

# 岡山医学会雑誌

第71巻8号の2(第773号)

昭和34年8月15日発行

612.825.1

## 皮質運動領刺激による運動反応発現機序 に関する実験的研究

岡山大学医学部第1(陣内)外科教室(指導 陣内教授)

医学士 岡田 康 男

[昭和34年6月19日受稿]

### 内 容 目 次

第1章 緒言ならびに文献

第2章 実験方法

第1節 麻酔ならびに開頭術式

第2節 電気刺激方法

第3節 標本作製ならびに鏡検方法

第3章 実験成績

第1節 皮質運動中枢の電気刺激閾値について

第1項 犬における実験成績

第2項 猫における実験成績

第3項 猿における実験成績

第2節 電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係について

第1項 犬における実験成績

第2項 猫における実験成績

第3項 猿における実験成績

第4章 総括ならびに考按

第5章 結 論

### 第1章 緒言ならびに文献

1691年 Robert Boyle<sup>1)</sup> の臨床的観察によつて大脳皮質に運動領の存在することはすでに想像されていたが、その後 Hughlings Jackson (1864)<sup>2)</sup> が焦点性癲癇の観察により皮質運動領の存在を予言し、Fritsch u. Hitzig (1870)<sup>3)</sup> がはじめて大脳皮質に感応電流を用いて電気刺激実験を試み、反対側の四肢に運動を起す部分のあることを指摘し、大脳皮質運動領が存在することを発表して以来、生理学および細胞構築学的方面からの研究が相ついで行われ、運動中枢の局在について盛んに論ぜられるようになった。すなわち、Ferrier (1873)<sup>4)</sup> は猿のある興奮領域、例えば“手の領域”を切除すると手が麻痺を起すことをみ、また

Bartholow (1874)<sup>5)</sup> は悪性頭蓋骨腐蝕にかかつてい  
る患者の骨腐蝕部から初めて人間の大脳皮質運動領を  
刺激し、反対側の激しい運動をひき起すのを見た。つ  
いて、Beevor and Horsley (1890)<sup>6)</sup>、Grünbaum  
and Sherrington (1901-1903)<sup>7) 8)</sup>、Talbert (1900)  
<sup>9)</sup>、Rothmann (1902-1907)<sup>10) 11) 12)</sup>、Munk (1881)  
<sup>13)</sup>、Bechterew (1911)<sup>14)</sup>、Leyton and Sherring-  
ton (1917)<sup>15)</sup>、Vogt (1920-1926)<sup>16) 17)</sup>、Weed  
and Langworthy (1926)<sup>18)</sup>、Foerster (1936)<sup>19)</sup>、  
Woolsey (1933)<sup>20)</sup>、Smith (1935)<sup>21)</sup>、Penfield  
and Boldrey (1937)<sup>22)</sup>、等の多数の諸家によつて  
類似の研究が相ついで行われ、生理学的方面から運動  
中枢の局在について盛んに論ぜられるようになり、運

動領の概念が確立せられるにいたつた。そして大脳皮質には電氣的刺激に応じて身体の運動を起す部位は他にも存在しうるけれども、そのなかでも最も容易に反応を示す部分は前中心回であり、しかも Betz 細胞の存在する分野 4 が刺激閾値がもつとも低く、かつこの部の刺激によつて起る運動は他の皮質部の刺激の場合と異なり個々の筋または小さい筋群に局限した個別運動であることが明らかとなつた。

一方、細胞構築学的方面においては、Meynert (1867-1868)<sup>21), 22)</sup> が大脳皮質の細胞を系統的に研究し、脳全体にわたりこれらの細胞が水平に走る 5 つの層となつて配列していることを明らかにし、かつ Berlin の発見せる大脳皮質における 3 種の神経細胞の機能について錐体細胞は運動細胞、顆粒細胞は感覚細胞、紡錘状細胞は連合細胞であるという説を唱え、さらに大脳半球前部が運動性であると提唱し、今日の大脳皮質の細胞構築学的研究の基礎を築いた。その後 Betz (1874)<sup>23)</sup> は人脳前中心回ならびに旁中心小葉に巨大錐体細胞の存在することを発見し、ついで犬においても S 状回附近にこの細胞を発見した。これがいわゆる Betz 細胞であるが、その分布域が Fritsch u. Hitzig の電気刺激実験により単運動を起した部分に一致することからこれを運動起始細胞と考えるにいたり、運動中枢の局在に関する解剖学的研究の基礎をなした。ついで Bevan, Lewis and Clarke (1878)<sup>24), 25)</sup> は Betz 細胞の分布を詳しく研究し、皮質を 6 つの細胞層に分類し、かつ Betz 細胞は第 5 層に存在すると唱えた。この Bevan, Lewis の分類図はその後 Vogt, Brodmann によつて用いられ、現在にいたるも広く使用されている。また Golgi (1880)<sup>26)</sup> は鍍銀法で前中心回の細胞の形状に関する研究を行い、Hammarberg (1895)<sup>27)</sup> は Nissle 染色法を用いて細胞構築学的に詳細に研究し、個々の層の厚さ、細胞の大きさ、細胞密度に関し綿密なる計測を行い、また運動領においては第 2 層及び第 4 層をまったく欠如しているとのべている。かくのごとく運動領の細胞構築学的研究が進むにつれて、Schlapp (1898)<sup>28)</sup> は不完全ではあるが初めて猿脳について細胞構築学的脳図を作り、Campbell (1905)<sup>29)</sup> により最初の人間の脳図が作成せられた。彼はとくに “Area Praecentralis” を詳細に分析し、これを “Motor Area” と命名し、その前方に接して細胞構築学的に類似せる分野の存在することを認め、この領域を “intermediate praecentral Area” と命名した。ついで Brodmann (1909)<sup>30)</sup> は比較解剖学及び胎生学的に大脳皮

質の研究を行い、大脳半球皮質を 52 分野に区分し、Betz 細胞の存在する部を分野 4、Campbell の “intermediate praecentral Area” を分野 6 とよんだ。その後 Vogt 夫妻 (1926)<sup>15)</sup> は人脳を 200 分野にまで区分し、また猿脳の前中心回及び旁中心小葉を電気刺激した結果、尾部、下肢、軀幹、上肢、頸部の順に強縮性個別運動の起ることを実験し、分野 4 を強縮性個別運動に対する 1 次野といい、これに対して氏のいわゆる 2 次野、3 次野の刺激によつて起る強縮性個別運動は皮質内綜合線維により 1 次野を介して行われるのであるとのべている。Economo u. Koskinas (1925)<sup>31)</sup> は細胞構築学に関する従来の研究を集大成し、これに自己の所見を加えて検討し、大脳半球皮質を 54 分野 107 部に区分し、Brodmann の分野 4 を “F<sub>Ag</sub>” 分野 6 を “F<sub>B</sub>” とし、両者の間に構造は “F<sub>Ag</sub>” に類似するが Betz 細胞を欠如する分野 “F<sub>A</sub>” を区別している。また Fulton (1935)<sup>32)</sup> は Brodmann の分野 4 を “Motor Area” 分野 6 を “Pre-motor Area” となづけた。

かくして細胞構築学的研究の進歩により組織解剖学的にも運動領は Betz 細胞を有する Brodmann の分野 4 に相当することが明らかとなり、また生理学的にも電気刺激により分野 4 が刺激閾値がもつとも低く、かつ個々の筋ならびに筋群に局限せる個別運動を示す部分であることが明らかになり、錐体路の起始細胞は Betz 細胞であると考えられるようになった。なおこのことに関しては、Langworthy (1926)<sup>16)</sup> は生後数週間の短尾猿の嬰兒の大脳皮質を強く刺激しても単運動を起さず、これはこの時期には Betz 細胞の分化が不充分であり、かつ錐体路自身の Myelinization が不完全なためであろうと考え、また Dusser de Barenne (1934)<sup>33)</sup> は層凝固実験で 80°C に熱した金属の表面を短尾猿の皮質運動領に 5 秒間あてると、皮質の 6 層全部が破壊されてその興奮性はまったくなくなるが、70°C、3 秒間では外側の 3~4 層までが破壊され、この場合は分野 4 の興奮性は本質的には変化しない。この結果から分野 4 の興奮性は Betz 細胞を直接に刺激することによつてえられるものであつて、皮質表面からの神経線維性径路により Betz 細胞に伝達されるものではないとのべている。Rothmann (1902-1907)<sup>10), 34)</sup>、Marshall (1933-1935)<sup>35)~38)</sup>、Tower (1935, 1940)<sup>39), 40)</sup> 等は延髄錐体路の切断を行うことにより分野 4 は個別運動を起す能力を失い、かつ Betz 細胞が逆行性変性をうけることから、Betz 細胞が錐体路起始細胞であるとした。

以上の事実から第5層の Betz 細胞が運動起始細胞であることが間接的に証明せられ、Betz 細胞を有する分野4が脳皮質運動中枢であると一般に考えられるようになった。しかしながら生理学的方面の研究が進歩してくるにつれて、錐体路線維は従来の解剖学的に Betz 細胞の存在する場所と認められていた Brodmann の分野4以外からもでていいるということが唱えられるようになってきた。すなわち、Penfield and Boldrey (1937)<sup>20)</sup> の電気刺激による実験では、電気刺激に対して容易に単運動を起す部は相当に広く存在していることを認め、本邦においても渡辺政 (1947)<sup>41)</sup> により類似の報告がなされている。また錐体路線維の切断により分野4以外、たとえば Brodmann の分野6, 2, 5の錐体細胞にも変性を起すことが Schröder (1914)<sup>42)</sup>、Minkowski (1923)<sup>43)</sup>、Levin and Bradford (1938)<sup>44)</sup> 等により注目せられ、ことに Levin はその際、変性を起した細胞は異所性 Betz 細胞にほかならぬとした。本邦においても陣内(1946)<sup>45)</sup>、大塚 (1951)<sup>46)</sup> は、それぞれ人脳の分野6において孤立状に或は島嶼状に異所性 Betz 細胞を認めており、平沢及びその門下<sup>47), 48)</sup> は、錐体路線維は従来の運動領、すなわち分野4及び分野6のみからでるのではなく、分野1, 2, 5, 7, 8, 9などからもでていいることを証明している。そしていわゆる皮質運動領とは錐体路線維をだしている起始細胞の最も稠密な領野にすぎないとのべていいるのである。また Lassek (1948)<sup>49)</sup> は錐体路線維の研究で、Betz 細胞の数は錐体路線維の数のわずか2~3%にすぎず、錐体路起始細胞は Betz 細胞のみではなく、錐体路線維は他の領野からもでていいると推論している。

次に運動領の電気刺激による生理学的研究と組織解剖学的研究とによる脳皮質運動領の範囲に関する関係についてみるに、Holmes and May (1909)<sup>50)</sup> は猿について実験を行い、電気刺激的にみた運動領の範囲と錐体路線維の切断により逆行性変性をきたした Betz 細胞の分布域とが一致することを発表し、Woolsey (1933)<sup>18)</sup> は犬における実験で電気刺激による運動領の範囲の方が Betz 細胞分布域よりもわずかに広いとのべ、さらに教室の渡辺<sup>41)</sup> (1952)<sup>51)</sup> も犬及び猫について検討し、電気刺激による運動領の範囲は Betz 細胞の分布範囲にほぼ一致するといっている。しかるに教室の道中 (1956)<sup>52)</sup> は人脳及び猿脳において詳細な研究を行い、上肢領域では生理学的運動領の範囲が組織解剖学的運動領よりかなり広く、下肢領域ではほぼ一致するか或はわずかに狭いとのべ、かつ

電気刺激により単運動を起す機構を示すセーマを考案し、各皮質運動中枢なるものは同一反応を起す多数の同種の細胞群よりなり、中心部に密に、周辺部に疎に集合しており、電気刺激によつてえられる反応は1個の細胞が刺激され興奮したのみでは起らず、その刺激による電場内にいくつかの細胞が含まれてはじめて起るものであると提案した。私はこの問題についてより詳細な電気生理学的ならびに組織学的研究を試むべく実験的研究を企てた。

## 第2章 実験方法

実験動物としては体重8.8~14.1kgの健康な犬9頭及び体重2.5~4.25kgの健康な猫7頭及び手、足の習熟した線細な運動を行う猿 (*Macaca mulatta*) 1頭を選び、数日間乃至数ヶ月間飼育した後、実験を行った。実験には両側大脳半球を使用したものもある。

### 第1節 麻酔ならびに開頭術式

麻酔には犬、猫、猿ともに脳幹麻酔剤とされている10% Dial 溶液を用いた。一般に Dial 麻酔下においては注射後10~30分にして適当な麻酔期に入り、かつ深麻酔下においても運動領の電気刺激に対する反応がよく現われ、また血圧下降により術中の出血量が少く、術中脳浮腫を起しにくいために長時間の実験に適するといわれ、Ward (1947)<sup>53)</sup> は Dial を用いると電気刺激が Betz 細胞に比較的容易に選択的に働くので皮質運動領の局所解剖学的中枢の解明に好んで使用せられるようになったとのべていいる。また Fulton 等 (1930)<sup>54)</sup> によれば、Dial を用いると他の麻酔剤とくらべ皮質の興奮性を低下せしめることが少く、また皮質内の multineuronal の関連を抑制するので電気刺激が Betz 細胞に対して比較的選択的に働くといっている。

手術当日は絶食させ、10% Dial 溶液を犬に対しては Pro kg 0.5cc、猫には Pro kg 0.4cc、猿には Pro kg 0.35cc を腹腔内に注射した。約30分後には酩酊朦朧状態となり、全身の筋緊張が弛緩するので、この時期を待つて動物を実験台上に腹位に固定し、頭部及び軀幹は台上に緊縛し、四肢は下方に下垂せしめて自由に動きうるようにし、刺激による運動反応の観察に便利なようにした。

つぎに頭頂部皮膚に正中切開を加え、頭部諸筋を骨膜とともに下方に向つて剥離し、前頭骨にドリルで孔を開け、骨鉗子でもつて前頭骨、頭頂骨、側頭骨および後頭骨の一部を切除し、猫においては眼窩後壁に及ぶまで前頭骨を切除し、つぎに脳硬膜を切開して皮質

運動領，すなわち犬，猫においては前，後S状回，猿においては前中心回および後中心回を露出した．反対側大脳半球も同様に手術して露出した後，上矢状静脈洞上部の骨を除去し，ついで両半球の脳硬膜を上矢状静脈洞に平行に，かつ接近してできるだけこれを傷つけぬように開き，さらに上矢状静脈洞に入る比較的太い静脈を結紮または電気凝固をもつて焼灼止血して両半球を充分に露出せしめ，この露出せる両半球には温生理的食塩水を綿花にしめして寒冷及び乾燥などから防ぎ，約30分の休息を与えて実験を開始し，手術による影響をなるべくさけた．

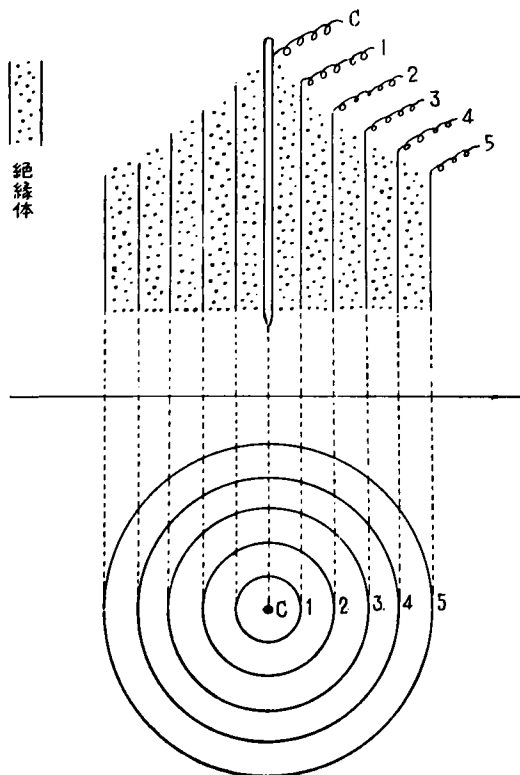
## 第2節 電気刺激方法

皮質運動領の電気刺激としては Fritsch u. Hitzig (1870)<sup>3)</sup> が平流電気，Ferrier (1874)<sup>4)</sup> が感應電気を用いて以来，装置が簡単なるために好んで用いられた．しかし平流電気は相当に強い電流を必要とすることが多く，そのために熱凝固または分極現象を生ぜしめることがあり，感應電気は不安定で，その値をあらわすのに一定の標準がなく，そのうえ刺激時に往々痙攣発作を誘発する危険が大で，同一点に連続して使用することができない．その他60cycleの交流が使用されるが長時間の使用により痙攣発作を起すことが多く，最近ではもっぱら矩形波電流が一般に用いられる

ようになった．これは一定の波形でしかも個々の刺激の持続時間，頻度，強さを独立して任意に変えうる利点がある．そこで私は日本光電製出力回路絶縁式刺激装置を使用した．電極としては従来の単極を用いてすればその電場の拡がりかたがまったく複雑であり，従つて刺激閾値において刺激される細胞の数を求めようとしても無理である．双極においては，ほぼ両極間にふくまれる細胞が刺激せられたものと考えられるが，これもまた正確を期し難い．そこで私は一定の電場をうる目的から第1図に示すような同心円電極を考案作製して用いることとした．

これは直径 0.2mm のエナメル銅線を中心とし，その周囲に厚さ 0.05mm のうすい燐青銅板を使用して各々直径 1, 2, 3, 4, 5 mm の5重の同心円電極を作製し，これらの間をうすい絶縁紙でもつて互に絶縁保持し，これにニス含浸をほどこして固定したものであつて，各電極間の抵抗は 5 M $\Omega$  以上である．ついで螺旋により上下及び前後左右に微動しうる電極固定台にこの電極を固定し，脳表面に密着せしめ，かつ電極と動物体は完全に接地して等電位となし，漏洩電流を防止するようにした．なお Betz 細胞の存在する皮質第5層においても同心円とほぼ同じ広さの電場をうるために，同心円電極の中心を 0.7mm ほど突出せしめ，これが皮質内に挿入されるようにした．このような型の同心円電極を使用することにより同一点を夫々の電場の広さにおいて刺激することができる利点がある．このようにすれば同一点で種々の電場の広さをうることができ，かつそのなかにふくまれる Betz 細胞の数も計測しやすい．刺激に先立つて，まず運動領野を決定するため，直径 0.15mm の歯科用探針を先端のみを残してエナメル焼付で絶縁し，この単極を使用して運動領を決定した．不関電極には真鍮棒を用いて直腸内に挿入固定した．道中 (1956)<sup>52)</sup>，井上 (1956)<sup>53)</sup> のいわゆる最低刺激値によつて反応を起す部に上記の如き同心円電極の中心を置き，電極を固定して刺激した．同心円電極による刺激は，単極の場合と同じく Duration を 3 msec.，毎秒10回とした．同心円電極で刺激した場合，毎秒20回以上になると運動は強縮性の複雑な運動となりその閾値の判定が困難であるが，これに反し毎秒10回以下の場合には，それぞれの刺激頻度に一致した攣縮を起し判定が容易であるため毎秒10回を選んだ．各刺激の間隔は制止現象，疎通現象，交感現象等の起るのを防ぐため，15分以上休息せしめ，温生理的食塩水で湿潤せしめた．刺激終了後，刺激の中心部に 0.1mm の銀線を

第1図 私の使用した同心円電極



刺入し、これを中心として1辺1cm以上の四角な脳片を剔出し、各辺の長さを測定した後、アルコール固定を行った。

### 第3節 標本作製ならびに鏡検方法

純アルコール溶液に入れられた脳片は、10日間脱水固定を行い、その間2乃至3回同液を交換し、ついでこれを無水アルコールに1乃至2日間入れて充分脱水せしめる。つぎに、それを2%、4%、8%チェロイチン溶液中に、それぞれ2週間、1週間、1週間浸し、最後に各片を再び測定した後、これを濃厚チェロイチン中に包埋する。包埋が終れば、それぞれの小塊を台木に固定し、80%アルコール溶液中に1週間以上保存し、切載方向が水平断となるようにマイクロームにより25μの厚さの連続切片を作り、この切片に0.1%チオニンによるニッスル染色法を施し、バルサムにて封入し、鏡検した。鏡検に際し方眼のマイクロオクローメーターを使用し、その中心に刺激の中心部を示す銀線または銀線刺入による針孔を一致せしめ、Betz細胞を方眼紙の上に写しとり、各脳片の収縮度を計算せる上、各同心円のなかにふくまれるBetz細胞数をかぞえた。

Betz細胞の大きさに関しては諸家により区々別々であつて明瞭な区別を設けることがむずかしい。最初Betz (1874)<sup>23)</sup>が報告した際、その大きさは30~60μの大きさを有するといひ、Hammarberg (1895)<sup>27)</sup>はBetz細胞の大きさを巾35~40μ、高さ50~80μとし、Economo u. Koskinas (1925)<sup>31)</sup>は巾30~60μ、高さ60~120μと報告している。しかしながら教室の大塚 (1951)<sup>40)</sup>は人脳皮質運動領第5層に存する神経細胞の度数分布曲線を描き、2つの山の間に1つの谷があることを見出し、この谷よりも大なるもの、すなわち巾25μ以上のものをBetz細胞とした。また教室の渡辺<sup>41)</sup> (1952)は犬、猫を用いて同じく度数分布曲線を描き、いずれも巾25μ以上のものをBetz細胞とし、同じく教室の道中 (1956)<sup>52)</sup>も猿を用いて同方法により巾25μ以上のものをBetz細胞としており、Betz細胞の大きさは動物の種類、或は大小等には無関係であるように考えられる。よつて本実験においても、犬、猫、猿ともに巾25μ以上の大錐体細胞をBetz細胞としてかぞえることとした。

## 第3章 実験成績

### 第1節 皮質運動中枢の電気刺激閾値について

犬、猫、猿の3種類の動物について前記のように私の考案した同心円電極を用いて大脳皮質運動領を刺激

し、その際における同心円電極の大きさと刺激閾値との関係についてしらべてみた。

#### 第1項 犬における実験成績

犬の皮質運動領の刺激閾値は第1表、第2表に示すごとくである。

第1表 犬における電気刺激閾値 (前肢中枢)

|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアル<br>注射<br>量<br>cc | 刺 激 閾 値 (mA) |      |      |      |      |
|---|----|----------|-----------------------------|--------------|------|------|------|------|
|   |    |          |                             | 1mmφ         | 2mmφ | 3mmφ | 4mmφ | 5mmφ |
| 1 | ♀  | 13.4     | 6.7                         | 0.65         | 0.6  | 0.45 | 0.3  | 0.25 |
| 2 | ♀  | 8.8      | 4.4                         | 0.55         | 0.5  | 0.45 | 0.4  | 0.29 |
| 3 | ♂  | 12.0     | 6.0                         | 0.65         | 0.55 | 0.45 | 0.25 | 0.2  |
| 4 | ♂  | 10.6     | 5.3                         | 0.65         | 0.5  | 0.45 | 0.4  | 0.3  |
| 5 | ♂  | 9.3      | 4.7                         | —            | —    | 0.8  | 0.5  | 0.35 |
| 6 | ♂  | 10.0     | 5.0                         | 0.55         | 0.4  | 0.3  | 0.2  | 0.2  |
| 7 | ♂  | 12.0     | 6.0                         | 0.5          | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.25 |

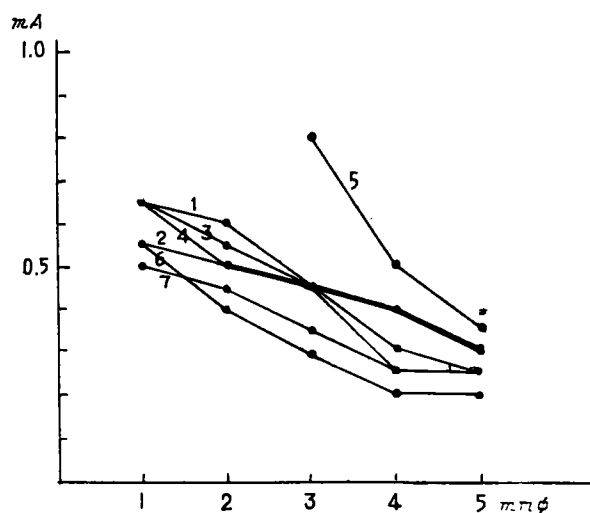
第2表 犬における電気刺激閾値 (後肢中枢)

|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアル<br>注射<br>量<br>cc | 刺 激 閾 値 (mA) |      |      |      |      |
|---|----|----------|-----------------------------|--------------|------|------|------|------|
|   |    |          |                             | 1mmφ         | 2mmφ | 3mmφ | 4mmφ | 5mmφ |
| 1 | ♀  | 13.4     | 6.7                         | 0.7          | 0.5  | 0.45 | 0.35 | 0.25 |
| 2 | ♀  | 8.8      | 4.4                         | —            | 0.6  | 0.55 | 0.4  | 0.3  |
| 3 | ♂  | 12.0     | 6.0                         | —            | 0.65 | 0.55 | 0.4  | 0.3  |
| 4 | ♂  | 10.6     | 5.3                         | —            | —    | 0.6  | 0.45 | 0.3  |
| 5 | ♂  | 14.1     | 7.0                         | 0.6          | 0.55 | 0.45 | 0.4  | 0.28 |
| 6 | ♂  | 11.6     | 5.8                         | 0.6          | 0.5  | 0.45 | 0.4  | 0.31 |

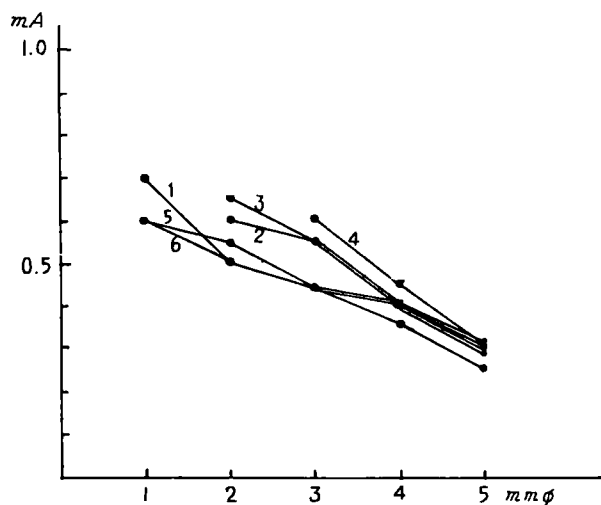
直径1mm (以下1mmφと記す)の電極で刺激した場合の閾値は前肢中枢では0.5mA~0.65mA、後肢中枢では0.6mA~0.7mAで、その差はほとんどなく、同じか或は僅かに前肢中枢閾値の方が後肢中枢のそれよりも低い。また前肢中枢の刺激に際しては7例中、1mmφ、2mmφの電極では反応がえられず、3mmφの電極ではじめて反応のえられたものが1例、後肢中枢の場合では6例中、1mmφの電極では運動がえられず、2mmφの電極ではじめて反応がえられたもの2例、3mmφの電極ではじめて反応を起しえたもの1例がある。

いま電極の広さと閾値との関係を図示すれば第2図、第3図に示す如くで、いずれも同心円電極の広さが大となるに従いその閾値は低下している。またこの図から全般的に前肢、後肢の場合を比較してみると、閾値はほぼ同様であるか、または僅かに前肢の方が低い。

第2図 犬における同心円電極の広さと電気刺激閾値との関係（前肢中枢）



第3図 犬における同心円電極の広さと電気刺激閾値との関係（後肢中枢）



## 第2項 猫における実験成績

猫における実験成績を一括表示すれば、第3表、第4表の如くである。

第3表 猫における電気刺激閾値（前肢中枢）

| No. | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射<br>量 cc | 刺 激 閾 値 (mA) |      |      |      |      |
|-----|----|----------|---------------------------|--------------|------|------|------|------|
|     |    |          |                           | 1mmφ         | 2mmφ | 3mmφ | 4mmφ | 5mmφ |
| 1   | ♀  | 4.25     | 1.7                       | 0.5          | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.2  |
| 2   | ♂  | 2.5      | 1.0                       | —            | 0.55 | 0.4  | 0.35 | 0.26 |
| 3   | ♂  | 3.1      | 1.3                       | —            | 0.5  | 0.4  | 0.25 | 0.2  |
| 4   | ♂  | 2.7      | 1.1                       | 0.5          | 0.4  | 0.3  | 0.25 | 0.25 |
| 5   | ♂  | 3.6      | 1.5                       | 0.5          | 0.35 | 0.25 | 0.17 | 0.15 |
| 6   | ♀  | 3.2      | 1.3                       | 0.45         | 0.35 | 0.3  | 0.2  | 0.2  |

第4表 猫における電気刺激閾値（後肢中枢）

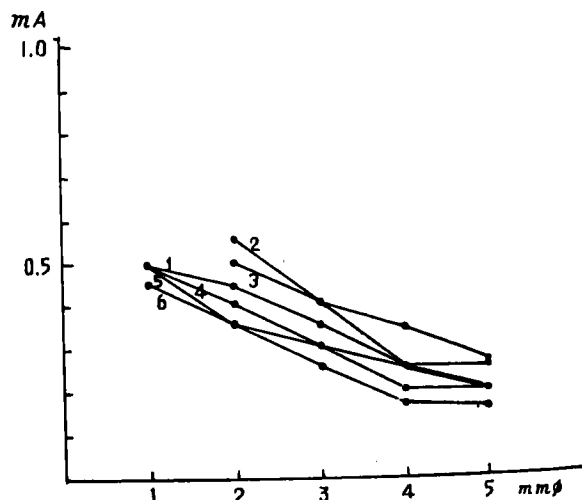
| No. | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射<br>量 cc | 刺 激 閾 値 (mA) |      |      |      |      |
|-----|----|----------|---------------------------|--------------|------|------|------|------|
|     |    |          |                           | 1mmφ         | 2mmφ | 3mmφ | 4mmφ | 5mmφ |
| 1   | ♀  | 4.25     | 1.7                       | —            | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.35 |
| 2   | ♂  | 2.5      | 1.0                       | —            | 0.6  | 0.45 | 0.4  | 0.35 |
| 3   | ♂  | 3.1      | 1.3                       | —            | 0.55 | 0.4  | 0.3  | 0.3  |
| 4   | ♂  | 2.7      | 1.1                       | 0.6          | 0.5  | 0.38 | 0.3  | 0.25 |
| 5   | ♀  | 3.1      | 1.3                       | 0.6          | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.25 |

すなわち、1mmφの電極で刺激した場合の閾値は前肢中枢では0.45mA～0.5mA、後肢中枢では0.6mAで、後肢中枢閾値の方が前肢中枢のそれにくらべて高い。また同心円電極の直径にしたがつてのべると前肢中枢においては2mmφの電極ではじめて反応を起しえたもの2例、後肢中枢では2mmφの電極ではじめて反応を起しえたもの3例である。また第4図、第5図に示すように犬の場合におけると同様に同心円電極の直径が大となるにしたがつてその電気刺激閾値は低下している。また前、後肢を比較してみるとこの図からみても全般的にみて前肢の方が低い。

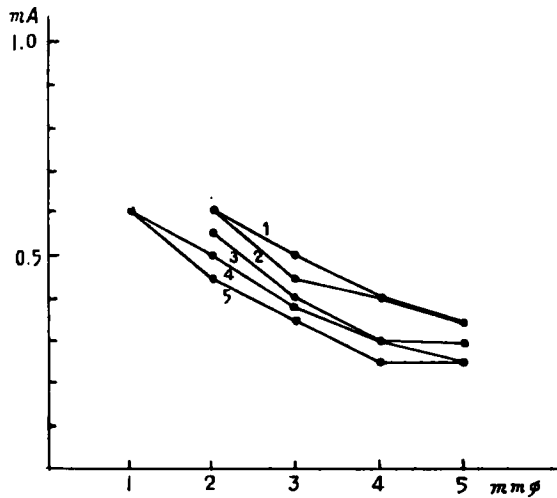
## 第3項 猿における実験成績

猿における実験成績を一括表示すれば第5表、第6表のごとくである。

第4図 猫における同心円電極の広さと電気刺激閾値との関係（前肢中枢）



第5図 猫における同心円電極の広さと電気刺激閾値との関係（後肢中枢）



第5表 猿における電気刺激閾値（前肢中枢）

| 性別 | 体重<br>kg | 10%チ<br>アール<br>注射量<br>cc | 刺 激 閾 値 (mA) |      |      |      |      |     |
|----|----------|--------------------------|--------------|------|------|------|------|-----|
|    |          |                          | 1mmφ         | 2mmφ | 3mmφ | 4mmφ | 5mmφ |     |
| 1  | ♂        | 7.2                      | 2.5          | —    | 0.5  | 0.45 | 0.35 | 0.3 |
| 2  |          |                          |              | 0.5  | 0.4  | 0.35 | 0.25 | 0.2 |
| 3  |          |                          |              | 0.5  | 0.4  | 0.3  | 0.25 | 0.2 |

第6表 猿における電気刺激閾値（後肢中枢）

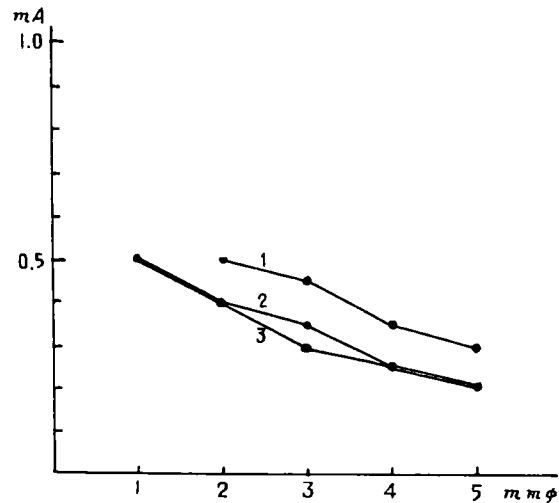
| 性別 | 体重<br>kg | 10%チ<br>アール<br>注射量<br>cc | 刺 激 閾 値 (mA) |      |      |      |      |      |
|----|----------|--------------------------|--------------|------|------|------|------|------|
|    |          |                          | 1mmφ         | 2mmφ | 3mmφ | 4mmφ | 5mmφ |      |
| 1  | ♂        | 7.2                      | 2.5          | 0.77 | 0.65 | 0.5  | 0.45 | 0.4  |
| 2  |          |                          |              | 0.75 | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.35 |

すなわち、1 mmφ の電極で刺激した場合の閾値は前肢中枢では 0.5mA 後肢中枢では 0.75mA で、後肢中枢閾値の方が前肢中枢のそれにくらべて明らかに高い。また前肢中枢の刺激に際し、2 mmφ の電極ではじめて反応を起しえたものが1ヶ所あり、かつ第6図、第7図に示すように、いずれも犬、猫の場合に比べると同様に、同心円電極の広さが大となるにしたがつて、その閾値は低くなっている。また全般的にみて前肢の方が後肢よりはるかに閾値が低い。

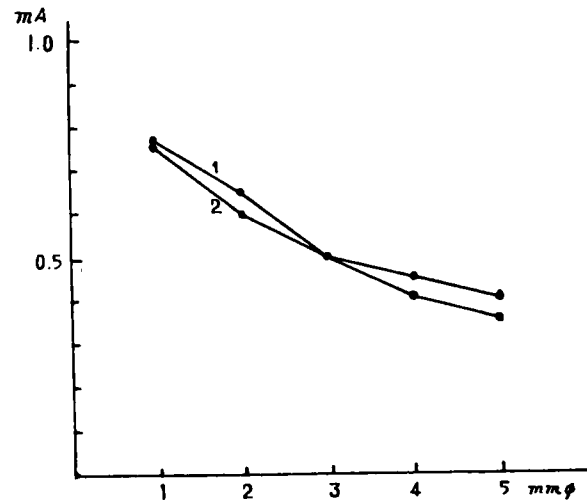
なお以上の実験において、1 mmφ 以下の同心円電極では犬、猫、猿ともに反応はまったくえられなかつた。また 1 mmφ 以上の同心円電極でも部位によつ

て反応の起らぬ部位も少数ながらみられた。

第6図 猿における同心円電極の広さと電気刺激閾値との関係（前肢中枢）



第7図 猿における同心円電極の広さと電気刺激閾値との関係（後肢中枢）



## 第2節 電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係について

### 第1項 犬における実験成績

犬における実験成績を一括表示すると第7表、第8表のごとくである。

すなわち、前肢中枢においては、1 mmφ の電極を用いたときに運動反応をみとめた場合、そのなかにくまわれる Betz 細胞数は第7表のごとく16~18個であり、3 mmφ の電極ではじめて反応を起しえた場合の1例については、1 mmφ のなかには Betz 細胞

第7表 犬における同心円電極の刺激閾値と Betz 細胞数 (前肢中枢)

|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射量<br>cc |           | 同心円電極直径 (mmφ) |            |            |             |             |
|---|----|----------|--------------------------|-----------|---------------|------------|------------|-------------|-------------|
|   |    |          |                          |           | 1             | 2          | 3          | 4           | 5           |
| 1 | ♀  | 13.4     | 6.7                      | 閾値<br>細胞数 | 0.65<br>17    | 0.6<br>32  | 0.45<br>75 | 0.3<br>133  | 0.25<br>161 |
| 2 | ♀  | 8.8      | 4.4                      | 閾値<br>細胞数 | 0.55<br>17    | 0.5<br>37  | 0.45<br>54 | 0.4<br>87   | 0.29<br>114 |
| 3 | ♂  | 12.0     | 6.0                      | 閾値<br>細胞数 | 0.65<br>17    | 0.55<br>41 | 0.45<br>68 | 0.25<br>126 | 0.2<br>154  |
| 4 | ♂  | 10.6     | 5.3                      | 閾値<br>細胞数 | 0.65<br>18    | 0.5<br>34  | 0.45<br>67 | 0.4<br>117  | 0.3<br>148  |
| 5 | ♂  | 9.3      | 4.7                      | 閾値<br>細胞数 | —<br>0        | —<br>4     | 0.8<br>19  | 0.5<br>77   | 0.35<br>105 |
| 6 | ♂  | 10.0     | 5.0                      | 閾値<br>細胞数 | 0.55<br>16    | 0.4<br>72  | 0.3<br>119 | 0.2<br>158  | 0.2<br>184  |
| 7 | ♂  | 12.0     | 6.0                      | 閾値<br>細胞数 | 0.5<br>18     | 0.45<br>39 | 0.35<br>64 | 0.25<br>140 | 0.25<br>188 |

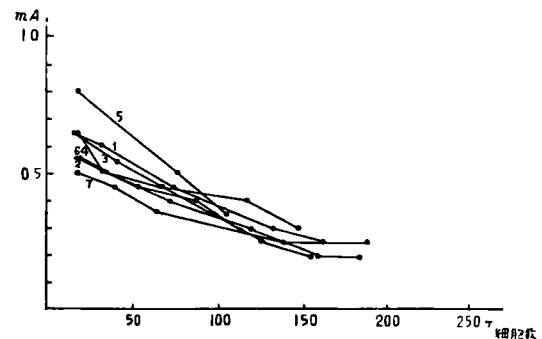
第8表 犬における同心円電極の刺激閾値と Betz 細胞数 (後肢中枢)

|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射量<br>cc |           | 同心円電極直径 (mmφ) |            |             |             |             |
|---|----|----------|--------------------------|-----------|---------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|   |    |          |                          |           | 1             | 2          | 3           | 4           | 5           |
| 1 | ♀  | 13.4     | 6.7                      | 閾値<br>細胞数 | 0.7<br>22     | 0.5<br>56  | 0.45<br>84  | 0.35<br>122 | 0.25<br>179 |
| 2 | ♀  | 8.8      | 4.4                      | 閾値<br>細胞数 | —<br>9        | 0.6<br>23  | 0.55<br>45  | 0.4<br>92   | 0.3<br>123  |
| 3 | ♂  | 12.0     | 6.0                      | 閾値<br>細胞数 | —<br>1        | 0.65<br>24 | 0.55<br>71  | 0.4<br>110  | 0.3<br>131  |
| 4 | ♂  | 10.6     | 5.3                      | 閾値<br>細胞数 | —<br>0        | —<br>7     | 0.6<br>26   | 0.45<br>93  | 0.3<br>124  |
| 5 | ♂  | 14.1     | 7.0                      | 閾値<br>細胞数 | 0.6<br>24     | 0.55<br>63 | 0.45<br>116 | 0.4<br>175  | 0.28<br>207 |
| 6 | ♂  | 11.6     | 5.8                      | 閾値<br>細胞数 | 0.6<br>24     | 0.5<br>59  | 0.45<br>89  | 0.4<br>122  | 0.31<br>153 |

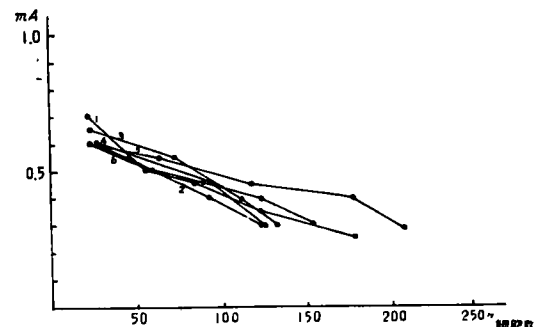
はみとめられず、2 mmφ の大きさでは4個の Betz 細胞をみとめ、3 mmφ では19個の Betz 細胞を数えた。後肢中枢の場合、第8表に示すように 1 mmφ の電極で反応をみとめた場合、そのなかにふくまれる Betz 細胞数は22~24個であり、また 2 mmφ 及び 3 mmφ の電極ではじめて反応をみとめた3例のそれぞれのなかにふくまれる Betz 細胞数は23個、24個、26個で、前肢中枢の場合にくらべて、その数はやや多いようである。また 2 mmφ の電極ではじめて反応をみとめたもの2例、3 mmφ の電極ではじめて反応をみとめたもの1例の場合についてみるに、2 mmφ の電極ではじめて反応を起した場合の 1 mmφ のなかにはそれぞれ9個及び1個の Betz 細胞を数えるの

みであり、3 mmφ の電極ではじめて反応をみとめた場合の 1 mmφ のなかには Betz 細胞はまったくみとめられず、2 mmφ の大きさでは7個の Betz 細胞を数えたにすぎない。いま電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係を図示すれば第8図、第9図に示すごとくで、Betz 細胞数が多くなるにしたがつて刺激閾値は低くなっている。いま電極の直径の如何をとわず前肢中枢と後肢中枢の運動反応をはじめて起したときの電場内の Betz 細胞数を比較してみると前肢中枢では16~19個、後肢中枢では22~26個であつた。

第8図 犬における電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係 (前肢中枢)



第9図 犬における電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係 (後肢中枢)



## 第2項 猫における実験成績

猫における実験成績を一括表示すれば、第9表、第10表に示すごとくである。

すなわち、前肢中枢においては第9表に示すごとく、同心円電極の 1 mmφ で反応をみとめた場合、そのなかに含まれる Betz 細胞数は18個~23個であり、また 2 mmφ の電極ではじめて反応をみとめた2例について 2 mmφ のなかに含まれる Betz 細胞数は22個及び23個で、この場合 1 mmφ のなかに含まれる Betz 細胞数は、それぞれ10個及び9個であつた。後肢中枢の場合は第10表に示すように、1 mmφ

第9表 猫における同心円電極の刺激閾値と Betz 細胞数 (前肢中枢)

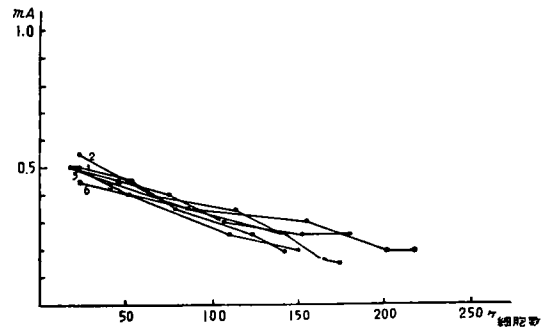
|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射量<br>cc |     | 同心円電極直径 (mmφ) |      |      |      |      |
|---|----|----------|--------------------------|-----|---------------|------|------|------|------|
|   |    |          |                          |     | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 1 | ♀  | 4.25     | 1.7                      | 閾値  | 0.5           | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.2  |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 23            | 53   | 79   | 124  | 142  |
| 2 | ♂  | 2.5      | 1.0                      | 閾値  | —             | 0.55 | 0.4  | 0.35 | 0.26 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 9             | 23   | 66   | 114  | 139  |
| 3 | ♂  | 3.1      | 1.3                      | 閾値  | —             | 0.5  | 0.4  | 0.25 | 0.2  |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 10            | 22   | 52   | 110  | 150  |
| 4 | ♂  | 2.7      | 1.1                      | 閾値  | 0.5           | 0.4  | 0.3  | 0.25 | 0.25 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 21            | 74   | 107  | 152  | 180  |
| 5 | ♂  | 3.6      | 1.5                      | 閾値  | 0.5           | 0.35 | 0.25 | 0.17 | 0.15 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 18            | 85   | 141  | 165  | 173  |
| 6 | ♀  | 3.2      | 1.3                      | 閾値  | 0.45          | 0.35 | 0.3  | 0.2  | 0.2  |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 23            | 85   | 155  | 201  | 217  |

第10表 猫における同心円電極の刺激閾値と Betz 細胞数 (後肢中枢)

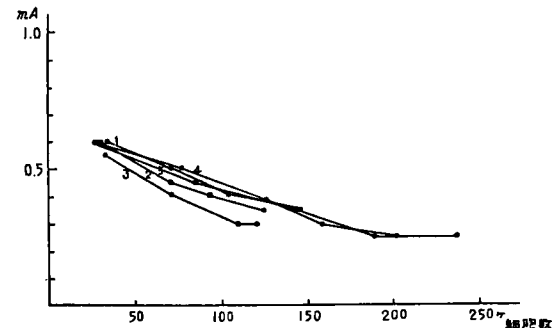
|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射量<br>cc |     | 同心円電極直径 (mmφ) |      |      |      |      |
|---|----|----------|--------------------------|-----|---------------|------|------|------|------|
|   |    |          |                          |     | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 1 | ♀  | 4.25     | 1.7                      | 閾値  | —             | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.35 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 5             | 34   | 72   | 104  | 147  |
| 2 | ♂  | 2.5      | 1.0                      | 閾値  | —             | 0.6  | 0.45 | 0.4  | 0.35 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 11            | 31   | 71   | 93   | 125  |
| 3 | ♂  | 3.1      | 1.3                      | 閾値  | —             | 0.55 | 0.4  | 0.3  | 0.3  |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 4             | 33   | 72   | 110  | 121  |
| 4 | ♂  | 2.7      | 1.1                      | 閾値  | 0.6           | 0.5  | 0.38 | 0.3  | 0.25 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 30            | 77   | 126  | 159  | 202  |
| 5 | ♀  | 3.1      | 1.3                      | 閾値  | 0.6           | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.25 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 29            | 85   | 145  | 190  | 238  |

の電極で反応をみとめた場合、そのなかに含まれる Betz 細胞数は29個、30個であり、また 2 mmφ の電極ではじめて反応をみとめた3例については、2 mmφ のなかに含まれる Betz 細胞数は31個、33個、34個で、前肢中枢にくらべてその数が明らかに多い。また 2 mmφ の電極ではじめて反応がみとめられた3例の場合についてみるに、反応がみられなかった 1 mmφ のなかに含まれる Betz 細胞数はそれぞれ11個、4個、5個にすぎない。また電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係を図示すれば第10図、第11図のごとくで、犬の場合におけると同じく、Betz 細胞数が多くなるにしたがい刺激閾値は低下している。いま電極の直径の如何をとわず、前肢中枢と後肢中枢の運動反応をはじめて起したときの電場内の Betz 細胞数を比較してみると、前肢中枢では18個~23個、後肢中枢では29個~34個であつた。

第10図 猫における電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係 (前肢中枢)



第11図 猫における電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係 (後肢中枢)



## 第3項 猿における実験成績

猿における実験成績を一括表示すれば、第11表、第12表のごとくである。

第11表 猿における同心円電極の刺激閾値及び Betz 細胞数 (前肢中枢)

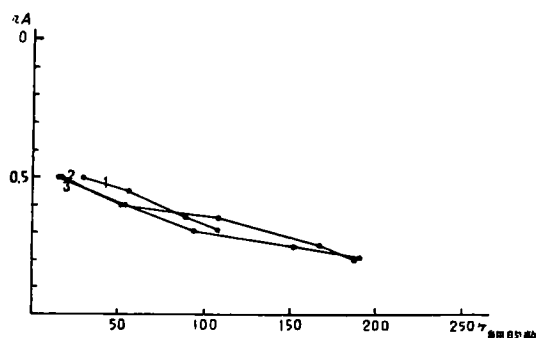
|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射量<br>cc |     | 同心円電極直径 (mmφ) |     |      |      |     |
|---|----|----------|--------------------------|-----|---------------|-----|------|------|-----|
|   |    |          |                          |     | 1             | 2   | 3    | 4    | 5   |
| 1 | ♂  | 7.2      | 2.5                      | 閾値  | —             | 0.5 | 0.45 | 0.35 | 0.3 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 8             | 29  | 56   | 88   | 107 |
| 2 | ♂  | 7.2      | 2.5                      | 閾値  | 0.5           | 0.4 | 0.35 | 0.25 | 0.2 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 17            | 51  | 108  | 167  | 187 |
| 3 | ♂  | 7.2      | 2.5                      | 閾値  | 0.5           | 0.4 | 0.3  | 0.25 | 0.2 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 16            | 52  | 93   | 152  | 189 |

第12表 猿における同心円電極の刺激閾値及び Betz 細胞数 (後肢中枢)

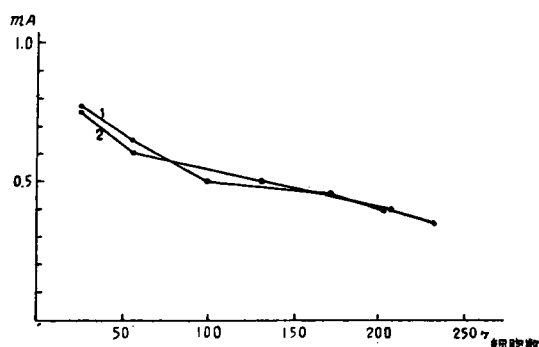
|   | 性別 | 体重<br>kg | 10%<br>チアール<br>注射量<br>cc |     | 同心円電極直径 (mmφ) |      |     |      |      |
|---|----|----------|--------------------------|-----|---------------|------|-----|------|------|
|   |    |          |                          |     | 1             | 2    | 3   | 4    | 5    |
| 1 | ♂  | 7.2      | 2.5                      | 閾値  | 0.77          | 0.65 | 0.5 | 0.45 | 0.4  |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 26            | 56   | 99  | 170  | 201  |
| 2 | ♂  | 7.2      | 2.5                      | 閾値  | 0.75          | 0.6  | 0.5 | 0.4  | 0.35 |
|   |    |          |                          | 細胞数 | 25            | 56   | 130 | 206  | 231  |

すなわち、前肢中枢においては、第11表に示すように 1 mmφ の電極で反応をみとめた場合、そのなかに含まれる Betz 細胞数は、16個、17個をかぞえ、また 2 mmφ の電極ではじめて反応がみられた場合、1 mmφ のなかには 8 個の Betz 細胞数をかぞえるのみであるが、2 mmφ のなかでは 29 個の Betz 細胞をみとめる。後肢中枢の場合は第12表に示すように、1 mmφ の電極で反応をみとめており、そのなかに含まれる Betz 細胞は 25 個、26 個で、前肢中枢とくらべて、その数が多い。また電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係についてみるに、第 12 図、第 13 図に示すごとくであり、犬、猫の場合と同じく、いずれも Betz 細胞数が多くなるにしたがいその電気刺激閾値は低くなっている。

第12図 猿における電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係（前肢中枢）



第13図 猿における電気刺激閾値と Betz 細胞数との関係（後肢中枢）



#### 第 4 章 総括ならびに考按

10% Dial 溶液を犬には Pro kg 0.5cc, 猫には Pro kg 0.4cc, 猿には Pro kg 0.35cc, 腹腔内注射による麻酔の下に、私の考案せる同心円電極を使用して、矩形波電流刺激によつて大脳皮質運動領を刺激し、前肢中枢、後肢中枢の刺激閾値を求めたところ、

上述のごとき成績をえた。

刺激閾値のあらわしかたについては、電圧による方法と電流による方法とがあるが、Martin and Lewis (1957)<sup>56)</sup>の研究によれば、電極の接触面積が不定、或は変化する場合には、電圧による測定方法よりも電流強度によるあらわしかたの方がより正確であるので、本実験においても刺激閾値を電流強度によつてあらわすこととした。

各中枢の刺激閾値の差異については、Michailow (1910)<sup>57)</sup>が無麻酔下生誕直後の犬における刺激実験で、前肢及び後肢中枢が同時にあらわれたといい Weed and Langworthy (1926)<sup>16)</sup>は猫における刺激実験で生後間もない仔猫に前肢中枢をみとめ、第3週目になつてはじめて顔面及び後肢中枢をみとめており、その発達過程は猫では前肢中枢が先であるとのべている。教室の森 (1951)<sup>58)</sup>がさきに犬を用いて 3% 塩酸モルヒネ麻酔の下に双極刺激で、刺激頻度を 1 秒 1 回として行つた実験では、刺激閾値は前肢中枢よりも後肢中枢の方が低いといい、また教室の渡辺<sup>51)</sup>は犬、猫を用いて 10% Dial 麻酔下で単極を使用し、刺激頻度を 1 秒 60 回として大脳皮質運動領を刺激し、犬においては前肢中枢及び後肢中枢の刺激閾値は常に同一であるに反し、猫においては前肢中枢の方が後肢中枢におけるよりも常に刺激閾値が低いとのべている。また教室の道中<sup>52)</sup>は同じく 10% Dial 溶液麻酔下で猿を用いて実験し、単極で刺激頻度を 1 秒 1 回とし刺激閾値を求めたところ、前肢中枢の方が後肢中枢にくらべて刺激閾値は低いという。私の考案せる同心円電極を用いて犬、猫、猿について行つた実験成績では、犬においては前肢、後肢各中枢刺激閾値は、等しいか或はわずかに前肢中枢の方が低いのに反し、猫、猿においては前肢中枢刺激閾値の方が後肢中枢のそれにくらべてはるかに低いという結果をえた。このように実験成績が一定しないのは、麻酔薬、電極、刺激頻度等による条件の相違によるものと考えられる。

Brody and Dusser de Barenne (1932)<sup>59)</sup>は pH が皮質興奮性に関係し、過呼吸によりアルカリ性となれば皮質興奮性は増加するとのべ、道中は猿 2 例において Dial 量過剰のため深麻酔に陥り、他の麻酔剤と同様に呼吸の抑制をきたしたことをみとめ、電気刺激を行う際の Dial 量は最低麻酔量を用いることが望ましいとのべている。本実験においては、前述のごとく犬には Pro kg 0.5cc, 猫には Pro Kg 0.4cc 猿には Pro kg 0.35cc を腹腔内に注射して適当なる麻酔期に入らしめることができた。

つぎに各同心円電極のなかに含まれる Betz 細胞数と刺激閾値との関係については第3章第2節におけるがごとき成績をえた。

電気刺激によつてみられる運動反応が Betz 細胞に基因するということは、Rothmann (1902-1907)<sup>10)</sup><sup>84)</sup>, Marshall (1933)<sup>85-88)</sup>, Dusser de Barenne and McCulloch (1934)<sup>83)</sup> 等の研究によつて間接的に証明されていたが、その後の研究、すなわち Levin (1938)<sup>44)</sup> 平沢及びその門下 (1948)<sup>47) 48)</sup>, Lassek (1942)<sup>49)</sup> 等の研究によつて錐体路起始細胞は Betz 細胞のみではなく、錐体路線維は他の細胞からもでていることが明らかとなつた。しかしながら Betz 細胞以外の錐体路起始細胞は現在では組織解剖学的にその証明が困難であるため、最も明瞭な運動起始細胞である Betz 細胞を一応の指標として本研究を行つたものである。

Ruch, Chang, and Ward (1947)<sup>60)</sup> 等によれば、単極刺激により生ずる電場の広さは  $1\text{ mm}^2$  であるといい、このなかに猿脳においては31個、人脳においては12個の Betz 細胞があるといい Phillips (1956)<sup>61)</sup> は猫の Betz 細胞から細胞内誘導を行い、別に単極で閾値刺激を行つた結果、16個の Betz 細胞が興奮するのべている。また教室の道中<sup>52)</sup> は電気刺激により単運動を起す機構を示すセーマを考案し、電気刺激によつてえられる反応は1個の運動起始細胞の興奮だけでは起らず、その電場内に幾つかの同種の細胞の存することが必要であることを推論している。Martin and Lewis (1957)<sup>56)</sup> は彼等の考案した色々の太さを有する単極電極で猫の皮質運動領を刺激した結果、 $3\text{ mm}^2$  以上の電極ではほとんど一定の刺激効果をえている。第3章第2節における私の実験成績では、犬、猫、猿ともに  $1\text{ mm}\phi$  以下の電極では反応がみられず、 $1\text{ mm}\phi$  の同心円電極から反応がみとめられた。また  $1\text{ mm}\phi$  の電極では反応が起らず  $2\text{ mm}\phi$ ,  $3\text{ mm}\phi$  の電極ではじめて反応を起してくるものもみとめられた。そしていずれも電極の直径が大きくなるにしたがいその閾値は低くなつていく、そしてはじめて反応を起してきた場合の各同心円電極のなかに含まれる Betz 細胞数を比較してみると、その直径の大きさをとわずいずれも近似値を示している。すなわち、犬では前肢中枢において  $1\text{ mm}\phi$  の電極で反応を起してきた場合、そのなかに含まれる Betz 細胞数は16個~18個であり、また  $1\text{ mm}\phi$ ,  $2\text{ mm}\phi$  の電極では反応がみられず、 $3\text{ mm}\phi$  の電極ではじめて反応がみられた場合、そのなかに含まれ

る Betz 細胞数は19個で、ほぼ同数を示している。

$3\text{ mm}\phi$  の電極ではじめて反応がみられた場合の  $1\text{ mm}\phi$ ,  $2\text{ mm}\phi$  の電極のなかに含まれる Betz 細胞数は、 $1\text{ mm}\phi$  の大きさのなかには Betz 細胞はまったくみとめられず  $2\text{ mm}\phi$  の大きさでは4個の Betz 細胞数をかぞえるのみで、 $3\text{ mm}\phi$  の大きさになつて辛うじて19個の Betz 細胞をかぞえ、ここに到つてはじめて反応がみられたものである。このことはこの電極の部位では他の部位に比してたまたま Betz 細胞の密度が疎であつて、したがつて  $1\text{ mm}\phi$ ,  $2\text{ mm}\phi$  の電極の大きさでは反応を起すに必要な Betz 細胞数とその電場内に含まれていないために反応が起らず、 $3\text{ mm}\phi$  の大きさになつて反応を起すに必要な Betz 細胞数が含まれるようになつて、はじめて反応を起してきたものと考えられる。すなわち、犬の前肢中枢の場合、16個~19個以上の Betz 細胞が刺激されて興奮すれば運動反応を起しうるものと考えられる。後肢中枢の場合においても同様で  $1\text{ mm}\phi$  の電極で反応を起しえたもののなかに含まれる Betz 細胞数は22個~24個であり、また  $2\text{ mm}\phi$  の電極ではじめて反応を起しえた2例の場合、 $1\text{ mm}\phi$  の大きさのなかに含まれる Betz 細胞数は1個、9個で、 $2\text{ mm}\phi$  のなかに含まれる Betz 細胞数は24個、23個である。 $3\text{ mm}\phi$  の電極ではじめて反応を起しえた場合、 $1\text{ mm}\phi$  の大きさのなかには Betz 細胞はみとめられず、 $2\text{ mm}\phi$  のなかには7個、 $3\text{ mm}\phi$  の電極で辛うじて26個の Betz 細胞をかぞえるようになる。すなわち  $2\text{ mm}\phi$  または  $3\text{ mm}\phi$  の電極ではじめて反応を起しえた場合は、 $1\text{ mm}\phi$ ,  $2\text{ mm}\phi$  の大きさのなかには反応を起すに必要な Betz 細胞数が含まれていなかったために反応が起らず、それぞれ  $2\text{ mm}\phi$ ,  $3\text{ mm}\phi$  の大きさの電極ではじめて所定以上の Betz 細胞数が含まれて興奮し、運動反応を起しえたものと解釈される。すなわち犬の後肢中枢では22個~26個以上の Betz 細胞が興奮すれば反応を起しうるものと考えられる。

猫、猿の場合においても同様で、猫では前肢中枢は18個~23個、後肢中枢では29個~34個、猿では前肢中枢は16個、後肢中枢は25個以上の Betz 細胞数が刺激の電場のなかにあつてはじめて興奮し、運動反応を起すものと考えられ、前述の諸家の成績と私の実験成績とでは類似した値を示している。

また同心円電極の直径が大きくなるにしたがつて、刺激閾値が低下してくるのは、そのなかに含まれる Betz 細胞数が増加してくるため運動を起しやすくな

るものと考えられる。いま立場をかえて Betz 細胞の密度の面からみると、Betz 細胞の密な部分ほど刺激閾値が低いといえることができる。したがって同一中枢内における同一直径の電極による刺激閾値の差は、その細胞密度の差によるものと考えられる。

つぎに運動反応を起すために必要な Betz 細胞数は、前肢中枢と後肢中枢とでは、犬の場合にはそれほどではないが猫と猿とではかなりの差があり、前肢では少く、後肢では多い。このことは、刺激閾値の差が犬ではあまり差がないのに反し、猫と猿とでは明らかに前肢中枢の閾値が後肢中枢のそれよりも低いという事実とよく一致している。このように刺激閾値の低い前肢中枢が刺激閾値の高い後肢中枢に比べ、より少数の Betz 細胞の興奮によって運動反応を起しうるといえることは、異なる中枢間の刺激閾値の差は細胞密度のみによるものではなくして、教室の道中<sup>52)</sup>も指摘しているように各中枢個々の敏感度とでもいうべきものがそれぞれ異なっているためであり、それは運動反応を起すに必要な細胞数が各中枢によって異なり、それぞれ一定した値をもっているということによるものであると考えられる。

## 第 5 章 結 論

犬、猫、猿の3種類の動物を用い、種々な広さの電場をうることのできる同心円電極を考案し、これを用いて大脳皮質運動領を刺激し、その刺激閾値を測定するとともに、その電場内に含まれる Betz 細胞数を計算してその間の関係を検したところ次のような結論をえた。

1. 各動物において電気刺激閾値は電極の直径が大になるにつれて低下する。
2. 同心円電極の直径 1 mm 以下では、犬、猫、猿

ともに運動反応の発現をみず、1 mm  $\phi$  以上では大多数に反応を認めるが、1 mm  $\phi$  以上でも部位によっては反応が起らない。これは Betz 細胞数の密度の低い部位である。

3. 皮質運動領における前肢中枢及び後肢中枢の刺激閾値は、犬においては前肢及び後肢中枢は、ほぼ等しいか或はわずかに前肢中枢の方が低いのに反し、猫、猿においては後肢中枢にくらべて前肢中枢の刺激閾値の方が明らかに低い。

4. 電極の直径を大にし、そのなかに含まれる Betz 細胞数が多くなるにしたがって刺激閾値は低くなる。

5. 運動反応を起すには、犬においては、前肢中枢では16個～19個、後肢中枢では22個～26個、猫においては前肢中枢では18個～23個、後肢中枢では29個～34個、猿では前肢中枢では16個、後肢中枢では25個の Betz 細胞が興奮することを要する。

6. 運動反応を起すに要する Betz 細胞数は前肢中枢と後肢中枢とでは、犬ではさほどではないが、猫と猿とでは、かなりの差があり、前肢では少く後肢では多い。このことは刺激閾値の差が犬ではあまりないが、猫と猿とでは顕著であるという事実とよく一致している。

7. 同一中枢内における同一直径の電極による刺激閾値の差は Betz 細胞の密度の差による。

8. 異なる中枢間の刺激閾値の差は、運動反応を起すに必要な Betz 細胞数の差による。

(稿を終るにあたり御懇切な御指導と御校閲を賜った恩師陣内教授に深謝します。)

なお、本論文の要旨は第35回日本生理学会総会において発表した。

## 参 考 文 献

- 1) Boyle, R. : Experimenta et Observations physicae London. John Taylor, 158, 32pp., 1691.
- 2) Jackson, H. : Lond. Hosp. Reports, 388-471, 1864.
- 3) Fritsch, G. and Hitzig, E. : Arch. Anat. Physiol. Wiss. Med., 37, 300-332, 1870.
- 4) Ferrier, D. : West Riding Lunatic Asylum med. Rep., 3, 1-50, 1873.
- 5) Bartholow, R. : Amer. J. med. Sci., 67, 305-313, 1874.
- 6) Beevor, C. E. and Horsley, V. : Philos. Trans., 181B, 129-158, 1890a.
- 7) Grünbaum, A. S. F. and Sherrington, C. S. : Proc. roy. Soc., 69, 206-209, 1901.
- 8) Grünbaum, A. S. F. and Sherrington, C. S. : Proc. roy. Soc., 72, 152-155, 1903.
- 9) Talbert, G. A. : Arch. Anat. Physiol. Lpz., 24, 195-208, 1900.
- 10) Rothmann, M. : Zschr. Klin. Med., 44, 183-217, 1902.
- 11) Munk, H. : Ueber die Funktionen der Grosshirnrinde, Berlin, Hirschwald, X, 133pp., 1881.

- 12) Bechterew, W. : Die Funktionen der nerven-centra. Jena, Gustav Fischer, 3, 1911.
- 13) Leyton, A. S. F. and Sherrington, C. S. : Quart. exp. Physiol., 11, 135-222, 1917.
- 14) Vogt, C. u. Vogt, O. : J. Psych. u. Neurol., 25, 627-846, 1920.
- 15) Vogt, C. u. Vogt, O. : Naturwissenschaften, 14, 1190-1194, 1926.
- 16) Weed, H. and Langworthy, R. : Contr. Embryology, 19, 177-207, 1926.
- 17) Foerster, O. : Brain, 59, 135-159, 1936c.
- 18) Woolsey, C. N. : Brain, 5, 353-368, 1933.
- 19) Smith, W. K. : J. Comp. Neurol., 62, 421, 1935.
- 20) Penfield, W. G. and Boldrey, E. : Brain, 60, 389-443, 1937.
- 21) Meynert, T. : Vischr. Psychiat., 1, 77-93, 1867.
- 22) Meynert, T. : Vjschr. Psychiat., 2, 88-113, 1868.
- 23) Betz, W. : Zbl. med. Wiss., 12, 578-580, 1874.
- 24) Bevan Lewis, W. : Brain, 1, 79-86, 1878a.
- 25) Bevan Lewis, W. and Clarke, H. : Proc. roy. Soc., 27, 38-49, 1878b.
- 26) Golgi : Cited from Histological studies on the localization of the central function.
- 27) Hammarberg, C. : Upsala, Akad. Buchdruckerei, 211, 126pp., 1895.
- 28) Schlapp : Arch. f. Psychiatr., 30, 583, 1898.
- 29) Campbell, A. W. : Cambridge University Press, XX, 360pp., 1905.
- 30) Brodmann, K. : Leipzig, J. A. Barth, 1909 ; reprinted xii, 324pp., 1925.
- 31) Economo, C. u. Koskinas, G. N. : Vienna, J. Springer, 810pp., 1925.
- 32) Fulton, J. F. : Brain, 58, 311-316, 1935.
- 33) Dusser de Barenne, J. G. : Brain, 57, 517-526, 1934b.,
- 34) Rothmann, M. : Arch. Anat. Physiol. 31, 217-275, 1907.
- 35) Marshall, C. : Proc. Soc. exp. Biol., N. Y., 31, 68-70, 1933.
- 36) Marshall, C. : Arch. Neurol. Psychiat., 32, 778-796, 1934.
- 37) Marshall, C. : Proc. Soc. exp. Biol., N. Y., 32, 745-747, 1935.
- 38) Marshall, C. : Quart. Rev. Biol., 11, 35-56, 1936.
- 39) Tower, S. : Brain, 58, 238-255, 1935.
- 40) Tower, S. : Brain, 63, 36-90, 1940a.
- 41) 渡辺政 : 新潟医学会雑誌, 61, 125~138, 1947.
- 42) Schröder, P. : Mschr. Psychiatr. Neurol., 35, 1-25, 1914.
- 43) Minkowski, M. : Schweiz. Arch. Neurol. Psychiat., 12, 71-104, 1923.
- 44) Levin, P. M. and Bradford, F. K. : J. Comp. Neurol., 68, 411-422, 1938.
- 45) 陣内 : 日本外科学会雑誌, 47, 80~83, 1946.
- 46) 大塚 : 岡山医学会雑誌, 63年別巻, 1~26, 1951.
- 47) 平沢 : 皮質運動系について, 医学綜報, 第2巻, 第1冊, 1948.
- 48) 平沢 : 大脳の最高中枢, 1950.
- 49) Lassek, A. M. : Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis., 27, 106-128, 1948.
- 50) Holmes, G. and May, W. : Brain, 32, 1-43, 1909.
- 51) 渡辺繁 : 岡山医学会雑誌, 64, 1551~1567, 1952.
- 52) 道中 : 岡山医学会雑誌, 68, 901~933, 1956.
- 53) Ward, A. A. : J. Neurophysiol., 10, 39-56, 1947.
- 54) Fulton, J. F., Liddell, G. G. T. and Rioch, D., McK. J. Pharmacol., 40, 423-432, 1930c.
- 55) 井上 : 岡山医学会雑誌, 68, 541~562, 1956.
- 56) Martin, A. R. and Lewis, R. S. : Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 9, 726-728, 1957.
- 57) Michailow : Arch. ges. Physiol., 133, 1910.
- 58) 森 : 岡山医学会雑誌, 63年別巻, 108~131, 1951.
- 59) Brody, B. S. and Dusser de Barenne, J. G. : Arch. Neurol. Psychiat. Chicago, 28, 571-585, 1932.
- 60) Ruch, T. C., Chang, H. H. and Ward, A. A. : Epilepsy, 61-83, 1947.  
od. Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis., 26, 61-83, 1948.
- 61) Phillips, C. G. : Quart. J. exp. Physiol., 41, 70-84, 1956.

## Experimental Study on the Mechanism eliciting Motor Response by the Stimulation of Cortex Motor Area

By  
Yasuo OKADA

Department of Surgery Okayama University Medical School

(Director : Prof. Dennosuke Jinnai M. D.)

Using dogs, cats, and monkeys for test animals and with a concentric cylindrical electrode devised so as to obtain the electric field of any desired area, the author estimated the stimulation threshold as well as calculated the number of Betz cells contained in the electric field by stimulating the cerebral cortex motor area of these animals :

1) Any symptom of motor response could not be observed when dogs, cats and monkeys were stimulated with the concentric cylindrical electrode less than 1mm in diameter. When it was more than 1mm in diameter, some response could be found, but could not get any response sometimes at some spots even if it was more than 1mm in diameter. This caused when the spots had thin density of Betz cells.

2) The stimulation threshold of the forefoot center and the hindleg center in the cortex motor area of dogs is about equal or a little lower in the forefoot center, whereas in the case of cats and monkeys the stimulation threshold of the forefoot center is clearly lower than that of the hindleg center.

3) In order to elicit the motor response it is necessary to stimulate 16-19 Betz cells of the forefoot center and 22-26 Betz cells of the hindleg center in the dog; 18-23 cells of forefoot center and 29-34 cells of the hindleg center in the cat; and 16 cells of the forefoot center and 25 cells of the hindleg center in the monkey.

4) The difference of the stimulation threshold in the same center depends upon the difference in the density of Betz cells in the center.

5) The difference of the stimulation threshold in different centers depends upon the difference in the number of Betz cells required to elicit the motor response.

---