

中樞神経系の筋運動司配に関する筋電圖的研究

第 2 編

皮質運動領電気刺戟に対する筋電圖の後発に関する研究

(本研究は文部省科学研究費の補助による)

岡山大学医学部第一(陣内)外科教室(指導 陣内教授)

助 手 沼 本 満 夫

[昭和 27 年 7 月 10 日受稿]

第 1 章 緒言並に文献

求心性インパルスがたとひ一個であつても運動性ノイロンが数回の放電をおこす事実は所謂後発 after discharge として古くから知られて居たが、Fobes³⁰⁾ はこの様な放電の持続は、internuncial reflex circuit 又は所謂 delay paths によるものであるとして居る。又 Fulton³¹⁾ は無処置の神経系及び高位の中樞に至る知覚性インパルスの長い回路に於ては、遷延性の放電は殆ど無限に多数化されるであらうと述べ単純な脊髓反射の後発は神経機能の基礎的な表現の一つであると言つて居る。

脊髓反射に於ける後発の研究は非常に多数あるが、他方上位の中樞に於ける後発の現象に関しては、研究方法の困難と、その機構の複雑なことにより、近年になつて漸く注目されて来たようである。Fobes³⁰⁾ の説明に従へば、各種ノイロンの複雑な組合せである所の上位中樞に於ては、この後発の様相も種々錯綜して居るであらうことは想像に難くない。殊に Lorent de N6³²⁾ によるノイロン連鎖説の研究以来、かゝる反復性のノイロンの活動が脳波の成因であるとの説に加担するものも多いようである。

私は、皮質運動領を電気刺戟してその際おこる運動の筋電圖を研究中、一定度以上の刺戟頻度と一定度以上の刺戟の強さに於ては、筋電圖に著明な後発が認められることを知つたので、この後発が運動系の何れの部分に主

として起因するものであるかを、運動に関連した皮質下諸核及びその径路を破壊又は切断することにより追求せんと試みた。

第 2 章 実験装置

第 1 節 刺 戟 装 置

後発の発生が刺戟の性質即ち強さと頻度によつて非常に影響されることは周知の事実であるが、Cooper and Adrian³³⁾ は脊髓反射の実験に於て頻度の増大と強さの増大はともに後発をおこしやすい条件となることを述べて居る。従つて私は刺戟の頻度と強さを自由に變へうところの、教室の森、沼本¹⁵⁾ によるサイクロン衝撃波発振装置を用ひることとした。なお電源としては、交流の誘導を避ける目的で、全部蓄電池より直流によつて供給することとした。頻度は毎秒 1 乃至 30 回、電圧は最高尖頭値で 10V に及んだ。

刺戟電極は、直径 1.5mm の銀線を単極で用ひ、不偏導子は直腸内に挿入した。

第 2 節 筋電圖の記録

第 1 項 電 極

数個の motor unit から働作電位を誘導する目的で第 1 編と同様の同心円状針電極を用ひた。針は $\frac{1}{8}$ 皮下針でこれに 100 μ のエナメル銅線を封入した。

第 2 項 増 幅 器

R-C 結合 4 段増幅器で、時定数は 0.1 秒最終段は出力トランスを介して、電磁オシログラフへ入れた。利得は約 100db である。

第3項 記録装置

横河製3要素電磁オシログラフで、振動子にはA型を使用した。1エレメントは筋電図記録、1エレメントは刺激期間を表示するために用いた。記録印画紙の速度は毎秒7乃至17cmである。

第3章 実験方法

第1節 動物及びその固定、麻酔

実験動物には体重7乃至15kgの健康成犬32頭を用ひ、その固定は腹位の場合では第1篇に於て述べたと同様の方法により、背位の場合には中央の凹んだ舟状固定台に上下両顎及び上下肢の合計5個所で固定した。

麻酔は3%塩酸モルヒネ水溶液を体重毎珎0.5c.c.皮下に注射した。

第2節 延髄錐体の露出及び切断

第1篇に於て述べた方法によつた。

第3節 線状体の破壊

須田の記載³⁴⁾した方法によつた。即ち尖端より約5mmの所で直角に曲げたへら型の金属スパークテルを *Sulcus ectosylvius medius* より白質内に挿入し、予め標本について会得した方法でこのスパークテルを回転して、線状体に切截を加へた。内囊の傷害の有無は運動領の刺激によつて確めた。又正確に線状体を破壊し得たか否かは剖検によつた。(第1図A)。

第 1 図

(A)

(B)



第4節 視床の破壊

尾崎等³⁵⁾の方法、即ち *Gyrus entrolateralis* に沿ひ約3乃至4cmの切開を加へ、側脳室に

達し、*Fornix* 及び *Fimbria hippocampi* に被はれてその下方に存在する視床を、腫瘍摘出に用ひる鉗子を以てすくひ取る様にして剔除した。(第1図B)

第5節 脊髓の露出

後頭結節直下より下方に向ひ、長さ約15cmの正中皮切を加へ、項部の筋を正中線に於て左右に分離し、第2頸椎棘突起に達する。これより下方の3乃至4個の棘突起及び横突起を *Luer* 氏鉗子によつて除去して硬膜に達する。硬膜を開けば、脊髓の後面及び後根が露出される。

第4章 実験成績

第1節 正常時に於ける皮質運動領電気刺激に対する後発

11頭の実験例中1例につきその成績を示せば次の如くで、他はすべて之と同様であつた。

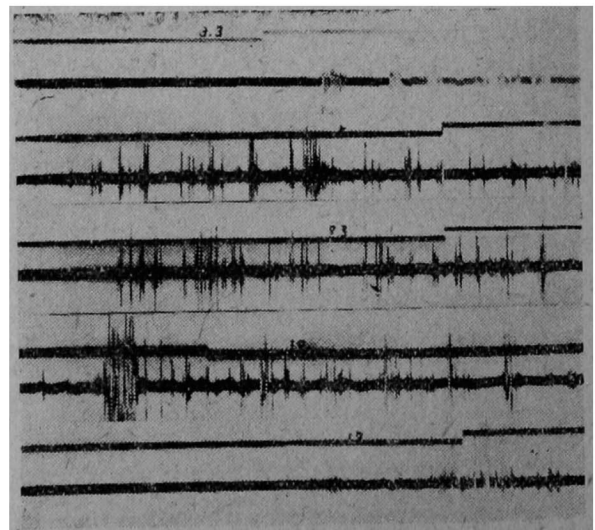
No. 14, 14kg, 1951. 7. 20.

右側の皮質運動領分野4を刺激し、これに反応する左側後肢の *M. vastus externus* より筋電図を誘導した。刺激電圧は60V、刺激頻度は毎秒3.3, 5, 8.3, 10, 17であつた。

筋電図(第2図)

第 2 図

(すべて記録は右より左へと進行す)



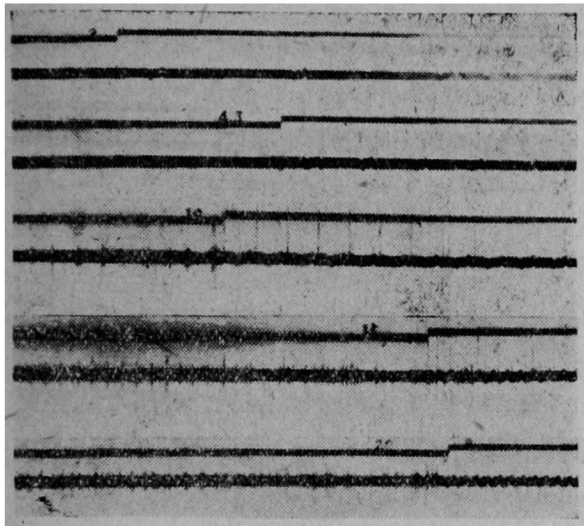
何れの刺激頻度に於ても後発は著明で、その様相は *synchronization* 或は *grouping discharge*、というべきものである、

(附) 人体に於ける皮質運動領電気刺激に対する後発。

癲癇患者に於て、左側皮質運動領の拇指中枢を刺激し、右長母屈筋より筋電図を同様の方法で誘導した。刺激電圧は 15V、刺激頻度は 2, 4.3, 10, 15, 20 であった。

筋電図 (第 3 図)

第 3 図



毎秒 10 乃至 20 回の刺激の際に grouping の傾向を有する後発を認める。

第 2 節 錐体路切断時に於ける皮質運動領電気刺激に対する後発

4 頭の実験例中 1 例につきその成績を示せば次の如くで、他はすべて之と同様であった。

No. 29, 15kg, 1951. 8. 29.

先づ右側の錐体切断を行つた後、右側の開頭を行ひ、皮質運動領の前肢の中枢を刺激して、左前肢の *M. extensor carpi radialis* より筋電図を誘導した。刺激電圧は 65V、刺激頻度は 2.2, 5.2, 15, 20, 30 であった。

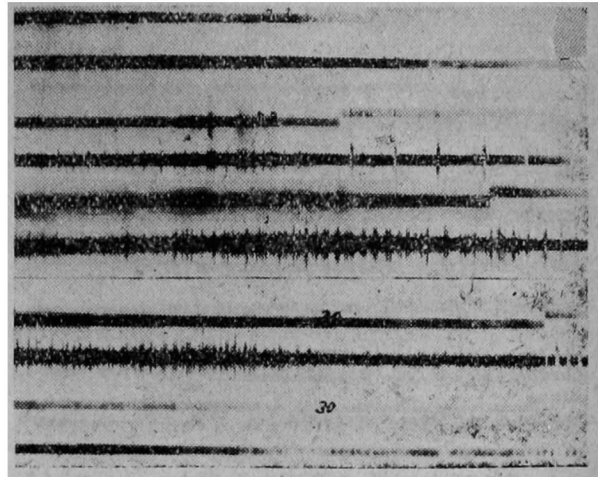
筋電図 (第 4 図)

各刺激頻度に於て、やはり著明な後発を認め、殊に 15 及び 20 回の刺激では grouping discharge の傾向を示す。

第 3 節 錐体交叉部刺激に対する後発

5 頭の実験例中 1 例につきその成績を示せば次の如くで、他はすべて之と同様であった。

第 4 図

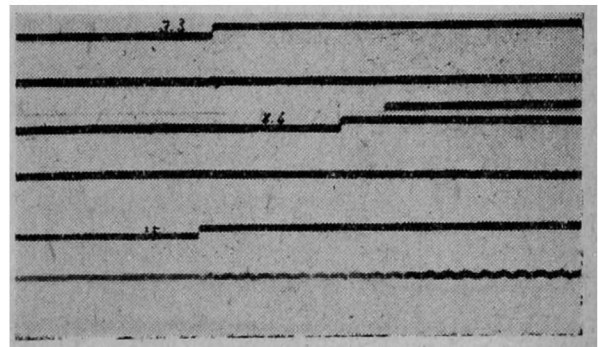


No. 18, 17kg, 1951. 7. 26.

錐体交叉下部に於て右側索路を刺激し、これに反応して収縮を起す右前肢の *M. flexor carpi ulnaris* より筋電図を誘導した。刺激電圧は 20V。刺激頻度は 3.3, 8.6, 15 であった。

筋電図 (第 5 図)

第 5 図



連続した刺激の終了後には後発は見られないが、各個の刺激の間に於ては、規則的な振幅の小さい後発を僅に認める。

第 4 節 両側線状体破壊時に於ける皮質運動領刺激に対する後発

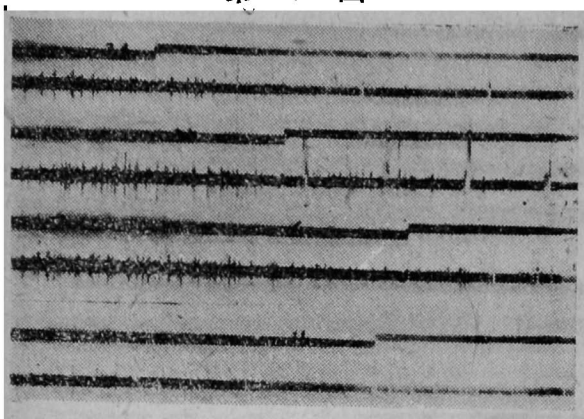
3 頭の実験例中 1 例につきその成績を示せば次の如くで、他はすべて之と同様であった。

No. 22, 10kg, 1951. 8. 5.

先づ右側について左側の線状体破壊を行つた後、左側運動領を刺激して、右側後肢の *M. vastus externus* より筋電図を誘導した。刺激電圧は 65V。刺激頻度は 2.4, 3.5, 6, 11 であった。

筋電図 (第 6 図)

第 6 図



各刺激頻度に於て著明な後発を示しその様相は多少とも grouping の傾向を呈する。

第 5 節 一側視床剔除時に於ける皮質運動領刺激に対する後発

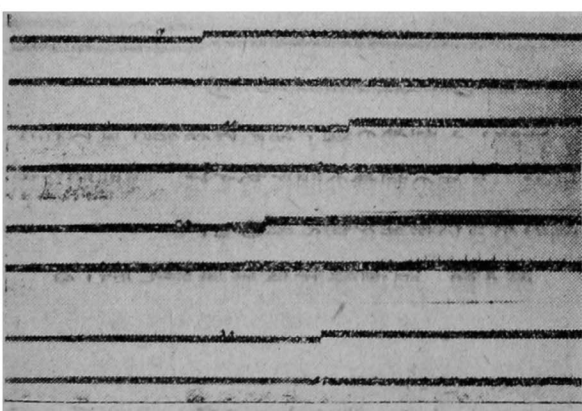
4 頭の実験例中 1 例につきその成績を示せば次の如くで、他はすべて之と同様であつた。

No. 35, 15kg, 1951. 9. 19.

左側の視床剔除後、左側皮質運動領を刺激し、右側後肢の *M. vastus externus* より筋電図を誘導した。刺激電圧は 70V, 刺激頻度は 7, 15, 20, 24 であつた。

筋電図 (第 7 図)

第 7 図



各刺激頻度に於て後発は非常に微弱で、殊に各個の刺激間の後発は殆どなく、連続刺激後の後発も非常に規則的で殆ど grouping discharge は認められない。

第 6 節 脊髓の刺激に対する後発

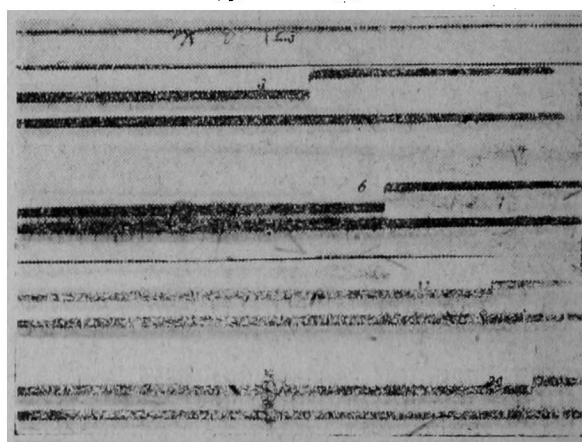
5 頭の実験例中 1 例につきその成績を示せば次の如くで、他はすべて之と同様であつた。

No. 26, 17kg, 1951. 8. 13.

左側の後角より少しく側方即ち左側索路で刺激を加へ、左側の前肢の *M. extensor carpi ulnaris* より筋電図を誘導した。刺激電圧は閾値刺激で既に後発を認めた。

筋電図 (第 8 図)

第 8 図



毎秒 11 回及び 30 回の刺激で著明な後発を認めるが、これは非常に規則的であり、synchronization は認めるが、grouping discharge は殆ど認められない。

第 5 章 總括並に考按

以上の実験成績を見てわかるように、同じく後発といつても、規則正しい放電間隔を示す後発と grouping discharge のように不規則なる後発とがある。前者は脊髓の刺激に際して明瞭に認められることから、時実³⁾の研究によつても明かなる如く、これは脊髓の前角細胞に達した知覚性インパルスに起因するものと考へられる。之に反して後者は皮質運動領分野 4 の刺激に際して之に対応する四肢の筋電図に見られる特有な後発である。それではこの後発現象が運動に関連した如何なる中枢神経系の部分を介して発生するかを追求せんがために、先づ錐体路を切断し、次に錐体外路の中で重要と見做されて居る線状体と視床とを夫々破壊して同様に皮質運動領刺激を行い、この際に於ける筋電図の変化を追求したところ、視床剔除の場合に於てのみ後発現象が消失することを認めた。

既に Rhines and Magoun³⁰⁾ は皮質運動領

を電気刺激しておこる運動に於て、その刺激が supramaximal の刺激であれば、Mechanogram に於て後発の現象が認められ、且それが、intralaminar nucleus の直流刺激で消失することを認めて居るが、これを筋電図によつて追及し、その起源について考察を与へたものは未だ文献上に見られない。

さらに私の実験に於て皮質運動領の刺激の際見られる特徴的な不規則な grouping after-discharge は錐体交叉部に於て錐体路のみを刺激するときには殆んど認められないこと、次に錐体の破壊によつて錐体路を切断してもなお後発の著明に認められること、更に、この後発現象が刺激頻度を増し、且刺激の強さを上げることにより全身痙攣を起さしめる条件に近づけるにしたがつて起りやすくなることから、錐体外路性のものであらうと推測した。こゝで須田³⁴⁾の皮質性頸痙攣の皮質下連鎖の研究に注目すると、その連鎖の中で最も重要なものは、視床と線状体とであり、線状体は両側性に末梢部と連絡を持つてゐる。そこで先づ両側の線状体を破壊して見たのであるが、これではやはり著明な後発を認めるのである。そこで一侧の視床を剔除して見たのであるが、そうすると同側の皮質運動領刺激による特徴的な後発は全く消失することを認めたのである。

由来、視床は感覚に関連した皮質下核であるとの考が強く、運動に対してはあまり考慮が払はれなかつたようである。最近 Lorente de Nó³⁵⁾ のノイロン連鎖説の研究以来、所謂 reverbrating circuit の研究が盛となり、Chang³⁷⁾、Chang and Fulton³⁸⁾ は皮質—視床

間の reverbrating circuit と皮質の反復性の discharge に就ての研究の中で感覚性の reverbrating circuit のみでなく、皮質運動領と皮質下核との間にもかゝる circuit の存在することを述べて居る。又 Bucy³⁹⁾ も不随意運動症の研究に於て、分野 4s 及び 8s より尾状核、線状体を経て視床外側核に達し、これより分野 4 へ行く一つの連鎖を呈示して居る。これらの知見より皮質運動領を刺激しておこる四肢の運動の筋電図に於ける後発が、視床を主とする皮質下核に深く関係を有するであらうことは肯けることであつて、視床の剔除によつてこの後発が殆んど消失することにより、皮質—視床間の reverbrating circuit がこの後発の発生に関して大きな役割を演じていることが考へられる。

第6章 結 論

1. 皮質運動領を種々な頻度で且閾値の約 10 倍の強さの電圧によつて刺激し、四肢の運動をおこさせ、その筋電図を同心円状針電極によつて誘導記録したところ、特有な後発を認めた。

2. この後発は錐体路切断や、両側線状体の破壊によつては消失しないが、刺激と同側の視床剔除では殆んど消失した。

3. 以上の事実から、この特有な後発は、皮質—視床間の reverbrating circuit に起因するものと考へられる。

拙筆するにあたり終始熱心な御指導と御鞭撻を賜はりたる恩師陣内教授に深甚なる謝意を表する次第である。

文

- 1) Dusser de Barenne & Brevée : J. Physiol., **61**, 81, (1926).
- 2) Liddel & Sherrington : Proc. roy. Soc. L. B., **97**, 488, (1925).
- 3) 時実, 津山 : 東京医学会雑誌, **59**, 62, (1951).
- 4) Piper : Elektrophysiologie Menschlichen Muskeln (1912).
- 5) Buchanan : Quart. J. exper. physiol., **1**,

献

- 211, (1908)
- 6) Adrian & Bronk : J. Physiol., **64**, 119, (1929)
- 7) Wachholder : Erg. Physiol., **26**, 568, (1928)
- 8) Hoefer & Putnam : Arch. Neur. (Am.), **42**, 201, (1939)
- 9) Rijlant : Annal. Physiol. (Fr.), **9**, 843, (1933)

- 10) Smith : *Am. J. Physiol.*, **108**, 629, (1934)
 - 11) 田崎 : 神経生理学序説 (1951)
 - 12) 上野 : 日新医学, **25**, 1303, (1936)
 - 13) 岡本 : 条件反射, **7**, 269, (1943).
 - 14) Adrian & Olmsted : *J. Physiol.*, **56**, 426, (1922)
 - 15) 森, 沼本 : 医学と生物学, **18**, 98, (1951)
 - 16) Rahm & Scarff : *Arch. Neur. (Am.)*, **50**, 183, (1943)
 - 17) Fulton, Liddel & Mc K. Rioch : *J. Pharmacol. (Am.)*, **40**, 423, (1930)
 - 18) Chang & Ward : *Proc. ass. res. nerv. ment. dis.* **26**, 61, (1946)
 - 19) Vogt C. u. O. : *Naturw.*, **14**, 1190, (1926)
 - 20) 平沢 : 医学綜報, 第2巻, 第1册 (1948)
 - 21) Starlinger : *Neur. Zbl.*, **14**, 390, (1895)
 - 22) Rothmann : *Neur. Zbl.*, **15**, 532, (1896)
 - 23) Marshall : *Quart. Rev. Biol.*, **11**, 35, (1936)
 - 24) 林 錐体路系, 錐体外路系, 生理学講座4巻, **I**, 1, (1951)
 - 25) Hering : *Wien. klin. Wschr.*, **12**, 831, (1898)
 - 26) Rothmann : *Berl. klin. Wchr.*, **38**, 574, (1901)
 - 27) Rothmann : *Z. klin. Med.*, **44**, 183, (1902)
 - 28) Ranvier : *C. r. Soc. Biol.*, **104**, 79, (1887)
 - 29) Denny-Brown : *Proc. roy. Soc. L. B.*, **104**, 371, (1929)
 - 30) Forbes : *Physiol. Rev.*, **2**, 361, (1922)
 - 31) Fulton : *Physiology of the Nervous System* (1947)
 - 32) Lorente de Nó : *J. Psychol. u. Neur.* **45**, 381, (1933)
 - 33) Cooper & Adrian : *Proc. roy. Soc. L. B.*, **96**, 243, (1924)
 - 34) 須田 : 条件反射, **4**, 472, (1941)
 - 35) 尾崎, 石橋, 渡辺 : 条件反射, **7**, 269, (1943)
 - 35) Rhines & Magoun : *J. Neurophysiol.*, **13**, 235, (1950)
 - 37) Chang : *J. Neurophysiol.*, **13**, 235, (1950)
 - 38) Chang & Fulton : *EEG Clin. Neurophysiol.*, **1**, 249, (1949)
 - 39) Bucy : In *Fulton's Physiology of the Nervous System* (1947)
-