

カタツムリ足牽引筋の V—CR 曲線について

井上 清 恒・木村 和 子

(昭和醫大生理) (1949年 8 月 27 日受領)。

I 序 説 蓄電板放電々流を刺激電流として神経や骨格筋を刺激する實驗は Hoorweg 以來多數行われ幾多の業績が得られているが其の他の被刺激形態についてのこの種の研究は比較的乏しい。筆者はこの缺をおぎなう爲にカタツムリの足牽引筋の刺激實驗を行つた。この動物の足筋について古くフランスの Lapique が行つた研究がある。彼は蓄電器の容量を変化する事によつて種々な経過をとる放電々流をもつてカタツムリの足を刺激し、放電々流の形と利用時の關係を追求している。筆者は容量及び刺激回路の抵抗を変化し時間恒数を異にする種々な放電々流によつて刺激し最小収縮をひきおこすに要する最低電壓を決定した。次にその大要を報告する。

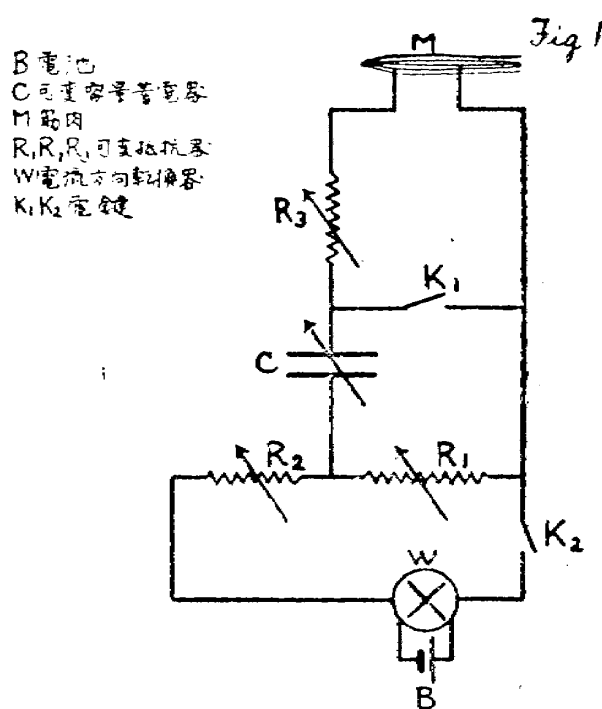
II 實驗材料及び實驗方法 實驗材料としては東京附近に産する *Eulota peliomphala* の足牽引筋を使用した。カタツムリの殻を取り除き體壁の背側を切開して内臓・神経を除去し筋肉が殻の柱に附着している部分を引離す。そして足牽引筋を左右の 2 部分に分つた。次に足部をコルク板に針で固定し足牽引筋を伸ばしてその先端を同じくコルク板に固定した。この装置をそのまま解剖顯微鏡下に置いた。そして刺激のためには筋肉上に鹽化銀をもつて覆つた 3 本の銀電極を置いた。1 個の電極の幅は約 1mm, 厚さ 0.5mm 位で電極間距離は約 5mm であつた。刺激電極の陰極側に顯微鏡の焦點を合わせ刺激にあたつてこの部に収縮が起るか否かを検する事にした。この様な不分極電導子は完全なものとは云い難いが實驗期間が夏季であつた爲にゲラチン電極を使用する事が出来ず止むを得ず用いたのであるが實驗に先立ち表面の鹽化銀の皮膜に破損が生じていないかどうかを顯微鏡下に検し、破損がある場合は新な電極をとりかえた。標本の乾燥を防ぐ爲に始めに動物を解剖する時に保存しておいた體液を時々小さなビベットで滴下する事にした。この爲に起る標本刺激電極系の電氣抵抗の變化は僅少であつた。

刺激回路は次の圖の通りである。抵抗器はすべて横河製の高周波用の可變抵抗器で誘導及び容量を含まないものを用いた。蓄電器は Cambridge 製及び横河製の雲母蓄電器で前者の容量は最高 1.05 μ F, 後者の容量は 1.111 μ F でダイヤルの回轉によつて自由にその容量を變化し得るものであつた。その容量は弾動電流計によつて正確に補正しておいた。

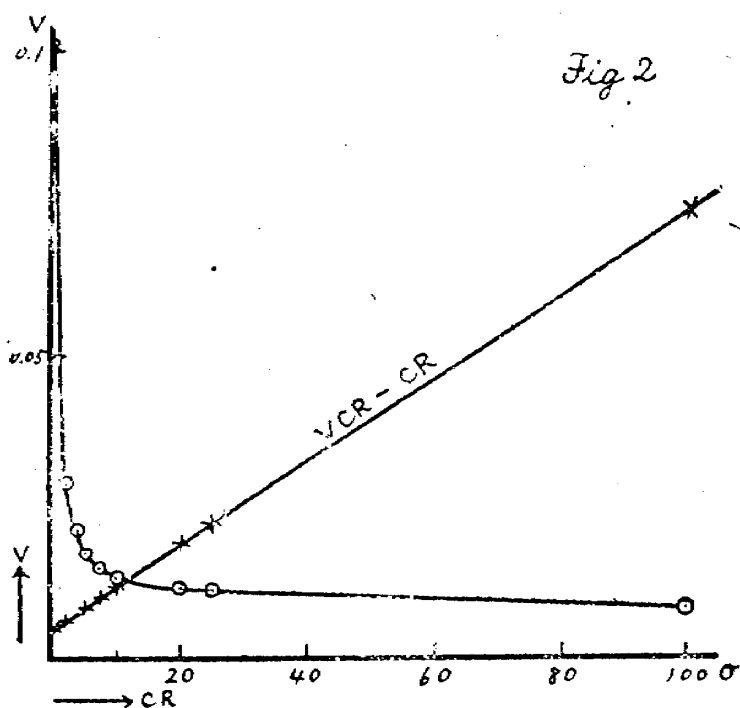
刺激電壓を變化せしめる爲には R_2 を變えた。この際の刺激電壓 (V) は次式によつて示される。

$$V = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

但し V は電池 B の電壓である。實驗にあたつては先づ電鍵 K_1 を閉じて刺激回路を短絡し、次に K_2 を閉じて蓄電器 C を充電した。次に K_1 を開いておいて K_2 を開くと放電々流が筋肉を流れる事になる。 K_1 K_2 の電鍵には東式ペンデルを使用した。この場合の刺激電流の経過は容量 C 及び抵抗 R_1 R_2 及び刺激電極—筋肉系の抵抗によつて定まる。今これらの全抵抗を R とすれば CR がこの場合蓄電器放電の時間恒数となる。刺激電極—筋肉系の抵抗は實驗の始めと終りに 1000 サイクルの音叉發振器を用い Kohlrausch 氏法によつて測定した。大體その値は 500 Ω 前後であつた。



第 1 圖



第 2 圖

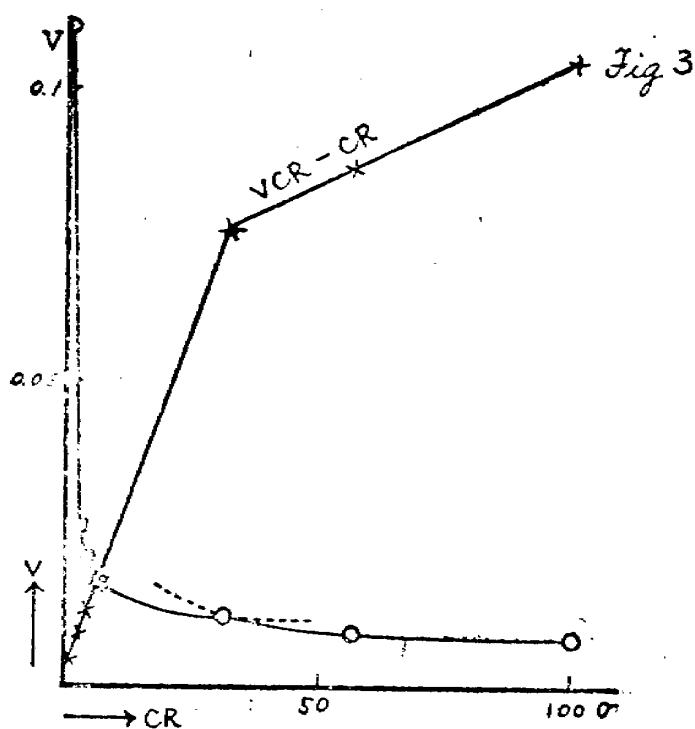
本實驗で得られた結果を以つて検討するために原式を變形して Hoorweg の式が完全に適用されるとすればこの際 $VCR = aCR + b$ となるから、 $VCR - CR$ の関係は大體直線関係が満足せられねばならない。實際筆者の實驗に於ては第 2 圖に示すよう

に關係は直線となつた。従つて本實驗はかなりよく Hoorweg の實驗式に適合する事が證明されるわけである。

以上横紋筋及び神經に於ける場合（和合、本林）と大體に於いて同一な結果がカタツムリ筋について得られたことは注目し得る。

しかし $V - CR$ 曲線は常になだらかな経過をとるとは限らず、しばしばその途中に 1 ケ所又は 2 ケ所、時には 3 ケ所に於て急激な變化を生ずる事がある。従つてこの部分に於て $VCR - CR$ 直線に折目を生ずるのである。

これらの結果は本林が蛙縫匠筋の直接刺激及び坐骨神經刺激の場合に生ずる段階と同様である。Hill も横紋筋について 3 段の曲線の變化を認めている。この様な結果の原因は種々論議されているがおそらく目標とする被刺激系の筋肉纖維が測



第 3 圖

定中時間の経過に従つて又電流の形によつても變ることが想像されるので、これが原因になるものと思う。

和合・本林の兩氏は單一筋繊維の直流刺激にあたつても同様な線の折れ目を發見している。そしてこれは基流電壓の變化にその原因を求めているが、筆者の實驗は多數の筋繊維の集團を目標としているからこの解釋はあたらない。

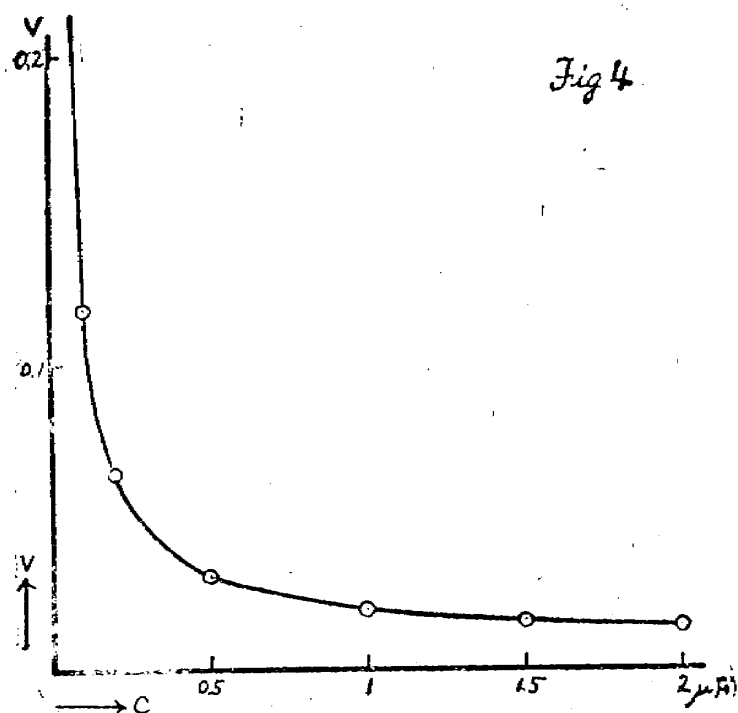
Hoorwegの式 $V = a + \frac{b}{CR}$ に於て a 及び b は被刺激性形態及び實驗條件によつて定まる恒數である。今 a 及び b に影響する諸種の要因を分析する事は後の研究にゆずり、ここでは實驗の結果得られた a 及び b の値を表に示しておく事にする。勿論 V—CR 曲線に折目を生ずれば a 及び b の値が變る事は當然である。

筆者は實驗數値から最小自乗法によつてこの値を算出した。1つの實驗に於いて2種類の a, b の數値が記入されているものは曲線に折目を生じた爲に a, b に變化が起つたことを意味するのである。

以上 a, b の數値の平均は 0.0190 及び 0.0811 であつた。従つてカタツムリ足牽引筋の蓄電器放電の實驗式は筆者の場合は次の如くなる。

$$V = 0.0190 + \frac{0.0811}{CR}$$

	a	b
I	0.0003	0.1050
II	0.0098	0.0392
	0.0056	0.0153
III	0.0092	0.0550
	0.0154	0.1650
	0.0650	0.0203
IV	0.0295	0.1430
	0.0105	0.1000
V	0.0404	0.1700
	0.0186	0.0044
平均	0.0088	0.0750
	0.0190	0.0811

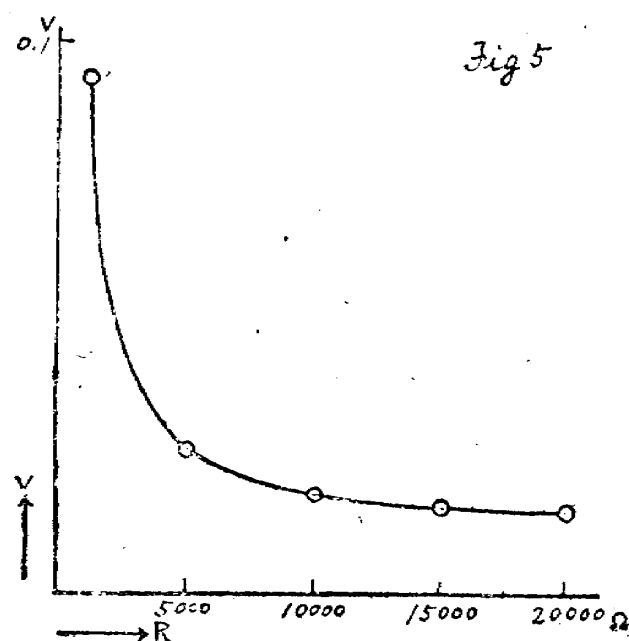


第 4 圖

(2) R 一定の場合の V—C 關係 放電刺激回路の R を一定に保つて C を變化し、これに應ずる V を決定する實驗を行つた。これは從來の蓄電器放電刺激にあたつて最も普通に行われている方法である。筆者は筋—刺激電極の抵抗をも含む R を 5000 Ω に一定して實驗を行つた。その結果は第 4 圖に示すような双曲線關係が得られた。この場合は曲線の經過は實驗例が比較的少いために折目を生ずるか、否かは明白にすることが出来なかつたが、恐らくそのような場合もあり得ることと思う。即ちこの場合は $V = a' + \frac{b'}{C}$ なる實驗式が適用される。又 $CV = a'C + b'$ 即ち

$C_e = a'C + b'$ (但し C_e は電氣量) となるから電氣量—容量關係はほぼ直線となる。

(3) C 一定の場合の V—R 關係 蓄電板の容量値一定の下に最小變縮の起否を目標として R の變化に對する V の變化を追求すると V—R 關係は第 5 圖に示す如く V—C 關係と同様な双曲線様の關係が滿足せられた。この點本林が横紋筋について報告している所と異なる所である。本實驗の結果 C と R の關係は C 及び R のいずれを變化するも CR が變らなければ、これに應ずる V の値は一定となることが想像される。従つて (2) (3) の實驗結果は (1) の結果を他方から裏づけることになる。



第 5 圖

2) 又 RC のある値の所で $V-CR$ 曲線に折目を生ずることもあつた。即ち双曲線上に 2 段又は 3 段の折目を生ずる場合がある。この場合に於ける $VCR-CR$ 関係はやはり 2 段、3 段の折れ目を生じ直線関係は満足されない。

3) 放電回路抵抗を一定に保つた場合の $V-C$ 関係は双曲線関係を呈する。

4) 容量値一定の場合の $V-R$ 関係は $V-C$ 関係と同様な双曲線関係が得られた。

5) 蓄電板に與える電壓、即ち V を一定とし種々な容量値に對する回路抵抗値 R を追求する場合 $RC-C$ 関係は直線的関係になり、 $R-C$ 関係は双曲線関係を呈する。

本研究の研究費の一部は文部省科学研究費によつた。

文 献

- 1) Cybulski, und Zanietowski, 1894 Pflügers Arch. 56. 2) Hermann, L. '05 ibid. 109, 111.
3) Hoorweg, J. L. 1892 ibid. 52, 110, 124. 4) Lapicque, L. '26 Léxcitabilité en fonction du temps. 5) 和合卯太郎, '38 日本生理誌 3. 6) 本林富士郎, '38 ibid. 3.

會 記 1

日本動物學會中部支部例会

第 8 回例会 昭和 25 年 2 月 25 日午後 1 時より名大醫學部講堂に於て開催。

1. 白色のカエルについて……………武藤 義信
2. ウニ卵受精膜の硬化と SS 型物質との関係……………石田 壽老
3. 赤血球の出芽による細胞増殖法について……………千島喜久男

特別講演 初期發生と遺傳子……………山田 常雄

第 9 回例会 昭和 25 年 4 月 28 日午後 1 時より信州大學文理学部生物學教室にて開催。

1. 爬虫類腎臓の尿細管結合部及び集合部の組織學的研究……………吉村不二夫
2. 過剰氣門蓋と蠶兒の體節數……………福田 宗一
3. 蠶蛆の成熟と宿主蠶兒の變態との関係……………福田宗一・添田義照

4. 狸々蠅における Vestigial substance の再検討……………深澤 擴

5. 越中地方に於ける山椒魚の分布状態について……………植木 忠夫

第 10 回例会 昭和 25 年 6 月 4 日午前 10 時より富山大學文理学部に於て開催。

1. アメリカ・リガニ眼柄除去後の生存期間……………宮崎 光二
2. 揚子江プランクトンの二三の問題……………益子歸來也
3. ヤツメの初期胚の酸化還元パターンに就て……………山本 時男
4. 渦虫の咽頭誘導に関する實驗的吟味……………木戸 哲二
5. イモリ眼球色素上皮の水晶體形成能……………佐藤 忠雄