

筋紡錘の神経支配に関する実験的研究

京都大学医学部整形外科学教室 (近藤鋭矢教授 指導)

桜 井 達 良

(原稿受付 昭和34年6月28日)

EXPERIMENTAL STUDIES ON INNERVATION OF MUSCLE-SPINDLES

by

TATSURO SAKURAI

From the Orthopedic Division, Kyoto University Medical School
(Director: Prof. Dr. EISHI KONDO)

Concerning muscle-spindles in cat's posterior lower leg muscles, especially the three nerve elements ramifying in them, five experiments, that is, a spinal anterior and posterior root transection, a sciatic nerve transection, a spinal anterior root transection, a sympathetic nerve trunk extirpation, and a spinal nerve transection just below the posterior root ganglion. Taking the orthodox views into critical consideration, I have anatomically and histologically examined my results to clarify their nature. The following is my views formulated:

1. Muscle-spindles distribute themselves almost ubiquitously in all muscle layers, particularly at the musculo-tendonal junction; they always join, at one end, the nerve stem found in the connective tissues, and they lie parallel to the peripheral muscle fibers.

2. In the muscle-spindles large nerves are found most numerous, which are centripetal or sensory fibers.

3. Nearly all large nerve fibers in the muscle-spindles come to form the peculiar shaped "annulospiral endings" at the nuclear center of the Weismann fibers.

4. That medium nerve fibers are centrifugal or motor fibers have been confirmed by our experiments. Furthermore, these fibers join the Weismann fibers at their end, and form their end-apparatus similar to a motor nerve end-plate.

5. In the muscle-spindles there are found much finer nerve fibers with a special curve distributing themselves over Weismann fibers. Proximally following them, I have confirmed that they derive their origin in the intra-muscular nerve stem. Hence, the fine nerve fibers are autonomic fibers.

6. Small nerves penetrate into the muscle-spindles, with few exceptions, along with medium and large nerves, but they are limited in number. Their extreme fineness as well as their distribution over obscure regions make it hard for me to

localize.

7. The muscle-spindles are doubly innervated, by large and medium spinal nerve fibers on one hand, and by small autonomic nerve fibers on the other.

8. The “annulo-spiral endings” furnished by large nerves and the special distribution of small nerves characterize the muscle-spindles. These, I think, participate in the essential physiological functions of the muscle-spindles.

目 次

第1章 緒 言
第2章 実験材料並びに実験方法
第3章 観察方法
第4章 正常猫の筋紡錘の構造、特に神経構造に就て
第1項 筋紡錘の形態
第2項 筋紡錘の位置
第3項 筋紡錘の構成
第4項 Weismann 氏線維
第5項 筋紡錘えの神経線維の進入態度

第6項 筋紡錘中に見られる神経線維
第5章 実験成績
第1項 脊髓前、後根切断実験
第2項 脊髓前根切断実験
第3項 坐骨神経切除実験
第4項 脊髓後根神経節直下部切断実験
第5項 交感神経節状索切除実験
第6章 総括並びに考按
第7章 結 論

第1章 緒 言

1861年 Weismann が蛙の骨格筋中に筋紡錘を発見してより、之が形態学的生理学的本態に関しては、数多くの学者により追究せられつゝ今日に及んでいるが、現実には未だに数多くの学説があつて定説と見るべきものがない。特に筋紡錘内に入る神経要素に関しては、Onanoff, Scherrington, Boeke, 等により、その大径神経線維の脊髓神経節に由来している事が切断実験により明らかにされているが、その他の神経線維に関しては未だ殆んど詳らかにされていない。

私は実験動物として猫を使用し、正常な筋紡錘に於ける神経要素につき、その由来する所より神経終末に到るまで走行を追求し、更にその神経支配を確認する為、切断実験をも実施し、聊か新知見を得たので此処に報告する。

第2章 実験材料並びに実験方法

実験動物には成熟した、しかも、なるべく元気な猫を使用した。実験に際しては「ネプタール」液2.0～3.0cc——1.0cc中「ベントバルビタールナトリウム」50mg含有——又は「ラボナール」10%液2.5～3.0ccの腹腔内注射により深麻酔に至らしめ所要の手術的操作を実施した。ついで約1週間前後の期間を置いて動物を屠殺したが材料採取に際しては、同様な麻酔の後、頸動脈を切断して瀉血死に至らしめ、実験側下肢を大腿上部で切断、皮膚及び皮下組織を除去、下腿骨に筋

組織を附着せるまま、直ちに20%「ホルマリン」液中に浸漬した。

第3章 観 察 方 法

20%「ホルマリン」液中に約2週間浸漬固定した後、腓腸筋及び前脛骨筋を筋腱移行部に於て約1釐角に截切し、更に新調した20%「ホルマリン」液に1週間浸漬固定した後「ツエロイチン」に包埋、約20 μ の連続切片を作成して Bielschowsky 氏染色法、鈴木氏変法による軸索染色を施し、検鏡観察した。

第4章 正常猫の筋紡錘の構造、特に神経構成に就て

第1項 筋紡錘の形態

筋紡錘の形態に関しては1863年 Kühne が之を筋紡錘体と命名した当時より大体紡錘体として認識されて来たが、事実紡錘体を呈するものが多い。然し顕微鏡下に於ては、その標本の固定並に截切方向により種々変形を来しているので、これを次の如く大別してみた。

- i 紡錘形を呈するもの(図1)。
- ii 紡錘の両極鈍円にして長楕円形なるもの(図2)。
- iii 両極不明瞭にして円柱状なるもの(図3)。
- iv 球形又は円盤状なるもの(図4)。
- v 不正形なるもの(図5)。

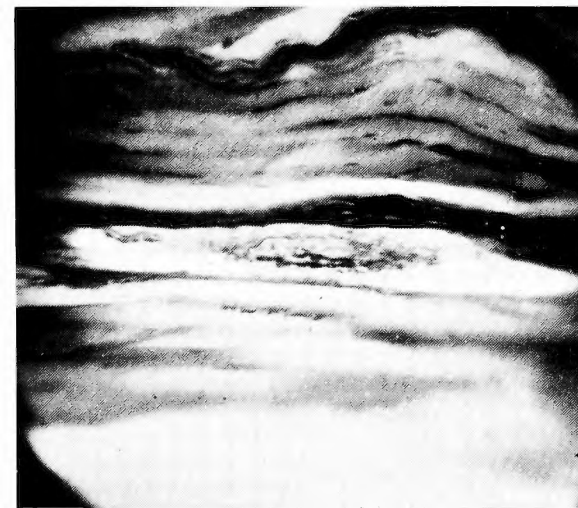
以上のうち定型的な紡錘形を呈するものは少く、ii iii ivが多い。



1 図



2 図



3 図



4 図



5 図

第2項 筋紡錘の位置

筋紡錘は筋層内にあって、その長軸は筋線維の走行に一致し、筋層全般に略々万遍なく配置せられ、特に内、外筋鞘を形成する結合織に連絡し、之に隣接せる筋線維層内、又は筋腱移行部に多い(図7)。

第3項 筋紡錘の構成

筋紡錘は薄い結合織鞘により、周囲組織と判然と区別せられ、中に数条の Weismann 氏線維が認められる。此の結合織鞘と Weismann 氏線維の間隙は所謂中心リンパ腔で組織液を以て満たされている。更に之等 Weismann 氏線維には結合織鞘を通じ、夫々形態的に異なつた3種類の神経線維が注いでいる。

時に此の筋紡錘内を長軸に並行して毛細血管が貫通しているのが認められることがある。

第4項 Weismann 氏線維

筋紡錘には必ず1条乃至数条の、横紋の判然とした赤色筋線維の稍々変形した、所謂 Weismann 氏線維を包含している。本線維は必ず筋紡錘外周の筋線維走行と並行し、夫々薄い結合織膜で覆われ、中に楕円形の筋核が認められる。特異なるは中心核集合部である。即ち本線維の略中央部に於て恰も「すずこ」の如き観を呈する球形透明な核が、約20~30個ぎつしりと集つている。此の部に於ては横紋を欠き、Weismann 氏線維そのものも、屢々此処では多少膨大している(図8)。

第5項 筋紡錘への神経線維の進入態度

筋紡錘に認められる、形態学的に判然と区別せられる3種の神経線維に就て、中枢側より紡錘に及ぶその走行、並に紡錘結合織鞘を貫通し Weismann 氏線維に及ぶその進入態度を観察すると、

- i 筋線維間を之と平行して走行する神経束より、一部分離し、筋紡錘に進入するもの、
- ii 筋紡錘に並行し長く続く、結合鞘層即ち内、外筋鞘中を走る神経束より進入するもの、
- iii 截切方向により何処とも判然としないが、忽然として、筋紡錘中に浮び上つて来るものの3種がある。原則として大径神経のみとか、小径神経のみと云う、1種類だけの、神経線維束で進入して来るものは稀であつて、これ等が、お互に随伴し乍ら、小神経束となつて、入つて来るものが多い。進入後は恰も、視神経が網膜に分布するが如く、筋紡錘結合織鞘内壁に分布し乍ら、Weismann 氏線維に及んでいる(図9.10)。

之等小神経束が筋紡錘に進入する点も様々で、

- i 筋紡錘の単極より1神経束のみ入るもの、
- ii 両極より中心部に向い入るもの、
- iii 1側の赤道部より数条入り同一方向に向うもの
- iv 1側の赤道部より2条入り両極に分れて走るものの、
- v 赤道部のどちらかの1側より4条入り2条宛分岐して両極に向うもの、
- vi 極と赤道部の中間より数条かたまつて入り同一方向に平行して向うもの等を認める(図6.15.16)。



6 図

第6項 筋紡錘中に見られる神経線維

結合織層中を經過し筋紡錘に注いでいる小神経束を追うと、これ等の神経線維は、筋紡錘結合織鞘部に達すると、それまで割合密に集合し走行していた神経線維は、夫々散開して中心部に向う。之等の神経線維を詳細に見ると其の太さ、屈曲状態、走行態度、嗜銀性等より明らかに大、中、小径の3種類の異なつた神経線維が存在することが知られる(図9.23.39)。

i 大径神経

筋紡錘に見られる神経線維中最も多い線維である。他の2種類の神経線維に比し数倍の太さを有しているが、嗜銀性は次に記す中経のものより僅かに劣る。又その屈曲の状態は特有で、多くは割合に規則的に念珠状の膨隆部を作り、数条に分岐するまでは殆んど太さに変化を来さない。此の神経線維の筋紡錘進入後の経過に関しては、大別して次の2つの走行態度を区別することができる(図12)。

第1は筋紡錘の極より入るもので、之は筋紡錘に進入後、その筋紡錘結合織鞘内壁に沿うことなく、直ちに、Weismann 氏線維に刺着し、之に並行して中心部に向つて走り、所謂中心核集合部に近づくや数本に分岐し、細い線維となつて、1条の Weismann 氏線維を、又中等度の太さで、数条の Weismann 氏線維を、幾重にもゼンマイ状に纏絡して終るものがある。之が所謂「環ラセン終末」annulospiral endingであつて Weismann 氏線維中に認められる神経終末中最も多数を占めているものである。此の「環ラセン終

末」を詳細に見ると、中心核集合部では、此の神経線維は細く疎らに神経原線維に分れ、夫々線状の終端で終っている様に見受けられる。その為か辺縁は平滑であるが、染色度は稍々弱く、柔かく感じられる(図25. 26)。

第2は筋紡錘の赤道部或は其の附近より入るもので、筋紡錘結合織鞘を貫通すると直ちに分岐し、その枝は短かい距離を Weismann 氏線維に平行して走つた後、この線維の横紋に平行する様に直角に屈曲し、太い部分から急に細くなつて同線維内に終末を作るものである。

この終末は恰も体制神経が筋線維上に作る終盤と良く似た、全体としては「家守の吸盤」の様な感じで見受けられ、終末は神経原線維の籠状の終枝で終るものが多い。又稀に Weismann 氏線維間で細小となり、横紋に平行に繊細な線維の枝を多数出し、その尖端が籠状に終るもの、又 Bremer が云う所謂、繖形花状終端に似た、簡単な終末を作るものも認められる(図17. 18. 19. 20. 21. 22. 24)。

ii 中径神経

筋紡錘中に於ては前記大径神経に次いで、多く見られる神経線維である。一般に嗜銀性は強く、纏つた一見強靱な線維として見られる事が多い。たとえ分岐して次第に細小となつても、大径神経に比しその輪郭が明瞭である。大径神経と同様、凡ゆる部位より筋紡錘に進入してくるが、やはり大径神経に随伴して極より進入するものが一番多い。何れにしても、単独で進入することは稀で、時には大径神経と相重なつて進入するため、之より分離してからでないと両者を明瞭に区別する事の出来ない事がある。その走行分枝の態度及び屈曲の有様は、これまた多種多様で、大径神経よりも複雑である。蓋し基本型とも云う可き走行は、極より進入後直ちに両方向に別れ、Weismann 氏線維と筋紡錘結合織鞘との間隙を他極に向い、殆んどその太さに変化を来すことなく、美しい同じ波型の屈曲々線を描いて走行する。そして Weismann 氏線維の一端に至るや反転して Weismann 氏線維被膜を貫通し、之に覆いかぶさる如くに、2 又状又は3 又状に分枝し、更に此の枝は直ちに数本に分枝すると云つた具合に、中心部に向い之を囲繞する。Weismann 氏線維が数条あれば、何れの端にも同様に分枝する。此処に於て分枝された線維は、多くは極度に蛇行し、一見「チアレ毛」の様な観を呈し、尖端では単条の線維を数多く派出し、屢々核小体を有する10個以上の不正形円形の

筋核を抱く神経終末を形成して終る。此処に於ける神経線維の走行、終末形成態度は、一般筋層の運動神経終盤のそれと類似している。次に第2の形は筋紡錘進入後、容易に Weismann 氏線維被膜を貫き Weismann 氏線維の間隙を之に平行に他極に向い、単々として平凡な同じ波型の屈曲を反覆しつゝ、次第に細小となり遂には之と云つた終末を設ける事なく、単条のみ終るものがある。第3の形は、極より進入した中径神経が小神経束として大径神経に随伴して進入、一部は直ちに Weismann 氏線維被膜を貫通して前記同様2 又は3 又状に分枝して Weismann 氏線維の一端に分枝するか又はこの線維内を筋核を縫うが如く緩やかに蛇行、次第に細小となるものである。此の場合、1条の分枝は之が分布する1条の Weismann 氏線維を出ない。又極より進入後数条の Weismann 氏線維を抱く如く大きく「ラセン」状に旋回し、途中筋核の存する位置に於て Weismann 線維1条宛に夫々分岐、次第に細小となり遂には馬尾状に分れ、自ら Weismann 氏線維に達して終るものがある。途中分岐された分枝は急激に細小となり、夫々筋核を抱く如くにして終る(図11. 27. 28. 29. 30. 31. 32.)。

iii 小径神経

我々はさきに「オスミウム酸」による染色実験により、正常猫の下肢末梢神経中に有髓の小径神経線維が束をなして相当数存在する事を確認した。又本実験に際し10数条にも及ぶ小径神経線維の束がゆるやかな彎曲をなしつゝ蛇行し、小血管周囲に及んでいる事実を認め、又屢々その断面像に於て之を確認した。而して血管に近い筋紡錘周囲にも、特に血管と筋紡錘が相接して存在する標本には、此の間隙等に此の種の小径神経線維束が明瞭に存在している。此処に於て私は筋紡錘中にも必ずや本小径神経の存在を確信し、観察の結果漸く之を確認することができた(図38.)。

筋紡錘中に於ける小径神経は私が見た標本に於ては中径神経と同様必ず大径又は中径神経に随伴し、恰も之に纏絡するが如く、その殆んどは極より進入し来り極めて繊細で単線維又は数条の小径神経の束としてのみ認められた。筋紡錘に進入後は暫く大径又は中径神経に併行して走行した後次第に相距り、終始略々同一の太さを維持しつゝ、大きな丸味を帯びた緩やかなカーブで Weismann 氏線維上を蛇行し、益々繊細となり遂には針尖状に終枝を出すか、中には Weismann 氏線維鞘上に存在する中間細胞類似の三角形を呈する小細胞に連り、恰も此の細胞に終る様に見受けられる

ものが認められた。又中には少々太い、しかし中径の神経線維よりは明かに細く、そして前記小径線維の小束と云った感じの線維で、単独で長く、且つ略々同一の太さで大きなカーブを持つて蛇行し、筋紡錘結合組織鞘内壁と Weismann 氏線維の間隔より視野にあらわれ Weismann 氏線維を一括して抱く如く大きく纏絡して他側に及び、再び筋紡錘結合組織鞘内壁に至る変った走行を呈するものを認めた。何れにもせよ Weismann 氏線維の被膜上に分布し之を貫通せず、太さに急な変化がなく、しかも分岐を認めた事もない。前記筋間神経束又は血管周囲に分布している小径神経と全く同一性質の独特なる神経線維として認められた。嗜銀性は一般に少々弱い(図13. 14. 33. 35. 36. 37)。

第5章 実験成績

第1項 脊髓前、後根切断実験

実験方法：椎弓切除術を行い、第4腰椎より第3仙髄に至る間7本の片側の脊髓前後根を総て切断した。術後第10日目に屠殺、実験材料とした。

組織学的所見：筋紡錘に属する大径神経は、小径神経束より筋紡錘に至る間の走行は勿論、筋紡錘へ進入してより Weismann 氏線維に分岐し、中心核集合部に於て所謂「環ラセン終末」を形成する繊細な毛状の終枝に至るまでの間、正常所見と何等異るところなく観察せられた。中径神経は筋紡錘周囲の筋間に於ては、ズタズタに破壊吸収せられ、Schwann 氏鞘と思われる染色度の弱い管状物の遺残せる事により、旧走行を窺い知るに過ぎない。尚ほ此の管状物は随所で断裂し、更に処々に円形の核を有する長楕円形の少々濃染せる所謂 Schwann 氏細胞が平行して配列している。筋紡錘内に於ては更に中径神経の吸収は高度で殆んど旧走行すら認め得ない。唯 Weismann 氏線維中に薄く平等に染色された大小不同、円形又は長楕円形の、Schwann 氏細胞が非常に多く認められ、Weismann 氏線維中の筋核と共存している。

次に小径神経は筋層内に於ては中径神経の破壊吸収せられた位置に於て束をなして蛇行、正常標本に於けるよりも容易に且つ数多く之を認める。染色度、走行態度にも何等正常と変りはない。即ち Schwann 氏細胞の線状の配列に並行し、此の間に小径神経が、或は単索で、或は数条小束となつて走行している。更に此の像は血管壁に近い部分では一層著明である。筋紡錘内に於ても走行距離は短いが、一方の極より大径神経に随伴して於本の小径神経が進入するのが明瞭に認め

られ、且つ線維そのものの走行態度、鮮明な輪廓、平等な嗜銀性等何等正常所見と変化なく、所謂退行性変化は毫も認め得なかつた。

以上所見より本実験により筋紡錘に於ては中径神経のみが崩壊吸収せられ爾他の神経には何等認む可き変化の惹起されない事を確認した(図40)。

第2項 脊髓前根切断実験

実験方法：前実験と同様椎弓切除術実施後、片側の第4腰椎より第3仙髄に至る間の脊髓前根を総て鋭的に切断した。術後第11日目に屠殺、本実験材料に供した。

組織学的所見：大径神経線維では筋間神経束内に於ては正常と変りない走行を認めたが、筋紡錘内に於てもその極又は赤道部附近より進入分岐し、中心核集合部に明瞭な「環ラセン終末」を作っている。

中径神経は筋間に於ては輪廓のみ濃染し、中空を思はす様な断裂した管状物の連続が旧走行を示しているのみで、神経軸索と覚しきものは何物も認められない。此の管状物の周辺には、均等に薄く染つた長楕円形の Schwann 氏細胞が非常に多い。神経束内に於ては辺縁部のみ軸索は断続的に残り、途中小小種々の略々円形の欠損部が続き、僅かに旧走行を認むるのみで Schwann 氏細胞は殆んど認められない。

次に小径神経は筋間神経束内に於ても筋紡錘内に於ても何等正常と異るところなく明かに存在している。即ち本実験に於ては明かに中径神経の退行性変化を認め、大径、小径神経には何等変化を認めなかつた(図42)。

第3項 坐骨神経切除実験

実験方法：片側の大腿屈側より坐骨神経を露出し、坐骨孔までこれを追求し、なるべく中枢側に於て約1.5cm 鋭的に切除し、術後第6日目に屠殺、同側下肢に於て実験材料を採取した。

組織学的所見：本実験に於て大径神経は筋間に於ては殆んど認められず、僅かに神経束断面に於て大径神経切断面と思われる。全体としては丸味を帯び少々不正形なる点状の黒褐色像を認めるのみである。筋紡錘内に於ても殆んど何等の神経要素も認められない。時に筋紡錘進入箇所にてのみ断裂し、染色度の強い辺縁不規則な大径神経束を認めるにすぎない。

中径神経は筋間に於ては Schwann 氏鞘を思ふす嗜銀性の弱い管状の旧走行を多数認めるが神経軸索は全く認められない。筋紡錘に於ては中径神経に関しては、前記大径神経が遺残せる濃染像周辺に僅かに之が

断面を思わせる黒点を認めるのみで、走行痕跡を示すものは何等認める事が出来なかつた。

小径神経に関しては筋間血管壁に於てのみ小束として認められるが、筋間のその他の部分に於ては勿論筋紡錘に於ても遂にその痕跡すら認め得なかつた。

Weismann 氏線維は正常と何等変りないが、中に長楕円形又は円形の薄く均等に染つた筋核を多数認め、中心核集合部は正常に認められた。筋紡錘結合組織鞘内壁、特に橪に近い部分では大、中径神経の断面と見られる不正形点状の濃染せる像を多数認める程度で殆んど凡ての神経要素は崩壊、吸収されているのが認められた。

要之、本実験に於ては筋間、筋紡錘内を問わず凡ての神経線維に強度の退行変性を來たした。尚、血管周囲に分布する小径神経線維に関しては、之が筋間の小径神経束に由来するものとは考えられず、その由来に関しては追求し得なかつた(図41)。

第4項 脊髄後根神経節直下部切断実験

実験方法：椎弓切除を実施片側の第4腰髄より第3仙髄に至る間の脊髄後根神経節をその直下部に於て鋭的に切断した。術後第7日目に屠殺、同側下肢より実験材料を採取した。

組織学的所見：筋間に於ては大径神経は嗜銀性極めて弱く、辺縁不明瞭、処々に脂肪球様の円形欠損部を認める等、強度の退行変性像が見受けられる。筋紡錘に於てもその進入部より「環ラセン体」又はたこの吸盤状の終末組織に至るまで殆んど破壊吸収され漸くその痕跡を認め得るのみである。

中径神経は筋間に於ては前坐骨神経切断実験と同様にして旧走行を思わす薄く均等に染つたブツブツに断裂している管状物を認め周囲に同様薄く染つた長楕円形の Schwann 氏細胞が増加している。筋紡錘内に於ても進入直後の未だ分岐せざる部分に於てのみ嗜銀性が極度に減退し、漸く中径神経と思われるものの一部が認められるが分岐後のものは全く認められない。唯 Weismann 氏線維中には旧走行と思われる所にやはり長楕円形の細胞が線状に配列しているのを認めた。小径神経に関しては筋間に於ても亦、筋紡錘内に於ても詳細に観察したが、坐骨神経切除実験同様遂にその片鱗すら認め得なかつた。

即ち本実験に於ては大、中、小神経何れも著明な退行性変性を來して、満足に神経線維として認められるものは何物もなかつた。

第5項 交感神経節状索切除実験

実験方法：経腹的に腰椎全面に至り、後腹膜を開き両側の第2腰椎節より第1仙椎節に至る間の交感神経節状索を切除した。術後第7日目に屠殺して実験材料を採取した。

組織学的所見：筋間に於て大、中径神経は正常と変化なく認められた。小径神経に関しても特にその線維数の減少、染色の不平等、嗜銀性の減退等につき注意観察したが何等認む可き変化を見出し得なかつた。筋紡錘に於ては筋間同様全く正常所見と変りなく、小径神経も確実にその存在を認め得た。

即ち本実験に於ては末梢神経線維、就中期待していた小径神経線維にも何等退行性変化を認め得なかつた。

第6章 総括並びに考按

猫の正常筋紡錘の形態は多種多様であるが、周辺筋線維の伸縮により筋紡錘もこれと相伴つて伸縮を來すことは当然である。中心リンパ腔の大小にも、筋紡錘を外層組織と区劃する結合組織鞘の厚さに関しても、諸説があるが何れもこれに関連性があるものと思われる。更に顕微鏡下に於ける形態の変化はこれ又標本の截切方向によつても大いに左右される。

筋紡錘中に含まれる Weismann 氏線維も2〜3条のものから数条に及ぶものがある。

さて筋紡錘に分布する神経要素に就て追求すると、一部赤道部又は周辺部より進入するものもあるが大半は両極より小径神経束として進入し、直ちに Weismann 氏線維及び筋紡錘結合組織鞘内壁に沿つて走る。これ等小径神経束はその殆んどが筋間結合組織層中より由来し、恰も視神経の網膜に分布する如く全体として「ハンモック」状紡錘を成している。そして周囲組織が弛緩する時は「ハンモック」の綱にあたる神経線維は弛緩、紡錘は膨大となり、伸展する時はこれも亦伸展され細長い形になる。

他方 Weismann 氏線維に分布せるものは、頻繁な蛇行、「ゼンマイ」様の「ラセン」を保持し何れにしても伸縮自在な形態を持ち、常にその要求に対処し易い形にあると云える。さてこれ等筋紡錘中の神経線維は Bielschowsky 氏染色法鈴木氏変法によるとその走行態度、屈曲方法、太さ、分岐方法、終末形態等により容易に大、中、小径の3種に分けられる、そして小径神経束として筋紡錘に進入するときは、これ等3種の神経が一緒になつて進入することが多く、然らざる時でも大径神経のみとか中径神経のみと云うように1種

類のことは珍らしく、互いに併走するのが多く認められる。次に筋紡錘に分布するこれ等3種の神経の走行態度を観察すると、進入部位については大きく2つの型に分けられる。即ち1は極より進入するものであり2は赤道部を含むその他の部位より進入するものである。先づ1について観察すると、之は筋層間にある筋間結合織層の中に含まれている小神経束そのものが進入するものであり、この時その小神経束を囲繞する外神経鞘は筋紡錘結合織に移行している。そしてこの小神経束内にはその断面像に於て明らかなる如く、大、中、小、何れの神経線維をも包含しているのが常である。さて此の極に進入した小神経束は一部は筋紡錘結合織鞘内壁に沿ひ赤道部に向うが、多くは神経走行の方向と平行して筋紡錘内に存在する Weismann 氏線維に注ぐ。屢々筋紡錘進入点より Weismann 氏線維の一端に至る間の神経走行に大きな蛇行屈曲を認めるが、これは筋紡錘そのものが短縮した形態にある為で、詳細に観察すれば Weismann 氏線維そのものも屈曲が多く、之は赤道部中心リンパ腔の広潤なる事よりしても納得出来る。

さて極に進入する小神経束は進入後直ちにそれぞれ大、中、小、各神経線維に分れ、大径神経は原則として Weismann 氏線維に平行に、同線維間を中心核集合部にむかい、此処に於て「環ラセン終末」を形成して終る。

中径神経は Weismann 氏線維端より同線維被膜下に進入、数条に分枝、急速に繊細な線維となり、運動神経が筋線維間に作る終盤と全く同様の終末装置を作るか、又は簡単な箒状の終枝を作つて終る。

小径神経は分枝することなく、又 Weismann 氏線維被膜を貫通することなく数条或は1~2条の Weismann 氏線維にまたがつて、大きく丸みをおびた独特な彎曲をもち乍ら中心部にむかい、針尖状に Weismann 氏線維鞘上に終止する。次に極以外の部位、即ち主として赤道部より進入するものは、周筋層間を走る神経束の一部が分岐し直接進入して来るか、又は筋紡錘に平行し、これに直接して走る筋間結合織層内の神経束より分岐進入するものである。進入後その大部分の神経線維は数条に、又大、中、小神経別々に分散し、多くは筋紡錘結合織鞘内壁に沿ひ、両極に向う。而して大径神経では Weismann 氏線維に近接するものでは直ちにこれに分岐、盤根状の終末装置を作るものが多い。中径神経はやはり Weismann 氏線維の一端に至り反転し、極より進入せる同種神経線維と同様の分岐をなして終枝をつくる。

該部に進入せる小径神経では屢々全 Weismann 氏線維を一括囲繞する様な、大きな彎曲した走行をなし、全 Weismann 氏線維上を横断、他側に及ぶものが認められる。而してこの小径神経線維では Weismann 氏線維内に終止するものはなく、Weismann 氏線維間に終るか、或は又その終末を確認出来ない場合が多い。

偕て、前記切断実験成績に照して、之等3種の神経の性格を究明すると、先づ大径神経に関しては筋間に於ては先きに行つた「オスミウム酸」染色実験によつても明らかなる如く、之が体制神経である事は既に明白な事実であり、誰しも疑う余地のない所であるが、筋紡錘に於ける大径神経もその筋間神経束より分岐し走行している事により、体制神経なる事は明らかである。然るに今回実施せる前後根切断実験に於ては何等変性を受けず、更に之に続いて実施せる前根切断実験に於ても、全線維はその終末に至るまで何等正常と変りなかつた。坐骨神経切除実験に於て初めて筋紡錘内に於ても大径神経要素の殆んど凡てが破壊吸収されて消失し、筋紡錘進入箇所に於てのみ辺縁不規則なしかも嗜銀性の著しく減退した退行性変化を認めたが、之も筋線維間に於ては更に変性が高度で殆んど凡てが消失している事実よりすれば、後根神経節に神経細胞を持つ神経線維であることが明らかである。

さすれば之が筋紡錘で形成する「環ラセン終末」は知覚神経終末装置として理解され、筋線維上に於ける運動神経終盤が極めてよく発達しているに反し、知覚神経終末は殆んど認め得ないのに、筋紡錘に於てはこれと反対の所見を呈する。この事實は筋紡錘が主として知覚を司る器官であることを肯首せしめるものである。続いて行われた脊髄後根神経節直下部での切断実験に於ても亦坐骨神経切除実験と同様な結果が見られた。即ち上記3種の神経線維は共に崩壊、消失した。これによつて節後に於て切断された神経線維は Waller 氏変性の原理に基いて変性することを知つた。次の交感神経節状態実験ではこの大径神経線維は何等変化をも受けず正常所見を呈していた。

次に筋間に於ける中径神経が脊髄神経に由来するものであり、筋間神経束内に走行、更にその特有な運動神経終盤の形成等により、之が運動神経である事は既に知られている処であるが、筋紡錘内中径神経が凡て筋間神経束内に中径神経に由来している事も容易に証明されるところである。著者の実施せる前記諸実験に於ても之を確認することができたが、特に前根切断実験

に於て此の中径神経線維のみが撰択的に筋間に於ても筋紡錘内に於ても悉く消失してしまうほどの著明な退行変性を来たした事実より、之が脊髓前根に由来する運動神経線維である事を首肯しなければならない。又交感神経節状索切除実験により本中径神経が何等の変化を示さなかつた事実から自律神経特に交感神経に関係なき事をも確認し得た。次に最も問題となるところの小径神経に関しては筋間結合織層内の小神経束に含まれている小径神経線維は「オスミウム酸」染色実験により脊髓前、後根神経、並に交感神経節状索中に含まれている小径有髄神経線維に一致する事が証明され更に又筋紡錘内に認められるこの種小径神経の進入径路を追求した結果、之が前述小神経束に由来している事を認めた事実より、筋紡錘内の小径神経線維は前記小神経束を構成する小径神経と同一線維である事を知つた。更に前記諸実験に於て退行変性の最も強く出現した坐骨神経切除実験に於てのみ小径神経の退行変性を認め、その他の脊椎根の切断実験に於ては変性を認めなかつた事実から此の小径神経が体制神経と無関係の神経線維であつて、所謂自律神経線維に属するものと考えて誤りなからうと思われる。尚お交感神経節状索切除実験に於て期待していた小径神経の退行変性が認められなかつた事は、自律神経の走行体系、刺戟伝導経路、栄養支配等に関して未知の諸問題が数多く存在していることを示唆しているものと思われる。しかし何れにもせよ筋紡錘内に進入して Weismann 氏線維上に分布し、独特な形態を示している小径神経が自律神経司配であると言う見解は誤りないものと思ふ。

第7章 結 論

猫の下肢筋の正常筋紡錘について、所在、形態、特に之に含まれる3種の神経要素の形態について検討し、続いて種々の切断実験を試み、組織学的検索により、筋紡錘中の各種神経の所属系統について究明し、次の知見を得た。

1. 筋紡錘は筋層内に略々万遍なく配置せられ、特に筋腱移行部に多く、必ず結合織層間の神経束に連繋し周辺筋線維に平行して存在する。

2. 之に進入する大径神経は求心性神経線維即ち脊髓後根神経節より由来する知覚神経線維であり、本神経が筋紡錘内では量的に最も多く包含され、又殆んど凡てが Weismann 氏線維の中心核集合部に於て筋紡錘に特有の所謂「環ラセン終末」を形成する。

3. 筋紡錘の中径神経は遠心性神経線維であり、

即ち運動神経線維に属する。本線維は大部分 Weismann 氏線維の一端より之に注ぎ通常筋線維の運動神経終盤と同様の終末装置をつくる。

4. 筋紡錘には上記大、中径線維と明瞭に異つた繊細な所謂小径神経が屢々認められる。この小径神経は単独で筋紡錘内に進入することは珍しく必ず大、中径神経に随伴進入し独特の走行態度を示して Weismann 氏線維の表面に終つている。而して本小径神経線維が筋紡錘内で爾他の神経に比し発見されにくいのは単に之が繊細なるため許りでなく、その絶対量も少く又 Weismann 氏線維被膜下に入らないので其の存在の位置的關係からも発見しにくいものと思われる。

5. 筋紡錘中に認められるこの小径神経は上記各種切断実験の結果を綜合し、正常所見と考え合せて自律神経線維であることを知つた。

6. 以上の所見より筋紡錘は大、中径の2種類の体制神経と小径の自律神経との二重司配を受けているものと理解される。

稿を終るに臨み懇切なる指導と校閲を賜つた恩師近藤鋭矢教授に深謝する。

文 献

- 1) Boeke, J.: Die motorische Endplatte bei den höheren Vertebraten, ihre Entwicklung, Form und Zusammenhang mit der Muskelfaser. *Anat. Anz. Cbt. f. gesamt. wissenschaftl. Anat.* **35**, 193, 1910.
- 2) Boeke, J.: Über eine aus marklosen Fasern vorgehende zweite Art von hypolemmalen Nervenendplatten bei den quergestreiften Muskelfasern der Vertebraten. *Anat. Anz. Cbt. f. gesamt. wissenschaftl. Anat.* **35**, 481, 1910.
- 3) Boeke, J.: Beiträge zur Kenntnis der motorischen Nervenendigungen. *Internat. Monatsch. f. Anat. u. Physiol.* **377**, 1911.
- 4) Boeke, J.: Über De- und Regeneration der motorischen Endplatten und die doppelte Innervation der quergestreiften Muskelfasern bei den Säugetieren. *Anat. Anz. Cbt. f. gesamt. wissenschaftl. Anat.*, **41**, 149, 1912.
- 5) Boeke, J.: Die doppelte (motorische und sympathische) efferente Innervation der quergestreiften Muskelfasern. *Anat. Anz. Cbt. f. gesamt. wissenschaftl. Anat.*, **44**, 343, 1913.
- 6) Bremer, L.: Über die Endigungen der markhaltigen und marklosen Nerven im quergestreiften Muskel. *Arch. f. mikro. Anat.*

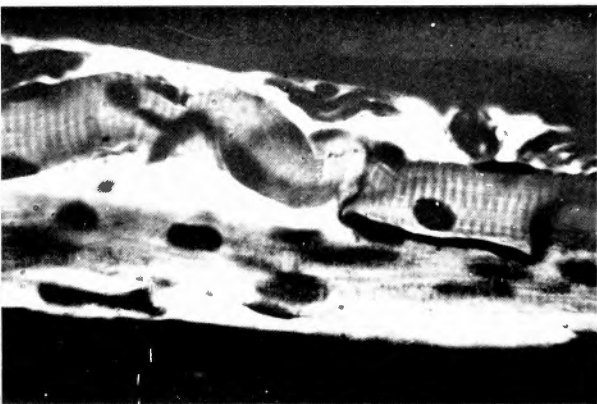
- 21, 165, 1882.
- 7) Bidder, F. N. & Volkmann, W.: Die Selbständigkeit des sympathischen Nervensystems. Leipzig, Breitkopf u. Härtel. 1842.
 - 8) Gaskell, W. H.: Involuntary nervous system. London, 1916.
 - 9) Hunter, J. I.: The sympathetic innervation of striated muscle. Brit. med. journ., No. 3344, 1925.
 - 10) Hazel E. Fielda & Mary E. Taylor.: An atlas of cat anatomy. the university of Chicago, plate 54. 1948.
 - 11) Kulchitsky: Nerve endings in the muscles of frog. J. of Anat. L.A. 1, 1924.
 - 12) Langley, J. N.: Observations on the medullated fibres of the sympathetic system and chiefly those of the gray rami communicantes. J. Physiol. 20, 55, 1896.
 - 13) Langley, J. N.: The nerve fibres of the autonomic system. Pt. 1, 22, 1921.
 - 14) Ludwig v. Thanhoff: Beiträge zur Histologie und Nervenendigung der quergestreiften Muskelfasern. Arch. f. Mikro. Anat., 21, 26, 1882.
 - 15) Nakanishi, M.: Über den Einfluss des sympathischen Nervensystems auf die Skelettmuskeln. 3. Eine Methode zur Demonstration der sympathischen Wirkung auf den tätigen Muskel bei der Kröte. Keijo J. of Med., 1930.
 - 16) Pernkopf, E.: Topographische Anatomie des Menschen. 1937.
 - 17) Rauber-Kopsch: Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. 1955.
 - 18) Stöhr, Ph.: Lehrbuch der Histologie. 22. Aufl. 1930.
 - 19) 清野謙次: 脚気症に於ける筋紡錘体の変化に就て, 附筋紡錘体の生理学的意義に関する知見補遺, 京医学雑誌, 8, 明44.
 - 20) 波多野重興: 末梢神経中に於ける所謂無髄神経線維に就て. 福医大誌, 7, 10, 大13.
 - 21) 山崎直次: 脊髄後根に於ける無髄神経線維に就て. 日外宝, 3, 601, 大15.
 - 22) 山崎直治: 末梢神経中に於ける無髄神経の分布並に左右交叉に就て. 日外宝, 3, 856, 大15.
 - 23) 山崎直治: 横紋筋に於ける無髄神経線維の分布並にその終末装置に就て. 日外宝, 4, 231, 昭2.
 - 24) 土井彰一: 末梢神経に於ける変性及び再生の研究. 京府大誌, 5, 494, 昭6.
 - 25) 土井彰一: 末梢神経に於ける病理組織学的觀察. 京府大誌, 5, 575, 昭6.
 - 26) 佐藤亨: 実験的アルコール中毒に因る骨格筋神経終末の変化に就て. 京府大誌, 5, 831, 昭6.
 - 27) 森たけ: 小組織学, 金原書店, 第5版, 昭8.
 - 28) 近藤鋭矢: 固定縛帯の末梢神経に及ぼす影響に就ての実験的研究. 北野病院業績報告, 2, 第2冊, 1, 昭11.
 - 29) 平沢興: 脳と脊髄. 永井書店, 昭24.
 - 30) 中西政周: 自律神経に依る骨格筋の栄養支配と云う問題. 大阪医大, 11, 昭25.
 - 31) 近藤鋭矢: 骨格筋に於ける神経終末に就て. 日本外科宝函, 22, 303, 昭28.
 - 32) 小寺寿治: 骨格筋の神経終末に関する実験的研究. 日本外科宝函 22, 355, 昭28.
 - 33) 桐田良人: 骨格に於ける末梢神経障害に関する実験的研究. 外宝, 22, 480, 昭28.
 - 34) 吉川栄一: 筋緊張度の異常が該筋の神経索に及ぼす影響に就て. 外宝, 22, 374, 昭28.
 - 35) 海保幸男: 筋紡錘体の研究補遺. 日整外誌, 26, 389, 昭28.
 - 36) 荒木正哉: 末梢神経の病理形態学的考察. 京府大誌, 58, 昭30.
 - 37) 坂本嶋嶺・沖中重雄・時実利彦共訳: フルトン神経系の生理学. 金芳堂, 1955.
 - 38) 吉井直三郎: 臨床生理学. 永井書店, 第2版, 昭30.
 - 39) 呉健・沖中重雄: 自律神経系. 金原書店, 31.
 - 40) 瀬戸八郎: 人の知覚. 医学書院, 昭32.
 - 41) 鈴木清: 組織の鍍銀法. 実験と治療, 310~320, 昭33.
 - 42) 田中忠義: 声帯筋の神経終末. 特に神経筋接合部における微細構造について. 解剖学雑誌, 33, 24, 昭33.

附 図 説 明

- 図7 筋縫移行部に近く位置する筋紡錘(弱拡大)
- 図8 筋核の明らかな Weismann 氏線維(油浸)
- 図9 正常筋紡錘内に認められる各種神経要素(強拡大)
- 図10 正常筋紡錘内各種神経の進入態度(油浸)
- 図11 正常筋紡錘内中径神経(油浸)
- 図12 正常筋紡錘内大径神経(油浸)
- 図13 正常筋紡錘内小径神経——筋紡錘赤道部より結合繊鞘を貫通し大径神経に随伴しつつ Weismann 氏線維上を並走する(油浸)
- 図14 図13の模写図
- 図15 極より小径神経を伴い筋紡錘へ進入する神経束(油浸)



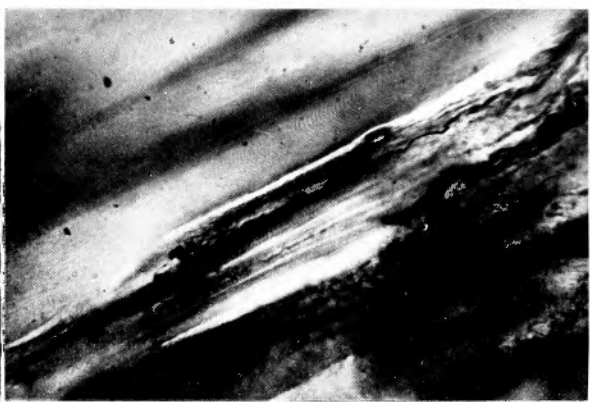
7 図



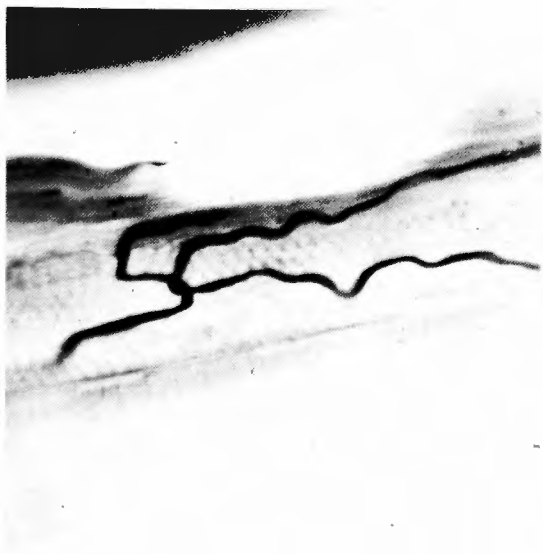
8 図



9 図



10 図



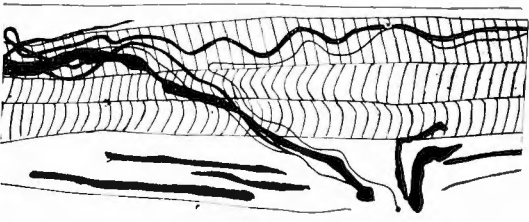
11 図



12 図



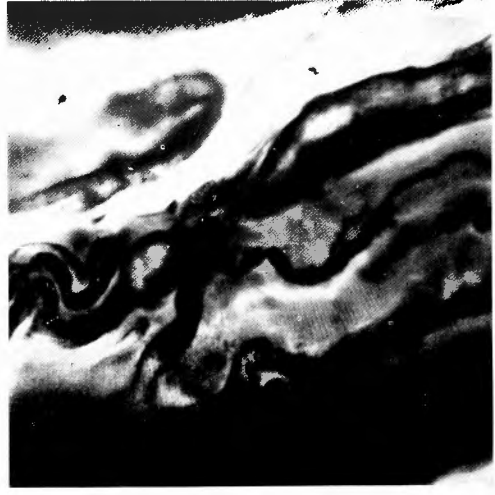
13 図



14 図



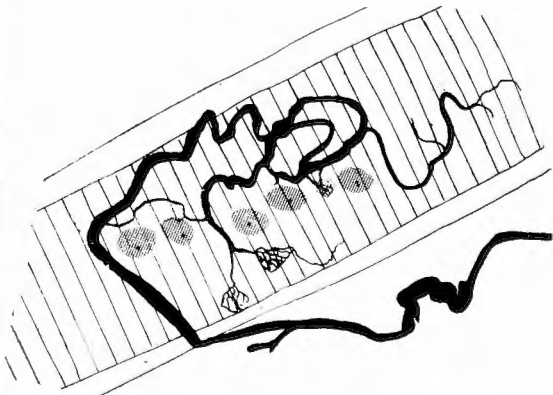
15 図



16 図



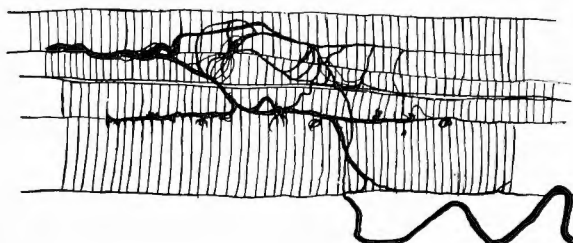
17 図



18 図



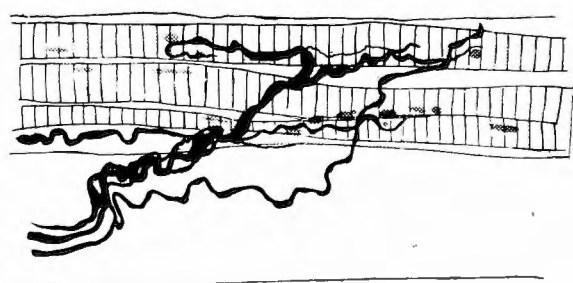
19 図



20 図



21 図



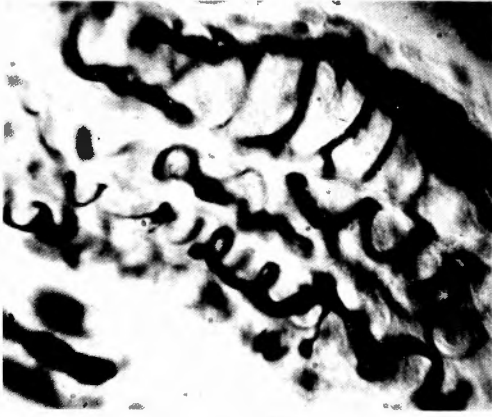
22 図



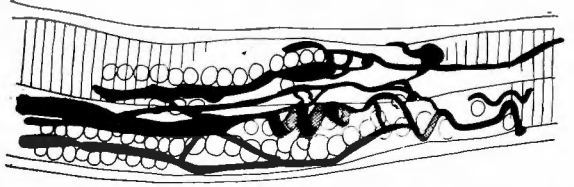
23 図



24 図



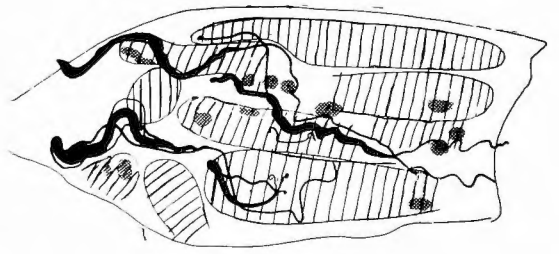
25 図



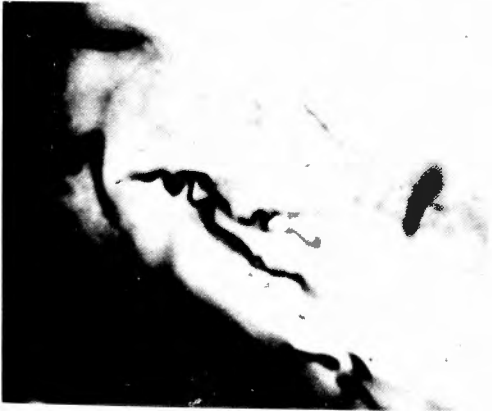
26 図



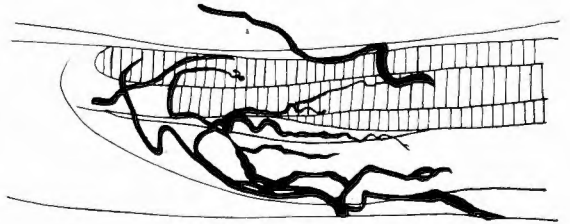
27 図



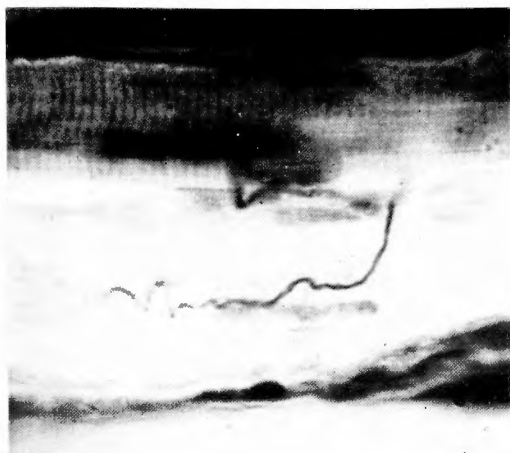
28 図



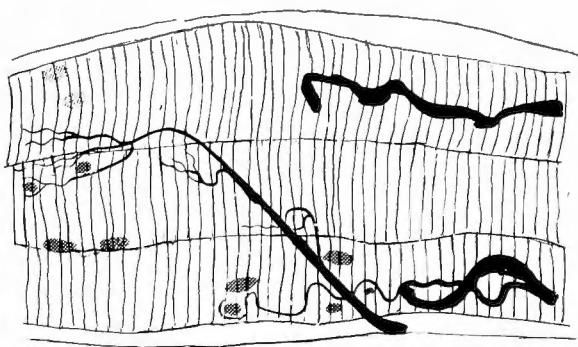
29 図



30 図



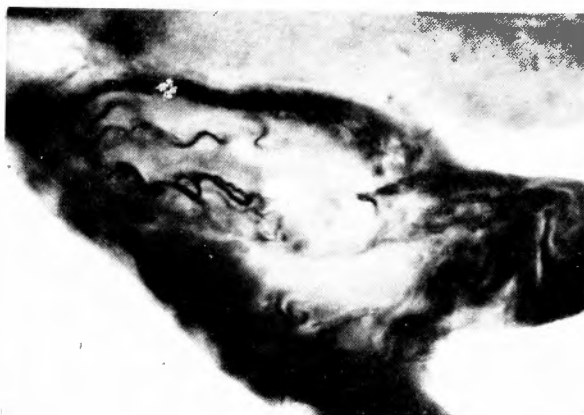
31 図



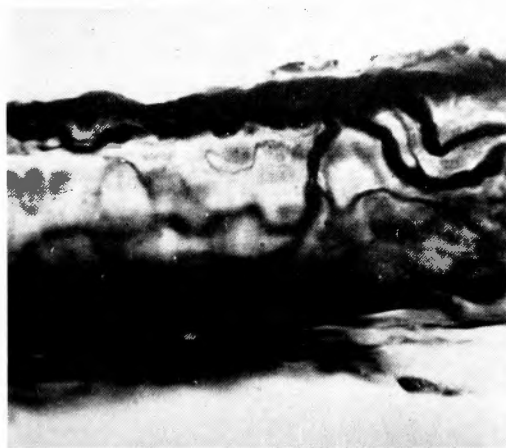
32 図



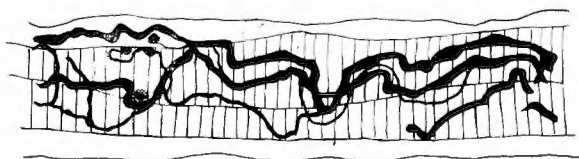
33 図



34 図



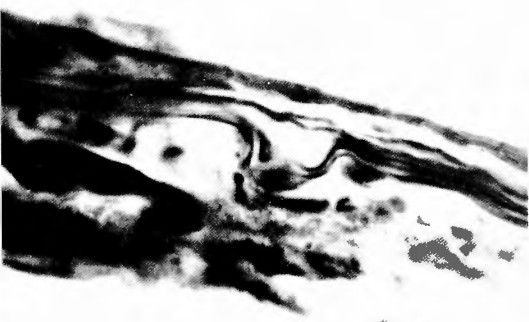
35 図



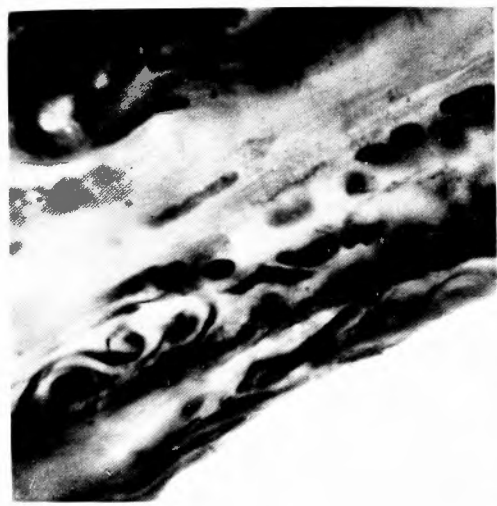
36 図



37 図



38 図



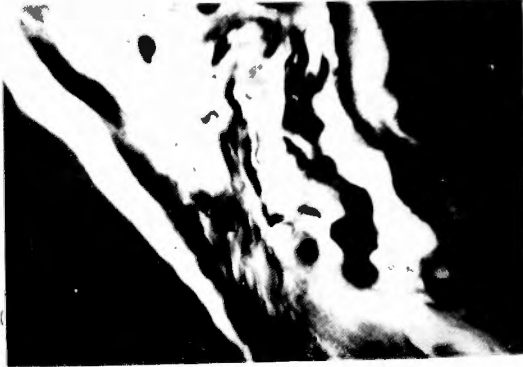
39 図



40 図



41 図



42 図

- 図16 赤道部に於て結合繊維を貫通し進入する神経束（油浸）
- 図17 Weismann 氏線維内に於ける大径神経終末（油浸）
- 図18 図17の模写図
- 図19 繊細なる大径神経終末（油浸）
- 図20 図19の模写図
- 図21 図24の1分枝の作る大径神経終末（強拡大）
- 図22 図21の模写図
- 図23 筋紡錘の断面に現われた神経走行（強拡大）
- 図24 神経束より赤道部を貫通直ちに Weismann 氏線維に注ぎ終末組織を作る大径神経（強拡大）
- 図25 所謂「環ラセン終末」と称せられる大径神経終末（油浸）
- 図26 中心核集合部に於ける所謂「環ラセン終末」の1模写図
- 図27 Weismann 氏線維内に於ける中径神経終末（油浸）
- 図28 図27の模写図
- 図29 中径神経終末（強拡大）
- 図30 図29の模写図
- 図31 筋間運動神経終末類似の中径神経終末（油浸）
- 図32 Weismann 氏線維にそれぞれ終末組織を作る中径神経の1模写図
- 図33 大径神経に随伴し極より進入する小径神経（油浸）
- 図34 図29同様の中径神経終末（強拡大）
- 図35 Weismann 氏線維上に終る小径神経終末（油浸）
- 図36 図35の模写図
- 図37 筋紡錘結合繊維鞘内壁を走る小径神経の小束（油浸）
- 図38 筋紡錘外側を走る小径神経束（油浸）
- 図39 筋紡錘結合繊維鞘内壁と Weismann 氏線維間に混在する神経線維群（油浸）
- 図40 脊髓前後根切断実験例に於ける筋紡錘（油浸）
- 図41 坐骨神経切除実験に於て殆んどすべての神経要素を消失した筋紡錘（強拡大）
- 図42 脊髓前根切断実験により中径神経の消失した筋紡錘（油浸）