

# 植込電極による人脳病態生理学的研究

第1報：所謂Electrostimographyの手技と  
刺戟電流値の変動について

佐 藤 恵 一  
SATO-KEIICHI

弘前大学医学部精神医学教室（主任 和田豊治 教授）

（24. II. 1959 受付）

## い と ぐ ち

人体前頭葉及び視床部の臨床病態像の追究は従来主としてロボトミーやタラモトミー等の手術侵襲を通して行われて来た。事実またそれによって前頭葉や視床部の機能といった生理学面の知見も大いに開拓されて来た。しかしながら、それ等の手技を通しての追究には限度があり、未だ充分に解明されていない。近年人脳に電極を長期間挿入して行うという所謂植込電極法が JASPER, HEATH, DELGADO, KELLAWAY, BRAZIER, BICKFORD, SEM-JACOBSEN, RIBSTEIN 等の研究によって可能になった。更に BICKFORD, RIBSTEIN 等は、植込電極を介して行う電気刺戟によって治療効果を得ようとし、その術式を Electrostimography と呼ぶことを提唱している。

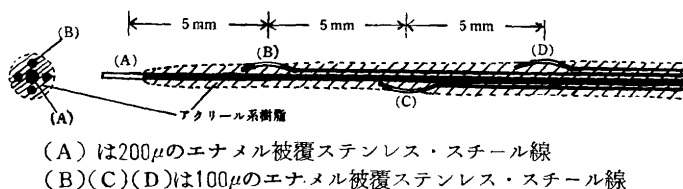
我々は1956年以来、植込電極による人脳直接電気刺戟を実施して来た。即ち、前頭葉や視床部等に多電極針を植込んで電気刺戟を与え、indicator として脳波を記録しながら臨床病像の変化を追及したが、たゞ他の研究者と異って、10~40 volts に及ぶ矩形波電流を、しかも30分~300分に互って継続通電する事によって臨床的治療効果の発現をねらった。本稿

では主として手技の面をとりあげ、臨床像は別稿で詳述する事にする。

## 実 験 方 法

**電極：**我々は現在迄に種々の電極を試作応用して来たが、次のものが有利である事が判明したので、最近では専らそれを使用している。すなわち B.S.G. 32~34番 (200.7~160  $\mu$ ) と38番 (101.6  $\mu$ ) の2種のエナメル被覆ステンレス・スチール線のうち、太線一本を中心に、その周囲に3~6本の細線を同心性に配列し、そのまゝアクリル系の樹脂をクロロフォルムに溶解した液で被覆固定した。電極間隔は1cm及び5mmとし、各電極の先端は1mmほど被覆を除去した。この4~7本の多電極針は刺戟は勿論、電位記録にもよく耐えた（第1図参照）。なお研究の初期に於ては、エナメル被覆銅線・エナメル被覆銀線・樹脂系絶縁体被覆銀線等をそれぞれ使用したが、上述の電極が最も有効・便利であった。脳組織に対する電極や刺戟の影響については、動物実験による所見を別稿でのべる。

第1図・使用電極針見取図



**消毒：**上述の電極は100倍の逆性石鹼液中で18時間以上消毒しているが、それだけの操作で化膿等の障害をみていない。即ち消毒の操作はそれで充分と思われる。

**植込手技：**植込を行う際には予め気脳室写を行ってから植込の位置を定めた。即ち前頭葉に対しては主として標準ロボトローに準じた穿孔部位から色々の方向に電極を挿入した。視床部に対しては、頭蓋の中心線より3cm外側部より挿入し、その直後にレントゲン像をみた上で部位の良否を検討し、然るべく補正したが、目的とした部位は視床脊内側核である。このような挿入電極を、研究初期では我々が試作した極固定装置により固定した。しかし頭蓋骨固定法は極めて困難であったので、色々検討の結果、次のような簡易な方法を採用した。即ち、上述した我々が使用している細いステンレススチール線を用いる場合には、固定装置を介するよりも電極挿入後に穿孔上で導線を骨膜及び筋膜に縫合糸で直接結紮して固定する方が遙かに有利であった。そしてBECKER等の行っているように、長い誘導線を頭皮下約10cm以上通して頭皮に導く。この術式は患者に異物感を与えることが少く、また固定装置そのものによる組織の損傷もなく、然も簡単であり、その他種々

の点で有利であった。

**脳波器への接続：**脳波器に接続するには、頭初にはミニアチュア真空管のソケットを利用したconnectorを用いていたが、しかし現在使用している細いステンレススチール線の場合には、最小型の“ミノムシクリップ”を利用している。つまり頭皮外に出た導線の先端の被覆を取り去り、この部分を“ミノムシクリップ”で挟み、クリップに導線を附けてそのまま電極函に接続する。頭皮外に出ている誘導線は、使用時外には繃帯で簡単に保護・固定し得る利点もある。

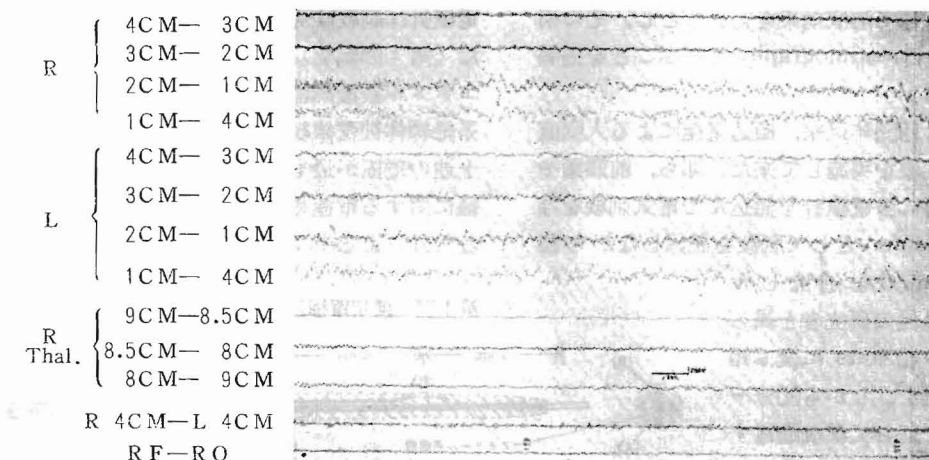
## 実 験 成 績

### 1. 脳波所見

以上のような手技で電極を脳の所定の部位に植込んだ後、24時間を経て脳波を記録することを前提としたが、我々は現在までに諸種精神神経疾患患者25例に前頭葉皮質下部・視床部・及び側頭部にそれぞれ電極を植込んで検索した。次にその所見のあらましを述べる。

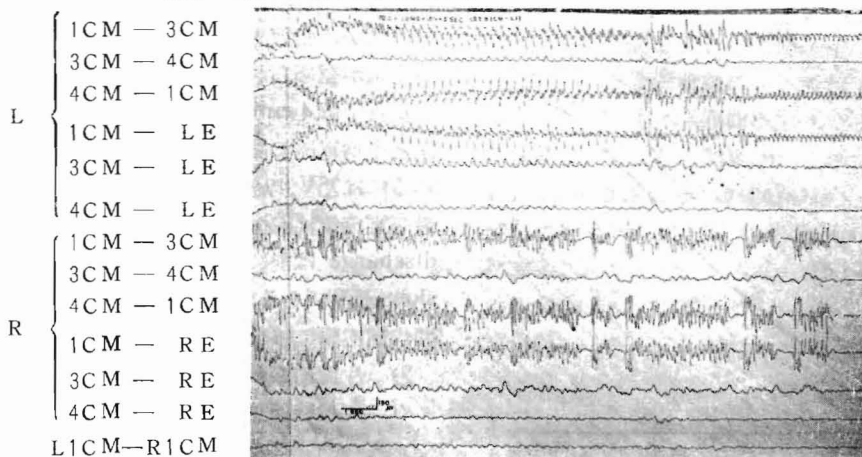
安静時に於ける脳波所見：安静時に於ける前頭葉皮質下部・視床部の脳波の1例は第2図に示す通りである。一般に前頭葉皮質下部の脳波は、その電極の挿入個所によりpatternが異なり、個人の差が大であり、固有律動を

第2図：無刺戟時脳波所見



R：大脳右半球。L 大脳左半球。Thal.：視床部。R F 右頭皮前頭部。  
R O 右頭皮後頭部。CM 皮質下部の皮質よりの電極の深さ。

第3図：after-dischargeを示した場合の脳波所見（刺激はR1CM—L1CM間で  
70C・15V・1MSECを5秒間）



L：左側前頭葉．R：右側前頭葉．CM：皮質下部の皮質よりの電極の深さ  
E：接地．

見出しがたい．これに対して視床部脳波は、 $7\sim 9$  c/sec の概して規則的な pattern である．これ等の pattern は光刺激によっても殆んど影響をうけず、閉眼・開眼による変化も認められないようであった．

電気刺激時に於ける脳波所見：刺激条件は  $0\sim 45$  v.・ $3\sim 100$  c/sec, パルス巾  $1.0\sim 100$  msec の矩形波を使用した．

まず前頭葉皮質下部  $1\sim 2$  cm の個所に於ける刺激では、刺激部位及びその附近に著明な  $7\sim 8$  c/sec の spike-wave-complex 型の discharge の発来が認められるが、しかし視床部頭皮上には波及しない．また前頭葉皮質下部  $3\sim 4$  cm の部位の刺激では、主として high voltage slow 波の発来があり、spike-wave-complex の発来は認められなかった．前頭葉と視床部の刺激、或いは両側視床間の刺激では、 $1.5\sim 3$  c/sec の high voltage slow 波の発来が認められ、なかには反対側の前頭葉深部に波及する所謂同期性放電が認められた例もある．これらの所見のうち、1例を示すと第3図のようである．

## 2. 刺激電流値の変動

以上のような刺激後に刺激部位に発来する所謂 after-discharge を我々は主として記録

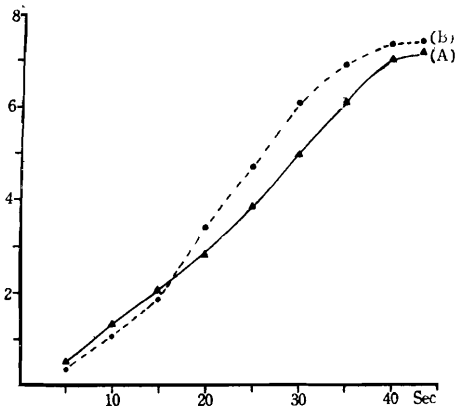
したのであるが、次いで種々の条件のもとにそれを追求した．同一条件の下に同一個所の刺激を繰返しても、必ずしも毎回 after-discharge が発来しないことを経験したからである．そこで我々は after-discharge を発来せしめるためには一定量の電流値が必要ではないか、との想定によって刺激時に於ける電圧と平均電流値との関係を臨床像を中心として追求してみた．即ち次の通りである．ただ次にのべる所見は使用した刺激電流を  $0\sim 45$  V.・ $50$  c/sec・パルス巾  $10.0$  msec の矩形波という一定の条件下で検討したものである．

### 1) 両側半球前頭葉間刺激時所見

#### A) 両側前頭葉極（皮質）間の刺激

両側前頭葉極に電極（この場合は径  $5$  mm の円板銀電極）を置いて、電圧を除々に  $0\sim 45$  V. 迄  $30$  秒間に上昇させた場合の平均電流値の変化を示すと、第4図（A）のようである（以下各項の実験条件は同様に電圧を  $0\sim 45$  V. 迄  $30$  秒間で徐々に増加したものである）．この場合、 $10$  V. では刺激部位に疼痛を訴えるが、身体的には何等の変化も認められない．しかし電圧の上昇と共に疼痛が強くなり、 $30$  V.（平均電流値  $5.2$  mA）では、全身が強直し意識喪失を来す． $45$  V. では  $7.5$  mA を記録

第4図：両側前頭葉の皮質間（A）と皮質下部間（B）の刺激に於ける電圧と平均電流値との変化



する辺りに至っても痙攣発作にまでは至らない。しかしながら、30V.で急激に3秒間刺激した場合は、最高 8.7mA の平均電流値を記録し、全身痙攣発作の発来が認められた。電圧及び刺激時間を種々加減して刺激を行ったが、我々は前頭葉極皮質部に於ては、皮質下部に認められるような著明なafter-dischargeの発来を認めることが出来なかった。

#### B) 両側半球前頭葉（皮質下部）間の刺激

両側前頭葉皮質下部間の刺激では、前に述べた如く著明な after-discharge を認めるが、この場合の皮質下部2cm間の電圧と平均電流値の変化を計測例について示すと、次の第4図(B)の如くである。即ちこの場合は前と同様に30秒間に亘って徐々に電圧を上昇させたものであるが、10V.・1 mA の刺激を一種の異常知覚として該検者は感じ、15V.・2 mA ではそれが疼痛として感じられる。電圧の上昇と共に平均電流値は増加し、35V.では7 mA を記録していた。しかしながら、急に電圧を上昇させた場合には30V.・6.2 mAに至って全身の強直性痙攣が生じている。しかし通電終了後は直ちに意識を回復し、強直状態から間代性痙攣に移行することはなかった。又脳波上で after-discharge の発来を認めることもなかった。15V. の電圧で30秒間通電した

場合には、最高 4.8mA を記録し、それから5秒後には2mAまで下降し、その後も漸次下降を続けたが、脳波上には著明なafter-dischargeの発来が認められた。

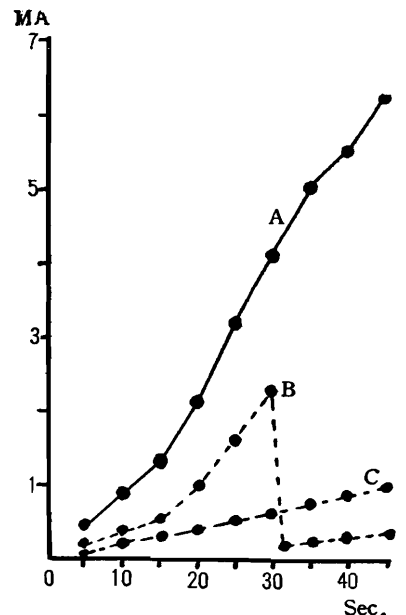
皮質下部4 cmの部位間では、ほぼ同様の電圧と平均電流の関係を示したが、刺激効果を得るには25V.以上を必要とした。この場合は最高電流値は8.2mAであった。発来するafter-discharge は前に述べた如く high voltage slow 波型であるが、その後で全身の強直性・間代性痙攣に移行するが多かった。

#### 2) 片側前頭葉皮質下部と視床部との間の刺激時所見

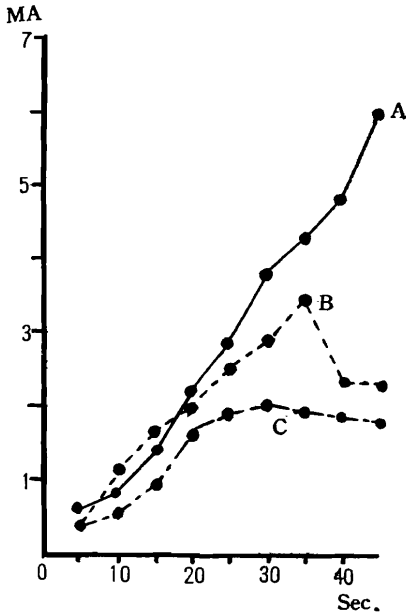
##### A) 前頭葉皮質下部・視床部間刺激

電圧を30秒間に 45V.まで徐々に上昇させた場合の平均電流値は第5図に示す通りであった。図の(A)は通常の場合である。即ち15V.では1.3mAの平均電流値を示し、刺激を知覚として感じ、その後は電圧の上昇と共に急速に平均電流値が増加する。25V.では3.3mAを記録し、刺激入力側に疼痛を訴え、28V.以上で全身の強直性痙攣を生ずる。45Vで6.25

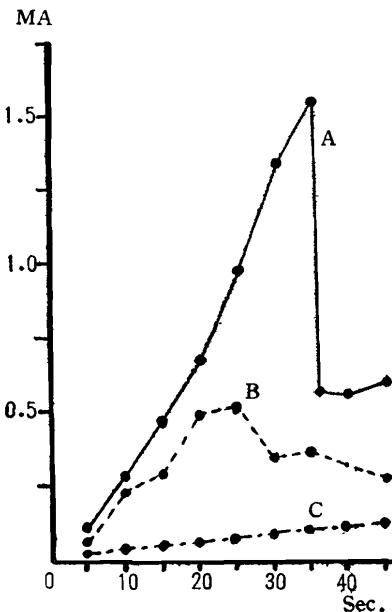
第5図：片側前頭葉皮質下部と視床部間の刺激時に於ける電圧と平均電流値の関係



第6図 片側視床部と前頭葉皮質下部間の刺戟時に於ける電圧と平均電流値の関係



第7図 両側視床間の刺戟時に於ける電圧と平均電流値の関係



mA を記録している。強直性痙攣は刺戟終了と共に消失し、after-dischargeの発来はなかった。しかしながら、25V.で一気に30秒間刺戟した処、最高8.4mAの平均値が記録され、

それが5秒後に4mAを示し、その後漸次下降して来た。しかし視床部にはafter-dischargeの発来が認められた。(B)は同一症例に対して再三刺戟を繰返した後に生じた変化像である。即ち次に述べる両側視床部の刺戟と同様の経過を示し、30V.で2.3mAを示していたが、その後急速に電流値が減少した。それでいて視床部に著明なafter-dischargeの発来が認められた。(C)は視床部のafter-dischargeの発来中に徐々に電圧を上昇させた場合の平均電流値の最高値の変動を示す。(B)の場合には20V.で1.0mAを示し、刺戟を知覚し、30V.では疼痛を訴えたが、(C)の場合には45Vで1.0mAを示したけれども刺戟を知覚するには到らなかった。

#### B) 視床部→前頭葉皮質下部間刺戟

この場合にも第6図に示す如く、前図とは同様の電圧・平均電流値の関係を認めることが出来たが(A曲線参照)、しかしながら、刺戟を繰返した後に於ては、(B)或いは(C)の如き平均電流値を示す場合があった。(A)の場合では15V.で1.4mAを示し、入力部に刺戟を感じ、25V.・2.7mAで疼痛を、30V.・3.7mAで全身の強直性痙攣を生じた。(B)の場合には、35V.・で3.5mAを示し、疼痛を強く訴え、その後40V.・2.2mAとなって下降したが、視床部にafter-dischargeの発生が認められた。又(C)の場合は20V.で2mAを示し、その後は電圧の上昇があっても平均電流値の増加は認められず、むしろ下降の傾向を示している。それでも刺戟終了と共に視床部に著明なafter-dischargeが発来していた。

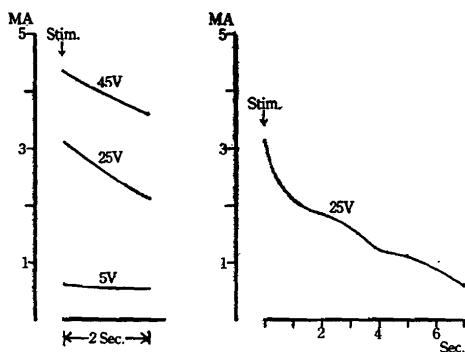
#### 3) 両側視床間刺戟時所見

30秒間に45V.まで電圧を上昇させた場合の1例を示すと、第7図の通りである。図A曲線の如く、視床間の刺戟では他の部位に比し流れる電流値は非常に低く、35V.で1.6mAを示したにすぎない。その後は急速に下降し、それと同時にafter-dischargeを生じている。この場合は17V.・0.5mAで刺戟を知覚として感じ、25V.・1.0mAで強直性痙攣状態と

なった。視床部にafter-dischargeが発生している際に再び電流を通じた時の電圧・平均電流値曲線は図中の(B)・(C)に示す通りである。(B)は最大値を示した場合であり、(C)は普通一般に見られる場合である。いずれの場合にも通電は知覚として感知されていない。

次に両側視床部間を2秒間急激に通電した場合の電圧・平均電流値の変化を示す。即ち第8図のようで、45V.で刺戟した場合に4.3mAを示し、それが2秒後には3.7mAまで下

第8図：短時間2秒通電時（左図）と継続通電時（右図）に於ける平均電流値の変化

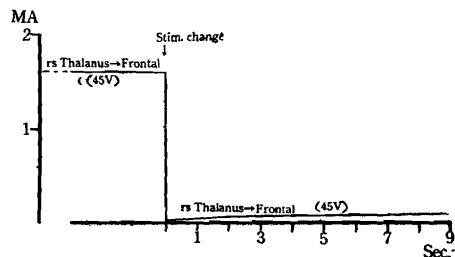


降、この間は強直性痙攣を生じた。25V.の場合も3.1mAを示し、2秒後は2.1mAと下降、同様に強直性痙攣を示した。しかしながら、5V.では、0.65mAを示し、軽度の刺戟感を訴えただけであった。そこで、25V.でafter-dischargeを生ずるまで通電した処、5秒後には1.5mAと下降、8秒後には100 $\mu$ Aを示した。この場合には、ほぼ上記の刺戟後5秒時にはafter-dischargeがすでに発生しているものと推定される。

#### 4) 逆方向通電の場合の所見

一定の方向に通電し、その後通電の方向を逆に切換えた場合、一般には何等電圧と平均電流値には変化は認め難かった。しかしafter-dischargeが発生している際には、第9図に示す如く、逆方向に対しては、電流が全然流れない状態にあることを観察した。この際には両極間の計測抵抗値と、いま一度通電方向と逆方向に於て計測した場合のそれとの間には

第9図：逆方向通電時に於ける平均電流値の変化



著明な差がみられた。

#### 考 按

我々は植込電極によって矩形波電流を長時間に亘って通電するという刺戟を施行し、その臨床病態像の変化と脳波像を主として観察したのであるが、その刺戟のindicatorとしてまずafter-dischargeを追突した。然もその所見は前述の如く、まちまちで同一条件下に於いて常に一定した結果を得ることが出来なかった。そこでそれらの原因について種々の追突を試みた。

まず、我々の所見を経括すれば各部位間の刺戟に於いては、その平均電流値と電圧との関係には量的に差異が認められる。しかし電圧を上昇させた場合に示される平均電流値の変化曲線は、その刺戟部位に関係せずにはほぼ同様の上昇曲線を示していた。即ち、徐々に電圧を上昇させた場合には、その平均電流値は徐々に増加し、その上昇の曲線は電極の位置の異なるにかゝらず、ほぼ同様の曲線として示される。勿論徐々に電圧を上昇させ、after-dischargeの発生が予想される様な強電流が流れた場合でも通電時間内にはafter-dischargeの発生を認めることが出来なかった例も観察された。しかしながら、急激に一定の電圧にて通電した場合には、流れる平均電流値は非常に多く、通電時間と共に減少する傾向が認められ、しかも脳波上に於いてはafter-dischargeが発生し易い。

ひるがえって、我々の使用した刺戟電流は、0~45V.というように、一般の生物学的

実験に使用するものより高压である。従って従来の“膜説”等の考えでは説明出来ないこと、換言すれば一種の *accomodation* によるものと推定される。もちろん刺戟時に於ける人脳そのものの生理学的状態、或いは植込み部位や植込電極そのものの状態も大いに関連をもつものと考えられるが、現在の処はそれらを十分に解明し得ないのは残念である。

いつれにせよ、人脳に対して直接電気刺戟を行った場合、刺戟電流が或る閾値を過ぎると *after-discharge* が刺戟部位に生ずる。この場合、さらに刺戟を附加しても、我々の実験した範囲内に於いては、微弱な電流が流れるのみであることが了解される。この傾向は脳の表層よりも深部で著明であった。

この現象を抵抗値の面から考察するに、刺戟電流を通電する前の両極間の抵抗は、抵抗計で測定して、例えば (+) → (-) の方向にはほぼ  $30K\Omega$ , (-) → (+) には  $40K\Omega$  を示していたとすると、 $1V \cdot 1$  秒間の通電後には、すでに (+) → (-) 間では  $5K\Omega$ , (-) → (+) 間では  $80K\Omega$  といったような差を生じていることをみた。即ち明らかに著明な分極作用が発生しているものと云い得よう。電圧上昇の場合でも、(+ ) → (-) では  $2 \sim 5K\Omega$  を示すのみであるし、これは平均電流値と電圧の関係からも計算出来る。この場合、逆に (-) → (+) の方向に刺戟電流を流すと、*after-discharge* の発来のない限り、直ちに通電方向に於ける抵抗値は小さくなり、刺戟電流が流れ、それが電圧と共に平均電流値も増加する。しかしながら、*after-discharge* の発来中には、逆方向に対して刺戟電流を加えても、その流れる電流量は僅少であり、(+ ) → (-), (-) → (+) のいずれの方向に対しても抵抗値は高抵抗を示したことも付記しなければならない。

我々は、種々の刺戟電流を人脳前頭葉・視床部に加えて、その臨床病態像の変化について観察を行っているのであるが、以上の点より考察するに、長時間電気刺戟を行い、刺戟

による効果を得ようとする場合には、少なくとも *after-discharge* の発来する前の電流値で刺戟を継続すべきであるという結論に達する。また *after-discharge* そのものがすでに発来している場合は刺戟を行っても特別有効であるとは推定されない。我々は以上の点を考慮に入れて長時間刺戟を行っているが、その臨床病態像の変化の追究に際しては、これらの手技上の問題はぜひ考慮に入れなければならない点ではあるまいか。

## 結 論

我々は今日までに神経精神疾患患者に対し、植込電極を使用して電気刺戟を行って来たが、その所見のうち、その術式と刺戟時に於ける平均電流値と電圧との関係について述べ、また抵抗値の問題についても言及した。特に人脳に対して高電圧長時間電流刺戟を行う場合には、*after-discharge* の発来中に刺戟電流がほとんど遮断される様な現象が見受けられたことから、*after-discharge* 発来前の電流値で、常に有効な刺戟を行うことが望ましいと思われる。

本研究は文部省科学研究費の補助による。

## 文 献

- 1) BECKER, H. C., FOUNDS, W. L., REACOCK, J. A. S. M., HEATH, R. G., LIEWELLYN, R. C., and MICKLE, W. A. EEG Clin. Neurophysiol., 1957, 9, 533.
- 2) BICKFORD, R. G., PETERSEN, M. C., DODGE, H. W. Jr., and SEM-JACOBSEN, C. W. Proc. Mayo-Clin. 1953, 28, 181.
- 3) BICKFORD, R. G. : Neurology, 1957, 7, 467.
- 4) BRAZIER, M. A. B. : EEG Clin. Neurophysiol., 1956, 8, 532.
- 5) DELGADO, J. M. R., HAMLIN, H., and CHAPMAN, W. P. : Confinia neurol. 1952, 12, 315.
- 6) DODGE, H. W., BICKFORD, R. G., BAILEY, A. A., HOLMAN, C. B., and PETERSEN, M. C., SEM-JACOBSEN, C. W. : Postgrade Medicine, 1954, 15, 291.
- 7) FISHER, GERD, SAYRE, G. P., and BICKFORD, R. G. Proc. Mayo-Clin. 1957, 32, 14.

- 8) HEATH, R. G. : Studies in Schizophrenia. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 1954.
- 9) HUNTER, J., and JASPER, H. H. : EEG Clin. Neurophysiol., 1949, 1, 305.
- 10) DELGADO, J. M. R., and HAMLIN, H. : EEG Clin. Neurophysiol., 1956, 8, 371.
- 11) KELLAWAY, P. : EEG Clin. Neurophysiol., 1956, 8, 527.
- 12) SEM-JACOBSEN, C. W., PETERSEN, M. C. : Proc. Mayo-Clin.,
- 13) SEM-JACOBSEN, C. W., PETERSEN, M. C., LAZARTE, J. A., DODGE, H. W. Jr., HOLMAN C. B. : Am. J. Psychiat., 1955, 112, 278.
- 14) SEM-JACOBSEN, C. W., PETERSEN, M. C., DODGE, H. W. Jr., LAZARTE, J. A., and HOLMAN, C. B. : EEG Clin. Neurophysiol., 1956, 8, 263.
- 15) WALKER, A. E., et RIBSTEIN, M. : Rev. Neurol., 1956, 96, 453.