昇を始め陽極にては下降が始まり、10~20 分内外以後に於ては陰極に於ける閾値が正常より高くなる。陽極に於ては電氣緊張期より漸次低くなるが、正常以上に留まるのである。これ 10~20 分内外以後は二次的作用が發展した時期に相當する。鈴木均は通流後 1 乃至數時間といふ二次的作用のみを見たのであつたが、通流陰極にても陽極にても他の直流閉鎖閾は上昇し、殊に後者に於ては最初急峻に上昇し爾後一定に留まるか或は僅かに低下に傾くことを見た。併し前來より説くが如くこの兩氏共に重合刺激法に依つてゐるから、前章及び本章で先に論じた觀點よりすると、兩氏とも通流の直流閉鎖閾即ち基電流に對する作用の觀察としては、通流陰極に就ては略々正しいと見得るが、通流陽極に於ては通流電壓の開放效果に災され、正しき基電流が見られずして正常よりも高く留まる値が得られてゐるのである。即ち通流後 1 乃至數時間といふ二次的電極作用の下に於ては、本實驗で見られた如く基電流或は直

流閉鎖閾は、陰極に於ては漸次上昇し陽極に於ては下降するのが眞の事實であるのである。その程度は通流電壓大なる程大となり陰極に於ては上昇速度愈々大となるが、陽極に於ては電壓大となると最初一定度下降した閾値が又漸次上昇する傾向を示す。とにかく通流による二次的作用のためには、陰極にて閾値上り陽極にて之が下るのであつて、明かに從來の電氣緊張即ち通流直後の閾値變化とは全く逆の關係となるのである。

通流（二次作用）による他の直流閉鎖閾即ち基電壓に對する影響は上述の如きものであるが、之が強まり要素に對する影響を検したものは未だない。たゞ電氣緊張の作用を見たものに Schriever (12) と坂口及び田崎 (10) がある。Schriever は他の種々なる作用が強さ、時間及び強まりの 3 要素に及ぼす影響を検した一部として、陰極電氣緊張の基電流及び彼の忍込時間に對する影響を見て、その何れをも小ならしめる効果を見てゐる。坂口及び田崎の業績は未だ論文として發表されないため詳細を知り得ないが、指數函數的上昇電流の刺激現象を種々取扱つた内で、基電流及び Hill の λ に相當する値をも檢し、種々の大いさの陰及び陽極電氣緊張の夫等に對する影響を見てゐるが、陰極電氣緊張の下に於ては基電流下り λ も縮小し、陽極電氣緊張の下に於ては之に反する効果を觀察してゐる。諸本業績に於て私が見た通流二次作用の V_r 及び c.l. に及ぼす影響は前述の如く、陰陽兩極に於てその作用全く相反し、その何れの方
向に於ても V_r と c.l. との大いさを互に反對に變化せしめる。そしてこの變化は強さ要素 (V_r) と強まり要素 ($p.l.$) とが同方向に變化し、且つ後者がより強く變化するといふ典型形式をなすのである。Schriever 並びに坂口及び田崎の結果を私のこの成績と比較するに、Schriever の見た忍込時間は Hill に依れば λ と正比例する値であるから、忍込時間並びに λ に關する限り彼等の成績は私の夫と同方向の變化であるが、基電流に關しては陰陽兩極とも私の見た成績と反對の變化に相當する。之彼等の見たのは電氣緊張なる通流第一次の分極現象に因る作用であるからであつて、その場合基電流即ち直流閉鎖閾がそのやうに變るのは當然である。然るに興味のあるのは強まり要素に關する恒數の變化が、この電氣緊張の下に於ても通流二次作用下と同じきことである。この事自身注目すべき事實であるとともに、この電氣緊張の下に於ては強さ要素と強まり要素とが、上述の典型形式とは違つて變化することは又注意せねばならぬことである。併し乍らこの典型形式は、興奮性形體が溫度、イオン、滲透壓、通流二次作用等の環境條件に従ふ、被刺激性變化の形式なのであるが、電氣緊張は分極現象であり或は刺激の未熟狀態とも云ふべき狀態であることを思へば、この狀態が今舉げられた如き環境條件の變化下の狀態とは自ら別種のものであることが分り、従つてこの狀態に於ける強さ要素と強まり要素との變化形式が、かの典型とは違つて起ることも理解することが出来る。

今舉げられた所の、興奮性形體が受ける種々の環境條件の變化を、夫に因つて生ずる被刺激性の變化に従つて相對立する兩群に分てば、高溫、通流陰極、低滲透壓等は低溫、通流陽極、高滲透壓等と相對し、前者に於ては λ 又は之に相當する恒數の小なること、強まり要素大即

ち徐ろに強まる電流にて刺激され難きこと、單一興奮起り易きこと、基電流その他の強さ要素大なること等が相當し、後者に對しては λ 等が大なること、徐ろに強まる電流に刺激され易い即ち忍込が難しいこと、反復興奮が起り易いこと、基電流その他強さの閾値の小なること等が相應するのである。而してこの相對する條件群内に於ては、限界膜の透過性に對する作用に就て共通の性質を持つ、即ち前の群に於ては透過性を高め、後の群に於ては透過性を低める性質を共有するといふことは興味ある點である。イオン環境に就ては鈴木及び石井(21)の成績を以てしてもこの對立群に伍して論することができなくもないが、吳(6)の新たに舉げた事實を以てすれば更に興味深く論ずることを得るので、之に就ては彼の論文に譲ることにする。

VI. 總 括

1. 電氣刺激強まり要素の測定法として、新たに眞空管飽和電流を以て Fabre の所謂直線恒數(c.l.)なる數値を測定する方法を採用し、眞空管には5極管を用ひて良好な飽和電流を容易に細かく加減し得られるやうに裝置し、c.l. 測定を正確に行ひ得ることを先づ確かめた。本法に於ては基電壓(Vr)と最小傾斜(p.l.)とを先づ測りその比を c.l. とするのである。

2. 本法を用ひ直流通流、即ち通常の電氣緊張よりは通流電壓又は時間に於て更に加はつたときに起る、電極の神經限界膜に對する二次的作用が、電氣刺激強まり要素に及ぼす影響を觀察せんとし、1乃至數時間の通流時間中繼時的に測定を行つた。

3. 通流陰極に於て Vr, p.l. は共に通流時間に從ひ上昇するが、後者の上昇の方がより著しいため c.l. は時間と共に比較的急激に減少する。通流電壓の増加と共に各値の變化程度増加し c.l. の經過も急激な降下を見る。通流陽極に於ては Vr, p.l. 何れも時間と共に下降し、後者の下降が前者より強度なるため c.l. は時間と共に漸増する經過をとる。通流電壓の増加に伴ひ各種の變化は増大する。即ち通流の電極の符號により明かに拮抗する作用である事を示す。且つこの兩者の影響は通流開放後一定時間を経れば又元に戻る可逆的な作用である。

4. 通流電極の作用を見るに際して、最初は通流電壓に刺激電壓を重ねて刺激する方法をとつたが、この方法に於ては比較的に整はざる成績しか得られなかつた(A項)。故に後には刺激直前にその通流を一時中斷して、通流電流と刺激電流とが同時に加はらない方法に依つて(B項)上述の結果を得た。重合法は山中、鈴木均等の文獻にて行はれた方法であるが、中斷法の方が正しい結果を示すと思はれるので、鈴木均の實驗を中斷法にて再検討した(C項)。

5. 重合法と中斷法とでは、殊に通流陽極作用の下に於ける他の直流閉鎖刺激閾の變化に大差が現れる。この場合は通流電壓の減少乃至轉換が開放刺激となつて干涉するためと思はれる。中斷法ではかゝる不都合がないから、刺激直前に短時間通流が斷たれるけれど、長時間の通流の効果を正しく見るためには之が適當の方法である。

6. 通流陰極及び陽極の(3)に述べた作用は互に相反したものであるが、何れの方向に於ても Vr と p.l. とが同方向に變化し、且つ後者がより強く變るのであり、之は強さ要素と強まり要

素とは同方向に變化し、後者がより著しく變るといふ形式である。この變化形式は鈴木及び石井がその所見及び文獻により、一般興奮性形體が溫度、イオン、滲透壓等の環境條件によりその被刺激性を變化するときに、その強さ要素と強まり要素とを變へる典型形式として挙げた形式に當り、上記の成績は上述の環境條件に通流陰陽極の作用を加へたことになるのである。考察の章中に於ては猶、文獻に現はれた電氣緊張の效果と通流の二次的作用の效果の比較、前述環境條件の吟味等が考察されてゐる。

本研究の一部は鈴木正夫教授に對する文部省科學研究に依り行はれたものである。

稿を終るに臨み終始御懇篤なる御指導を辱し、御校閲を賜はりたる恩師鈴木教授に満腔の感謝を捧ぐ。

文 獻

- 1) Bethe, A. (1920) Pfl. Arch. 183 289
- 2) Ebbeck, U. (1931) Z. Biol. 91 221
- 3) Fabre, Ph. (1927) C. r. Acad. Sci. 184 699
- 4) Gildemeister, M. (1904) Pfl. Arch. 101 203
- 5) Hill, A. V. (1936) Proc. Roy. Soc. B. 119 305
- 6) 吳 壽 典 (近く本誌に發表)
- 7) Lapicque, L. (1937) C. r. Soc. Biol. 125 256, 260
- 8) Lucas, K. (1907) J. Physiol. 36 253
- 9) 三浦隆藏 (1941) 日本生理誌 6 239
- 10) 坂口光洋・田崎一二 (1942) 日本生理誌 7 358
- 11) Scheminzy, F. u. a. (1930) Pfl. Arch. 225 145
- 12) Schriever, H. (1932) Z. Biol. 93 123
- 13) 鈴木 均 (1942) 日本生理誌 7 212
- 14) 鈴木正夫 (1933) Jap. J. med. Sci., Biophysics 2 307
- 15) 鈴木正夫 (1939) 日本生理誌 1 241
- 16) 鈴木正夫 (1937) 千葉醫會誌 15 第2部 361
- 17) 鈴木正夫 (1938) 日新醫學 27 1565
- 18) 鈴木正夫 (1939) Jap. J. med. Sci., Biophysics 6 257
- 19) 鈴木正夫 (1942) 日本生理誌 7 354
- 20) 鈴木正夫 (1943) 日本生理學評論 2 113
- 21) 鈴木正夫・石井恒夫 (1944) 日本生理誌 9
- 22) Weirigo, B. (1883, 1901) Pfl. Arch. 31 417, 84 547
- 23) 山中俊雄 (1941) 日本生理誌 5 433

定常及び過渡的狀態に於ける神經纖維上の電位

分布に関する解析的研究 612.014.423.1

第2報⁽¹⁾ 刺戟が指數函數的減少電流で與へられた場合

東京帝國大學醫學部生理學數室

江 上 義 之

Egami-Yosiyuki

(昭和18年9月11日受付)

I. 緒 論

曩に筆者(2, 3, 4)は神經纖維の電氣的構造は或る種の回路網模型に等價的に寫像し得るとの見解を採擇し、之に立脚して直角刺戟電流が與へられた場合の神經纖維上の電流及び電位の分布狀態並びに之に聯關した若干の事項を解析的に究明した。敢て此處に贅言を費す必要を認めぬ處であるが、吾々は神經纖維の形態學的構造が其の儘回路網模型に全面的に合致する事を主張する者では無い。吾々は寧ろ Isomorphismus なる概念より出發して電氣的現象といふ固定された profil を對象とする限り、神經纖維と既述の回路網模型との對應は等價なりと看做すに足る一つの可能性が多く、多くの實驗結果より歸納して a posteriori に成立し得る事を容認するに過ぎないのである。之以上の積極的理由は今のところ存在せず、又之以上のものを要求すべくもない。從つて斯かる立場よりすれば、核電導體模型も亦夫れ自身の電氣的構造の等價模型として同様な回路網に寫像し得られる。此の間の事情を少しく敷衍するならば、吾々は抽象化された回路網模型の具體的表現として其の兩翼の一端には神經纖維を、他端には核電導體模型を取出し得ると解釋するのである。從つて又、神經纖維と核電導體模型との見掛け上の差異は、電氣的構造に関する限り、畢竟この兩者に賦與された回路常數夫れ自體の內在的特異性に基因するものと見做して良い。

而、吾々は刺戟電流が直角的であるとの制限を棄擲して、一般に夫れが時間の任意の函數で與へられた場合にまで理論を擴張し、以て吾々の解析的所論の罅隙を充填するのが今後の論攷の主題である。刺戟電流が時間の函數である場合、現實の問題として登場し來るものは數少く通常次の場合に限る：

(1) 刺戟電流が指數函數的に減少する場合

(1) 昭和18年度大日本生理學會(福岡)に於て發表、尙日本生理誌, 7 (1942), 686に掲載の拙論を今後上掲標題の第1報として取扱ふ。詳細は原著(5)を参照されたし。

(2) 刺戟電流が指數函數的に増大する場合

(3) 刺戟電流が正弦乃至餘弦函數として變化する場合

今、文獻に徴するに、理論的立場から之等諸問題に論及した學者として Blair (1), Hill (10, 11), Monnier (12), Nernst (13) 及び坂本教授 (16) の名を挙げ得る。坂本教授の研究を除けば他の業績は何れも、神經纖維の軸の方向の Dimension を全く無視してゐる點に於て不備であるを免れない。Nernst 及び坂本教授の研究は何れも其の基礎を擴散の微分方程式に持つ點に於て確固たるものであり、他の現象論的な素朴な理論は直觀的内容を持つ故に近付き易いものではあるが、其れ又具體的意義の確實性に對し疑問の餘地がある。

最近の Hill は所謂 'accommodation' なる概念を導入する事を試み異色ある解析を遂行してゐるが、筆者の見解を述べれば、彼の理論は神經纖維の長さ、電極の位置等を顧慮する事に依つて更に補足するべきであらうと思ふ。現實の問題として神經纖維の長さ、電極の位置等は實驗條件の判定に對して常に付き纏ふ因子であり、其の實際的意義の重要性は 'accommodation' の未れよりも前段階に位してゐるものと言へる。

吾々は此の兩者に就て、其の鼎の輕重を問はんとする意志は毛頭なく、又 Hill の 'accommodation' の觀念を高く評價するに吝でもない。今、此處に強調したい筆者の意圖は、理論的研究が實驗の指針としての役割を果す爲には、當然實驗條件といふ與件から游離する危険性を可及的回避すべき事、並びに實驗的研究は理論的批判によつて定着され、之に依つて事態の認識に際して重篤な誤謬を犯すを防止する點にある。

事實、過去に於て理論的研究の貧困は多產的な實驗 data の氾濫を抑制し得ず幾多の混亂を招いた。之等に共通な缺陷は一樣に實驗條件の判定に對する吟味の不完全さにある。斯かる例證を列舉する遑のないのを遺憾とするものであるが、其の1例を別稿 (7) に於て取扱ふ。

吾々の目指す理想は、夥しい data の集積を統合整理して其の中より1つの秩序性を見出し以て現象相互間の實質的な交渉を統一的立場より描き出すにある。

本論文に於ては指數函數的減少電流に依る刺戟、即ち蓄電板放電電流乃至感應電擊に依る刺戟理論の梗概を述べ、在來の刺戟理論の觸れ得なかつた諸問題に論及する。詳細は原著 (5) を参照されし。

II. 基礎方程式

回路網及び以後使用する記號は、電極の位置を s_1, s_2 で表示する以外は凡て既往の論文 (2, 3, 4) に於て記載せるものを其の儘踏襲する。

吾々は解析の手技の普遍性を示す爲に、刺戟電流が一般に時間 t の任意の函數 $f(t)$ で與へられた場合の cyclic current の満足すべき微分方程式を見出す事を以て本節を始める事にしよう。

(1) 之に附隨して尙論文 (6) をも見られよ。

詳細な考證は原著に譲り、直ちに所要の微分方程式を書き下せば、

$$\left\{ \begin{array}{l} D \frac{\partial^2 J}{\partial x^2} = \frac{\partial J}{\partial t} + gJ - F(t) \end{array} \right. \quad s_1 < x < s_2 \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} D \frac{\partial^2 J}{\partial x^2} = \frac{\partial J}{\partial t} + gJ \end{array} \right. \quad 0 < x < s_1, \quad s_2 < x < l \quad (2)$$

となる。但し此處に $g = k^2 D$ で

$$F(t) = \frac{I}{C(R_1 + R_3)} \left\{ R_1 \Delta f(t) + CR_1 \frac{df}{dt} \right\} \quad (3)$$

と置いた。尚、附帶さるべき初期並びに境界條件は夫々

$$\lim_{t \rightarrow +0} J(x, t) = J_0(x) = \begin{cases} \frac{R_1}{R_1 + R_3} f(0) & s_1 < x < s_2 \\ 0 & 0 < x < s_1, \quad s_2 < x < l \end{cases} \quad (4)$$

$$0 < x < s_1, \quad s_2 < x < l \quad (5)$$

及び

$$\frac{\partial J}{\partial x} = 0 \quad x = 0, x = l \quad (6)$$

で與へられる事は斷る迄も無い。

斯くて吾々の考究すべき解析的主題は明確な形式に於て提示された譯であるが、所要の解は次式で與へられる事が證明出来る。

$$J(x, t) = \int_{s_1}^{s_2} G(x, s; t) J_0(s) ds + \int_{s_1}^{s_2} \int_0^t G(x, s; t-t') F(s, t') dt' \quad (6)$$

上式の被積分項に新らしく出現した $G(x, s; t)$ は下記の如き構造を有する特性函數を表示する：

$$G(x, s; t) = e^{-gt} \left[\frac{1}{l} + \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-D \frac{n^2 \pi^2}{l^2} t} \cos \frac{n\pi}{l} s \cos \frac{n\pi}{l} x \right] \quad (9)$$

曩に論文(2, 4)で取扱つた矩形刺戟電流に關する解式は、之を本論文に移植すれば

$$f(t) = I_0$$

なる特殊な場合に過ぎぬ事を附記して置かう。

III. 本 論

前節で誘導した一般解式を利用して、刺戟が指數函數的減少電流で與へられた場合の電流及び電位の分布を追究してみよう。

其處で刺戟電流の函數形を

$$f(t) = I_0 e^{-Dp^2 t} \quad (8)$$

と置けば、 Dp^2 の逆數は所謂蓄電板放電電流の time constant に他ならない。又 $F(x, t)$ の

具體的形式は

$$F(x, t) = \begin{cases} aD \left(I - \frac{p^2}{k^2} \right) e^{-Dp^2 t} & s_1 < x < s_2 \\ 0 & 0 < x < s_1, s_2 < x < l \end{cases} \quad (9)$$

と表示され、初期條件は簡短に

$$J_0(x) = \begin{cases} \frac{a}{k^2} & s_1 < x < s_2 \\ 0 & 0 < x < s_1, s_2 < x < l \end{cases} \quad (10)$$

となる。(9), (10)を一般解式(6)に代入すれば、直ちに cyclic current 即ち Kern に於ける電流の分布が決定される。積分計算は容易に遂行される故、本抄録に於ては夫等を羅列する事は割愛した。尙而 cyclic current の分布が確定した以上 Kern 並びに Hülle 上の電位分布は速座に求まるのであるが、逐一夫等を書き下す事は原著に譲り、此處では次節に於ける論證に必要な極外部位 Hülle 上の電位並びに Hülle と Kern との間に掛かる電壓⁽¹⁾のみを掲げる事とすれば、

$$U_3^e(x, t) = -\frac{R_3 a}{k^2} (s_2 - s_1) e^{-Dp^2 t} + \frac{R_1 a}{k^2} \frac{2}{l} e^{-Dp^2 t} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-D(k^2 p^2 + \frac{n^2 \pi^2}{l^2}) t} \right] \times \\ \times \left[\sin \frac{n\pi}{l} s_1 - \sin \frac{n\pi}{l} s_2 \right] \frac{1}{k^2 p^2 + \frac{n^2 \pi^2}{l^2}} \sin \frac{n\pi}{l} x \quad s_2 \leq x \leq l \quad (11)$$

$$V(x, t) = (R_1 + R_3) \frac{a}{k^2} \frac{2}{l} e^{-Dp^2 t} \sum_{n=1}^{\infty} \left[1 - e^{-D(k^2 p^2 + \frac{n^2 \pi^2}{l^2}) t} \right] \times \\ \times \left[\sin \frac{n\pi}{l} s_1 - \sin \frac{n\pi}{l} s_2 \right] \frac{1}{k^2 p^2 + \frac{n^2 \pi^2}{l^2}} \sin \frac{n\pi}{l} x \quad 0 \leq x \leq l \quad (12)$$

IV. 理論の應用及び考察

引續き解析的所論の實質的内容の見透しを良くする爲、直接刺戟過程に關與する有効電壓及び實測の對象として意義を持つ電氣緊張性電位との關聯性を剔出してみよう。

例によつて indifferente Ableitelektrode を神經纖維の右端に配置して、此の點の電位に相對的な極外部位 $s_2 < x < l$ 任意の點に於ける電位の値と該部に於ける有効電壓 (depolarisation)⁽¹⁾ の大きさを比較對照すれば、

$$\frac{U_3^e(x, t) - U_3^e(l, t)}{V(x, t)} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (13)$$

(1) 之を時に有効電壓と呼ぶ事がある。その意味は興奮發生に必要な電壓の謂であつて、Rushton (15)の言ふ depolarisation に該當する。

なる関係式が導かれる。上式は勿論陰極部に於ても成立するが故に、曩に (2, 4 参照) 矩形刺戟電流に就て証明を與へた Schaefer (17) の想定は斯くて蓄電板放電電流刺戟乃至感應電撃刺戟に對しても亦均しく妥當性を保有し得る所以が立證された事になる。

次に depolarisation 即ち (12) 式の解析的性質を吟味する爲に

$$k^2 - p^2 = *k^2, \quad a \frac{*k^2}{k^2} = *a \quad (14)$$

と置換を施せば、(12) 式は e^{-Dp^2t} なる因子を除けば全く論文 (2, 4) で論議した矩形刺戟電流による過渡状態の表現式に於て單に $k \rightarrow *k$, $a \rightarrow *a$ と置いたものに他ならない。従つて吾々は此の特性に留意して

$$(i) *k^2 > 0, \quad (ii) *k^2 = 0, \quad (iii) *k^2 < 0 \quad (15)$$

なる 3 個の場合に分類して逐次考察を進めて行く事とする。

(i) 此の場合には特筆すべき現象は惹起しない。長さの單位を $1/k$ から $1/*k$ に、又時間の單位を $1/k^2D$ から $1/*k^2D$ に變換して大體の輪郭を捕捉するに困難を感じない。(12) 式に於て e^{-Dp^2t} を除いた爾餘の項は、之を直角刺戟電流が與へられた場合の解式と比較對照して、單に k^2 を $*k^2$ で置換したものに他ならぬ事が判る (論文 (2, 4) を参照せよ！)。

(ii) 之は神経纖維の特性の 1 つを表象する所謂 time constant⁽¹⁾ の逆數 k^2D が刺戟電流の夫れと一致した特殊な場合に相應する。

(12) 式でやはり e^{-Dp^2t} を除いた項を直角刺戟電流といふ Bezugssystem より眺めれば、恰も漏洩部の電導度は零、従つて Hülle と Kern とは完全に絶縁された場合の解式に他ならぬ事に氣付く。更に (9) より $F(t) = 0$ が得られ、之を (6) に代入して、刺戟電流は $t > 0$ なる凡ての t に對し cyclic current (換言すれば Kern に於ける電流) に何等寄與しないといふ注目すべき結果が得られる。

此の間の事情は更に詳細に述べる必要がある。即ち Kern に於ける電流及び Hülle に於ては極外部 (extrapolare Strecke) を流れる電流は、何れも單に $t = 0$ といふ瞬間に極間部 (intrapolare Strecke) に相當する Kern 上の領域即ち $s_1 < x < s_2$ に配布された電流値のみに依つて一義的に決定されて了ふのである。數學的に表現すれば、夫等は單に初期値のみで確定されるとも言へるのであつて、 $t > 0$ なる凡ての t に對し刺戟電流の見掛け上の影響は Kern 及び Hülle の極外部には全然現はれて來ないことになる。

更に又刺戟電流は恰も Hülle の極間部のみを環流するかの如く振舞ひ、 $t > 0$ なる時刻に於ては神経纖維に對する刺戟効果は全く影を潜めて了ふ所以が理解出来る。

以上の事項を一括して述べるに、刺戟が蓄電板放電電流で與へられた場合、其の time constant が神経纖維の夫れと等しいといふ條件が満足されれば、 $t > 0$ なる凡ての t に對し、陰極

(1) 2.10^{-4} sec. 程度の値を持つ (Rosenberg)

部に對する刺戟電流の效果は完全に消去されるといふ結果になるのである。

此の刮目すべき結論は多くの實用的意義を持つ。從來殆んど凡ての電氣生理學者は、例へば矩形刺戟電流の效果を消去する手段として刺戟電流をある時點で遮斷するといふ方法に據つてゐるが、然し此の方法は、電流遮斷の瞬間に神經纖維を通して逆方向に流れる電流の存在を見落してゐる點に於て重大な誤謬を犯してゐる。此の方法は決して刺戟電流の效果を抹殺する事にはならず、寧ろ刺戟效果を抑制せしめる結果になると言ひ得るのである。

吾々は上述の解析の所論に基き、矩形刺戟電流の效果を消去する唯一の方法は、通電のある時點に於て神經纖維の time constant と同じ time constant で刺戟電流を指數函數的に減少せしめてゆくにある事を提唱したい。

(iii) 此の場合には事態はその相貌を一變してすふ。前同様 e^{-Dp^2t} を除いた殘餘の項を省察すれば、直角電流刺戟に於て恰も漏洩部の電導度を負と置いた時の解式に他ならぬ事が判る。電導度が負といふ表現は奇矯の嫌ひがあるが、之は *verbatim et literatim* に解する必要はない。

此の場合の $V(x,t)$ の行働を (12) の解析的表示に基いて直ちに讀み取るのは難事であるから、先づ特殊な場合に就て $V(x,t)$ の特性を抉剔し之に立脚して1つの可能性に論及する事とする。

偕而、 $V(x,t)$ の符號は單に (12) 式の Σ 以下の項に依存する事に留意して、 $p^2 > k^2$ なる條件を侵害する事なく

$$k^2 - p^2 + \frac{n^2 \pi^2}{l^2} > 0 \quad n=1, 2, 3, \dots$$

を満足するやうに p^2 を撰べば、 Σ 以下の値は充分大きい t の値、換言すれば $t \rightarrow \infty$ に對して有限の値に收斂すべき事は容易に判明する。

今、神經纖維の長さを $20/k$ に取り、刺戟電極の陽極並びに陰極を夫々 $6/k, 9/k$ なる2點に配置すれば、確かに

$$p^2 = \frac{50}{49} k^2 \quad (16)$$

なる p^2 に對し

$$k^2 - p^2 + \frac{n^2 \pi^2}{l^2} > 0 \quad n=1, 2, 3, \dots, \infty$$

が成立する。

然るに (16) が満足される時は、 $\frac{2}{l} \times \Sigma$ 以下の項は

$$\left[\frac{7}{k} \frac{\sin \frac{14}{7} - \sin \frac{11}{7}}{\sin \frac{20}{7}} \sin \frac{x^*}{7} \right] \quad 0 \leq x^* \leq 6 \quad (17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{7}{k} \frac{\sin \frac{6}{7} \sin \frac{1}{7} (20-x^*) - \sin \frac{11}{7} \sin \frac{x^*}{7}}{\sin \frac{20}{7}} \quad 6 \leq x^* < 9 \quad (18) \\ \frac{7}{k} \frac{\sin \frac{6}{7} - \sin \frac{9}{7}}{\sin \frac{20}{7}} \sin \frac{1}{7} (20-x^*) \quad 9 \leq x^* \leq 20 \quad (19) \end{array} \right.$$

なる値を持つ故、之等を計算せれば第1表が得られる。但し $kx=x^*$ と置き単位は $1/k$ に撰んだ事を附記して置かう。

第1表より窺知される如く、充分大きい t に對して神経纖維上の凡ての點に於て負の値を取り得べき事、從つて又 (12) で表現される式もやはり充分大きい t に對し、神経纖維上のあらゆる點で負の値を持ち得る事になる。陰極側に於て $V(x,t)$ が負値を取る事は素朴な考察に依つても容易に推定される處であるが、陰極側のみならず、陽極側に於ても亦 $V(x,t)$ の符號が負になり得るといふ性質に對しては注目を拂ふ必要がある。此の場合、陽極側では $V(x,t)$ は一旦正值を採りたる後、暫て負値に向つて遷移し遂に零に收斂してゆくものである事を申添へて置く。

第 1 表

$kx=x^*$	(17), (18), (19) の値
0	0
1	-0.3222
2	-0.6377
3	-0.9396
4	-1.2229
5	-1.4811
6	-1.7093
7	-2.9005
8	-4.0312
9	-5.0798
10	-5.0284
11	-4.8818
12	-4.6216
13	-4.2745
14	-3.8475
15	-3.3349
16	-2.7471
17	-2.1106
18	-1.4325
19	-0.7238
20	0

第 2 表

$kx=x^*$	(17), (18), (19) に相當する値
0	0
1	0.4198
2	0.8309
3	1.2242
4	1.5934
5	1.9299
6	2.2272
7	2.4793
8	2.6806
9	2.8275
10	1.9166
11	2.9464
12	1.9197
13	0.8539
14	0.7670
15	0.6646
16	0.5488
17	0.4216
18	0.2862
19	0.1446
20	0

次に第2例として陽極及び陰極を夫々 $\frac{11}{k}$, $\frac{13}{k}$ なる點に配置したる時の $\frac{2}{l} \times l$ 以下の項の値を數値計算すれば第2表が得られる。

此の表を一瞥すれば、 $V(x, t)$ は充分大きい t に對し神經纖維上の凡ての點に於て正值を取る事が判明する。従つて此の場合には、陰極側に於ては $V(x, t)$ は先づ負となり次いで符號を變へて正となり遂に零に收斂してゆく事になる。

勿論、 $V(x, t)$ の行働は神經纖維の長さ、刺戟電極の位置、更に又刺戟電流の time constant 等に依存するが故に、上述に特異性が實現され得る爲の條件を一意的に決定するには少からぬ困難を伴ふ事を覺悟せねばならぬ。併し、兎に角刺戟電流の time constant が神經纖維の夫れより小さい場合には、斯かる顯著な特異性の出現の可能性が論證され得るといふ點を強調して識者の注意を喚起したいと思ふ。詳細は原著を参照されたい。

偕而、陰極側の $V(x, t)$ が正值を、又陽極側の $V(x, t)$ が負値を取るといふ性質は Gildemeister (9) の成績⁽¹⁾ 及び Fick の間隙に其の適應性を見出す。Gildemeister は神經纖維の或る箇處に刺戟閾値に近い閾値下の conditioning induction shock を與へた後、夫れに續く様々の時點に於て極大下強度の test shock を相次いで加へる事に依り、兩刺戟の効果は時間間隔を適當に撰ぶならば單獨に與へた第二刺戟の効果よりも或は増大し或は減少する事實を報告してゐる。

Induction shock は指數函数的減少電流と見做し得る事を顧慮するならば、若し其の time constant が神經纖維の夫れよりも小さいといふ條件が實現されてをる限り、此の Gildemeister の成績は吾々の理論より當然豫期される筈のものである。

吾々は一對の刺戟電極の陽極側に於て $V(x, t)$ は先づ正值を、續いて負値を取りつゝ零に收斂して行く場合、或は之と反對に陰極側に於て $V(x, t)$ は先づ負値を、續いて正值を取りつゝ零に近付いてゆく場合の存在し得る事を述べて置いた。Gildemeister の實驗は之等の場合に該當するものであつて、conditioning shock に依る之等 $V(x, t)$ の變化は第二の test shock に基く $V(x, t)$ の變化と重疊して現はれ、 $V(x, t)$ の値の正及び負の時點に於て兩刺戟効果が或は相扶け、或は相退け互に干涉し合ふ所以は容易に理解出来る處であらう。

又注目すべきは conditioning 及び test shock は必ずしも同一刺戟電極より供給されるを要せず、別々の2對の刺戟電極より與へられても尙兩刺戟効果の干涉は起り得る。何故ならば上述の $V(x, t)$ の符號の時間的變化は單に刺戟電極の陽極並びに陰極のみならず、夫等の兩側に横はる極外部位に於ても認め得るからである。併し $V(x, t)$ の大きさは電極より遠ざかるに従ひ漸次減弱する事は斷る迄もない。換言すれば、2對の刺戟電極の距離が大であれば、兩刺戟効果の干涉は起り難くなる。之に就ては大塚教授 (14) の示唆深き綜説を参照されたい。

(1) 尙, Erlanger and Blair の論文 (8) も参照されたい。

最後に未だ完全な理論的證明を缺く蓄電板放電電流による Fick の間隙の謎の解明に論及して見たい。Fick の間隙が陽極部位の陽極性電氣緊張に基因する興奮波に對する遮斷作用の結果に由來する事は疑問の餘地は無い、従つて問題の焦點は Fick の間隙の消失にある。圓谷(18)は蓄電板放電電流に依る Fick の間隙の本態を追求した結果、刺戟回路に挿入された蓄電板の電氣容量を適當に小さく撰ぶ時には、興奮は陽極部より發足し見掛け上間隙を脱出するといふ事實を確認した。

既に吾々は蓄電板放電電流の time constant が神經纖維の夫れより小さい場合には(之は圓谷の實驗に於て蓄電板の電氣容量を充分小さく撰ぶといふ操作に該當する)、陽極部の有效電壓は或る時點に於て負となり得る事を述べた。従つて刺戟電流の強度を充分大ならしむれば、陽極部に於ける depolarisation を興奮の發現に必要なにして且充分な閾値に一致せしめ得べく、此の條件が實現されれば興奮は陽極部より發足し、その結果 Fick の間隙は消失してしまふ事になるのである。

V. 摘 要

前報告に引續き、刺戟が蓄電板放電電流で與へられた場合の解析を遂行し、次の諸事項に論及した。

(i) 單に蓄電板放電電流のみならず刺戟電流が一般に時間の任意の函數で與へられた場合の解式を提示した(II)。

(ii) Hülle 及び Kern に於ける電流、電位の分布を決定した(III)。

(iii) 蓄電板放電電流の time constant が神經纖維の夫れと比較して (a) 大きい場合、(b) 等しい場合、(c) 小さい場合を區別して論じ、(b)、(c) の場合には電流、電位の行動に注目すべき特性が現はれる點を闡明した。

先づ(b)に就て述べるに、陰極部(同じく陽極部)に對する刺戟電流の効果は $t > 0$ なる凡ての時刻に於て完全に消去される。換言すれば、刺戟電流は何等影響を及ぼさない。此の性質を利用して或る時刻以後の矩形刺戟電流の効果を抹殺するには、其の時點に於て刺戟電流を神經纖維の time constant と等しい time constant を以て指數函數的に減弱せしめて行けば良い。從來採用され來つた刺戟電流を遮斷するといふ方法は上述の目的に對しては不適當である。

次に(c)の場合には、Hülle と Kern との間に掛る電壓は陽極側に於て負値を、又陰極側に於て正值を取り得る可能性の存在する所以を指摘し、Fick の間隙に關聯して理論的證明を與へると共に、Gildemeister 及び Erlanger and Blair の2つの刺戟の干涉效果に就ての古典的業績に對し吾々の立場より考察吟味を加へた(IV)。

文 獻

- 1) Blair, H. A. (1932) J. Gen. Physiol., 15 731
Blair, H. A. (1935) Ibid., 18 755
Blair, H. A. (1935) Amer. J. Physiol., 111 515

- Blair, H. A. (1935) *Ibid.*, 112 277
- 2) 江上義之 (1942) 日本生理誌 7 686
 - 3) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics, 10 No. 2
 - 4) 江上義之 (1944) *Ibid.*, 10 No. 2
 - 5) 江上義之 (1944) *Ibid.*, 10 No. 2
 - 6) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 463
 - 7) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 470
 - 8) Erlanger, J. and E. A. Blair (1931) Amer. J. Physiol., 99 108
 - 9) Gildemeister, M. (1908) Pflügers Arch., 124 447
 - 10) Hill, A. V. (1910) J. Physiol., 40 190
 - 11) Hill, A. V. (1936) Proc. Roy. Soc. London, B, 119 305
 - 12) Monnier, A. M. (1934) L'excitation électrique des tissus. Paris: Hermann et Cie.
 - 13) Nernst, W. (1908) Pflügers Arch., 122 275
 - 14) 大塚藤吉 (1931) 日新醫學 21 440
 - 15) Rushton, W. A. H. (1937-38) Proc. Roy. Soc. London, B, 124 210
 - 16) 坂本嶋嶺 (1943) 日本生理誌 8 525
 - 17) Schaefer, H. (1934) Pflügers Arch., 233 229
 - 18) 圓谷 豊 (1942) 日本生理誌 7 357

定常及び過渡的狀態に於ける神經纖維上の電位

分布に關する解析的研究 612.014.423.1

第3報⁽¹⁾ 刺戟が交番電流で與へられた場合

東京帝國大學醫學部生理學教室

江 上 義 之

Egami-Yosiyuki

(昭和18年9月11日受付)

I. 緒 言

標題の研究の第3報告として、刺戟が交番電流で與へられた場合、充分時間が經過して定常狀態 (steady state) に落ち付いた時の電流、電位の行働を探索する。神經纖維の等價回路は既に論文(2, 3, 4, 5, 6, 7)に於て採用せるものと同じ。

II. 本 論

論文(5, 6)に於て提示した一般方法に準據するも目的を達成し得るが、此處では定常狀態のみが解析の對象である事を考慮して Kirchhoff の式より再出發する。

諸而、挿入回路に於ける刺戟電流を $I_0 e^{ipt}$ とし、Kirchhoff の第一及び第二法則を適用すれば、 e^{ipt} なる因子を除いて時間に全く無關係な次記の微分方程式 (cyclic current に關する) を得る。

$$\begin{cases} \frac{d^2 J}{dx^2} = k^2 J - a & s_1 < x < s_2, \\ \frac{d^2 J}{dx^2} = k^2 J & 0 < x < s_1, s_2 < x < l \end{cases} \quad (1)$$

但し

$$k^2 = (R_1 + R_3)(\Lambda_2 + ipC), \quad \frac{R_1}{R_1 + R_3} k^2 I_0 = a \quad (2)$$

と置いた。尚、境界條件としては既往の論文に於けると同様

$$\frac{dJ}{dx} = 0 \quad x=0, x=l \text{ で} \quad (3)$$

が附帶されてゐる事に變りはない。

此の要請を充たす微分方程式(1)の解は既に論文(2, 3)で與へられてゐるから、此處では重複

(1) 昭和18年度大日本生理學會(福岡)にて發表。詳細は Jap. J. Med. Sci., Biophysics に發表の豫定。

を避けて夫等を列記する事は割愛する (例へば論文 (2) の (10) - (12) 式を参照). 其處で之等の解式に (2) を代入し, 其の實數部分を取り出せば 其の項は取りも直さず 所要の解に他ならない.

其れには先づ

$$k = \alpha + i\beta \quad (4)$$

と置いて α, β を決定せねばならない. 計算の結果

$$\begin{aligned} \alpha &= \sqrt{\frac{\Lambda_2 (R_1 + R_2) (1 + \sqrt{1 + p^2 C^2 / \Lambda_2^2})}{2}} \\ \beta &= pC \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{2\Lambda_2 (1 + \sqrt{1 + p^2 C^2 / \Lambda_2^2})}} \end{aligned} \quad (5)$$

を得る. 斯くて cyclic current は決定し得られるのであるが, 實數部分と虚數部分との分離に迄要する途中の計算は多少錯綜してをり, 且又個々の場合を照應して一々結果を引き出すのは煩に堪へぬ處であるから, 此處では測定可能な Hülle 上の電位 (電氣緊張性電位) 及び直接刺戟過程に關與すると考へられる有效電壓 (peolarisation) のみに議論を限局する. 扱而, 論文 (2, 4) で誘導した結果を利用して極外部位に於ける電氣緊張性電位並びに depolarisation は次式で表示される事が證明される (途中の計算に就ては原著を参照されたい).

$$\begin{cases} U_s(x, t) = P(s_1, s_2) \frac{R_1 a}{k^2} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha x - \cos 2\beta x}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \sqrt{\cosh 2\alpha l - \cos 2\beta l}} \cos(pt + q) & 0 \leq x \leq s_1 \\ U_s(x, t) = -\frac{R_2 a}{k^2} (s_2 - s_1) \cos pt - Q(s_1, s_2) \frac{R_1 a}{k^2} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha(l-x) - \cos 2\beta(l-x)}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \sqrt{\cosh 2\alpha l - \cos 2\beta l}} \cos(pt + q) & s_1 \leq x \leq l \end{cases} \quad (6)$$

及び

$$\begin{cases} V_1(x, t) = P(s_1, s_2) \frac{(R_1 + R_2) a}{k^2} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha x - \cos 2\beta x}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \sqrt{\cosh 2\alpha l - \cos 2\beta l}} \cos(pt + q) & 0 \leq x \leq s_1 \\ V_2(x, t) = -Q(s_1, s_2) \frac{(R_1 + R_2) a}{k^2} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha(l-x) - \cos 2\beta(l-x)}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \sqrt{\cosh 2\alpha l - \cos 2\beta l}} \cos(pt + q) & s_1 \leq x \leq l \end{cases} \quad (7)$$

但し此處に

$$\begin{cases} P(s_1, s_2) = \left\{ \cosh \alpha(2l - s_1 - s_2) + \cos \beta(2l - s_1 - s_2) \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \cosh \alpha(s_2 - s_1) - \cos \beta(s_2 - s_1) \right\}^{\frac{1}{2}} \\ Q(s_1, s_2) = \left\{ \cosh \alpha(s_1 + s_2) + \cos \beta(s_1 + s_2) \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \cosh \alpha(s_2 - s_1) - \cos \beta(s_2 - s_1) \right\}^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

と置き、現實の問題として極外部のみを對象とした。又位相 q は錯雜した構造を有する故、此處では其の表式を掲げる事を割愛し、只夫れが x の函數として與へられてゐる點を指摘するに止める。

III. 理論の應用及び考察

前節に於て誘導せる電氣緊張性電位及び depolarisation の表式は嚴正解である點に於て満足すべきものではあるが、之等を周波數の函數として取扱ひ事態を明朗化するには餘りにも複雑すぎる憾無しとしない。従つて許容される範圍の單純化を斷行して、周波數の函數としての性格を鮮明ならしむるのが本節の趣旨である。

此の單純化を企圖するに當つて、吾々は一面に於て實驗 data を收攬して常數値を決定すると共に、又他面に於ては實驗條件を適宜に調整して理論の適用を平滑ならしむべく努力すべきである⁽¹⁾。

其處で測定は下記の條件を充たす如く遂行されるものと想定する(單純化の條件! 論文(7)を参照)。

- (i) 一對の刺戟電極は共に神經纖維の兩端に近接して配置する事を避ける。
 - (ii) 極間距離は(i)の條件を侵害しない程度で可及的大きく撰ぶ。例へば Rosenberg (9) の實驗の如く 20mm 程度に取る。
 - (iii) 中間距離(intermediate distance) は可及的小きくする。例へば Rosenberg (loc.cit.) の測定のやうに中間距離は零にする。
 - (iv) 例へ上掲の條件が多少侵害されるとも、必要な程度に周波數を充分高める。
- 次に常數値の評價に取り掛らう。

(5) より

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\beta}{\alpha} &= \frac{pC/\Lambda_2}{1 + \sqrt{1 + p^2 C^2/\Lambda_2^2}} \\ \alpha^2 + \beta^2 &= \Lambda_2 (R_1 + R_3) \left\{ 1 + \frac{pC/\Lambda_2^2}{1 + \sqrt{p^2 C^2/\Lambda_2^2}} \right\} \end{aligned} \right. \quad (8)$$

を得る。因に Rushton (10) の測定に依れば、蛙の坐骨神經纖維に就て suspension in air で

$$(R_1 + R_3) \Lambda_2 = \frac{100}{9} \text{ cm}^{-1}$$

なる値が得られてをり、又 Rosenberg (9) の神經纖維の所謂 time constant に關する實驗に従へば、

$$C/\Lambda_2 = 2 \times 10^{-4} \text{ sec}$$

であると言ふ。

今、假に實驗に供する神經纖維の長さを 6cm に取れば、近似的に

(1) 以下の所論は論文(6, 7)に於て反復強調せる筆者の意圖を反映してゐる部分である。

$$\alpha l = 20 \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + \beta^2 C^2 / \Lambda^2}}{2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

が成立する。

扱而、之等の數値を材料として、上に提示した要請が充たされる時は事態は如何やうに單純化されるかを次に示す事としよう。

(9)より明らかに

$$2 \alpha l \geq 40$$

従つて

$$\sqrt{\cosh 2\alpha l - \cos 2\beta l} = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{l\alpha} \quad (10)$$

と見做して差支へない。更に條件 (i), (ii) が實現されれば、刺戟電極の近傍に對して

$$\begin{cases} \sqrt{\cosh 2\alpha x - \cos 2\beta x} = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{\alpha x} \\ \sqrt{\cosh 2\alpha(l-x) - \cos 2\beta(l-x)} = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{\alpha(l-x)} \end{cases} \quad (11)$$

が成立し、同様に又 $P(s_1, s_2)$, $Q(s_1, s_2)$ に對し

$$P(s_1, s_2) = \frac{1}{2} e^{\alpha(l-s_1)}, \quad Q(s_1, s_2) = \frac{1}{2} e^{\alpha s_2} \quad (12)$$

と置いて差支へない。

其處で前節 (6), (7) の兩式に之等の近似値を代入すれば、

$$\begin{cases} U_1^e(x, t) = \frac{R_1 a}{k^2} \frac{e^{-\alpha(s_1-x)}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\cos(pt+q)}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}} & 0 < x < s_1 \\ U_3^e(x, t) = -\frac{R_3 a}{k^2} (s_2-s_1) \cos pt - \frac{R_1 a}{k^2} \frac{e^{-\alpha(x-s_2)}}{\sqrt{2}} \frac{\cos(pt+q)}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}} & s_2 < x < l \end{cases} \quad (13)$$

及び

$$\begin{cases} V_1(x, t) = (R_1 + R_3) \frac{a}{k^2} \frac{e^{-\alpha(s_1-x)}}{\sqrt{2}} \frac{\cos(pt+q)}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}} & 0 < x < s_1 \\ V_3(x, t) = -(R_1 + R_2) \frac{a}{k^2} \frac{e^{-\alpha(x-s_2)}}{\sqrt{2}} \frac{\cos(pt+q)}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}} & s_2 < x < s_1 l \end{cases} \quad (14)$$

が誘導される。

之等の表式は其の構造頗る單純であり、又其の包藏する物理的内容も極めて直觀的である特徴を持つ。曩に提示した條件が満足される時は、神經纖維の長さは最早や之を無視しても差支へなく、實驗成績の判定に當つて考慮すべき因子の數は低減し、従つて夫れだけ實驗條件の吟味に對して安定性が増大する事になる。然のみならず、理論的解析夫れ自體の運用も遙かに簡

潔化され、前節で算出を差し控へた位相 q の構造の全貌も亦鮮明に浮び上つて來るのである。

楮而、既述の條件が充たされた場合には、神經纖維の長さは不關因子である點を念頭に置き、何等一般性を喪ふ事なく夫れを無限大と見做して新に議論を展開する事とする。今、電極間の中點を座標の原點に、且極間距離を $2s$ に撰び、 $x=-s$ なる點に陽極を、 $x=s$ なる點に陰極を配置すれば、

$$\left\{ \begin{aligned} U_1^e(x, t) &= -\frac{R_3 a}{k^2} s \cos pt + \frac{R_1 a}{k^2} \frac{e^{ax}}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha s - \cos 2\beta s}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \cos(\beta x + pt + q) & -\infty < x \leq -s \\ U_3^e(x, t) &= \frac{R_3 a}{k^2} s \cos pt - \frac{R_1 a}{k^2} \frac{e^{-ax}}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha s - \cos 2\beta s}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \cos(-\beta x + pt + q) & s \leq x < \infty \end{aligned} \right. \quad \dots\dots\dots (15)$$

之と相並んで

$$\left\{ \begin{aligned} V_1(x, t) &= (R_1 + R_3) \frac{a}{k^2} \frac{e^{ax}}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha s - \cos 2\beta s}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \cos(\beta x + pt + q) & -\infty < x \leq -s \\ V_3(x, t) &= -(R_1 + R_3) \frac{a}{k^2} \frac{e^{-ax}}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\cosh 2\alpha s - \cos 2\beta s}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \cos(-\beta x + pt + q) & s \leq x < \infty \end{aligned} \right. \quad \dots\dots\dots (16)$$

が導かれる。

但し此處に

$$q = \arctan \frac{\alpha \sin \beta s \cosh \alpha s - \beta \cos \beta s \sinh \alpha s}{\alpha \cos \beta s \sinh \alpha s + \beta \sin \beta s \cosh \alpha s} \quad (17)$$

を表はす。

次に解析的表示の物理的内容の吟味に移る。先づ indifferente Ableitelektrode を刺戟電極より充分隔離した點 (例へば陰極側) に配置し、此の點の電位を基準に撰んで陰極側外部任意の點に於ける相對電位の大きさ、即ち其の點に於ける電氣緊張電位と該點に於ける depolarisation とを比較すれば、次記の關係式

$$\frac{U_3^e(x, t) - U_3^e(\infty, t)}{V_3(x, t)} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (18)$$

に到達する。

特に $x=s$ と置いて陰極部に於ける depolarisation の大きさが閾値 $-V_0$ に達した瞬間興奮が發現すると假定すれば、其の瞬間には電氣緊張性電位も亦1つの確定値を取り相互の間に一意的な對應が成立つ。嘗つて (2, 4, 5, 6 参照) 紹述した Schaefer (11) の想定は交番電流に依る刺戟の場合にも亦其の妥當性が保證されるのである。

引續き交流刺戟理論に於て屢々唯一の對象として取り上げられて來た strength-frequency-relation に論及して見たいと思ふ。興奮發現に必要な條件は (16) 式に於て $x=s$ と置いた時 $V_3(s,t) = -V_0$ が成立する事である。従つて直ちに

$$V_0 = \frac{R_1 I_0}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \frac{e^{-\alpha s}}{\sqrt{2}} \sqrt{\cosh 2\alpha s - \cos 2\beta s} \quad (19)$$

を得る。但し直接 strength-frequency-relation に無關係な餘弦函數の項は省略した。

擬而、 α, β は共に周波數の函數であり、上式より I_0 と p との函數關係を單純な形式に於て表現する事は稍困難を伴ふ。併し、周波數乃至極間距離に制限を加へて

$$\cosh 2\alpha s > \cos 2\beta s$$

ならしめれば、(19)を素朴な表式に還元せしむる事も不可能ではない。此の場合には (8) と共に次記の關係式

$$V_0 = \frac{R_1}{2} \sqrt{\frac{1}{(R_1 + R_3) \Lambda_2}} \frac{I_0}{\sqrt{1 + p^2 C^2 / \Lambda_2^2}} \quad (20)$$

が導かれる。之は周知の Blair (1) 及び Hill (8) の解式と同型ではあるが、此處では回路常數よりの構成が具體的に示されると同時に、彼等の論證に於ては全く等閑に附された公式 (20) の適用範圍に就ての吟味が遂行されてゐる點に留意する必要がある。

若し刺戟電極が近接して配置されるか、或は又周波數が低い場合には、吾々は再び (19) 式に立ち還つて strength-frequency-relation を省察する事を怠つてはならない。

最後に、吾々の理論的解析に固有な若干の性質に就て述べる。

電氣緊張性電位並びに depolarisation に就て、極外部任意の點に於ける位相のズレを計測すれば、明らかに

$$\begin{cases} -\beta x + q & s < x < \infty \\ \beta x + q & -\infty < x < s \end{cases}$$

で與へられ、距離の一次函數で表現される。之より吾々は位相の傳搬速度なる概念を導入すれば、夫れは次式で規定される値を持つ：

$$v = \frac{p}{\beta} = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{\Lambda_2 (1 + \sqrt{1 + p^2 C^2 / \Lambda_2^2})}{R_1 + R_3}} \quad (21)$$

以上の考察の経緯を省みて、吾々は電氣緊張性電位の波動的性格を歴然と読み取る事が出来るであらう。交流刺戟にあつては、電氣緊張性電位は波動性の様相を示しつつ、一對の刺戟電極より遠心的に (21) で與へられる速度を以て傳搬して行くのである。而も、傳搬速度は單に回路常數に依つて規定されるのみならず、周波數の單調増加函數として與へられる點を指摘して置きたい。

第二の特性の傳搬の性格が減衰の色彩を帯びる點にある。其の單位の長さに就ての減衰の割

合は

$$\exp - \sqrt{\frac{\Lambda_2 (R_1 + R_3) (1 + \sqrt{1 + p^2 C^2 / \Lambda_2^2})}{2}} \quad (22)$$

で表示され、周波数の高いもの程一層迅速に減弱すべき所以が論結される。

之等微細な點に亘つて吾々が敢行した解析的所論が果して肯綮を得たものであるや否やに就ては、實驗的分析の知見の乏しい今日遽かに斷定を下す事は差し控へねばなるまい。

IV. 摘 要

前報告に引續き、交番電流に依る刺戟が與へられた場合の理論的解析を遂行し、次の如き結果を得た。

(i) strength-frequency-relation に關する 在來の表式は 或る特定の條件が満足される時にのみ成立する點を立證すると共に其の適用範圍に検討を加へ、夫等の式に含まれる parameter の構造を闡明した。

(ii) (i)に關聯してより一般的な理論式を提示し、式の單純化に要請される實驗條件判定に就ての吟味を重ねつゝ、實驗條件に對して適確な認識の不可欠なる所以を説いた。

(iii) 電氣緊張性電位の分布を決定し、Schaefer の興奮發現に關する推定は交流刺戟にあつても其の妥當性が保證される事を證明した。

(iv) 電氣緊張性電位の波動的性格に論及し、其の傳搬速度は周波数の單調増加函數であること。

(v) 又その傳搬の様式は減衰的であり、其の減衰率も又周波数の單調増加函數で與へられる事等を導いた。

文 獻

- 1) Blair, H. A. (1932) J. Gen. Physiol., 15 731
Blair, H. A. (1935) Ibid., 78 755
Blair, H. A. (1935) Amer. J. Physiol., 111 515
Blair, H. A. (1935) Ibid., 112 277
- 2) 江上義之 (1942) 日本生理誌 7 686
- 3) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics, 10 No. 2
- 4) 江上義之 (1944) Ibid., 10 No. 2
- 5) 江上義之 (1944) Ibid., 10 No. 2
- 6) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 453
- 7) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 470
- 8) Hill, A. V. (1936) Proc. Roy. Soc. London, B, 119 305
- 9) Rosenberg, H. (1937-38) Ibid., 124 308
- 10) Rushton, W. A. H. (1934) J. Physiol., 82 332
- 11) Schmitz, W. und H. Schaefer (1934) Pflügers Arch., 233 229

刺戟效果に及ぼす神經纖維の長さ及び

刺戟電極の大きさの影響に就て⁽¹⁾ 612.816.1

東京帝國大學醫學部生理學教室

江 上 義 之

Egami-Yosiyuki

(昭和18年9月20日受付)

I. 緒 言

目下遂行中の定常及び過渡的狀態に於ける神經纖維上の電位分布に關する解析的研究の一應用課題として、刺戟效果に及ぼす神經纖維の長さ及び刺戟電極の大きさの影響を究明するを以て本論文の趣旨とする。尙、本稿は近く誌上に掲載さるべき一連の研究報告(2, 3, 4, 5, 6, 7)と不即不離の關係にあるもの故、筆者の意圖を洞察する爲には之等の論文をも参照されて不備の諸點を補足されん事を切望する。詳細は原著に譲る。

A. 刺戟效果に及ぼす神經纖維の長さの影響

II. 本 論

既に論文(1, 2, 3)に於て縷述せる如く、神經纖維乃至核電導體模型の回路常數を除外視すれば、吾々の制御し得る可變的要素は4個ある：

- (i) 刺戟電流の大きさ I_0 ,
- (ii) 一對の刺戟電極の位置 s_1, s_2 ⁽²⁾ ($s_1 < s_2$)
- (iii) 神經纖維乃至核電導體模型の長さ l .

此の最後に擧げた因子が刺戟效果に對して如何なる意義を有するかを見極める爲、他の因子(i), (ii)は之を固定して置き、長さ l のみを變數として取扱ふ事にする。尙、刺戟效果に對する影響は定常狀態、從つて rheobase を目標として論ずる事にする。

扱而、與へられた s_1, s_2 に對し2つの組合せが可能である。即ち

- (a) $x=s_1$ に陽極, $x=s_2$ に陰極が配置されてゐる場合
- (b) $x=s_1$ に陰極, $x=s_2$ に陽極が配置されてゐる場合.

先づ (a) の場合より初める。論文(1, 2)で誘導した $V(x)$ の表式即ち Rushton の唱ふ depolarisation の大きさが l の變化に隨伴して如何やうに推移するかを探索する爲 l に就て微

(1) 詳細は Jap. J. Med. Sci., Biophysics に發表の豫定.

(2) ξ_1, ξ_2 の代りに s_1, s_2 を採用した

分すれば,

$$\frac{\partial V_1(s_1)}{\partial l} < 0$$

従つて陽極部に於ける V の値は l の増加に伴ひ單調に減少する.

同様にして

$$\frac{\partial V_3(s_2)}{\partial l} > 0$$

より陰極部に於ける V の値も亦 l の増加につれてやはり單調に減少する事が判明する. 従つて V の絶対値夫れ自身に就て言へば, 陽極では減少するに反し陰極では増大する結果になる.

次に (b) に移る. 兩電極の置換は單に刺戟電流の符號を變更するに過ぎない故,

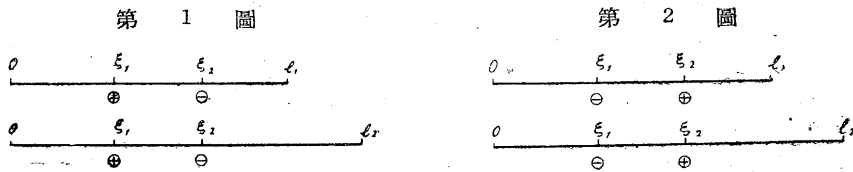
$$\frac{\partial \tilde{V}_1(s_1)}{\partial l} < 0, \quad \frac{\partial \tilde{V}_3(s_2)}{\partial l} > 0$$

を得る. 此處に $\tilde{V}$ は電極を交換した時の V の値を示す. 之等の表式より陰極部並びに陽極部に於ける $\tilde{V}$ の値は共に單調に増大し, 従つて又絶対値其の者に就て言へば, 陰極では減少するに反し陽極では逆に増大する結果になる.

以上を要約すれば, 異なつた長さの神経纖維⁽¹⁾に就て刺戟電極の位置を固定しつゝ同一強度の直角刺戟電流を通电したる場合, 神経纖維の長さの増加に伴ひ陰極部に於ける V の値即ち depolarisation に對し次記の如き 2 つの變動が出現する:

(a) 若し陰極が神経纖維の 2 つの切斷端の右端側に位置してゐる場合には單調に増大する (第 1 圖参照).

(b) 之と反對の場合には單調に減少する (第 2 圖参照).



此の結果を敷衍して, 吾々は基電流 (rhéobase) と神経纖維の長さとの聯關性を次の法則で規定する事が出來よう.

異つた長さの神経纖維に對し, (a) の條件が満足されてゐる時は, 神経纖維の長さの増加に伴ひて基電流は單調に減少する. 之に反し (b) の條件が充たされてゐる時は基電流は逆に増大する. 但し刺戟電極の位置は固定されてゐるものとする.

III. 考 察

前節に於て吾々は實驗條件に對して正確なる認識の不可欠なる所以に就き簡潔な例證を與へ

(1) 斷る迄もなく, 回路常數は一定でなくてはならない.

た。刺戟效果に及ぼす被刺戟性形體（此處では神経纖維）の長さの影響は從來少數の學者が素朴的態度を以て思惟せる程、事態は單純に片付けられる性質のものではないのである。一般に電流刺戟に關する理論的乃至實驗的分析に直面して、單に強度及び時間要素のみを取上げて他の因子を顧みないのは正鴻を得たものとは斷定し難く、必ずや之等の要素の有する重要性和同等の重要性を以て、被刺戟性形體の長さ、刺戟電極の位置をも合せて考慮に入れ、且之等を實驗 data の記載と共に常に明記する事を怠つてはならないのである。此の事項に關しては既に論文 (1, 2, 3) に於て斷片的に若干の考察を進め、識者の注意を喚起した處であるが、單に被刺戟性形體の長さの影響の檢索を目的とする理論的乃至實驗的分析に於ても亦、刺戟電極の位置を不問に附し其の必然の結果として實驗條件の正確なる吟味を缺く時は、其の業績の包攝する内容の大半は意義を喪失する事になる。

例へば Rosenberg (10) の如きは、周到なる用意を以て神経纖維の長さ、極間距離及び中間距離 (intermediate distance) の記載を粗忽にせず、實驗生理學者としての態度に吾人を敬服せしむるものがあるが、夫れでも尙刺戟電極の絶對的位置の有する意義に到つては之を明確に把握してゐないかの如き憾みがある。

然し suspension in air の實驗に於ては次の條件が満足されれば、刺戟電極の絶對的位置の顧慮は不必要となる。即ち一對の刺戟電極は何れも神経纖維の兩端より少く共 2cm 距つて位置してゐる場合。

從つて此の要請が充たされれば、單に兩電極の相對的位置、換言すれば極間距離の函數として問題を取扱へば宜い。更に此の條件に加ふるに極間距離 2cm 以上といふ條件を以てすれば、最早や刺戟電極の位置に對しては殆んど顧慮を拂ふ必要はない。

此の理由は次の事實に基く： Rushton (11) の測定値⁽¹⁾

$$k = \frac{10}{3} \text{ cm}^{-1}$$

を V の表式に代入し、 l, s_1, s_2 の色々の値に對して數値計算を遂行すれば、上掲の附帶條件が充たされる時 V の値は l, s_1, s_2 に對し殆んど無關係に振舞ふ事が證明されるからである（之を單純化の條件と呼ぼう）。從つて此の場合には實驗に供する神経纖維の全長は少く共 6cm 以上であるを要する。

勿論之等 l, s_1, s_2 に就ての臨界値は k の値に依存するが故に、 k の値如何に依つては或る時は臨界値を大きく、又或る時は小さく見積らねばならない。而して k は神経纖維夫れ自體の内部環境の變化及び之を圍繞する外部環境の變化の支配下にあり、從つて可變の因子であるを想へば、 k の計測は臨界値の決定引いては又實驗條件の單純化を企圖する場合には常に絶對的意義を持つ。

(1) Suspension in air で得られた値

換言すれば、先づ以て k の値が測定され之より計算に基いて臨界値が算出された後實際上掲の單純化の條件が満足されてゐる事實が確證されぬ限り、吾々が素朴な推定より出發して何の躊躇もなく直ちに神経纖維の長さ及び刺戟電極の位置を抹殺して丁度態度は多分に危險性を包蔵してゐるものと言へる。

之を文獻に徴するに、精細なる實驗的知見の匱乏を遺憾とせざるを得ないが⁽¹⁾、松本氏 (8) は同氏の實驗成績を總攬して次の法則性の許容さるべき事を提唱した。

曰く、電流刺戟なるものは、被刺戟性形態對電極の大きさの關係が小なるに従ひ、其の時間要素及び強さ要素は大となると。

勿論、同氏の實驗の前半は緋目高を、又後半は蛙の縫匠筋を對象とせるものであるが故に、今直ちに筆者の解析的所論を以て氏の實驗成績に批判を加へようとする者ではない。只同氏の論文には實驗條件に就て詳細なる記載の證跡を缺きその故に氏の推斷せる一般的論結は筆者の解析的結論と背馳するを餘儀なくされたものと解釋すべきであらう事を指摘するに止める。

B. 刺戟效果に及ぼす電極の大きさの影響

IV. 本論への準備

吾々は從來の論攷 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) に於て、一切の解析的論證を cyclic current の満足すべき微分方程式を樹立する事を以て始めたが、此處では主題の目的に添ふ爲に depolarisation V の充たすべき特性に留意しつつ微分方程式を書き換へる事にする。既に論文 (例へば 1) で提示した回路網模型に Kirchhoff の第 1 及び第 2 法則を適用し cyclic current I を消去すれば次の微分方程式に到達する：

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = k^2 V \quad x=s_1, x=s_2 \text{ を除く凡ての點で (1)}$$

刺戟電流の流入する點 $x=s_1$ 及び流出する點 $x=s_2$ では電位の連續性の條件

$$V(x) \Big|_{s_1+0}^{s_1-0} = 0, \quad V(x) \Big|_{s_2+0}^{s_2-0} = 0 \quad (2)$$

と竝んで、次記の如き $V(x)$ の第 1 次導函数に對する不連續性の要請

$$\frac{\partial V}{\partial x} \Big|_{s_1+0}^{s_1-0} = R_1 I_0, \quad \frac{\partial V}{\partial x} \Big|_{s_2+0}^{s_2-0} = -R_1 I_0 \quad (3)$$

が充たされねばならない。

之等一對の點源は夫々湧出口 (Quelle) 及び疎通口 (Senke) と呼稱され、微分方程式 (1) の解の唯一性は境界條件

$$V(x) = 0 \quad x=0, x=l \text{ で (4)}$$

(1) 近く小澤氏 (9) の論文が發表された。以下述べる注意は同氏の研究に對しても當て嵌る事を申し添へて置かう。

に依つて保證される。

微分方程式 (1) の線型性質に留意して先づ湧出口に基因する解を求めれば、

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_1^+(x, s_1) = \frac{R_1 I_0}{k} \frac{\sinh k(l-s_1)}{\sinh kl} \sinh kx \quad 0 < x < s_1 \\ \Gamma_2^+(x, s_1) = \frac{R_1 I_0}{k} \frac{\sinh ks_1}{\sinh kl} \sinh k(l-x) \quad s_1 < x < l \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_1^+(x, s_1) = \frac{R_1 I_0}{k} \frac{\sinh k(l-s_1)}{\sinh kl} \sinh kx \quad 0 < x < s_1 \\ \Gamma_2^+(x, s_1) = \frac{R_1 I_0}{k} \frac{\sinh ks_1}{\sinh kl} \sinh k(l-x) \quad s_1 < x < l \end{array} \right. \quad (6)$$

と與へられる事は容易に判明する。全く同様に疎通口に基因する解は

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_1^-(x, s_2) = -\frac{R_2 I_0}{k} \frac{\sinh k(l-s_2)}{\sinh kl} \sinh kx \quad 0 < x < s_2 \\ \Gamma_2^-(x, s_2) = -\frac{R_2 I_0}{k} \frac{\sinh ks_2}{\sinh kl} \sinh k(l-x) \quad s_2 < x < l \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_1^-(x, s_2) = -\frac{R_2 I_0}{k} \frac{\sinh k(l-s_2)}{\sinh kl} \sinh kx \quad 0 < x < s_2 \\ \Gamma_2^-(x, s_2) = -\frac{R_2 I_0}{k} \frac{\sinh ks_2}{\sinh kl} \sinh k(l-x) \quad s_2 < x < l \end{array} \right. \quad (8)$$

となる。従つて所要の V の解式は (5), (6), (7), (8) を適宜に組合して

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1(x) = (5) + (7) \quad 0 \leq x \leq s_1 \\ V_2(x) = (6) + (7) \quad s_1 \leq x \leq s_2 \\ V_3(x) = (6) + (8) \quad s_2 \leq x \leq l \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1(x) = (5) + (7) \quad 0 \leq x \leq s_1 \\ V_2(x) = (6) + (7) \quad s_1 \leq x \leq s_2 \\ V_3(x) = (6) + (8) \quad s_2 \leq x \leq l \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1(x) = (5) + (7) \quad 0 \leq x \leq s_1 \\ V_2(x) = (6) + (7) \quad s_1 \leq x \leq s_2 \\ V_3(x) = (6) + (8) \quad s_2 \leq x \leq l \end{array} \right. \quad (11)$$

と表現され、曩に論文(1, 2)で得た結果と完全に一致する。

以上を要約すれば、 I の代りに V に就て微分方程式を書き下せば電源の陽極並びに陰極に接續してある神経纖維上の點は depolarisation に對し一對の點源として振舞ふ事になるのである。

V. 本 論

以上の所論より明瞭に窺知される如く、IV で得た結果は一對の刺戟電極の大きさは何れも共に點源である事を假定してゐる。若し刺戟效果に及ぼす電極の大きさの影響を考慮するならば、吾々は一對の點源の代りに刺戟電極の大きさに相當した範圍に亘つて一様に連續的に分布した湧出口及び疎通口を對象とせねばならない。吾々は何等解析的困難に逢着する事なく IV で導いた結果を一般化して所期の目的を達成し得る事を次に示さう。

俾而、刺戟電極の幅徑を共に 2Δ とすれば、湧出口は $s_1 - \Delta < x < s_1 + \Delta$ なる範圍に、又疎通口は $s_2 - \Delta < x < s_2 + \Delta$ なる範圍に一様に分布してゐる事になる。此處に吾々は何等一般性を失ふ事なく、刺戟電極の大きさは互に對稱的であると假定したが、此の場合には刺戟電流密度も亦對稱的であり其の大きさは $I_0/2\Delta$ となる。やはり微分方程式 (1) が線型である事を念頭に置いて先づ湧出口に基因する V の分布を求めれば、前節 (5), (6) の兩式は點狀湧出口に基因する depolarisation の解析的表現である事に留意して

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1^+(x; s_1, \Delta) = \frac{1}{2\Delta} \int_{s_1-\Delta}^{s_1+\Delta} \Gamma_1^+(x, s) ds \quad 0 \leq x \leq s_1 - \Delta \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_2^+(x; s_1, \Delta) = \frac{1}{2\Delta} \int_{s_1-\Delta}^x \Gamma_2^+(x, s) ds + \frac{1}{2\Delta} \int_x^{s_1+\Delta} \Gamma_1^+(x, s) ds \quad s_1 - \Delta \leq x \leq s_1 + \Delta \end{array} \right. \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_3^+(x; s_1, \Delta) = \frac{1}{2\Delta} \int_{s_1-\Delta}^{s_1+\Delta} \Gamma_2^+(x, s) ds \quad s_1 + \Delta \leq x \leq l \end{array} \right. \quad (14)$$

で與へられる事になる。同様にして連続的に分布せる疎通口の解として

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1^-(x; s_2, \Delta) = \frac{1}{2\Delta} \int_{s_2-\Delta}^{s_2+\Delta} \Gamma_1^-(x, s) ds \quad 0 \leq x \leq s_2 - \Delta \end{array} \right. \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_2^-(x; s_2, \Delta) = \frac{1}{2\Delta} \int_{s_2-\Delta}^x \Gamma_2^-(x, s) ds + \frac{1}{2\Delta} \int_x^{s_2+\Delta} \Gamma_1^-(x, s) ds \quad s_2 - \Delta \leq x \leq s_2 + \Delta \end{array} \right. \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_3^-(x; s_2, \Delta) = \frac{1}{2\Delta} \int_{s_2-\Delta}^{s_2+\Delta} \Gamma_2^-(x, s) ds \quad s_2 + \Delta \leq x \leq l \end{array} \right. \quad (17)$$

が導かれる。従つて(12), (13), (14), (15), (16), (17)を適當に組合せば主題の解は次記の諸式

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1(x; s_1, s_2, \Delta) = (12) + (15) \quad 0 \leq x \leq s_1 - \Delta \end{array} \right. \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_2(x; s_1, s_2, \Delta) = (13) + (15) \quad s_1 - \Delta \leq x \leq s_1 + \Delta \end{array} \right. \quad (19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_3(x; s_1, s_2, \Delta) = (14) + (15) \quad s_1 + \Delta \leq x \leq s_2 - \Delta \end{array} \right. \quad (20)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_4(x; s_1, s_2, \Delta) = (14) + (16) \quad s_2 - \Delta \leq x \leq s_2 + \Delta \end{array} \right. \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_5(x; s_1, s_2, \Delta) = (14) + (17) \quad s_2 + \Delta \leq x \leq l \end{array} \right. \quad (22)$$

で表現される。尙上式に出現した積分は極めて簡単に計算し得られる事を附記して置く。詳細は原著を参照されし。

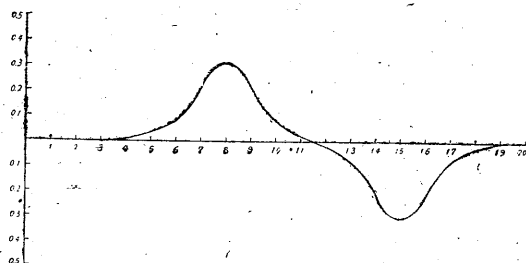
VI. 理論の應用及び考察

V の分布状態を一目瞭然ならしむる爲に前節 (18) - (22) 式に基き數値計算を遂行し、其の結果を圖示すれば第3圖の如くなる。此處に横軸並びに縦軸の目盛の單位は夫々

$$\frac{1}{k}, \quad \frac{R_1 I_0}{k}$$

に刻まれ、全長 $20/k$ の神経纖維上 $s_1=8/k$, $s_2=15/k$ なる2點に夫々刺戟電極の陽極及び陰極が配置されてゐるものとし、且電極の幅徑 2Δ を $2/k$ に撰んだ。既に III で觸れた

第 3 圖



Rushton (loc. cit) の測定値を借用すれば、

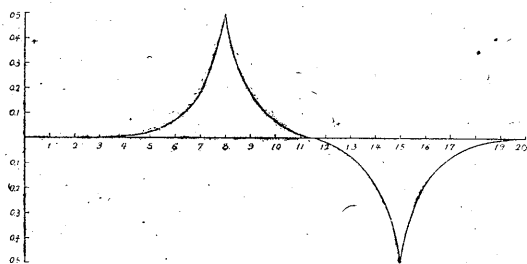
第 3 圖 Graph の具體的内容は

神経繊維の長さ $l=6\text{cm}$,
 陽極の位置 $s_1=2.4\text{cm}$,
 陰極の位置 $s_2=4.5\text{cm}$,
 刺戟電極の幅徑 $2\Delta=6\text{mm}$

なる刺戟條件に該當する事となる。勿

論刺戟電極の幅徑 6mm は suspension in air に於ける刺戟電極の大きさの値としては過大であり、實際的意義を持ち得ないかも知れない。併し翻つて本稿起草の意圖を再び想起するならば此の難色に對する危懼は全く杞憂に過ぎぬ所以が判明するであらう。何故ならば吾々の解析の主題は刺戟效果に及ぼす電極の大きさの影響を解明する事に存するのであつて、單に刺戟電極の相對的大きさのみ考察の對象として問題に介入し來たり、其の實際上の大きさは理論の本質に取つて何等決定的役割を演じてゐないからである。今、第 3 圖を點狀電極に基く V の分布狀態 (第 4 圖参照) と比較對照するならば、兩者の間に横る實質的差異は明瞭に把握出来るであらう。

第 4 圖



先づ第 4 圖に於て電極部に出現せる一對の cusp は第 3 圖では消失して予ひ、之と同時に陰極部に於ける depolarisation の値 $V(s_2)$ の絶対値は減少し來れる事態が判明する。

此の第 2 の特性こそ、刺戟電極の大きさが刺戟效果に及ぼす影響を如實に

反映してゐる部分であつて、今試みに陰極部に於ける depolarisation の値を (21) 式に基き Δ の色々の値に就て計算すれば次表の如くなる。

Δ の値	${}^a V_4(s_2)$ の値
0	-0.499
$\frac{1}{60} \cdot \frac{1}{k} = 0.1\text{mm}$	-0.488
$\frac{1}{12} \cdot \frac{1}{k} = 0.5\text{mm}$	-0.473
$\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{k} = 1.0\text{mm}$	-0.461
$\frac{1}{k} = 6.0\text{mm}$	-0.315

之等の結果より陰極部に於ける depolarisation の絶対値は刺戟電極の大きさの増加に伴ひ

單調に減少するといふ性質が歸納的に論證される。

此の論結より派生的に吾々は rhéobase と電極の大きさとの相關性を直ちに誘導し得る。電流刺戟理論の恐らく安當と思惟される通念に従ひ、興奮發現には必要にして且充分な一定の depolarisation の閾値が存在すると想定するならば、depolarisation の大きさが此の閾値に到達する爲には當然電極の大きさの増加に隨伴して刺戟電流強度（此處では rhéobase）は増大せしめられねばならぬ。従つて次の結論が成立つ：刺戟電極の大きさが増大すれば rhéobase も亦必然的に増大すると。

VII. 摘 要

従來吾々の採用し來たれる神経纖維の等價回路模型に立脚し、刺戟效果に及ぼす神経纖維の長さ並びに刺戟電極の大きさの影響を検索した。

結論として神経纖維の長さの影響は一義的には決定されず、實驗條件を規定する可變的要素の函數として複雑な様相を示す事を例證すると共に、従來不用意に行はれた測定的方法的缺陷を指摘し、合せて實驗條件に對する正しき認識と把握が凡ての電氣生理學上の實驗に於て不可缺少なる所以に就て反省すべき状態にある旨を述べた (II, III)。

刺戟電極の大きさが刺戟效果に及ぼす影響の1つとして刺戟電極の大きさと rhéobase との關係を追求し、刺戟電極の大きさの増大に伴ひ、rhéobase も亦之に平行して増大すべき理由を闡明した (V, VI)。

文 獻

- 1) 江上義之 (1942) 日本生理誌 7 686
- 2) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics, 10 No. 2
- 3) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics, 10 No. 2
- 4) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics, 10 No. 2
- 5) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 453
- 6) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 463
- 7) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 478
- 8) 松本茂彦 (1941) 日本生理誌 6 252
- 9) 小澤 弘 (1943) 日本生理誌 8 349
- 10) Rosenberg, H. (1937) Proc. Roy. Soc. London, B, 124 308
- 11) Rushton, W. A. H. (1934) J. Physiol., 82, 382

神經纖維に於ける興奮波傳搬に関する解析的研究 612.816.2

第2報⁽¹⁾ 刺戟としての局部電流

東京帝國大學醫學部生理學教室

江 上 義 之

Egami-Yosiyuki

(昭和18年9月22日受付)

I. 緒 論

曩に論文(2)で附記せる如く、神經纖維乃至核電導體模型に出現する電氣的現象は、之を2つの範疇に分類して所謂活性波(興奮波)の發生する迄の過程と夫れより以後の過程とに區別され、其の各々は別個の對象を占める。前者に關しては既に發表せる數篇の論攷に於て解析的考察を進め、實驗成績の要求に應へ得る若干の結論を誘導し得たのであるが、若し在來の回路網模型に固執しつゝ後者をも克服しようと企圖するならば、其の努力は結局水泡に歸するより他はない。(1*)(2)従つて今や吾々は在來の回路網模型を全面的に拋棄して一度び白紙に立ち還り、他の模型に立脚して再出發すべき運命に逢着したものと云へよう。

果して然らば、此の改革に伴ふ理論的立場の修正は從來の吾々の論究と相抵觸し、引いては其の存在の價值を一切剝脱し去るものであらうか？ 吾々は此の致命的とも見る疑懼に對して明瞭に否と答へたい。其の論據は暫て本論に於て闡明されるであらう。

偕而、從來の回路網模型が神經纖維乃至核電導體模型の等價回路として不當なる點を吟味してみるに、夫れは畢竟((活動電位))の表現に無力であり、且又活性波傳搬なる事實と游離せる點にある。惟ふに、活性波傳搬は神經纖維(廣義には被刺戟性形體)乃至核電導體模型固有の本質を表示する現象として他の素朴な類同の自然現象には缺如した特性を持つ。此の故に活性波傳搬を無視する事は事態の正しき認識の爲には許され得ないのである。

吾々は在來の解析を更に擴張して之を包攝する理論體系を樹立し、整然たる聯關性を指摘しつゝ活性波傳搬の數學的表示は如何なる形式に於て與へられるかを追究して行きたいと思ふ。此の方面に於ける理論的研究は不幸にも筆者の知る限りでは5指にも足らず、僅かに Rashevsky (15), Rushton (17) 及び山極博士(21)の貴重なる研究を舉げ得るに止まる。

(1) 昭和18年度大日本生理學會(福岡)に於て發表。詳細は Jap. J. Med. Sci., Biophysics に掲載の豫定。

(2) 之は標題の研究の第1報となるものであるが、直接本論文の内容と連絡はない。其の要旨は既に發表した。

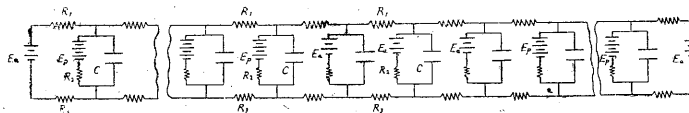
本論文に於ては之等先學の驥尾に附して同じ主題を取り上げ若干の考察を展開して行く積りであるが、先づ第一段階として無限長の神経纖維⁽¹⁾を對象とし、しかも或る局所に發現した活性波は再び受働化される事に依つて消失する事なく、此處を出發點として近接部位が逐次繼續的に活性化され、いはゞ定常狀態に安定した時の状況を解析する。尙、或る局所に發現せる活性波が或る時點迄は漸次神経纖維の全領域に波及して存続の狀態を維持すると見做す^{2, 3}の學者の想定は之に對應するものではあるが、此の見解を支持すべき積極的理由が見付かつて解析の主題を上述の範圍に限定した譯ではなく、來たるべき續報の先驅として單純なる條件に適合する場合の解析的性質を取敢えず報告する次第である。

本稿に於ては (i) 神経纖維の或る限局された部位が突然活性化されたる時の電流及び電位の分布, (ii) 'local potential' の電氣生理學的内容の吟味, (iii) 隣接部位を刺戟するに足る第一次活性部位の長さの決定, (iv) 活性波の傳播速度, 傳播常數及び safety factor の値等を論ずる。詳細は原著に譲る。

II. 既往の筆者の理論との關係

緒論で述べた理由に基き、吾々の理論の出發點として改修された構造の回路網模型を採用する：即ち膜電位に相當した起電力を有する電源を Hülle と Kern との間に一様に挿入するのである (第1圖参照)。

第 1 圖



偕而、不活性化狀態に於ける膜電位の大きさを E_0 、又活性化狀態に於ける夫れを E_a で表はすことにする。尙、神経纖維の切斷端は何れも負傷電位の坐と見做されるが故に、其處では E_a に相當する膜電位が現存するものと解釋する。

先づ、既往の筆者の理論 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) との聯關性を明白ならしめる爲に、斯様な改修された回路網模型に刺戟電流を通電したる場合の cyclic current の分布を求めて見よう。吾々は何等一般性を失ふ事なく所論を定常狀態に限局する事にすれば、既に論文 (1, 2) で示説せる方法を繰り返し適用して次の微分方程式に到達する。

$$\begin{cases} \frac{d^2 I}{dx^2} = k^2 I - a & s_1 < x < s_1^{(2)} \\ \frac{d^2 I}{dx^2} = k^2 I & 0 < x < s_1, s_2 < x < l \end{cases} \quad (1)$$

(1) 吾々は一面に於て單純化の條件 (7) が充分の餘裕を以て満足される場合には有限長の神経纖維は近似的に無限長の神経纖維を以て置換し得られる事に留意する必要がある。

(2) s_1, s_2 の代りに s_1, s_2 と置いた。

境界條件は

$$(E_p - E_a) \Lambda_2 = h$$

と置けば、

$$\frac{dI}{dx} = -h \quad x=0, x=l \quad (3)$$

で與へらるべき事は容易に判明する。

其處で(3)を満足する(1), (2)の解を求めるに(1), (2)は2組の微分方程式に分解されて、其の1つは膜電位の存在に全く無關係な解、換言すれば其の因子の中に刺戟電流の項を含み、且論文(1, 2)で誘導した基礎方程式と全く合致した數學的形式を持つ解に對應する事が證明される、他のもう1つの解は

$$I^*(x) = \frac{a}{k} \frac{\cosh k(l-x) - \cosh kx}{\sinh kl} \quad (4)$$

で與へられるが、吾々の模型の物理的内容を吟味すれば、此の表式は所謂分界電流の表現に他ならぬ所以が理解されるであらう。

以上の考察より次の結論に到達する：活性波が發現する迄の過程に對する刺戟電流の寄與は膜電位に該當する電源を全く無視した在來の回路模型に立脚して解析を進めるも何等不都合を來たさない。

次に、神経纖維の或る限局された部位（例へば $s_1 < x < s_2$ ）が活性化された状態に存続する時の cyclic current の分布を導いてみよう。前と全く同様な考察の下に、 $x=s_1, x=s_2$ を除く凡ての點に於て微分方程式

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = k^2 I \quad (5)$$

を満足し、且つ $x=s_1, x=s_2$ なる點に於ては次記の要請：

$$I(x) \Big|_{s_1-0}^{s_1+0} = 0, \quad \frac{dI}{dx} \Big|_{s_1-0}^{s_1+0} = h; \quad (6)$$

$$I(x) \Big|_{s_2-0}^{s_2+0} = 0, \quad \frac{dI}{dx} \Big|_{s_2-0}^{s_2+0} = -h \quad (7)$$

に従ひ、境界に於ては $dI/dx = -h$ なる條件を充たさねばならぬ事が判る。

所要の解は再び2組の微分方程式に分割され、其の1つは既に得た分界電流を表現する解式に他ならず、他の1つは $x=s_1$ 及び $x=s_2$ に存在する一對の點源、換言すれば $x=s_1$ に存在する疎通口及び $x=s_2$ に存在する湧出口に基因する解即ち2個の Green 函數の和で與へられる事が論證出来る。

以上の解析的操作の経緯を回顧して、活性部位の存在、分界電流及び刺戟電流は何れも cyclic current に對して影響を及ぼすものであるが、併しその各は夫々單獨に作用するといふこ

と、換言すれば夫等は相互に全く無關係に行働するといふ點に注目を拂ふ必要がある。此の性質があればこそ、單に刺戟電流の効果のみを對象として考察を進める場合、活性波の發現せざる限り、Kern 及び Hülle に於ける電流、電位の空間的時間的變化は直接刺戟電流のみの影響を反映してゐるものと言ふべく、從つて在來の筆者の論致は何れも其の存在の意義を喪失するといふ危險性からは解放されてゐる點を指摘して置きたい。

III. 神経纖維の或る限局された部位が活性化されたる時

の Hülle 及び Kern 上の電流、電位の分布

近時、Hodgkin (9, 10, 11), Katz (12), Pumphrey, Schmitt and Young (14) 及び Schmitt (20) 等の諸學者は所謂活動電位の構造に關して精細なる實驗的分析を重ね、spike に先行する微小なる電位の變化を追及して、之が spike の發現に對して重要な因子として作用する事實を突き止め 'local response' 乃至 'extrinsic potential' と命名して其の電氣生理學的意義を闡明した。

'Local response' は通常の電氣緊張性電位と異り、其の効果は刺戟電極の陰極部にのみ出現し、從つて非對稱性を呈する事實に鑑み、Schmitt 等は特に 'physiological response' と呼んで電氣緊張性電位（之を彼等は 'physical response' と名付けた）と區別してゐるが、斯かる概念的區別は妥當でなく問題を徒に混亂に導く危險性を包藏してゐると言へよう。

筆者の見解に依れば、'local response'、電氣緊張性電位共に physical response であつて、其の本質は何れも物理的要因に依つて規定されるものであり、只規定條件の存在形態を異にするに過ぎない。即ち從來吾々の呼ぶ電氣緊張性電位は之を更に明確に表現するならば、刺戟電流夫れ自體に基因する電氣緊張性電位（**外在的要因**！）と言ふべきであり、又 'local response' は例へ誘因が何であらうとも、神経纖維に發現した局部的活性化夫れ自體に基因する電氣緊張性電位（**内在的要因**！）と解釋すべきである。吾々は前節に於て此の兩者は物理的背景に於て各自互に獨立に存在し得る事を證明して置いた。'Local response' が spike にまで生成發展して傳播性を帯びるに至るか否かは單に括弧部位の幅に依存するのであつて之に就ての吟味は第 IV, 第 V 節に譲る。本節に於ては 'local response' の空間的時間的消長を究明するを主題とする。

諸而、神経纖維の長さを無限大と見做し、 $-s < x < s$ なる領域が突然活性化されたとすれば cyclic current の變化は次の微分方程式で規定される。

$$D \frac{\partial^2 J}{\partial x^2} = \frac{\partial J}{\partial t} + gJ^{(1)} \quad x = \pm s \text{ を除く凡ての } x \text{ で,} \quad (8)$$

$x = \pm s$ なる點には夫々一對の點源即ち湧出口及び疎通口が存在する事は前節に述べた處と變りはない。尙、解の一意性が保證される爲に初期條件

(1) λ の代りに g と置いた。

$$\lim_{t \rightarrow +0} J(x, t) = 0 \quad -\infty < x < \infty \quad (9)$$

及び境界條件

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} J(x, t) = 0 \quad (10)$$

が附帶さるべきは斷る迄もない。

以上の要請に應へる微分方程式の解は次式 (8) で與へられる：

$$J(x, t) = \int_0^t G^+(x, s; t-t') dt' + \int_0^t G^-(x, s; t-t') dt' \quad (11)$$

但し此處に

$$G^\pm(x, s; t) = \pm \frac{hD}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-gt} e^{-\frac{(x \mp s)^2}{4Dt}} \quad (12)$$

で一種の Zackenfunktion を表はす。其處で (12) を (11) に代入し積分を計算すれば、

$$\int_0^t G^+(x, s; t-t') dt' = \begin{cases} \frac{h}{4k} \left[e^{-k(x-s)} \left\{ 1 - E\left(\frac{x-s}{2\sqrt{Dt}} - k\sqrt{Dt}\right) \right\} - e^{k(x-s)} \left\{ 1 - E\left(\frac{x-s}{2\sqrt{Dt}} + k\sqrt{Dt}\right) \right\} \right] & s < x < \infty \\ \frac{h}{4k} \left[e^{-k(s-x)} \left\{ 1 - E\left(\frac{s-x}{2\sqrt{Dt}} - k\sqrt{Dt}\right) \right\} - e^{k(s-x)} \left\{ 1 - E\left(\frac{s-x}{2\sqrt{Dt}} + k\sqrt{Dt}\right) \right\} \right] & -\infty < x < s \end{cases} \quad \dots\dots\dots (13) \sim (14)$$

$$\int_0^t G^-(x, s; t-t') dt' = \begin{cases} -\frac{h}{4k} \left[e^{-k(x+s)} \left\{ 1 - E\left(\frac{x+s}{2\sqrt{Dt}} - k\sqrt{Dt}\right) \right\} - e^{k(x+s)} \left\{ 1 - E\left(\frac{x+s}{2\sqrt{Dt}} + k\sqrt{Dt}\right) \right\} \right] & -s < x < \infty \\ -\frac{h}{4k} \left[e^{k(x+s)} \left\{ 1 - E\left(-\frac{x+s}{2\sqrt{Dt}} - k\sqrt{Dt}\right) \right\} - e^{-k(x+s)} \left\{ 1 - E\left(-\frac{x+s}{2\sqrt{Dt}} + k\sqrt{Dt}\right) \right\} \right] & -\infty < x < -s \end{cases} \quad \dots\dots\dots (15) \sim (16)$$

となり、確率積分

$$E(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz$$

の評價に歸着せしめられる。従つて上掲の諸式を適當に組み合せて cyclic current の分布は

$$\left\{ \begin{array}{ll} J_1(x, t) = (14) + (16) & -\infty < x < -s \\ J_2(x, t) = (14) + (15) & -s < x < s \\ J_3(x, t) = (13) + (15) & s < x < \infty \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (17) \\ (18) \\ (19) \end{array}$$

で決定される事になる。斯くて cyclic current の分布が求められた以上、Kern 及び Hülle に於ける電位分布は $x = \pm s$ に於ける電位の連続性を顧慮しつつ x に就て積分を遂行すれば決定される故、此處では煩を避けて夫等の表式を掲載する事は割愛する。詳細は原著を参照されん事を望む。

之等の電位分布より更に Hülle と Kern との間に出現する電位差の變動、所謂 Rushton の唱ふ意味の depolarisation の値を算出し得る。今、任意の點例へば $s < x < \infty$ なる點に於ける Hülle 上の電位と該點に於ける depolarisation の大きさを比較對照してみるに、Hülle 上任意の點に於ける電位の値は無限遠點に於ける其の値と相對的に計測されるが故に

$$\frac{U_s^e(x, t) - U_s^e(\infty, t)}{V_s(x, t) - E_p} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (20)$$

なる關係式の成立する事は容易に證明できる。上式に立脚しつつ嘗て紹述した Schaeter (19) の想定、即ち興奮發現の時點は電氣緊張性電位が一定値に到達した瞬間に一致すると主張する彼の意想を此處に移植するならば、局部的活性化に伴ふ Hülle 上の電位變動は 'local response' に他ならざる事を考慮して之と全く等價的に次の結論が成立つ：興奮發現の時點は 'local response' が一定値に到達した瞬間に一致すると (Hodgkin 11)。

此處にも亦、'local response' を本質的に電氣緊張性電位と同一視し得べき充分な理由を見出す。本節の冒頭に於て説述せる如く、兩者は同一の範疇に屬する現象として把握できるのであり、別個の概念を導入して規定する必要は毫も無いのである。

IV. 第一次活性部位の長さの問題

神経纖維乃至核電導體模型に於て、活性波が或る特定の條件の下に刺戟部位及び其の近傍に於て局在的に停滯し、非傳搬的性格を帯びる事實は諸學者のひとしく認める處であつて、非傳搬性興奮波存在の嚴正な實驗的證明は橋田博士 (8) に初まる。斯かる原因の 1 つは外的刺戟に依つて誘致された第一次活性部位の幅が或る長さ (liminal length 又は minimal length) 以下の時は、其の近接の不活性部位を局部電流に依つて二次的に刺戟し得ない爲であると想定されてゐる。之等を恐らく妥當な解釋として支持する實驗業績は山極博士 (21) の論文に引用されて周知の處であると思ふから、此處では重複を避けて文献を羅列する事は割愛し直ちに考察に移る。

第一次活性部位の幅が活性波傳搬の必要條件として不可欠なる所以を認識したのは山極博士及び Rushton (18) を以て嚆矢とする。'Local response' に對する Hodgkin (9, 10, 11), Katz (12) の見解は凡て liminal length の存在を主張する Rushton の説に左袒するものであるが、

山極博士及び Rushton の功績は綿密なる理論的解析に立脚して演繹的に *liminal length* の存在を提唱論結した點にある。活性波の傳搬は *liminal length* との聯關に於て究明せらるべき機運にある事は上述の通りであるが、獨り Rashevsky (15) は第一次活性部位の幅を無視して傳搬現象の解析を試みてゐる。

固より活性部位は夫れ自體の空間的時間的構造の表象として幅と存続時間とを持つ。後者に關しては Rushton (loc. cit) は解析的操作の第一段階として取敢えず無限に存続する活性部位を對象として議論を進めてゐるが、吾々も亦本論文に於ては彼と同様な前提の下に若干の考察を展開する事にする。來たるべき續報に於ては有限の存続時間で規定された活性部位を主題として取上げる所存であるが、現在の處、數學解析の單純化を計る意圖に基き上述の立場を採用する事にした。勿論吾々は斯かる想定に追従すべき現象が神經纖維に於て實現さるべき事を豫想乃至主張する者ではない。とはいへ、少く共核電導體模型に關する限り、斯かる想定の妥當なる所以は既に實證されてゐる處であり、從つて問題は畢竟神經纖維に於ても夫れに對應する事態の生起が果して可能なりや否やといふ點に歸着するのである。併し、神經纖維と雖も、特殊な條件が與へられれば之と類同の現象が實現し得るかも知れず、其の可能性に對し *a priori* に否定的回答を與へるべき理由は勿論存在しない。

Rushton に對し山極博士は活性部位の存続時間は有限なりとし、實測に基く活動電位の波形の近似式を利用されて、活性部位の存続時間も亦同じく此の近似式に依つて表示出來るとの見解に立たれた。同博士は Rashevsky と同様、電氣容量の缺如した核電導體模型に依存しつつ之に de Almeida, Blair 流の電流刺戟理論を適用するといふ立場より幾多の結論を誘導してをられるのであるが、同博士の核心を形成する觀念は特に氏の論文 (loc. cit) 第 2 篇の劈頭に述べてある處に盡きると思ふ。

再び活性部位の幅の問題に立ち還つて、幅なる觀念が如何にして導入されたか其の過程を發生史的に回顧して見るのも強ち無駄ではあるまい。此處でも其の指導精神は Hermann の唱導した局部電流の意想の中に胚胎してゐる事を傳へたい。此の立場より活性波傳搬の機構を省察するならば次のやうに言へる。神經纖維の或る領域が活性化されたとせよ、然る時は此の部位と之に接した不活性部位との間に起電力が発生し、之は必然的に神經纖維内に電流の生成を促す。此の電流の強さは不活性部位にあつては活性部位に接近せる程大きく、且兩部位の境界點を取巻く閉回路に沿つて流れる。斯様にして形成された所謂局部電流は二次的には當然不活性部位の膜電位の *depolarisation* を招致する結果になる。Hermann は此の *depolarisation* の大きさが如何なる要素に依つて左右されるかといふ疑問に對してもう一步突き進んだ解析を怠つた爲に遂に活性部位の幅の意義を見落して了つた。Rushton 等の功績は *depolarisation* の閾値の存在を念頭に置き、且其の大きさが活性部位の幅の函數として表現される事を洞察した點はある。若し不活性部位の *depolarisation* の大きさが閾値を超過すれば、電流刺戟理論の

通念に従つて其の部位は必然的に活性化の坐となり、斯くて此の過程は上に述べた單位形式を反復しつゝ、神経繊維に沿つて順次繼起波及して行く事になるであらう。

之に反し、若し不活性部位の depolarisation の大きさが閾値以下であれば、例へ局部的に活性化されても活性波は非傳搬的性質を呈し單に 'local response' として其の個處に踏み止るに過ぎないのである⁽¹⁾。

其處で問題は第一次活性部位の發現に依つて少く共之に接した不活性部位が新しく活性化されるに足る夫該部の膜電位が depolarise される爲の條件を決定する事に歸着してふ。今、 $-s < x < s$ なる領域が活性状態にあると考へ、之が充分長い時間存続した場合の depolarisation の大きさを計算すれば次の式に到達する。

$$\left\{ \begin{array}{l} -E_p + V_1(x) = -\frac{h(R_1 + R_3)}{k^2} e^{kx} \sinh ks \quad -\infty < x \leq -s, \end{array} \right. \quad (21)$$

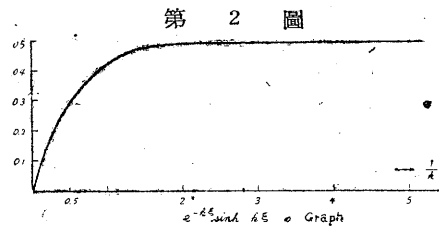
$$\left\{ \begin{array}{l} -E_p + V_2(x) = -\frac{h(R_1 + R_3)}{k^2} + \frac{h(R_1 + R_3)}{k^2} e^{-ks} \cosh kx \quad -s \leq x \leq s, \end{array} \right. \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -E_p + V_3(x) = -\frac{h(R_1 + R_3)}{k^2} e^{-kx} \sinh ks \quad s \leq x < \infty \end{array} \right. \quad (23)$$

諸而、活性化に必要な depolarisation の大きさ即ち閾値を $-V_0$ で表せば、少く共 $x = \pm s$ に於ける depolarisation の大きさは $-V_0$ より小であるべき事が要求される。従つて次の不等式が成立せねばならない。

$$\frac{V_0}{E_p - E_a} < e^{-ks} \sinh ks \quad (24)$$

第2圖は $1/k$ を長さの單位に撰んで $e^{-ks} \sinh ks$ なる曲線を圖示したものであつて、此の graph より與へられた V_0 に對し(24)を満足する s の下限、即ち Rushton (loc. cit.) の言ふ liminal length が求まる。



V. 傳搬速度、傳搬常數及び Safety factor

此の節では本論文の主題たる活性波の傳搬現象を取扱ふ。前節で述べたやうに、 $t=0$ の瞬間に神経繊維の或る局部、例へば $-s < x < s$ なる領域が活性化されたとし、有限の時間を經過

- (1) 従つて或種の想定、例へば小濤博士(13)の所論の如きは活性波(興奮波)の構造に對しての概念的把握それ自體に關して周到なる解析的吟味を必要とする。同博士は活性部位を微小部分に分割し此の微小部分に於ける活性波の性質を以て活性波全體の行動を代表せしめ得るかの如く論旨を展開してをられるが之は正しくない。點としての活性部位と空間的擴がりとしての夫れとは實質的に異なるものであつて、前者に於ては活性部位は cyclic current に對し1つの對源(doublet)として振舞ふが後者に於ては然らず。吾々は幅を持つた活性部位の構造を明確にし寧ろ此の點より出發せねばならないのである。

した後に $x=\pm s$ に於ける depolarisation の大きさの絶對値が閾値 V_0 を凌駕するに至れば、近接不活性部位の depolarisation も亦閾値に到達し、此處に新らしく活性化の坐となりつゝ $x=\pm s$ を始點として神經纖維に沿ひ乍ら遠心的に活性波は左右の方向に傳搬を開始する事になる。

吾々は前節に於て depolarisation の空間的分布、時間的變化を解析的に追究したのであるが、其處で取扱つたものは固定された活性部位であつて、いはゞ靜的現象に屬するものであり其の意味に於て非傳搬的性質を帯びた活性波に局限されたものであるに對し、本節では活性波の傳搬といふ動態を對象とする爲、當然之に即應して解析的表示の擴張を計らねばならない。

活性部位と不活性部位の境界點、委しく言へば活性波の右端及び左端は cyclic current に對して夫々湧出口及び疎通口として振舞ふ所以は既往の論證に於て闡明した處である。從つて此の性質を見落さないならば、活性波の傳搬とは之を數學的に表現すれば畢竟一對の點源即ち湧出口、疎通口夫れ自體の共存的移動に他ならない。勿論前者はの正の方向に、後者は負の方向に向ふ。

之等點源の移動といふ現象に關聯して、吾々は移動速度に就て何等かの知識を用意してをらねばならないのであるが、一般的には時間の函數として與へらるべく、夫れが凡ての t に對し一定不變と見做し得る積極的理由を吾々は見出し得ない。併し、充分大きい t に對してはいはゞ定常狀態が實現され、點源は殆んど恒常値を保持しつゝ移動を行ふものと想定するも強ち無理ではあるまい。吾々は現在の論文に於ては點源の移動速度に就て之の假定を置く。勿論、移動速度の過渡的變化を追跡する事は實際問題として理論的にも將又實驗的にも重要にして且魅惑的な題目を吾々に提供するものであるが、現在に至る迄之に關する精細な分析的研究は皆無と言つてよい状態にある。凡て神經纖維の回路常數に局部的變化が齎された場合、其の不連續點の近傍に於ては當然活性波の傳搬速度は過渡的變化を蒙る。從つて神經纖維の或る局部に藥品（其の代表的例は麻醉劑であるが）が作用せしめられた場合には、正常部位と異常部位（假に藥品の作用せしめられた部位を斯く呼ぶならば）との境界點近傍に於て活性波は過渡的に變化する傳搬速度を以て進行するものと思惟せねばならない。又、筆者の誤解で無いならば、所謂隔絶法を以て神經纖維に於ける活性波の傳搬速度を測定する場合にも、隔絶法夫れ自體の適用に依つて隔壁部位に相當した領域に亘り Hülle の回路常數には局部的變化が必然的に誘發されるといふ事態を見逃してはならない。

本論文に於ては専ら等速度を以て移動傳搬する活性波を解析の對象に局限する。此の事は確かに理論的には不充分的譏りを免れないが、其の半面實驗と相對比せしめて考察を進め得る便宜がある。

偁而、III で導入した特性函數を更に擴張して

$$\left\{ \begin{aligned} G^+(x, s; t - t') &= \frac{\hbar D}{2\sqrt{\pi D(t-t')}} e^{-k^2 D(t-t')} e^{-\frac{(x-s-vt')^2}{4D(t-t')}} \\ G^-(x, s; t - t') &= -\frac{\hbar D}{2\sqrt{\pi D(t-t')}} e^{-k^2 D(t-t')} e^{-\frac{(x-s-vt')^2}{4D(t-t')}} \end{aligned} \right. \quad (25)$$

と置けば⁽¹⁾, cyclic current は次式より決定される。

$$J(x, t) = \int_0^t G^+(x, s; t-t') dt' + \int_0^t G^-(x, s; t-t') dt' \quad (26)$$

上式の積分計算を遂行し、點源の移動が等速度である爲の條件、即ちが充分大きいことを必要とする要請を顧慮すれば、計算は簡略化され（原著参照）、cyclic current は各々單獨の點源に基因する成分のみ残り而も點源に對して對稱的な分布を形成する事が判明する。Kern 及び Hülle に於ける電位分布は(26)式を更に x に就て適當なる範圍に亘り積分する事に依つて求まる譯であるが、其の二重積分の計算は頗る煩苛である爲詳細は原著に譲り、此處では差し當り必要な成分のみを記載する事にする。兎も角積分計算を行ひ、 t が充分大きいといふ條件を入れれば、近似的に次の式の成立する事が證明出来る。

$$\left\{ \begin{aligned} U_3(x, t) &\simeq -\frac{\hbar R_1}{2k^2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{4k^2 D^2}{v^2} + 1}} \right] \exp\left(-\frac{v}{2D}(x-s-vt) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{(x-s-vt)\sqrt{\frac{4k^2 D^2}{v^2} + v^2}}{2D} \right) \end{aligned} \right. \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{aligned} V_3(x, t) &\simeq -\frac{\hbar}{2k^2} (R_1 + R_2) \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{4k^2 D^2}{v^2} + 1}} \right] \exp\left(-\frac{v}{2D}(x-s-vt) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{(x-s-vt)\sqrt{\frac{4k^2 D^2}{v^2} + v^2}}{2D} \right) + E_p \end{aligned} \right. \quad (28)$$

此處に吾々は何等一般性を喪ふことなく、 x の正の方向に進行する活性波のいは s wave front のみを取上げる事とした。負の方向に進行する活性波の表現は單に原點に關して上式の鏡像たるに過ぎない點を注意して置かう。

(28)式より活性部位の左端に於ける depolarisation の値は

(1) v は速度を表はす。

$$-E_p + V_0(s+vt, t) = -\frac{h(R_1+R_2)}{2k^2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{4k^2D^2}{v^2} + 1}} \right] \quad (29)$$

で與へられる事になる。

既に IV で縷説した活性波傳搬の機構に関する吾々の想定を回顧するならば、上式の値は depolarisation の閾値 $-V_0$ に等しかるべきである。

従つて

$$V_0 = \frac{h(R_1+R_2)}{2k^2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{4k^2D^2}{v^2} + 1}} \right]$$

或は記號を變更して

$$V_0 = \frac{E_p - E_a}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{4k^2D^2}{v^2} + 1}} \right]$$

なる關係が得られ、之を速度に就て解けば、

$$v^2 = 4D^2k^2 \frac{\left[1 - \frac{2V_0}{E_p - E_a} \right]^2}{1 - \left[1 - \frac{2V_0}{E_p - E_a} \right]^2} \quad (30)$$

を得る。上式は定常状態に於ける活性波の傳搬速度は回路常數及び depolarisation の閾値の函數として與へられる事を示してゐる。但し活性波の傳搬速度とは活性部位の兩端に形成された點源の移動速度で定義されてゐる事を念の爲重ねて申し添へて置く。

(30)式に出現した

$$\left[1 - \frac{2V_0}{E_p - E_a} \right]^2 = \alpha^2 \quad (31)$$

は Dimension の無い量で之を吾々は傳搬常數と名付け、同じく (30) の構成因子として Dimension を持たぬ量として特性付けられた

$$\left[\frac{\alpha_0}{1 - \alpha^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

を **safety factor** と呼ぶ。

傳搬常數及び safety factor は共に神経纖維乃至核電導體模型の電氣的構造を表象する要素即ち抵抗及び容量には全く無關係である點を指摘して置きたい。

次に傳搬常數と liminal length との關係を導けば

$$\frac{1 - \alpha}{2} = e^{-ks} \sinh ks \quad (33)$$

が得られる。

最後に數値計算を行ひ、上に定義した諸要素の大きさを決定する事とする。

勿論、實驗電氣生理學者の現在迄に測定して出した値は區々であつて、吾々の理論を彼等の data に基いて確證するには若干不満足な點のあるのを認めね譯にはゆかないが、大體の輪廓を窺知するには差支へ無いであらう。

Rushton (17) の測定に依れば、蛙の坐骨神経纖維に就て suspension in air で

$$k = \frac{10}{3} \text{ cm}^{-1}$$

程度の値が得られてをり、又 Rosenberg (16) の神経纖維の所謂 time constant に就ての實驗に従へば

$$\frac{1}{k^2 D} = 2 \times 10^{-4} \text{ sec.}$$

であると言ふ。従つて之等の測定値より

$$k^2 D^2 = \frac{9}{4} \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$$

と見做してよい。

一方、活性波の傳搬速度は蛙の坐骨神経纖維では 20°C で大略、

$$v = 3 \times 10^3 \text{ cm/sec}$$

としてよいから、之等の數値を使用して

$$\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} = 1$$

従つて safety factor⁽¹⁾の値として

$$\text{safety factor} = 1$$

と置き得べく、又傳搬常數の値は

$$\alpha = 0.7$$

となる。更に liminal length の大體の評価として

$$\text{liminal length} = 2s = 0.11 \text{ cm}$$

なる値が求まる。

尙、本稿を了るに當つて 2, 3 の事項に論及して置きたいと思ふ。吾々は活性波の傳搬速度を活性部位の兩端に形成された點源の移動速度で定義した。之は何等曖昧な概念を含まない。從來の電氣生理學者は單に活動電位の時間的波形を觀察して將に零線より離脱せんとする點を目標として傳搬速度を論じてゐるが之には實質的意味はない。何んとなれば、電位の變化は活性

(1) 此處に吾々の定義せる safety factor は田崎博士等の言ふ夫れとは異なる。従つて田崎博士等の safety factor の計測値が吾々の理論値と齟齬しても、それは同博士の提唱される理論の妥當性に對する危懼を意味しない。寧ろ safety factor を田崎博士等の唱ふ意味に解するとき、同博士等の得られた測定値は恐らく véritable なものと思惟すべき理由がある。尙 safety factor なる概念の導入に當つて Ranvier 氏絞輪の存在は何等 conditio sine qua non ならざる旨を附記して置く。

部位のみならず、夫れに近接した不活性部位にも亦出現し得るからである。従つて活動電位の波形が例へ Braun 管上に捕捉されようとも、其の波形の全領域に亘つて活性部位が存在すると解釋するのは固より危険である。活動電位の波形に基く活性部位の幅に関する從來の推定も亦此の點に留意するならば妥當で無いことが判る。

吾々は第 III 節に於て spike の先驅者としての 'local response' の意義を闡明したのであるが、所謂活動電位の波形の中には當然此の 'local response' に相應する成分が包含されてゐる筈である。而して活動電位の波形の初期に相當する部分は此の 'local response' で占據され、夫れは暫て spike が誘導部位に到來するといふ標識にはなつても、活性部位夫れ自體の現實的存在は意味しない。活動電位の波形を解析して 'local response' より spike に移行する點を剔出する事にこそ今後の吾々の努力は拂はるべきであらう。

尙、定常状態に於ては 'local response' は常に活性部位に先行はするが、其の傳搬速度は互に一致する事を注意して置く。

VI. 摘 要

活性波(興奮波)の傳搬現象を解析的に追及する爲從來採用し來たつた神經纖維の電氣的構造の回路模型を改修して膜電位に該當する要素を更に添加し、之に立脚して次の諸事項に論及した。(I)

(i) 曩に發表した筆者の解析的所論は本稿で取扱つた主題の一部として其の中に包攝され夫れ自身何等矛盾を含まない。(II)

(ii) 'Local potential' は其の本質に於て何等電氣緊張性電位と撰ぶ處無く、別個の概念を導入して其の意義を捕捉する必要はない。夫れ等は同一の機構に依つて生ずる同等な現象の異なる2つの斷面を表象するものであつて、單に存在の形態を異にするのみである。(III)

(iii) 'Local potential' の時間的空間的分布の狀況を探索し、spike の先驅者としての役割を究明すると共に、如何にして 'local potential' が一定値に到達したる時 spike が發現するかを述べ、Hodgkin, Rushton 等の想定を更に尖鋭化した。(III)

(iv) 'Local potential' が spike を誘發すべき條件の吟味に附隨して活性波の傳搬性が保證される爲の要請は、回路常數が固定されてゐる限り、活性部位の幅が決定的因子である所以を解明し、第一次活性部位の長さの問題に検討を加へつゝ、Rushton, 山極博士の結論を再確認した。(IV)

(v) 最後に活性波の傳搬速度、傳搬常數及び safety factor を決定した。(V)

擧筆するに當り、坂本教授を初め山極、若林兩博士の有益なる御助言並びに兒林眞琴氏の御厚誼に對し衷心感謝の意を表明する次第である。

文 獻

- 1*) 江上義之 (1942) 同年12月26, 27日慶應大學醫學部にて開催の生理學小學會に於て發表. 近日原著を本誌に掲載の豫定.

- 1) 江上義之 (1942) 日本生理誌 7 686
- 2) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics 10 No. 2
- 3) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics 10 No. 2
- 4) 江上義之 (1944) Jap. J. Med. Sci., Biophysics 10 No. 2
- 5) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 453
- 6) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 463
- 7) 江上義之 (1944) 日本生理誌 9 470
- 8) 橋田邦彦 (1931) Jap. J. Med. Sci., Biophysics 2 (Proceeding)
- 9) Hodgkin, A. L. (1937) J. Physiol., 90 183
- 10) Hodgkin, A. L. (1937) J. Physiol., 90 211
- 11) Hodgkin, A. L. (1939) Proc. Roy. Soc. London. B 126 87
- 12) Katz, B. (1937—38) Proc. Roy. Soc. London, B 124 244
- 13) 小溝協三 (1941) 日本生理誌 6 96
- 14) Pumphrey, R. J., O. H. Schmitt and J. Z. Young (1940) J. Physiol., 98 47
- 15) Rashevsky, N. (1938) Mathematical Biophysics. Chicago: Univ. of Chicago Press
- 16) Rosenberg, H. (1937—38) Proc. Roy. Soc. London B 124 308
- 17) Rushton, W. A. H. (1934) J. Physiol., 82 332
- 18) Rushton, W. A. H. (1937—38) Proc. Roy. Soc. London B 124 210
- 19) Schaefer, H. (1934) Pflügers Arch., 233 229
- 20) Schmitt, F. O. and O. H. Schmitt (1940) J. Physiol., 98 26
- 21) 山極一三 (1940) 日本生理誌 5 1

會員 魚住浚平君、百々芳雄君（所屬 慈惠醫大臨床研究室）戦死の旨公表がありました。謹んで弔意を表す。

會 報

會 員 移 動 (8月16日まで)

入 會 (8名)

	所 屬	住 所	紹 介 者
吉 栖 重 子	京都帝大醫學部生理	京都市左京區銀閣寺町 30ノ1 宮の前 長谷川方	笹 川 久 吾氏
深 田 郁 治	千葉醫大生理	東京都北多摩郡三鷹町下蓮雀 94	鈴 木 正 夫氏
平 沼 良	慈惠醫大生理	横濱市保土ヶ谷區帷子町 1ノ5	浦 本 政 三 郎氏
青 木 寛	同 上	浦和市高砂町 4ノ192	同 上
伊 藤 鉦 夫	同 上	東京都杉並區高圓寺 3ノ231	同 上
小 川 新 吉	同 上		同 上
佐久間 正 人	同 上	東京都北多摩郡武藏野町吉祥寺 2490	同 上
市 原 久 枝	同 上	横須賀市逗子櫻山 2441	同 上

轉 任・轉 居 (15名)

本 城 久 義	東京都世田ヶ谷區代田 1ノ387 橋本方 (舊東京都大森區)
白 岩 延 明	東京都板橋區練馬貫井町 925 辻方 (舊東京都吉祥寺)
尾曾越 文 亮	宇部市 山口縣立醫學專門學校 (舊京都)
辻 口 清 孝	大連市東公園町 滿鐵本社內檢診所 (舊仙臺)
島 崎 賢	群馬縣伊香保町甲ノ8 福田方 (舊東京)
和 田 惠 州 男	北海道上川郡和寒北町 23 (舊東京)
佐 伯 正 道	滿洲國熱河省葉柏壽 滿鐵分院 (舊朝鮮)
古 澤 一 夫	ジャカルタ熱帶衛生研究所 (舊京都)
橋 本 程 次	朝鮮咸興醫學專門學校 (舊京城)
石 井 磨	千葉縣山武郡鳴濱村本須賀 1368 (舊鎌倉)
菅 龍 雄	朝鮮光州醫學專門學校 (舊京城)
勝 野 直	岐阜縣揖斐郡池田村字池野 458 (舊東京)
岡 島 大 弼	別府市北濱 671ノ1 (舊東京)
林 亥之助	千葉縣佐倉町宮小路 56 (舊東京)
二 戸 源 治	哈爾濱市馬家溝王兆屯 陸軍軍醫學校 (舊東京)

改 姓 (1名)

勝 野 直 (舊姓佐久間直)

退 會 (5名)

北 條 和 雄	(香川)	前 田 信 忠	(北海道)
大 貫 正	(北海道)	竹 脇 富 士 雄	(北海道)
高 橋 傳	(北海道)		

昭和18年度會計報告

(自昭和18年1月1日
至同年12月31日)

收 入		支 出	
昭和17年度より繰越高	4192.99	昭和18年度支出	16341.51
昭和18年度收入	16772.51	内 譯	
内 譯		會誌發送料及通信費	705.62
會 費 領 收	5024.00	事 務 用 諸 雜 費	171.23
論 文 掲 載 料	9819.45	報 酬 手 當	1910.00
廣 告 掲 載 料	729.20	印 刷 費	13253.28
會 誌 分 冊 賣	916.41	集 會 費	267.00
貯 金 利 子	127.95	其 他 支 出	34.38
其 他 收 入	155.50	昭和19年度へ繰越高	4623.99
合 計	20965.50	内 譯	
		振 替 貯 金	992.38
		帝國銀行定期預金	2000.00
		帝國銀行特別當座	377.98
		現 金	1253.63
		合 計	20965.50

第 9 卷 正 誤 表

頁	行	誤	正
83	5	橋田敦綱	橋田敦綱
95	第 3 表中	(SO ₄ Cl) 効果	(SO ₄ -Cl) 効果
269	9	Samojaloff	Samojloff
269	下 7	心室搏動も	心室搏動は
270	下 5	Jankee 氏	Yankee 式
273	7	c) BL	c) B ₃ L
278	文獻 2)	d. Frosch herzens	d. Frorches
"	" 4)	(1907)	(1903)
"	" 19)	Samojaloff	Samojloff
281	4	9~22回	9~29回
"	12	第 2 表の	第 1 表の
282	13	IV. 考察	IV. 總括
"	15	境界 (B ₁ L)	境界の結紮 (B ₁ L)
283	下 4	缺誤する事	誤認する事
384	18	5~20mmHg	5~20mm水柱
289	文獻 32)	Mochensch.	Wochensch.
369	文獻 1)	青山・神田	青山新一・神田英藏
"	" 2)	青山	青山新一
372	第 1 表右より 4 列目	HWZ (全體)	HWZ (β)
374	第 2 表 第 5 列	$\frac{V_s(\tau)}{V\tau}$	$\frac{V_s(\tau)}{V\tau}$
376	下 4	指數函數曲線	指數函數曲線 (β 成分)

追加 (273 頁 13 行と 14 行の間に次の文を入れる)

第 1 表を見ると或結紮の A 段階の搏動週期は其の直前の C 段階の夫より常に著明に短く即ち新結紮に依つて搏動の促進された事が明である。次に各結紮の A 段階に於ける週期を比較する爲に、第 1 表の例に尙他の 8 例 (4 回の結紮中 2 回以上週期を測定し得た例) を加へて第 2 表に總括した。本表を見ると週期は正常、II, L, B₃L, B₂L, B₁L の順位に逐次長くなつて居る。之は第 1 表の各例別に比較しても大體同様である。又殊に第 1 表の B 段階を比較しても殆ど例外なく此の順序である。此の事は各部の自動性の比較上参考となる事實である。

★ 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。

東京市芝區白金三丁目一三八
北里研究所販賣部

大 販 賣 所

大阪・東京 株式會社 廣野藥商店 東京・本町 株式會社 中村瀧商店

許特賣專

(満・佛・日)

用採御院病學大各・道鐵・軍海・軍陸

販賣元 いわしや 大磯商店藥品部

東京本郷二

（全國著名醫藥及藥店にて販賣報告書集）
第一輯及二輯贈呈

井出擴大鏡 金拾六圓也

井出擴大鏡及顯微鏡要員（使用說明書附）
五・七五

イデチゲン（試薬）
十アンブル入（使用說明書附）
二・三〇

イデチゲン（試薬）
二十アンブル入（使用說明書附）
四・〇〇

試薬及要員

本藥は各科領域に亘る諸大衆が各々専門的追試實驗で検討され、その効果の偉大なる決してワッセルマン反應に劣らぬと證明されて、既に百に餘る文獻が世に公にされて居ります。

應反時即

イデチゲン
黴毒血液着色法

劃期的大發見

ワッセルマン反應に劣らぬ

昭和 19 年 6 月 5 日 印刷
昭和 19 年 6 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 (85) 5588

印 刷 者

武 藤 亀 吉

東京都王子區堀船町 1 / 785

(東京 654)

印 刷 所

文 友 社

東京都王子區堀船町 1 / 785

配 給 元 東京都神田區
渡路町二丁目九番地

日本生理學雜誌第 9 卷第 6 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 表 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



塩野義製薬株式会社
大阪市東區道修町

【適應症】 連鎖狀球菌性諸感染（丹毒、產褥熱、關節炎、猩紅熱、敗血症等）連鎖狀及葡萄狀球菌に基因する諸疾患、癰、癤、面疔、瘰癧、扁桃腺炎、中耳炎、淋巴腺炎、淋疾、眼瞼炎、口内炎等

312

オキシドール

【成分】

フェニールアゾ、アセチルアミノ、オキシナフタリン、トリスルホン酸ソーダ及びフェニールアゾ、ジアミノピリジン、メタンスルホン酸ソーダの二成分よりなる赤色アゾ色素劑

注射液
2cc 5cc
各 5A 10A 50A

結核新劑

（白金パラデウムーベルオキソターゼ）

結核全般

肺結核・咽頭結核・ルイレキ・腸結核・腎臓結核・腹膜結核。

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・パラデウム電化液にて従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）

山内製藥所

東京市赤坂區青山南四五ノ七九
電話青山（36）二六三八番
振替東京四五八四番



オキシドール



出血性
素質の
徹底的
治療に

ビタミンK₁劑

スクッテンジ

プロトロンビン減少に基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たるジッテックスは劃期的新止血劑として此等諸疾患に賞用せられる

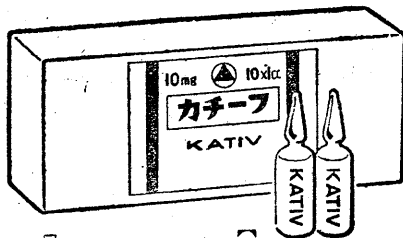
包裝 注 1 (100mg) 100管

3-18

鹽野義製薬・大阪市東區道修町 田邊製藥株式会社
關東取賣元・東京都日本橋區本町 東京田邊製藥株式会社

武田製薬

製造販売元 大阪 武田薬品工業株式会社



- ☆ 2・メチル・1・4
ナフトキノンの水
溶液なり。
- ☆ 吸収極めて佳良にし
て油剤の如き赤發腫
張等の副作用なし。
- ☆ プロトロンビン量・
血小板減少を速かに
恢復せしむ。

V・K 水溶液

【適應症】

咯血、血痰、傳染性疾患
の腸出血、腸管性黄疸、
膽汁瘻、肝硬變症、
新生兒出血性疾患、新重
兒重症黄疸、早産兒、人
工養育兒の出血性傾向の
豫防

【包装】

10mg 10x10 50x5
ほか7錠装(5錠)
10錠 100錠

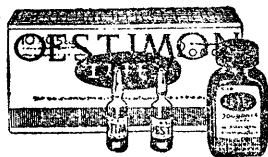
カチーフ

431

内服効果も誇る

スチルベン系・卵胞ホルモン剤

エストロモン



本剤は合成品なるため力價均齊、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・
凍瘡の新治療劑として益々好評である。

錠	0.1錠	0.5錠	1.0錠
各(0.500)	10錠	50錠	
末(0.1錠)	100錠	500錠	
錠(0.1錠)	50錠	100錠	500錠

S-116

製造販売元・大阪市東區道修町
田邊製薬株式会社

関東販賣元・東京都日本橋區本町
東京田邊製薬株式会社

アレルギー性疾患に

ミノファージェンC

ミノファージェン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・蕁麻疹・濕疹・癩痒症・小兒ストロフル
ス・ロイマチス

中毒性疾患

サルバルサン・ゾルファミン・プラスモシン・
キニーネ等ニ依ル中毒・自家中毒・血清病

合資会社 ミノファージェン製薬本舗
東京都四谷區内藤町一