

下肢筋を支配する末梢神経に於ける自律神経線維に就いて

東大寺整肢園（園長 中井慎一博士）

副園長 小 寺 寿 治

京都大学医学部整形外科学教室 （近藤鋭矢教授 指導）

柳井 悦嘉・桜井 達良・城間 政清

（原稿受付 昭和34年6月28日）

ON AUTONOMIC FIBERS IN PERIPHERAL NERVES INNERVATING POSTERIOR LEG MUSCLES

by

TOSHIHARU KOTERA, M. D.

Vicedirector of Todaiji Seishien (Institute for Crippled Children)

(Director : S. NAKAI, M. D.)

and by

NOBUYOSHI YANAI, TATSURO SAKURAI and MASAKIYO SHIROMA

from Orthopedic Division, Kyoto University Medical School

(Director : Prof. EISHI KONDO, M. D.)

For morphological studies on autonomic innervation of the posterior legs, it is important to prove, first of all, that the sciatic nerve stem from which muscular nerves branch out contains autonomic fibers, and that these fibers penetrate into the posterior leg muscles. At present many are of opinion that small fibers contained in the peripheral nerves are autonomic fibers, and that these are non-medullated fibers. We have examined whether this orthodox view is appropriate, by experimenting on full-grown cats, applying the short time osmium acid staining method, and trying various transections and removals of nerve stems. As a result of these experiments we have come to the following conclusions :

1. Spinal nerves and autonomic nerves can be conclusively discriminated. The former is stained black and measures 6 microns across, while the latter is stained yellowish brown and measures 2.5-4 microns across.

2. Autonomic nerves are all found medullated in the spinal anterior and posterior roots, in the sympathetic nerve trunk, in the sciatic, tibial, and fibular nerves, till they reach the border where they enter the muscles they innervate.

3. After our unilateral removal of the sympathetic trunk, hardly any degeneration of the autonomic fibers is recognized below the posterior root ganglion, or in any part of the sciatic, tibial, and fibular nerves.

目 次

第1章 緒 言

第2章 実験材料並びに動物実験

第1節	動物実験
第2節	観察方法
第3章	下肢筋を支配する神経幹内の神経線維の組成並びに正常所見
第4章	末梢神経切断実験成績
第1節	脊髄前根切断実験所見

第2節	脊髄前、後根切断実験所見
第3節	坐骨神経幹切断実験所見
第4節	1側交感神経節状索剥出実験所見
第5章	総括並びに考按
第6章	結 論

第1章 緒 言

骨格筋はどのような神経に依つて支配されるか。勿論脊髄末梢神経である運動神経及び知覚神経に依ることは明らかであるが、これらの動物性神経のみに依るのであるか。或は植物性神経（自律神経）も之に関与するのであるか。この点、生理学的には自律神経に依つても亦支配されていることは明らかであるが、形態学的には未だその全貌が全く明らかにされたとは云い難い。骨格筋に於ける交感神経に関する業績は多数に上るが、之と末梢神経幹内の交感神経線維との関連に就いては未だ充分に解明されてはいない。

筋肉内に於て所属が不明の神経線維を認めた場合、之を究明決定するには、より中枢の末梢神経幹内の神経線維と本線維とが如何なる関連性があるかを知る事が該神経の所属決定上最も重大な事柄であろう。

従来末梢神経を構成する神経線維の中、最も問題にせられ且未だ最終的解決に到らないものは、自律神経線維と目される細小径線維に就いてである。従つてこの細小径線維が脊髄末梢神経の起始部から末梢への経過に於て如何なる状態にあるかを解明するならば、筋肉内の神経要素の決定に有力な資料を提供するものと考える。

そのため末梢神経中の細小径線維と其の他の線維とを簡単に且的確に識別し得る方法に就いて苦慮している時、偶々中西教授（1932）のオスミウム酸染色法に依る実験の論著に接し、其の染色法を以て末梢神経中の各線維の性状を検索して、その知見に依つて筋の支配神経の所見、特に自律神経支配の所見を確実にし度いと考えて本実験を行つた。

第2章 実験材料並びに動物実験

実験動物としては成る可く大きい成熟猫を使用し実験後之を瀉血死に到らしめ、直ちに脊髄前根及び後根、脊髄後根神経節直下部、坐骨神経、脛骨神経、腓骨神経及び交感神経節状索の7部分を成る可く血液その他で汚染されぬ様注意して切除し、之を水洗することなく、其の各々の周囲に附着する結合織性被膜を出

来る限り除去し直ちに染色液に投入染色した。

第1節 動物実験

麻酔には、椎弓切除を要するものにはエーテル吸入麻酔、又はネンプタール2~3cc（1cc中ベントバルビタール50mg含有）、又はラボナール液（10%2.5cc）の腹腔内注射、或は吸入麻酔と腹腔内注射との併用を行い、坐骨神経幹切断には局所麻酔（1%ニツソカイン）又はネンプタール腹腔内注射との併用を行つた。

切断実験は、猫の坐骨神経領域である第4腰椎から第3仙髄に亘つて

1. 前根切断実験
2. 前、後根切断実験

を行つた外

3. 坐骨神経幹切断実験
4. 1側交感神経節状索剥出実験（第2腰椎節から第1仙椎節迄）

を行い、実験に依る変化の最も著明に出現すると考えられる第5~第11日目に実験動物を瀉血死に到らしめ直ちに前記の可検材料を採取した。

第2節 観察方法

前述した様に可検材料は新鮮なものが必要であるから採取後の操作を迅速に行う事が大切である。即ち屠殺直後に可検材料を出来る限り血液その他のものを附着せしめない様注意して採取し、周囲の結合織性被膜をなるべく充分に且丁寧に除去し、予め蒸溜水中に1%の溶液として調製して置いたオスミウム酸溶液を極小型の摺り合わせ蓋附瓶中に2~3cc宛分注して置いたものの中に切除部位毎に投入し、20℃乃至夏季では室温に放置して20分間染色する。染色が終れば可検材料を吸取紙上に置いて染色液を簡単に除去して水洗することなく直ちに1対1容量のグリセリン水中に浸漬し、オブジェクトガラス上に前記グリセリン水1滴を採り可検物を載せて其の新鮮な間に直ちに拡大鏡の下で昆虫針を以てクシ削る様にして個々の神経線維に分離してデツクグラスで蔽い検鏡する。

第3章 下肢筋を支配する神経幹内の神経線維の組成並びに正常所見

オスマウム酸染色法は髄鞘染色法の一つであるが、此の染色法の特長は脊髓前根、後根以下末梢神経幹内の神経線維を其の大きさと染色性とに依つて実に確然と2群のものに染別し得る点である。

即ち其の1群は幅が凡そ6ミクロン以上で、髄鞘が黒色に濃染し而も Lantermann 氏切痕が極めて明瞭に識別出来る線維である。以下之をA線維と呼ぶ。他の1群は幅が前者に比較して明らかに狭く、即ち2.5~4ミクロンであつて、一般に染色に抵抗して淡染し黄褐色を帯び、而も髄鞘の存在を明らかに認め得る線維である。以下之をB線維と呼ぶ。一般にA線維の方がB線維に比較して大小の差が甚だしい。

以上の2種類の線維は検鏡上何らの疑問を懷く余地が無い程明らかに識別し得るし、且両者とも有髄であり、この他の無髄線維は全く之を認め得ない。以下之を各部分の所見に就いて述べる。

1. 前根及び後根

A線維は髄鞘が黒色に濃染し、Lantermann氏切痕が甚だ明瞭に且整然と同一方向へ配列し、亦或は1個の髄節を中にして互に対向する部分も認められる。Ranvier氏絞窄輪も明らかに認められる。髄鞘の各節の長さは、短い部もあり比較的長い部分もあるが、一般に脊髓後根神経節以下の末梢部では前、後根に比較して稍々長い。

B線維は一般に淡染し髄鞘は黄褐色に染まるがA線維に較べて極めて対照的に淡染する。Lantermann氏切痕は明瞭で而も整然と配列し、或部分では各髄節の中央部に於て髄鞘部が外側に向つて僅かに膨隆した所見を認める部分もある。亦髄節の長さはA線維の場合に較べて稍々長い。

これらの所見は前根に於ても後根に於ても認められ両者間に明らかな相違を認めない。B線維は数条乃至それ以上の束をなしていることが多く、亦如何に細小であつても髄鞘を認める。

2. 交感神経節状態

A線維は少数ではあるが明瞭に認められ、各髄節の長さは前、後根に較べて稍々長い。

B線維は節状束線維の大部分を占めるが、之を精細に観察しても、如何に細小であつても無髄のものは認められない。亦この部は他の部分に較べて線維の屈曲性の強い標本が出来易い。之は大部分が細小のB線維から成るため化学的操作の影響を受け易い状態に在るためではないだろうか。

3. 坐骨神経、脛骨神経及び腓骨神経

共にA、B両線維を含有し、これらは何れも全部有髄であつて無髄線維を認めない。

亦脛骨神経、腓骨神経の筋肉枝を当該筋内に進入する部分迄追究しても尚A、B共に全く有髄である。

第4章 末梢神経切断実験成績

第1節 脊髓前根切断実験所見

1側の脊髓前根を切断し10日間経過したものに基づいて脊髓後根神経節直下部、坐骨神経、脛骨神経及び腓骨神経の神経線維の状態を検索した。

1. 脊髓後根神経節直下部

A線維の或のものには高度の変性像が認められる。即ち Lantermann 氏切痕の示す髄鞘の矢羽根状模様が不明瞭となり、次いで相隣る髄節の境界が不鮮明となり、終には今まで明瞭に髄鞘と區別出来た軸索の通過する空隙も黒染して各髄節は個別の団塊状となり、隣接の髄節と融合して所謂コマ切れ状を呈し、或はその一部が吸収せられて線維は断裂状を呈するに到る。この様に髓球形成を来して吸収像の見られるA線維が認められるものもあるが、一方約半数のA線維は何らの変化を来さず全く正常所見を呈する。

B線維は之に反して殆どが正常所見を呈し、精検すれば極めて少数に於て Lantermann 氏切痕の示す矢羽根状模様が不明瞭となるものもあるが断裂、吸収像は認められない。即ちB線維には稀に変化を受けるものがあるが、極めて少数に止まり且軽度である。

2. 坐骨神経幹

A線維は染色性良好で Lantermann 氏切痕の示す矢羽根状模様の整然と明らかな全く正常所見を示す線維と、前述の様に各段階の変性像を示し髓球形成を認めるもの、或は染色性が全く不良となるものもある。後者は精検すると髄鞘が既に全く吸収せられて Schwann 氏鞘のみを残しているものであることが判る。

B線維は之に反して殆ど変化を認め得ない。然し乍ら極めて少数に於ては髄鞘像が不鮮明となり隣接の髄節との境界が不分明となるものも認められる。

3. 脛骨神経及び腓骨神経

A線維は全く正常所見を示すものと、各種変性像即ち Lantermann 氏切痕不明となり、1個或は数個の髄節が髓球を形成し骸子状に連続するもの、或は髄鞘が既に吸収され消失して極めて染色性の不良なもの等、坐骨神経幹の変性所見に較べて稍々高度の様である。

B線維は依然その殆どのものは正常所見を呈するが

変化を来した僅少のものには髓球形成が認められる。

即ち一般に変性を来す線維は末梢部に到るに従つてその変性程度が高度の所見を呈する。

第2節 脊髓前、後根切断実験所見

1側の脊髓前、後根を切断し9日間を経過したものに就いて脊髓後根神経節直下部、坐骨神経、脛骨神経及び腓骨神経の神経線維の状態を検索したが、其の変化は第1節の脊髓前根切断実験所見と殆ど差異を認めない。即ちA線維では正常所見を呈するものと、変性崩壊、断裂及び吸収の各所見が認められるものと其の数は殆ど相半ばするに反して、B線維では極めて少数が変性像を示している外は殆どが変性を来さず正常所見である。亦変性を来す線維は其の程度が中心側よりも末梢側に於て稍々高度である。

第3節 坐骨神経幹切断実験

1側の坐骨神経幹を坐骨孔直下部に於て切断し第5日目のものに就いて坐骨神経、脛骨神経及び腓骨神経の神経線維の状態を検索した。

本実験結果はA、B両線維共例外なく高度の変性に陥り正常所見を示すものは皆無である。即ち、髓鞘の変性のために軸索孔は殆ど認め得ない迄に一樣に黒色に染出せられ、髓鞘のLantermann氏切痕は全く不明となり、髓節は癒合し或は短かく或は長く髓球状乃至棒状となり崩壊の寸前に在るもの、一部崩壊吸収せられたもの等が認められ特にB線維の変性度が高度である。

第4節 1側交感神経節状索剔出実験所見

1側の交感神経節状索を第2腰椎節から第1仙椎節迄剔出し10日を経過したものに就いて脊髓後根神経節直下部、坐骨神経、脛骨神経及び腓骨神経の神経線維の状態を検索した。

A線維は各部に於て髓鞘の細部構造明瞭で全く変化を呈せず、B線維も亦Lantermann氏切痕明瞭で整然とした配列を示し、極めて一部分のものを除いては殆ど変化を認めなかつた。一部のものにはLantermann氏切痕の不明瞭なものが認められたが、それ以上の強い変性像を認めなかつた。

第5章 総括並びに考按

以上の結果を総括すれば、脊髓前根及び後根、脊髓後根神経節直下部、交感神経節状索、坐骨神経、脛骨神経及び腓骨神経に於ては何れも一樣に、その染色態度を異にする2種類の線維が区別される。即ち、黒色に染まる幅6ミクロン以上の大、中径線維(A線維)と、染色に抵抗して黄褐色に淡染する幅2.5~4ミクロ

ンの細小径神経(B線維)とに区別される。これらは全部明瞭な髓鞘構造を示し、何れの部分に於ても無髓の線維を全く認め得ない。両者共に髓鞘には矢羽根状模様を呈するLantermann氏切痕が整然と配列し、或は同一方向に、或は1髓節を中にして対向的にLantermann氏切痕が存在し髓節間を明瞭に区劃する。各髓節は之に依つて、或は極めて短いもの、或は長いものと各種が見られるが、一般的にA線維に於ては中心側よりも末梢側の神経線維即ち前、後根よりも坐骨神経、脛骨神経、腓骨神経の方が1髓節の長さは長くなる。B線維は長さには就いては其の様な判然とした区別が明らかでない。亦Ranvier氏絞窄輪が両線維共に明瞭に認められる。神経軸索の通過する軸索孔はA、B両線維共に夫々髓鞘に較べて更に淡染し髓鞘の内縁が明瞭に区別出来る。軸索孔の幅と、之を囲む髓鞘の幅とは必ずしも正比例しない。即ち軸索孔の幅が広いとき髓鞘の厚いものもあり、或は反対に薄いものもある。

次に各実験所見を綜合すれば、先づ脊髓前根切断実験に於ては、A線維は正常所見のものが認められる反面前述した変性崩壊像を示すことは本実験の性質より、前者は求心性線維即ち知覚神経に属し、変性した後者は遠心性線維即ち運動神経に属し、共に脊髓神経に属するものであることを知り得る。然るにB線維は変性を示すものが極めて少く殆どが正常所見のまま残存することは、その変性態度からみても脊髓神経とは別種のものであることを示唆し、而もこのB線維は交感神経節状索の殆ど全部を占める線維と全く同じである事からもこれが交感神経線維そのものであると考え得る。

亦、交感神経線維たるB線維が脊髓前根切断に依つても殆ど変性がみられない事実は、交感神経は脊髓神経と異り、坐骨神経領域に分布するものは其の領域即ち切断した脊髓根の交通枝を介してのみから来るものではなく、それ以外に更に上方又は下方、或は他側の脊髓神経根よりの交通枝から来つたものが合して交感神経節状索となり、而も坐骨神経中に進入しているものであると考えられる。換言すれば坐骨神経を形成する脊髓神経根から交感神経節状索に入る交感神経線維は其の極く一部に過ぎないと云うことになるのである。交感神経節状索の脊髓交通枝の多岐性に関しては幾多の業績がある。成書に依れば交通枝の最も規則正しいのは胸部であり、腰部に於ては神経節の数が一定せず、従つて交通枝は下方に走るもの、横に走るもの、

上方に走るもの等があり、又脊髄の2節から来たものが同一神経節に入ることがある。亦節状索を通じて頸部又は上胸部の脊髄を出る線維が腰部にも達する。従つて胸部脊髄の交感神経細胞を出た節前線維が腹部交感神経節状索迄も達することが考えられる。

脊髄前、後根切断実験結果は前述の前根切断実験結果と変らないことは、変性を来さないA線維は求心性線維即ち知覚神経であることを裏書きしている。換言すれば Waller 氏変性の後根線維に関する妥当性を示しているものと云える。

坐骨神経幹切断実験結果は、A、B両線維共に凡て高度の変性に陥り健存する線維は全く認められない。

1側交感神経節状索剔出実験結果は、A線維は全く正常所見を呈し、B線維も殆ど正常所見を呈するが、稀に Lantermann 氏切痕の稍々不明瞭となる程度の極めて軽度の変化が認められるに過ぎない。この事實は、前述の如く坐骨神経中に含まれる交感神経は其の剔出範囲以外の上方向は下方、或は他側の神経節からの線維が甚だ多数含まれていることを示すものであると云い得る。

仍て自律神経線維が末梢神経幹中で果して有髄か又は無髄であるかに関しては古来多数の人々に依つて追究されたところである。

即ち無髄神経説を採る者は、Scherrington (1894)の猫及び猿に於ける実験を始めとし、Boeke (1911)は種々の動物に於て、Kuntz (1927)は犬に於ける実験結果より之に賛同し、Garven (1925)、Tsunoda (1928)、Nevin (1930)等も又無髄説を支持した。

之に対して古く Bidder, Volkmann 等 (1842)は蛙の交感神経節状索から無数の小径有髄の節後線維が出て交通枝を経て脊髄神経中に進入し、末梢に向つて走行することを明らかにし、Langley (1896)は猫の下腰部の交通枝中には多数の有髄節後線維が含まれているのを認めた。中西 (1932)は蟻の坐骨神経中に入る節状索からの交通枝から来る節後線維は、殆ど凡て有髄であると発表した。

私達が中西教授の採用したオスミウム酸染色法を以

て追究した結果は前述した如く、末梢神経幹中の各部に認められる自律神経線維は凡て有髄であることは前述した通りであつて、無髄線維を全く認めなかつた。

中西教授のこのオスミウム酸染色法の利点は脊髄神経と自律神経とを決定的に識別出来る点にあり、而もこの特長を発揮出来る所以は短時間染色に止めることにある。即ち化学的処理が少く且極めて短時間のために新鮮な材料のままで観察し得る点が、複雑な化学的操作を加えねばならない永久標本に比較して其の所見が更に明瞭に観察出来るところにある。この故にこの交感神経線維も明瞭に髄鞘を染出し得たものと思われる。

第6章 結 論

私達は成熟猫を実験材料として末梢神経幹に於ける神経線維、特に自律神経線維の性状を検索し、各種切断実験を行い其の変性態度を明らかにし次の結果を得た。

1. 脊髄神経と自律神経とはオスミウム酸短時間染色法に依つて決定的に識別出来る。即ち前者は黒色に染り、線維の幅6ミクロン以上、後者は淡黄褐色に染り、線維の幅は2.5~4ミクロンである。

2. 自律神経線維は末梢神経幹即ち脊髄前根、後根、交感神経節状索、坐骨神経、脛骨神経、腓骨神経より更に支配筋肉に進入する部分迄全く有髄線維である。

3. 1側交感神経節状索剔出実験では、脊髄後根神経節以下坐骨神経、脛骨神経、腓骨神経の各個所に於て自律神経線維の変性を殆ど認め得ない。

稿を終るに当り懇切な指導と校閲を賜つた恩師近藤鋭矢教授に深謝する。

文 献

著者の1人たる柳井が発表した「骨格筋の神経支配に関する実験的研究」の文献中に本論文の分も一括掲載したので之を参照され度い。重複を避けるため省略する。

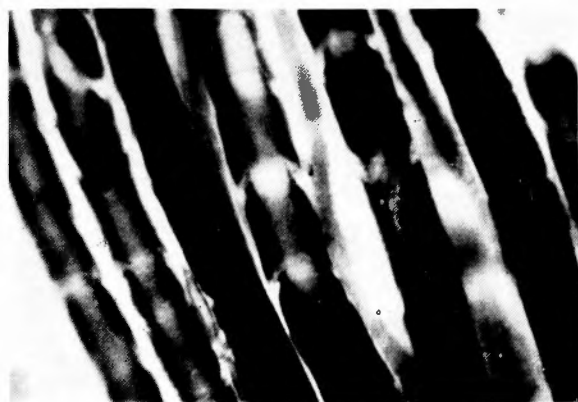


Fig. 1



Fig. 2

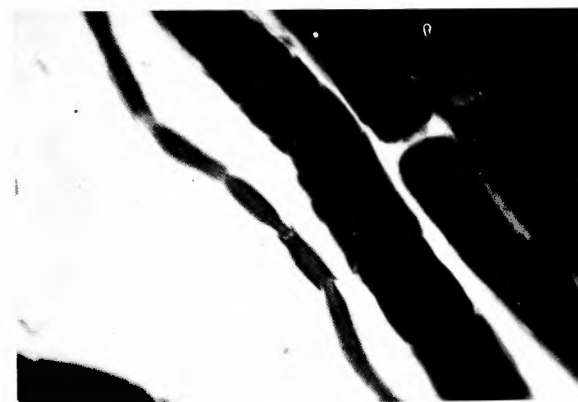


Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

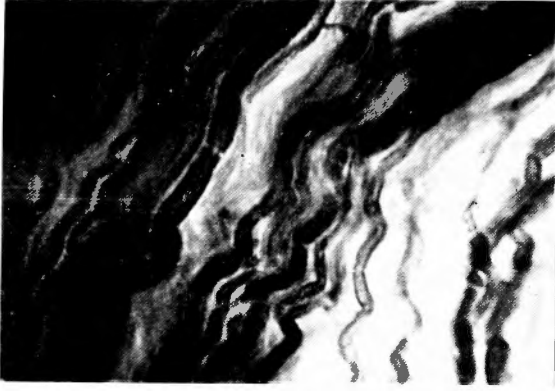


Fig. 7

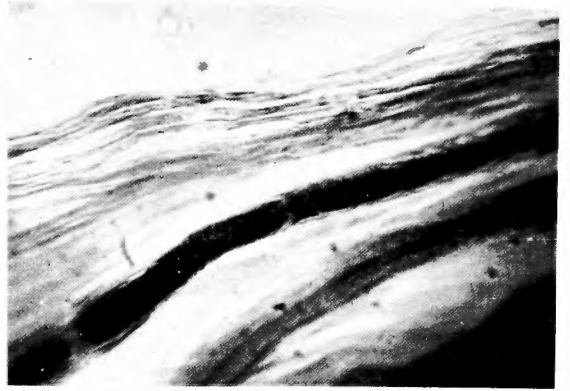


Fig. 8

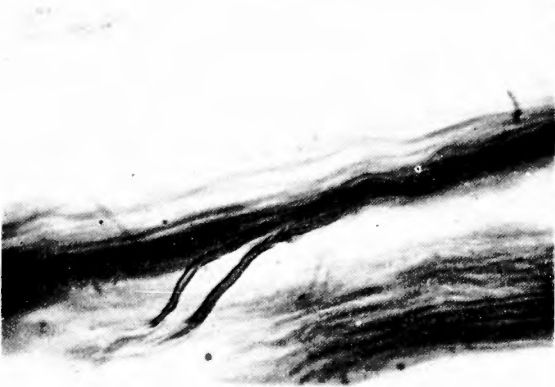


Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15



Fig. 16

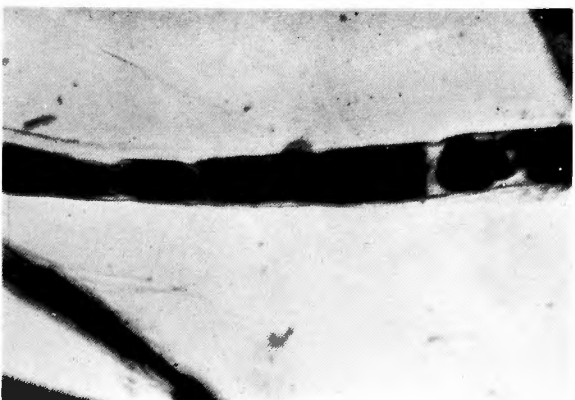


Fig. 17



Fig. 18

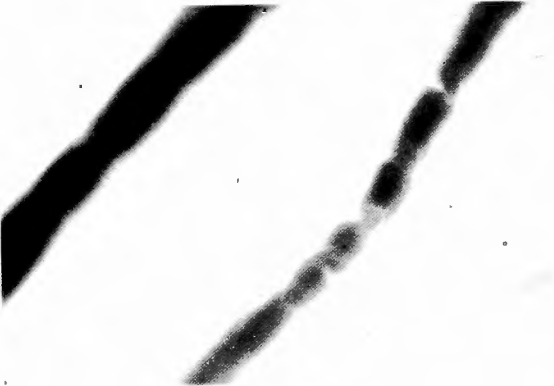


Fig. 19



Fig. 20



Fig. 21



Fig. 22



Fig. 23

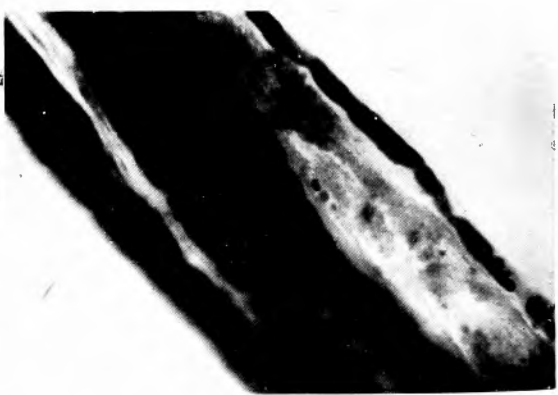


Fig. 24

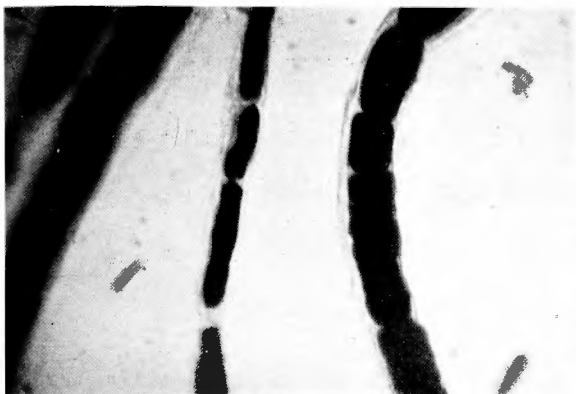


Fig. 25

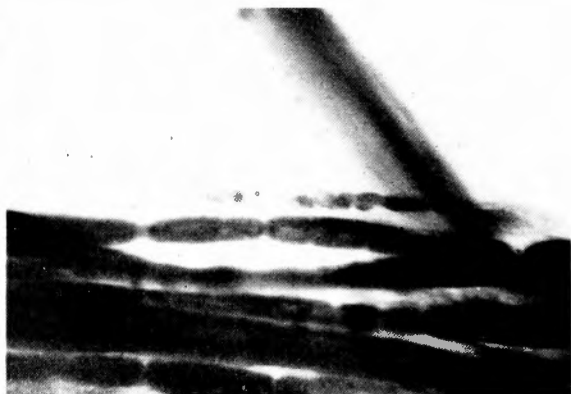


Fig. 26



Fig. 27



Fig. 28



Fig. 29



Fig. 30



Fig. 31

附 図 説 明

- Fig. 1 正常 前根
- Fig. 2 同 前根
- Fig. 3 同 前根
- Fig. 4 同 後根
- Fig. 5 同 後根
- Fig. 6 同 交感神経節状索
- Fig. 7 同 交感神経節状索
- Fig. 8 同 交感神経節状索
- Fig. 9 同 交感神経節状索
- Fig. 10 同 坐骨神経
- Fig. 11 同 坐骨神経
- Fig. 12 同 脛骨神経
- Fig. 13 同 腓骨神経
- Fig. 14 前根切断実験 脊髓後根神経節直下部
- Fig. 15 同 坐骨神経
- Fig. 16 同 坐骨神経
- Fig. 17 同 腓骨神経
- Fig. 18 前後根切断実験 脊髓後根神経節直下部
- Fig. 19 同 坐骨神経
- Fig. 20 同 脛骨神経
- Fig. 21 同 腓骨神経
- Fig. 22 同 腓骨神経
- Fig. 23 坐骨神経幹切断実験 坐骨神経 (弱拡大)
- Fig. 24 同 坐骨神経
- Fig. 25 同 脛骨神経
- Fig. 26 同 腓骨神経
- Fig. 27 同 腓骨神経
- Fig. 28 1側交感神経節状索剔出実験 脊髓後根神経節直下部
- Fig. 29 同 坐骨神経
- Fig. 30 同 脛骨神経
- Fig. 31 同 腓骨神経

倍率

- Fig. 23 Leitz 3×3 (115×)
- その他 Leitz 3×7 (600×)