

神経根の電子顕微鏡的研究、特に神経線維の中枢・末梢移行部について

金沢大学大学院医学研究科神経精神医学講座(主任 大塚良作教授)

金沢大学大学院医学研究科解剖学第一講座(主任 本陣良平教授)

中 村 一 郎

(昭和43年7月20日受付)

本研究の一部は1968年4月、第9回日本神経病理学会総会ならびに同年5月、第22回日本電子顕微鏡学会学術講演会において発表した。

脊髄神経後根内において、個々の神経線維の多くに、髄鞘を欠く部位が存し¹²⁾、この部位は Redlich-Obersteinersche Stelle と呼ばれ、これが1891年、Hoche³⁾ が記載した神経膠細胞と Schwann 氏細胞との境界部に一致すると一般に考えられた。その後、この部の形態を明らかにするため、種々の脳・脊髄神経の神経根について、可視光顕微鏡(以下「光顕」と略記)による検索がなされた^{4)~9)}。これら先人の努力にもかかわらず、光顕標本作製の際に生ずる組織の人工的な破損と、光顕分解能(0.2 μ)の限界に禍いされ、神経根における神経線維の中枢・末梢移行部の微細構造特徴に関する見解は、推定の域を出ないものが多かった。

一方、近時神経生理学的検索において、中枢神経と末梢神経との間に、神経興奮伝導の機序、特に伝導速度に関して、差異の存否が論ぜられ、一般に末梢神経におけるよりも、脊髄後索においては興奮の伝導速度が遅く、後索に入ると伝導速度は後根における速度の1/4~1/6に減少するとの知見が報せられ^{10)~12)}、神経根の神経線維の中枢・末梢移行部の微細構造特徴の解明は、生理学的見地からも強く要望されている。

近年、電子顕微鏡(以下「電顕」と略記)の開発が進み、その飛躍的な分解能により、神経系微細構造に関して、従来不明とされていた多くの問題が解決され、中枢神経系と末梢神経系との神経線維の構造上の差異に関して、種々の知見がもたらされたが(本陣¹³⁾参照)、中枢・末梢移行部の微細構造に関しては、未だ明確な知見が得られていない。著者はこの時点に立

って、ハツカネズミの三叉神経根を材料とし、光顕ならびに電顕検索による本研究を企図した。

実験材料および実験方法

材料として、成熟ハツカネズミ(純系 KH-A 種)の三叉神経根を使用した。

光顕検索のための試料採取には、開頭後橋脳より以下の部を残して、上位脳を切り取り、頭蓋底を露出させ、橋脳の一部を附着させたまま、三叉神経根を半月神経節とともに切り出し、光顕標本用の固定液に投じた。染色法としては、(1) hematoxylin-eosin 染色法、(2) van Gieson 氏膠原線維染色法、(3) Cajal 氏本陣変法による軸索染色法、(4) Weigert-Pal 氏髄鞘染色法、(5) Klüver-Barrera 氏髄鞘染色法、(6) OsO₄ 法による髄鞘染色法などの手技を用いた。

電顕検用の材料の採取は次のように行なった。まず頭蓋骨を離開し、直ちに大脳を頭蓋底より僅かに挙上し、神経根部に冷却した固定液を滴下し、この状態で、すばやく大脳を除去し、再度固定液を注ぎ、神経根に接着している結合組織を注意深く剝離し、根の起始部から半月神経節までの神経根を採取し、同じ固定液に投じた。固定方法としては、(1) veronal-acetate 緩衝(pH 7.25) 1% OsO₄液 単独固定¹⁴⁾¹⁵⁾、(2) 磷酸緩衝(pH 7.4) 3~5% glutaraldehyde¹⁶⁾ および磷酸緩衝(pH 7.4) 1% OsO₄ 液による二重固定、(3) veronal-acetate 緩衝(pH 7.25) 0.6% KMnO₄ 液単独固定¹⁷⁾ の3種を行なった。いずれも0~4°Cの氷室内で、1~4時間固定した。引き続き

Electron Microscopic Studies on the Nerve Root, with Special Reference to the Centro-peripheral Transition Site of the Nerve Fibers. **Ichiro Nakamura**, Department of Neuropsychiatry (Director: Prof. R. Otsuka), Department of Anatomy (Director: Prof. R. Honjin), School of Medicine, Kanazawa University.

順次高濃度の ethanol 系列で脱水し、合成樹脂に包埋した。合成樹脂包埋法は、(1) styrene-methacrylate¹⁸⁾ および (2) Epon 812¹⁹⁾ によった。薄切は LKB-Ultratome 4800 を用い、ガラスナイフで行なった。切片の厚さは干渉色により、300~500Å であることを確かめた。電子染色法としては、Pb 法²⁰⁾、uranyl acetate 法²²⁾ の 2 種のそれぞれの単独染色、および Pb 法と uranyl acetate 法の二重染色を行なった。鏡検には、HU-11P 型 (加速電圧 75KV) と JEM-7 型 (加速電圧 80KV) を使用し、直接倍率 3,000~20,000 倍で撮影し、さらに引伸し拡大画像を作製した。微細構造の数値測定は、陰画原板を使用し、投影拡大器 (拡大率 20 倍) によった。

実験所見

I 可視光顕微鏡所見

半月神経節内の神経細胞の大部分は、神経根に連続する神経線維束を、外側から囲むように集団をなしているが (写真 1, 2)、神経線維の間に分散しているものもある。また、神経線維の中枢・末梢移行部に近い根線維の間に存在する神経細胞も認められた。個々の神経細胞にはかなりの大小差が認められるが、上記の分布位置の異なる細胞間に形態上の差異は見られなかった (写真 1, 2)。

神経細胞の一般的光顕所見としては、hematoxylin-eosin 染色では、大型で円形の明るい核と、著明な核小体が認められ、細胞質は、個々の神経細胞により、染色の度合に多少の濃淡差が見られる。神経細胞の周囲には、円形ないし楕円形の核を持つ外套細胞が存在する (写真 2)。van Gieson 染色においては、神経細胞の細胞体が黄色に染るほか、特徴を示さない。写真銀法では、神経細胞の核は明るく示され、核内にはほとんど銀の沈着を認めないが、細胞質には、種々の程度に還元銀の沈着が認められる (写真 1)。個々の神経細胞の間には、多少湾曲しながらあらゆる方向に走る黒染した軸索が存在している (写真 1)。OsO₄ 固定無染色の標本では、神経細胞の核小体は著明に示され、核は比較的明るい、内部に点状の弱く黒染した物質を認め、細胞質は濃淡さまざま、Os に対する種々の程度の親和性を示している (写真 2)。神経細胞間のところどころに、毛細血管内に赤血球が黒染した小顆粒として認められる。OsO₄ 固定の材料では、神経細胞間に種々の方向に走る有髄線維の髄鞘が認められる (写真 2)。

末梢部における神経線維束は、hematoxylin-eosin 染色では、一般に eosin によく染り、紡錘形の核が

線維間に多数存在している (写真 3, 4)。OsO₄ 法、Weigert-Pal 氏法、Klüver-Barrera 氏法いずれの髄鞘染色標本においても、末梢部の髄鞘は形態がかなり良好に保存され、明瞭に染出される (写真 5, 6, 7)。神経根内の線維を全体にわたって観察すると、同一の髄鞘染色標本において、末梢部の髄鞘は中枢部の髄鞘より濃染し、明瞭に観察される (写真 5, 6, 7)。

神経線維の中枢・末梢移行部は、根の起始部から約 0.5~0.6mm 末梢側に存し、末梢側に向かって凸面を呈する明るい層として示される (写真 3, 4, 5, 6, 7, 8)。hematoxylin-eosin 標本についてこの部を強拡大で鏡検すると、eosin に強く染り、その中心部に軸索を伴った突起様の構造物が、移行部に相当する明層を横切って、中枢部内に深く入り込んでいる像にしばしば接する (写真 3)。これは Hosokawa⁹⁾ が intracentral portion of the peripheral nerve fiber と呼んだものと、同一のものであろう。OsO₄ 固定の材料でも、hematoxylin-eosin 標本に見られた明層と同一部位に、明層が観察され、ここを横切って神経線維が中枢部に進入している像が観察される (写真 5)。軸索を染めた Cajal-本陣写真銀法においても、多くの軸索が、この移行部において局部的に多少径を減じ、細くなっているのが見られる。細くなっている部の軸索には還元銀の沈着が強い (写真 8)。Weigert-Pal 氏法による髄鞘染色では、移行部は、著明な明層としてあらわれ、髄鞘の欠損部が存在することを示している (写真 6)。移行部より中枢側、すなわち中枢内では、いずれの染色標本においても、末梢部に比し、細胞核の数が少なく、hematoxylin-eosin および van Gieson 両染色標本では、おそらく固定の際の破壊による組織の粗化が見られる (写真 3, 4)。しかしながら、Cajal-本陣変法による軸索染色では、軸索の像は、中枢部と末梢部との間に著しい差異は認められず、軸索の径も、同一線維で、両部の間で差異を示さなかった (写真 8)。

II 電子顕微鏡所見

1. 半月神経節

三叉神経半月神経節内には、神経細胞のほか、外套細胞、有髄・無髄神経線維、毛細血管、線維細胞、結合組織細線維 (collagen fibrils) およびこれらの中に存する組織腔が観察される。

1) 神経細胞

細胞限界膜の外側を外套細胞に囲まれた神経細胞は、胞状大型の核を有し、細胞質内に小胞体、RNP 顆粒、多数の mitochondria (以下「mito.」と略記)、

発達した Golgi 装置²³⁾, 神経細線維²⁴⁾²⁵⁾, tubular endoplasmic reticulum^{25)~30)} (以下「*tub. e. r.*」と略記)を含み, 他に種々の断面を示す電子密度大な小体, 多胞小体 (multivesicular body³¹⁾), coated vesicles³²⁾, trophospongium¹³⁾, subsurface cistern³³⁾³⁴⁾, 大小区々の vesicles などが見られる。

神経細胞の核質内には, 核内全体に分散した径 100~400Å の chromatin 顆粒が存在し, chromatin 顆粒はところどころで集合して, 網状構造を呈している (写真9)。核小体は, 径約 200Å 前後の電子密度大な小顆粒の密度大な集合体として認められ (写真9), しばしば核の辺縁の核膜に近い所に位置し, ときには核膜に接着して存することがある。核小体は, (1) 電子密度大な顆粒の密に集合している部分 (dense aggregate), (2) 電子密度やや大な顆粒が集合している部分 (light particle aggregate), (3) これらの顆粒群間の密度小な明るい部分 (small light vacuoloid) の3部分から構成され, 全体として斑点状の内部構造を示している (写真9)。

神経細胞の核膜は二重膜構造を呈し¹³⁾²⁴⁾²⁵⁾³⁵⁾, 内・外側両核膜と, これに挟まれた核膜腔からなる (写真9, 11, 15)。内側核膜は, 厚さ約 80Å の薄膜からなり, 外側核膜に比し, 密度大で平滑である¹³⁾²⁴⁾³⁶⁾。外側核膜はかなりの凸凹を示し, ときに大きな断面指状の突出が細胞質間に延長している。外側核膜の細胞質側の面には, RNP 顆粒が附着している。核膜のところどころで, 内・外側両核膜が互に移行し, この部では核膜構造が消失し, 核膜孔が存する¹³⁾²⁴⁾²⁵⁾³⁵⁾³⁷⁾。核膜が接線方向に薄切された場合には, 核膜孔構造は径約 0.15~0.2μ の円形を呈し, その外囲は厚さ 150~200Å の密度大な物質でとり囲まれ, その内部は電子密度小で明調を示すが, その中心部に径約 100Å の電子密度大な点状の構造物 (central density³⁷⁾) が認められる。

Nissl 氏小体は, 薄膜の小胞体とその外面および間に位置する RNP 顆粒との集合から構成されているが (写真9, 10, 11, 13, 14), 半月神経節の神経細胞内におけるその分布状態には, 個々の神経細胞によって, かなりの差が見られ, また同一神経細胞でも, 細胞体内の部位によって, 小胞体と RNP 顆粒の集合密度とその大きさに, 大幅な相異が見られる。一般に, 比較的小きな細胞体を持つ神経細胞では, Nissl 氏小体が多数存し, しかも細胞質全体に充滿しているので, 小細胞の細胞質は全体に電子密度が大で, 電顕写真では暗い映像を示す (写真10, 13)。これに反し, 大きな神経細胞では, Nissl 氏小体は細胞質全体に分

散し, 分布密度が粗で, 大きな集塊状を呈しないことが多く, 全体として細胞質は電子密度が小で, 電顕写真は明るい (写真10, 14)。これらの異なった2つの型の細胞間には, 移行型と思われるものも存在する。これら2型の神経細胞は従来, dark cell および light cell と呼ばれた細胞区分に相当するものであろう³⁶⁾³⁸⁾³⁹⁾。

mito. は, Nissl 氏小体間の細胞質内に多数分散している。外側・内側の二重の薄膜を有し, 内側の薄膜は電子密度小な matrix に延びて, cristae mitochondriales を形成している (写真9, 10, 11, 13, 14)。cristae 内や cristae-間の matrix 中に特殊な dense body⁴⁰⁾ は見られなかった。

Golgi 装置は核の近傍の細胞質内に認められる (写真9, 11, 13, 15), Golgi 装置は Golgi vacuoles, Golgi membranes, Golgi vesicles の3基本構造から構成されている²³⁾。Golgi 野の近傍に, Golgi vesicles とほぼ同大であるが, その限界膜の電子密度が大で厚い vesicles が見られた。時としてその内部は電子密度が極めて大である (写真11, 13, 15)。かかる vesicles は細胞膜の近傍にも存在することがある (写真15), また多胞小体 (multivesicular body) も存し, その外面は1枚の限界膜で囲まれ, ほぼ円形を呈し, 内部に2~10個の小 vesicles を含んでいる (写真9, 11)。小 vesicles も1層の薄膜で限界され, その内部の電子密度が大である。時として多胞小体の限界膜が外側に指状の突起を出している⁴¹⁾⁴²⁾。

径 80~100Å の細線維 (神経細線維, neurofilaments) が, 細胞質 matrix 内の小器官の間を走っている (写真9, 10, 11, 13, 14)。神経細線維の分布は, 個々の神経細胞の間かなりの差異があり, 小型の細胞では細線維が少なく不著明であるが, 大型の細胞では多数存在している。時に神経細線維が束状に集合し, Andres³⁶⁾ のいう Plasmatrassen 類似の構造を示すこともある。

OsO₄ および glutaraldehyde 固定材料において, ともに少量ではあったが, tub. e. r. (thick filament⁴³⁾, dendritic tubules⁴⁴⁾) の存在が認められた。tub. e. r. は径約 200~300Å の細管状を呈し, 起始円錐 (axon hillock) の部において, やや密に集合して軸索内に走るのが見られた³⁹⁾。そのほか, 外側に1層の限界膜が存し, 内部が均質無構造できわめて電子密度が大な小体が認められる (写真9, 10, 11, 13, 15)。この小体は断面円形ないし楕円形で, 内部が均質無構造に近い像を呈するものと, 大きな集塊状

を呈し、内部に板層構造を有するものがあり、前者は lipofuscin 顆粒^{38)41)45)~50)}に相当し、後者は lamellar body に相当するものである。これらは、時に内部に大きな空腔を含むことがある(写真13, 15)。そのほか、細胞質内には電子密度大な割面ほぼ球形の lysosome が存し、その限界膜の内面と内部の電子密度大な物質との間には、幅 100~200Å の密度小な明るい層が介在している(写真15)。lysosome は時として桿状を呈し、その先端が円みを帯びてやや膨大していることがある。

時として、Nissl 氏小体を構成している粗面小胞体の薄膜の内部すなわち cistern の内部に、径 800~1,000Å の電子密度大な円形の顆粒が存在することがある(写真13, 14)、この顆粒はそれ自体の限界膜を有せず、詳細に観察すると、大多数の顆粒の内部に、顆粒の外表面とほぼ同心円性にならぬ電子密度のきわめて大な層構造が認められる。この種顆粒は、すべて膨大した小胞体 cistern の先端に存し、断面で通常1個の小胞体 cistern に1個の顆粒が含まれているが、まれに2個以上のこともある。この種顆粒が存在する場合、膨大した小胞体薄膜の外表面の RNP 顆粒附着は著明ではなかった。この顆粒の Nissl 氏小体内の分布には規則性は見られず、時としてきわめて多数が Nissl 氏小体の局所に集まっているのが見られた。以上述べた粗面小胞体 cistern 内の顆粒は、OsO₄・glutaraldehyde のいずれの固定法によってもその存在が示された。そのほか、細胞限界膜に近接した細胞質内に、種々の大きさを示す vesicles がしばしば観察された。限界膜に沿って位置する扁平な薄膜に囲まれた cistern も見られた。

神経細胞の細胞限界膜は、外套細胞のそれと、幅約 200Å の密度小な層を隔てて接している。前者は後者より電子密度が大で、やや厚い(写真10, 11)。両者は互に波状の凹凸を示し、時に個々の限界膜が互に細胞質を伴って小さな突起を形成し、互に陥入して複雑な入り組みを示す。また、Wyburn⁵¹⁾が成熟家兔の脊髄神経節で記載しているように、2個の神経細胞の限界膜が互に直接し、2個の神経細胞の間に外套細胞その他の構造物が介在しない像に接した。

2) 外套細胞

核膜は多少の凹凸を示すが、断面では比較的平滑な輪郭を示す(写真10, 16)。まれに同一外套細胞に2個の核が存在する。核内に径 100~300Å の chromatin 顆粒が多量に存し、その核内分散は不平等で、核膜内面や核内の所々に集簇する傾向が強い。核膜は、内・外の核膜からなる二重膜構造を呈し、両核膜間には密

度小な核膜腔が存在する。内側核膜は外側核膜に比し、一般に平滑でやや電子密度が大である。外側核膜の一部は、しばしば細胞質内に突出し、その部の外面には RNP 顆粒が接着している。神経細胞と同様に、外套細胞の核膜にも核膜孔が多数認められる。

外套細胞の細胞質は、核の近傍では比較的豊富であるが、その他の部では薄層を呈する(写真9, 10, 11, 16)。一般的に外套細胞の細胞質は、神経細胞に比し、細胞内小器官に乏しく、明調を示す。mito. はかなり明瞭である。RNP 顆粒と思われる顆粒・Golgi 装置・coated vesicles なども認めた。そのほか、径約 100Å の細線維⁵²⁾、径 200~250Å の microtubules³²⁾、lipofuscin 顆粒に類似の小体⁵³⁾などが見られた。また神経細胞側および組織腔側の限界膜に接して、大小区々の vesicles が存し(写真10, 11)、しばしば pinocytotic vesicles 様の構造を呈している。lysosome・多胞小体などもときどき観察された。まれではあったが、長軸が直角に交る一対の中心小体が見られた(写真16)。外套細胞の神経細胞に面する細胞限界膜は、幅約 200Å の細隙を隔てて、神経細胞の限界膜に相対するが、外套細胞の組織腔に面する限界膜は、密度小な層を介して、厚さ300~400Å のやや電子密度大な1層の基底膜によって覆われている(写真9, 10, 11, 16)。

3) 神経細胞・外套細胞の相互関係

神経細胞の胞体は組織腔に直接面することなく、胞体と組織腔との間には、常に外套細胞が介在し、これが神経細胞の外周を完全にとり囲んでいる。個々の神経細胞は、通常1層の外套細胞の薄層に覆われているが(写真9, 11)、まれに多数の外套細胞の細胞質が重なり合っている像も見られる。相接する神経細胞と外套細胞の限界膜は、神経細胞のものが外套細胞のものよりやや電子密度が大で厚い³³⁾。神経細胞の限界膜が小さな棘状の突起を外套細胞側に出し、従来 spine³²⁾・parafita³⁶⁾・villiform projection³⁸⁾と記載された構造が存することもある(写真11)。spine 内の細胞質には、少量の RNP 顆粒、神経細線維を含むのみで、mito., 粗面小胞体は見られないが、時に小さな vesicle を含むことがある。spine の限界膜およびこれに対する外套細胞の限界膜に、分化は見られなかった。

神経細胞の突起の起始部、すなわち起始円錐(axon hillock)の限界膜の外表面には、幅約 100~150Å の密度小な層を隔てて、外套細胞の限界膜が接している。この部では、外套細胞は神経細胞の突起を内部に包み込み、無髄線維における結合膜と類似の構造を示

す(写真11)。

4) 有髄および無髄神経線維

半月神経節内においては、神経細胞を囲む外套細胞の間に、有髄および無髄神経線維が存在する(写真9, 10)。その微細構造は、神経根の末梢部におけると全く同一である。神経節内においても、しばしば有髄線維の Ranvier 氏絞輪構造が認められたが、特徴ある所見として、一側のみに髄鞘を有する軸索がみられ、いわゆる Ranvier 氏 heminode の像を示す神経線維が存在した(写真12)。これは、神経細胞の突起がはじめて髄鞘を備える部と解される。

5) 毛細血管

光顕所見ですでに指摘したように、半月神経節内には、神経根末梢部に比して、多数の毛細血管が認められた。Andres³⁶⁾が脊髄神経節で述べているように、神経節の毛細血管は、肝や内分泌器官に分布する毛細血管に見られるような有窓構造を持たない。毛細血管の内皮細胞の細胞質は、粗面小胞体や mito. に乏しいが、比較的多数の RNP 顆粒を含み、核の近傍にときどき Golgi 装置が見られた。毛細血管内腔に面する細胞限界膜は、内腔に向かって多数の小突起を延ばしている。2個の内皮細胞が接している部では、この突起は内腔に長く伸び、その間に細胞小窩を形成している。内側および外側の両限界膜には、所々に壺状の小さな陥凹が認められる。相隣る2個の内皮細胞が接している部の内腔側に近い部に、両者の限界膜に肥厚が見られ、閉鎖堤 (terminal bar) を形成している。組織腔に面する限界膜の外側には、厚さ300~400Åの基底膜が全周囲を覆っている。この基底膜と内皮細胞の間に、所によって pericyte が存在する。pericyte の細胞質は電子密度が小で、少数の粗面小胞体・RNP 顆粒・mito. を含む。pericyte と内皮細胞の間および pericyte の外側には1層の基底膜が存在する。

6) 結合組織

半月神経節には、神経根末梢部に比し、多量の結合組織が含まれている。線維細胞の細胞質には大小不同の多数の vesicles が存し、粗面小胞体や mito. の発達も良好である。線維細胞の細胞限界膜は小さな凹凸を示し、その外側には基底膜構造は全く見られない。組織腔には、多数の径約500~800Åの collagen fibrils が存し(写真9, 10, 11, 12, 16), 600~640Åの周期性横紋構造を示す。

2. 神経根末梢部

三叉神経神経根の末梢部は、外側を結合組織性の神経周膜に包まれ、内部に多数の有髄・無髄神経線維が走り、その間に結合組織性の神経内膜鞘が存し、こ

れが個々の神経線維を囲んでいる。個々の神経線維の外側を構成する Schwann 氏細胞の細胞限界膜の外側には、1層の厚さ約400Åの基底膜が存在する。

1) 有髄神経線維

神経根末梢部の有髄線維の構成は、一般の末梢神経束内におけると同様で、軸索・髄鞘および Schwann 氏細胞からなっている^{13)25)~30)35)53)54)}。神経線維の横断面で観察すると、一般に1個の Schwann 氏細胞中に1個の軸索が存し、軸索膜の外側を Schwann 氏細胞の限界膜が囲み、これに連続する髄鞘板層膜が渦巻状に軸索を取り巻き、表面の Schwann 氏細胞の限界膜に連続している。所々に Ranvier 氏絞輪が存し⁵⁵⁾⁵⁶⁾、絞輪の中央部では、軸索膜の外側に Schwann 氏細胞の小突起が粗に存し、その外側に基底膜があり、軸索はこの部で髄鞘なし髄鞘小輪による被鞘がない(写真17, 18)。また髄鞘の所々に、Schmidt-Lanterman 氏切痕構造があり、髄鞘板層膜の渦状の離解がみられる。

軸索内には、神経細線維・tub. e. r. および mito. が常在する。神経細線維の径は80~100Åで、軸索内を縦走し、時に1本の細線維が2本に分岐している像に接する。大径線維の Ranvier 氏絞輪部では、軸索がこの部で多少とも絞扼されているため、細線維の分布密度が他の部のそれより大である。tub. e. r. は密度小な内腔を1層の限界膜が囲む細管構造で、その径は200~250Åで軸索内を縦走する(写真17)。薄膜の外側には電子密度大な微細顆粒が附着していることがある。tub. e. r. は Elfvin⁴³⁾ が thick filaments, Gray⁴⁴⁾ が dendritic tubules と記載したものと同一の構造物である。glutaraldehyde 固定の材料では、OsO₄ 単独固定のものに比し、tub. e. r. はきわめて明瞭に示される。軸索内の mito. は細長く、同一切片で4~5μの長さを示すものを見ることがある。cristae mitochondriales は長軸に直角の方向に配列することが多いが、長軸に平行な配列を示すこともある。軸索内には、このほか大小種々の小胞や、Ranvier 氏絞輪の近くで多胞小胞が認められる。軸索膜は神経細胞の細胞限界膜の延長で、厚さ約80Å、外側に位置する Schwann 氏細胞内側の限界膜と相対し、この両者をあわせて軸索-Schwann 膜と呼ぶ。

髄鞘は明暗交互の規則的な板層構造を示し、髄鞘の最内側の板層膜は内結合膜 (inner connecting membrane) として Schwann 膜と、最外側の板層膜は外結合膜 (outer connecting membrane) として Schwann 氏細胞の外側限界膜と、連続している。髄鞘節は Ranvier 氏絞輪部で、その個々の髄鞘板層膜

が髄鞘小輪 (myelin loop) を形成し、全体として螺旋状に軸索を緊縛している (写真17, 18). 髄鞘単位周期は, OsO_4 固定の材料の Epon 包埋の試料では $120\sim 160\text{ \AA}$, styrene-methacrylate 包埋試料では $110\sim 135\text{ \AA}$ を示した. KMnO_4 固定 Epon 包埋の材料では, 周期は $110\sim 150\text{ \AA}$ を示した. Schmidt-Lanterman 氏切痕部の板層離開部に, desmosome 類似の構造物がまれに見出された. 類似の構造が, 末梢部の Ranvier 氏絞輪部の相接する髄鞘小輪相互間に存することもある. 絞輪部では, 髄鞘の外側をとり囲んだ Schwann 氏細胞が, 指状の突起を作り, 絞輪突起 (nodal processes) を形成し, 無髄となった絞輪部軸索の外側に位置する (写真17, 18). 絞輪突起は, 一般に厚い髄鞘を有する線維の絞輪においては数が多く, 髄鞘の薄い線維では少ない. ときに全く絞輪突起を有しない絞輪が認められる. このような場合, 絞輪部の軸索の外側には基底膜が直接位置する.

Schwann 氏細胞は髄鞘の周囲を完全にとり囲んでいる. その細胞質は, 核の存在している部を除き, きわめて薄い層をなしている. Schwann 氏細胞の核と細胞質は, 核が長楕円形を呈するほか, 外套細胞に類似の構造特徴を示す. 外套細胞に比して, Schwann 氏細胞の細胞内小器官の発達はかなり良好で, 細胞限界膜に沿って多くの pinocytotic vesicles が認められ, しばしば中心小体を認めた.

2) 無髄神経線維

神経根末梢部の無髄線維も, その構造特徴は末梢神経束のそれにほぼ等しい (13) (25) (29) (57). 軸索は Schwann 氏細胞内につつま込まれ, 軸索膜の外面には Schwann 氏細胞の限界膜である Schwann 膜があり, これが結合膜 (mesaxon⁵⁸⁾) を介して Schwann 氏細胞の外側の限界膜に連続している. Schwann 氏細胞の外面には1層の基底膜がある. 時として軸索が Schwann 氏細胞の外面に露出していることがある. 無髄線維では, 1個の Schwann 氏細胞内に多数の無髄線維軸索が含まれていることが多い.

3) 毛細血管

神経根末梢部に存在する毛細血管の構造特徴は, 神経節部の毛細血管のそれにほぼ等しい. 但しその数は神経節内部におけるよりこの部において少ない.

4) 神経内膜鞘

神経内膜鞘は, 個々の神経線維間に存する組織腔内の線維細胞と, 結合組織細線維 (collagen fibrils) とからなる. 線維細胞は, 神経節部のものと全く同一の像を示すが, collagen fibrils は, その配列がきわめて粗で, 神経線維の長軸と平行に走るものが多い.

一部に多数の collagen fibrils が集合して, 束状を呈していることがある. Gamble⁵⁹⁾ が記載した collagen pockets は見られなかった.

5) 神経周膜

神経周膜は4~16層の扁平な細胞の重積と, その間に存在する collagen fibrils からなる. この扁平な細胞は, chromatin 顆粒を多量に含んだ扁平な核を有し, 核内に著明な核小体を示す. 細胞質は扁平で薄く, 内部に少量の RNP 顆粒や mito. が散見される. 細胞内の vesicles の発達は良好で, しばしば細胞限界膜に連続している. これらの細胞の内・外両側とも, その限界膜の外表面には, $300\sim 400\text{ \AA}$ の厚さを有する密度やや大な基底膜が存在する. 2個の相隣る扁平な細胞が局部的に接近し, その限界膜の一部が肥厚している像に接したが, Thomas⁶⁰⁾ の報告に見られるような closed contact を呈する膜構造は見られなかった. 扁平な細胞の相互間には, 組織腔が存し, ここに多数の collagen fibrils が密集し, 縦横に走っている. また, 組織腔には径約 100 \AA の細線維状の構造物が, 小さな集塊として collagen fibrils と併存している. 時として, 神経周膜内に普通の構造特徴を持った線維細胞が存することがある.

3. 神経根中枢部

電顕によって得られた中枢部の微細構造は, 視神経 (61) (64) や脳脊髄内の白質部 (13) (35) (65) の微細構造とはほぼ類似している. 神経根中枢部内には, 大小区々の有髄・無髄神経線維が存し, これらの間に, 神経膠細胞の胞体またはその突起および毛細血管が介在している. 2個の相隣る有髄線維の髄鞘がしばしば密接し, 2つの髄鞘間にはわずかに $80\sim 100\text{ \AA}$ の密度小な明るい層が存在するのみで, 他の構造物が全く介在しない場合もある. 有髄・無髄神経線維や神経膠細胞の胞体とその突起間には, 幅 $100\sim 200\text{ \AA}$ の密度小な層が存在するのみで, 神経根末梢部で認められたような, 結合組織成分からなる神経内膜鞘に相当する構造や広い組織腔は全く存在しない. 毛細血管の周囲にも組織腔は見られなかった. 神経膠細胞は星状膠細胞 (以下「astro.」と略記), 稀突起膠細胞 (以下「oligo.」と略記) からなり, 小膠細胞 (以下「micro.」と略記) は見出し得なかった.

1) 有髄神経線維

中枢部の有髄神経線維は, 軸索とこれを渦巻状にとり囲むことによって形成された髄鞘とからなる. 髄鞘板層膜は, 軸索をとり巻く渦巻構造を示した後, その最外側端で, oligo. の突起 (outer myelin loop⁶⁴⁾ (66)) の細胞限界膜に連続している. 神経根の中枢部に

存在する有髄線維の径は、おおよそ $1\sim 5\ \mu$ の間にあるものが多い。軸索や髄鞘の内部微細構成は原則として、末梢部の有髄線維のそれと略々同一である。しかし詳細には多くの異なる点がある。中枢部有髄線維にも Ranvier 氏絞輪構造は存在するが、線維と線維が密接するため、電顕による場合でも、末梢部のときに比べて、絞輪構造は観察しにくい(写真19)。Epon 包埋の場合、髄鞘の単位周期は、中枢部の有髄線維では $80\sim 130\ \text{\AA}$ を示し、末梢部のそれが $120\sim 160\ \text{\AA}$ を示したのに比し、明らかに中枢部の髄鞘の単位周期が小であることを示している。軸索を直接囲む oligo. の細胞質が髄鞘板層膜につながる部 (inner myelin loop⁶⁴⁾⁶⁶⁾ には、少量の oligo. の細胞質が存在している。astro. の細胞質や突起は電子密度が小で、毛細血管壁や神経線維のまわりに密接し、その間には、幅 $100\sim 150\ \text{\AA}$ の細隙が観察されるのみである。本陣⁶⁵⁾、Peters⁶⁷⁾⁶⁸⁾、Honjin ら⁶⁶⁾⁶⁹⁾ が報告した electron dense radial components (髄鞘の周期間線の一部が点状に肥厚し、髄鞘の内側から外側に向って、放射状に並んだ構造) は、著者の材料では観察されなかった。中枢部の Ranvier 氏絞輪部の微細構造は、末梢部の小径有髄線維の Ranvier 氏絞輪⁵⁴⁾⁵⁶⁾ のそれに似ているが、髄鞘小輪中の細胞質内には、毎常 microtubules が認められ、髄鞘小輪が互に接している部の軸索膜は、電子密度がやや大となっている。絞輪突起の形成は中枢部 Ranvier 氏絞輪には見られない。髄鞘を欠く絞輪部の軸索膜の外側には、astro. の突起と思われる密度小な突起が接して位置している。Metuzals⁷⁰⁾ はカエルの間脳の有髄線維において、Ranvier 氏絞輪部の髄鞘小輪内に、desmosome 類似の構造物が存在することを示しているが、著者の材料では見出し得なかった。Schmidt-Lanterman 氏切痕に関しては、脊髄で Bunge ら⁷¹⁾ が存在を指摘しているが、視神経で Maturana⁶¹⁾、小坂⁶⁴⁾ らが存在を否定している。著者の材料でも、この構造は見出し得なかった。

2) 無髄神経線維

神経根中枢部に存する無髄線維は、多数の線維群として集合した所見を呈する。40個以上の軸索が、1つの無髄線維群となっていることが珍しくない。無髄線維軸索の径は、おおよそ $0.2\sim 0.5\ \mu$ の間を示し、その内部微細構造は末梢部のものに等しい。しかし、中枢においては、個々の無髄線維の軸索膜は、 $100\sim 200\ \text{\AA}$ の密度小な細隙を隔てて互に相接して存し、比較的大きな astro. の突起がこのような無髄線維群の外側をとり囲んでいる。この時、軸索の軸索膜と astro.

の突起の限界膜との間には、 $100\sim 200\ \text{\AA}$ の密度小な層を見るにすぎない。また、無髄線維の軸索が有髄線維の髄鞘に密接していることがあり、oligo. の突起の限界膜に密接している像が観察された。

3) 神経膠細胞

光顕像に見られる3種の膠細胞と、電顕に見られる細胞種の同定に関して、Farquhar ら⁷²⁾、Schultz ら⁷³⁾、本陣⁷⁴⁾、魚津⁷⁵⁾、本陣³⁵⁾⁷⁶⁾、藤田⁷⁷⁾、Honjin⁷⁸⁾らと、Luse^{79)~81)}、Dempsy ら⁸²⁾との間に異論がある。前者が astro. と称するものを後者は oligo. とし、前者が oligo. と称するものを後者は astro. と考え、両者の間には全く逆の見解が示されている(本陣の綜説⁸³⁾参照)。今回の著者の所見よりすると、光顕において astro. が eosin によく染り、その突起が脈管周囲膠小足(perivascular end-feet)の主なる構成成分であり、oligo. が従来髄鞘の構成に関与するとされている点から、前者の同定所見が正しいように思われる。毛細血管の周囲には、astro. の突起が脈管周囲膠小足を作っているのが認められた。しかし、著者の正常ハツカネズミ三叉神経根中枢部では、micro. と同定し得る膠細胞は観察し得なかった。

astro. の核は通常楕円形を呈し、核質内には少量の chromatin 顆粒が分散し、比較的密度小で明るい。chromatin 顆粒は粗大凝塊を作り、しばしば核膜内面に集合附着して、不均等に分布している。核膜は二重構成を示し、所々に核膜孔が存在する。細胞質は核の近傍で多いが、内部の細胞内小器官に乏しく、少量の RNP 顆粒や mito. を見るにすぎない。Golgi 装置の発達も悪く、細胞質特にその突起の内部は、全体として電子密度がきわめて小である。astro. の胞体・突起の内部には、径 $80\sim 100\ \text{\AA}$ の細線維が存在する。かかる細線維は astro. にのみ観察され、oligo. の胞体・突起の内部には認めることはできなかった。astro. の突起は、有髄・無髄線維、oligo. の胞体・突起などの間隙を埋めている。2個の astro. の突起が接している部の限界膜の一部が対称的に電子密度が大となり、この部では局所的に $100\sim 200\ \text{\AA}$ の細隙が消失し、Peters⁶⁷⁾、Brightman ら⁸⁴⁾、Gray⁸⁵⁾などが報告している quintuple-layered unit, zonula occludens または closed contact に一致する膜の構成が見出された。

oligo. の核は円形または楕円形を呈し、核内には、径 $100\sim 200\ \text{\AA}$ の chromatin 顆粒が集塊をなして存在している。chromatin 顆粒の分布密度は、astro. の核より大で、全体として oligo. の核は astro. のそれより電子密度が大である。核膜は二重膜構造を呈

し、一般に平滑である。核膜の一部に核膜孔が存在する。外側核膜の細胞質に面する部には部分的に RNP 顆粒の附着がみられる。oligo. の細胞質には、細胞内小器官が比較的密に分布し、ために astro. の細胞質に比し、oligo. の細胞質は電子密度が大である。粗面小胞体は、核の周囲で認められるが、数は少ない。時に小胞体の膜が 3~4 枚層状に重なり合って lamella を形成することがある。Golgi 装置は核近傍の一定部位に存する。そのほか、mito. や径 0.5~0.7 μ の dense body が認められ、また密度大な薄膜で限界された径 200~250 Å の細管状の構造物が認められた。oligo. の突起の限界膜が、髄鞘の板層に連続していることは、すでに述べた通りである。時として oligo. の突起内に、菱形の lamellar body の存在を認めた。

4) 毛細血管

中枢部の毛細血管の内皮細胞と pericyte の微細構造は、末梢部のそれと同一の特徴を示す。しかし末梢部毛細血管と中枢部毛細血管とでは、これをとり巻く微構造に著しい差が存し、中枢部の毛細血管の外側には、組織腔に相当する腔は見られず、主として astro. の突起からなる脈管周囲膠小足が血管壁の全周をとり囲んでいる。著者のこの所見は、中枢神経系内の毛細血管に関する従来の報告⁷⁵⁾⁷⁶⁾⁷⁸⁾⁸⁶⁾にはほぼ一致する。

神経根の中枢部の外周部、すなわち脳膜に接する部には、この部の最外側にある神経線維のさらに外面を電子密度小な astro. の突起からなる層が覆い、さらにこの層の外側に扁平な細胞が存在しているのが見られた。これらの構造物は、それぞれ subpial glial layer および pial cell である。

4. 中枢・末梢移行部

橋脳表面からの神経根の起始部より末梢側 0.5~0.6 mm の部で、光顕的に各種染色により、末梢側に凸隆した明層として示された中枢・末梢移行部を電顕で観察すると、光顕で明層を呈した局所に一致して、有髄神経線維の Ranvier 氏絞輪構造が恒常に存することが判明した。絞輪部では髄鞘を欠くので、光顕所見特に髄鞘染色標本では明層として現われたのである(写真 3~7)。また軸索を染める写真銀法では、絞輪部の裸軸索が他の部より濃染するので、移行部が濃染帯として示される(写真 8)、しかしこの移行部は、根の断面において一線を画して Ranvier 氏絞輪構造が整然と列んで、一斉に末梢から中枢に移行するわけではない。個々の線維について見ると、移行する Ranvier 氏絞輪構造の位置は、中枢側に偏するもの、末梢側に偏するもの区々で、全体として入り組み合った複雑な微細構造を示している。すなわち移行部の位置

を個々の神経線維について見ると、複雑な凹凸として示される。

有髄線維の移行部の Ranvier 氏絞輪部を見ると、その髄鞘を欠く部の軸索膜は、その中枢側外面を神経膠細胞の突起により、末梢側の外面を Schwann 氏細胞の絞輪突起によって覆われている。移行部の Ranvier 氏絞輪を挟む中枢と末梢の髄鞘には、特異な差異が認められる。すなわち Ranvier 氏絞輪の中枢側には、oligo. の突起の限界膜によって形成された髄鞘節の絞輪端の髄鞘小輪が列んで軸索膜の表面に接し、末梢側には、Schwann 氏細胞の限界膜によって形成される髄鞘節の絞輪端の髄鞘小輪が列んで軸索膜の表面に接し、裸軸索の部を境として、末梢側と中枢側では、軸索の被鞘装置が一変している(写真 20, 21, 25)。中枢側では神経線維間に astro. の突起が存し、これが末梢方向に及んで、裸軸索の近傍に達し、glial limiting membrane を形成し(写真 21, 22)、その最末梢側端には、その表面に厚さ約 400 Å の基底膜が存し、基底膜より末梢側には組織腔が存在する。末梢側では神経線維間に広い組織腔があり、神経線維の表面構成成分である Schwann 氏細胞の外面には、組織腔に面して厚さ約 400 Å の基底膜があり、この基底膜は、glial limiting membrane の末梢側表面の基底膜と、個々の有髄線維移行部の絞輪部の外面で移行している(写真 20, 21, 22, 24)。末梢側の組織腔内には、約 640 Å の周期性横紋をもった collagen fibrils および線維細胞が存在する(写真 21, 22)。移行部に近い末梢部は、比較的結合組織に富んでいる。

有髄神経線維の縦断切片で、なお仔細に移行部を観察すると、移行部の軸索は末梢側および中枢側の髄鞘の絞輪端部で多少絞扼され、僅かに細くなっている。髄鞘を欠く絞輪の中央部で軸索はやや太くなり、外側に膨隆している(写真 20)。この部の軸索内には、神経細線維、tub. e. r., mito. のほかに、しばしば小 vesicles や多胞小体⁵⁵⁾⁵⁶⁾を含んでいる。同一線維の電顕像で末梢側と中枢側とを比較すると、軸索の径には、末梢側と中枢側とで差異は認められなかった。光顕所見に基づき、Tarlov⁸⁾は、末梢から中枢へ移行すると、軸索の径が減少するとしているが、著者の電顕所見では、以上のように移行部を挟む中枢側と末梢側とで軸索の径には有意の差は見られなかった(写真 20, 21, 23)。時として、移行部における髄鞘を欠く裸軸索部が異常に長い線維があり、しばしば 4 μ に達することがある。

移行部の末梢側と中枢側とにおける微細構造を比較すると、移行部より末梢側にある髄鞘絞輪端は、末梢

部で記載した **Ranvier** 氏絞輪のその微細構造と一致している。薄切片で見ると、絞輪端部では単位髄鞘板層膜から形成される多数の髄鞘小輪が軸索膜上に密接して存し、全体として軸索を螺旋状に緊縛している(写真20, 21, 22, 23)。最外側の髄鞘板層膜の外面には、**Schwann** 氏細胞の細胞質と限界膜があり、絞輪部に絞輪突起を形成し、絞輪部の軸索の外表面を粗にとり囲んでいる。髄鞘小輪の内部の細胞質には、少量の **microtubules** や **dense body** が認められる。時に、電子密度大な **desmosome** 類似の構造物が髄鞘小輪に認められる(写真23)。移行部 **Ranvier** 氏絞輪部の裸軸索に面している **Schwann** 氏細胞の絞輪突起は、裸軸索の長さの $1/3 \sim 1/4$ の範囲にわたってこれを粗に覆っている(写真20, 21, 23)。時として、絞輪突起が非常に不著明なこともある。また、**Schwann** 氏細胞の細胞質が多量で、大きな絞輪突起が存し、これが長く伸びて、隣接している中枢部の **astro.** の突起と相接していることもある。**Schwann** 氏細胞と **astro.** の突起の限界膜が密接せず、軸索の一部が外面に露出している時には、**Schwann** 氏細胞の外面を覆った基底膜の延長が、裸軸索の外面に接して位置したのち、**astro.** の突起の表面の基底膜に移行している(写真20, 23)。しかし軸索膜が裸の部分はきわめて短かく、頻りに観察される所見ではない。

移行部の直ぐ中枢側の髄鞘の絞輪端は、中枢神経系内の **Ranvier** 氏絞輪のその微細構造に一致している。すなわち絞輪端部の髄鞘小輪は、髄鞘の単位板層膜からの連続で、次々と軸索膜に密接して髄鞘小輪を形成する(写真20, 21, 25)。髄鞘小輪の限界膜と軸索膜との間には間隙は認められない。髄鞘小輪内には、この中を螺旋状に走る薄膜の細管構造と少数の微細顆粒が存在している。移行部中枢側の髄鞘をとり囲んで、多数の **astro.** の突起があるが、これらの突起の一部は、しばしば同時に無髄線維をとり囲んでいる。絞輪部の裸軸索の表面に密接している **astro.** の突起の限界膜と軸索膜との間には、幅約 200 \AA の細隙が見られるにすぎず、他の構造物は全く介在しない。移行部 **Ranvier** 氏絞輪部の裸軸索の外表面の $2/3 \sim 3/4$ の範囲は **astro.** の突起でとり囲まれ、この突起のうち、最も末梢側に位置する **astro.** の突起の末梢側面には基底膜があり、末梢側の組織腔に直接面し、この基底膜は、移行部末梢側の **Schwann** 氏細胞の外表面に存する基底膜に連続している(写真21, 22, 25)。

同一の有髄線維の縦断切片で、移行部絞輪の末梢側と中枢側で髄鞘を比較すると、中枢側の髄鞘は、末梢側の髄鞘に比し、髄鞘板層膜の数が少なく、全体と

て薄い。中枢側の髄鞘板層膜の数は末梢側のそれに比し、約 $1/2 \sim 1/3$ の板層膜の数の減少を示している。このような中枢側における髄鞘板層膜の数の減少は、板層膜の厚い、すなわち板層膜の数の多い有髄線維において著しい。また、同一線維でも中枢側の髄鞘の板層周期は末梢側の板層周期より小で、中枢側のものでは末梢側のものよりおよそ 30 \AA 小である。

無髄線維は **Ranvier** 氏絞輪構造を有しないため、無髄線維の中核・末梢移行部は、電顕下で観察することは容易でない。しかし、有髄線維の場合に見られた **Schwann** 氏細胞と **astro.** の構造特徴から無髄線維の軸索の周囲の細胞突起を判定して観察すると、無髄線維の軸索外面あるいは近傍で、これら2種の細胞が相接している像が観察された。この部が無髄線維の中核・末梢移行部と判断されるが、この部では **astro.** の突起に隣接して、これより電子密度がやや大な細胞質を有する **Schwann** 氏細胞の突起が相接し、**astro.** の突起の末梢側には基底膜があり、これが **Schwann** 氏細胞の突起の表面の基底膜に連続している。すなわち **astro.** の突起は、無髄線維の周囲においても移行部で **glial limiting membrane** を形成し、移行部末梢側の線維間に存する組織腔に直接面している。稀ではあるが、**astro.** の突起にまじって、**astro.** の胞体および **oligo.** の小突起が組織腔に面している所見に接した。移行部中枢側の **glial limiting membrane** を形成している **astro.** の突起間には、局所的な限界膜の肥厚が見られ、通常 **astro.** の突起間に見られる $100 \sim 200 \text{ \AA}$ の突起間隙は、この部では消失し、肥厚した2枚の単位膜が接着した構造を示している。肥厚は単位膜の内葉に認められる(写真22, 24, 25, 26, 27)。かかる特殊な膜構造を呈する部分は、普通の限界膜に比べて平滑で、直線状を呈している。

全体として移行部に存する **glial limiting membrane** は、個々の神経線維の中核・末梢移行部の出入に応じてかなりの凹凸を示している(写真25)。時に、**glial limiting membrane** の **astro.** の突起から生じた指状の細長い突出物が末梢側の組織腔内に長く進入している像に接した(写真22)。いずれにしても **glial limiting membrane** の末梢側面には基底膜があり、これが神経線維の末梢部の外面を覆っている **Schwann** 氏細胞の組織腔に面する部にある基底膜に連続移行している。

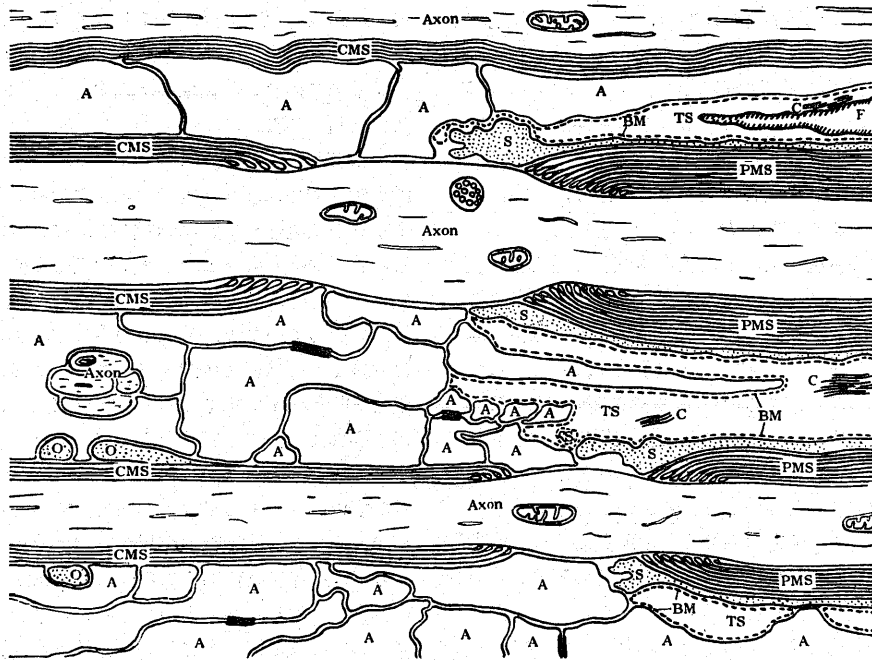
甚だ稀な所見ではあるが、移行部において、**Schwann** 氏細胞の限界膜の表面に、長さ約 $0.1 \sim 0.3 \mu$ にわたって、**astro.** の突起が密接し、この部ではその間に基底膜は認められなかった(写真24, 27)。

ハツカネズミ三叉神経根の末梢部の結合組織成分は、末梢神経の神経内膜鞘のそれと比較して、きわめて量が少ないことが特徴的であった。しかし移行部に近い末梢部においては結合組織成分はかなりの存し、線維細胞 および collagen fibrils が多数に存在している。collagen fibrils は、しばしば多数が集合し、束状を呈することがある (写真21)、末梢側の組織腔内に存する毛細血管の周囲ではこの傾向が強い。これに反し、中枢側の毛細血管の周囲は、基底膜を介して脈管周囲膠小足が密接して存し、結合組織成分は全く認められない。線維細胞は多量の chromatin 顆粒を含む核を有し、核膜は二重構造を呈し、細胞質内には、RNP 顆粒や mito. などの細胞内小器官を多量に含み、大小不同の胞状構造や lysosome を有することを特徴とする。その外面には基底膜は存在しない。

移行部で凹凸の激しい glial limiting membrane の襞が互に接近している時、これらの間に扁平な線維細胞の細胞突起が介在している所見に時として接した (写真25, 26)。このような際に、線維細胞の突起の限界膜は、glial limiting membrane・毛細血管・Schwann 氏細胞の外面などに存する各々の基底膜と僅か 100~200 Å の細隙を隔てて接し、その間には他の構造物は見られず、線維細胞と glial limiting membrane・毛細血管壁・Schwann 氏細胞とがあたかも 1 層の基底膜を共有している状を示した (写真25, 26)。しかし多くの場合、線維細胞の限界膜の外面には基底膜がなく、組織腔が存在し、そこには collagen fibrils が存在する。

以上の電顕所見に基づき、有髄神経線維の中枢・末梢移行部の縦断の模型図を図1に示す。

図1. 神経根の神経線維の中枢・末梢移行部の縦断模型図



2本の有髄神経線維の中枢・末梢移行部 Ranvier 氏絞輪の縦断を示す。最上部に半分見える有髄線維は中枢部の線維である。同一線維で軸索 (Axon) の径には、中枢側と末梢側との間に大差はないが、髄鞘板層膜の数が中枢側髄鞘 (CMS) に比し、末梢側髄鞘 (PMS) で多く、髄鞘は全体として末梢側のものが厚いことを示す。またこの部の裸軸索は、星状膠細胞の突起 (A) および Schwann 氏細胞の突起 (S) でとり囲まれている。2本の線維で挟まれた中央の glial limiting membrane は、その末梢側表面が凹凸不整を示す。Schwann 氏細胞 (S) および glial limiting membrane が組織腔 (TS) に面する表面には、1層の基底膜 (BM, 破線で示す) が存し、互に連続している。組織腔 (TS) には、collagen fibrils (C)、線維細胞 (F) が存する。中枢部の髄鞘 (CMS) の外面には、ところにより稀突起膠細胞の突起 (O) が存するほか、大部分を星状膠細胞の突起 (A) によって囲まれている。図の中の Axon は、有髄・無髄神経線維の軸索を示す。

考 察

脊髄神経節やその他の知覚性神経節の光顕所見に基づいて、多くの先人は神経細胞を、その神経節内の分布状態によって、最外側に位置する多数の細胞群からなる *Mantelzone* と、神経線維束の内部に分散して存する *Innenzellen* との2群に区分した (Scharf⁸⁷⁾ 参照)。著者の今回の光顕検索によって、ハツカネズミ半月神経節においても、上記の細胞分布が是認された。しかし、神経細胞には2群間に形態的特徴差は見られなかった。今回著者は、根の末梢部で中枢・末梢移行部の近くに、神経細胞を見出し得た。この種細胞は、Tarlov⁸⁾ がヒトの脊髄神経後根と第Ⅷ脳神経根の中枢・末梢移行部に近い部位の神経線維間に見た神経細胞と、同種のものであろう。彼はこの種細胞を変性に陥った細胞と考えたが、著者の今回の検索では、変性所見をこの種細胞に見出し得なかった。

神経細胞の微細構造に関しては、今日までに夥しい数の光学顕微鏡的研究報告があり、電子顕微鏡的にも、多数の研究者によって、その基本的構造の解明がなされ、神経系各部の神経細胞の特性について研究が進められているのが現状である (本陣¹³⁾ 参照)。しかし半月神経節の電顕検索による報告は意外に少なく (50)^{88)~91)}、しかも病的変化所見の追及に急で、正常微細構造知見を報ずるものは少ない。

さて、従来神経細胞の染色性を調べた光顕所見において、塩基性アニリン染料に濃染する神経細胞と淡染する神経細胞とが区分され、この2種類の細胞型をめぐって、これが固定や包埋などの手技によって生じた人工産物であるか、あるいは異なった別種の細胞であるか、さらには同一の細胞の種々の機能相を示すものであるか、これらをめぐって論争があった。この論争は電顕研究に *dark cell* と *light cell* として持ち越されたが³⁶⁾³⁸⁾³⁹⁾⁸⁸⁾、著者の今回の所見によって、半月神経節にも細胞質内微構造の電子密度の差による2種類の神経細胞型が存在することが明らかとなった。同一切片で、暗・明2種の細胞が隣り合って存し、また同一細胞でも細胞内の部分によって暗・明2様を示し、移行状態が認められるので、これら2型の神経細胞が、人工産物ないし機能的に全く異種のものとは考え難く、細胞の機能状態の差の一断面を示すものといえよう。両型細胞区分が細胞質内の小胞体とRNP顆粒の量によって決定されるものであり、RNP顆粒が蛋白合成の場と考えられるのであるから、2型の差が個々の神経細胞の物質代謝の状態の差を示すものと考えて大過はなからう。

神経細胞内の微構造特に各種の小器官の微細構造に関して、ほぼ従来の知見を肯定する知見を得たが、半月神経節の神経細胞の特徴としては、*coated vesicles*³²⁾ が頻繁に観察されることが挙げられる。*coated vesicles* は、その細胞内分布がGolgi装置に接近していることから、Golgi装置との密接な機能関係の存在を暗示している。また、成熟ハツカネズミの半月神経節神経細胞には、毎常 *lipofuscin* 顆粒の出現を認めたと、*lipofuscin* 顆粒の成因に関して現在学界に激しい論争がある^{41)45)~49)}。しかし現在の著者の所見のみをもってしては、その源がGolgi装置か、*mito.* か、*lysosome* か、決し得ない。今回の著者の検索によって、神経細胞のNissl氏小体を構成している粗面小胞体の内腔に、密度大な小顆粒が出現することが始めて明らかとなった。この種の顆粒を含む小胞体はいずれもその内腔が拡大し、小胞体の一端に位置している。推測が許されるならば、この小顆粒は、粗面小胞体部のRNP顆粒において合成された神経蛋白の *cistern* 内に移送されたものと考えられる。脳脊髄神経節の神経細胞において、Nissl氏小体部の粗面小胞体内腔にこのような顆粒が出現することは今日まで報告に接していない。

外套細胞の電顕検索については、すでに報告がある²⁹⁾³⁸⁾⁵¹⁾⁵²⁾⁹²⁾⁹³⁾。今回の著者の知見はほぼこれに一致するが、新知見として外套細胞内に中心小体を見出した。著者の今回の検索結果およびGrillo^ら⁹⁴⁾の報告によって、Schwann氏細胞内に中心小体が存することが判明していたが、外套細胞内の中心小体の微構造は今日までその存在が確認されていなかった。外套細胞とSchwann氏細胞は同種の細胞であり、外套細胞に中心小体が存するのは当然であろう。

今回の著者の検索に見られたRanvier氏 *heminode* は、すでにラットの半月神経節で見られたもの⁸⁹⁾と同種のもので、神経細胞の突起が細胞体を離れて初めて具える髄鞘の細胞側端である。*heminode* より細胞側の軸索、すなわち髄鞘を有しない軸索は、その全周に多数の細胞性の被鞘を有し、細胞性被鞘は、その内部構造が外套細胞の細胞質に似ていることから、恐らく神経細胞胞体を取り囲んでいる外套細胞胞体の延長したものと推測される。

脳脊髄神経根の構造に関しては、すでに多くの光顕検索の結果が報せられ、その一部のものは、根を通過する神経線維の中枢・末梢移行部に注目しているが、前世紀後半に、梅毒罹患時に後根において抵抗減弱部として記載された *Redlich-Obersteinersche Stelle* (Scharf⁸⁷⁾、参照) が今日でいう中枢・末梢移行部に

相当すると考えられる。その後、各種の脳神経神経根や脊髄後根について神経膠細胞を含む中枢部が根の中を末梢側に延長していることが報せられた⁵⁾⁶⁾。成熟ハツカネズミの三叉神経根は、根の起始部より約 0.5~0.6 mm 離れた部位に、中枢・末梢移行部が存し、移行部は末梢側に凸隆を示す明層として現れるが、この所見は、Skinner⁶⁾、Tarlov⁸⁾、Hosokawa⁹⁾らが dome と記載した知見に一致する。

上記の明層として示される移行部は、明確な平坦な限界面としては存せず、個々の有髄線維によってかなり移行部の位置にずれがある。hematoxylin-eosin 染色標本においても、髄鞘染色標本においても、一般に末梢部は中枢部より強く染り、移行部は染色性が最も弱く、明層として現れるが、しかしこの明層中を、所々で末梢の構造を持つと思われる線維がそのまま通過して中枢内にしばらくの距離入っている。しかし光顕検索のみによる場合、この部の微細構造は明確になし難い。光顕所見に基づき、有髄線維の末梢部が移行部に達する部の外側に、Hosokawa⁹⁾は argyrophilic spiral fibers, Tarlov⁸⁾は, argyrophilic tubules, Levi⁴⁾は a double lamina cribrosa などの諸構造物が神経線維の周囲に存在すると考えた。彼らの所論は、鍍銀法光顕検索所見に基づいているが、良く知られているように、鍍銀法は還元銀が生体物質構造へ沈着したものを光顕によって見るもので、染色の特異性に乏しく、しばしば空想的所産を生み易い。著者は電顕による検索を試み、すでに述べたような所見を得、上記諸家の報ずる構造が憶測による仮空のものであることを明らかにした。

有髄神経線維の電顕所見に関しては、末梢神経系²⁵⁾~³⁰⁾(54)56)57)、中枢神経系³⁵⁾61)~⁶⁶⁾68)~⁷⁰⁾、いずれについても詳細な多数の報告がある。しかしながら神経線維の中枢・末梢移行部の微細構造特徴については、今日までほとんど研究されていなかった。今日の検索結果を、まず有髄線維の径について見ると、末梢部、中枢部両部に存在する有髄線維の径は、ほぼ 1~10 μ (末梢部では、2~10 μ 、中枢部では 1~5 μ) の範囲を示し、末梢部においても 10 μ を超える大径線維は今回の検索ではほとんど観察されなかった。すでに著者らがハツカネズミ末梢神経束で検した有髄線維においては、10 μ を超える有髄線維が多数存したことを考慮すると、根においては一般に径が小さいと推測される。また、同一神経根でも中枢部の有髄線維は末梢部に比し、径の小さい線維が多いが、このことは、後で触れるように、髄鞘の板層膜の数が末梢部に比し、中枢部で少なく、また板層膜の周期すなわち厚さが中枢部で

末梢部より小であることに起因するもので、軸索は移行部の局所で多少のくびれはあるが、中枢部と末梢部では認むべき差がない。

有髄線維の髄鞘板層構造の単位周期の値は、ハツカネズミ末梢神経の電顕像の計測から、本陣¹³⁾が 90~130 Å の値を得ているが、X線回折による検索結果では、新鮮材料で 182 Å の周期値が得られている⁹⁵⁾~⁹⁹⁾。電顕像と X線回折実験の結果から得られる各々の周期値の差は、電顕材料の作製に際して、固定・脱水・包埋等の手技が加えられることによって生ずることが判明している。今回の著者の神経根の末梢部の有髄線維の髄鞘の電顕所見で得た周期値は、120~160 Å (平均 140 Å) で、本陣ら⁹⁵⁾98)、平松⁹⁹⁾らが合成樹脂包埋の末梢神経材料の X線回折実験で得た周期値 (143 Å) と近似の値を示している。Harkin¹⁰⁰⁾は、ラットの末梢神経有髄線維の Ranvier 氏絞輪部の髄鞘小輪内に、desmosome 類似の構造物を記載した際、同一の構造物が Schmidt-Lanterman 氏切痕にも存在するであろうと推定しているが、著者は今回の検索で甚だ稀ではあるが、比較的厚い髄鞘の Schmidt-Lanterman 氏切痕部に、Harkin¹⁰⁰⁾が Ranvier 氏絞輪で見たと同様の desmosome 類似の構造を観察した。これは、Harkin¹⁰⁰⁾の推定に実証を与えるものである。

有髄線維に存在する Ranvier 氏絞輪構造は、神経線維のいわゆる跳躍伝導 (saltatory conduction¹⁰¹⁾~¹⁰³⁾) の機序の場を与えるもので、神経生理学上重要な意義を有している。Ranvier 氏絞輪の微細構造はこの点を考慮しつつ、今日まで多数の電顕検索の結果が報告されて来た²⁶⁾27)55)~⁵⁷⁾104)。末梢部における Ranvier 氏絞輪の構造に関する今回の著者の検索結果は、ほぼこれらの知見と一致する。但し著者の所見においては、一部の研究者⁴⁾104)が考えているような軸索と髄鞘小輪間の gap は見当らず、両者は密接していた。Ranvier 氏絞輪部の髄鞘小輪に存在する desmosome 類似の構造物は、すでに末梢神経系³³⁾100)および中枢神経系⁷⁰⁾で見出されているが、Harkin¹⁰⁰⁾は、この構造物が髄鞘小輪を互に緊縛させているものと考えたが、このことは著者が見出した Schmidt-Lanterman 氏切痕部の類似の構造物についても、同様の機能的意義が考えられる。

無髄神経線維の知見も従来の知見¹³⁾25)~²⁹⁾35)57)105)とほぼ同一の知見を得たが、神経根の末梢部では無髄線維の軸索は、しばしば数本が互に相接して存し、共通の Schwann 膜で覆われていることが判明した。Kerr¹⁰⁶⁾は、病的状態 (三叉神経痛) において三叉神経根の無髄線維軸索が漸次 Schwann 氏鞘を失

い、軸索が基底膜を介して露出すると述べ、本陣²⁷⁾は正常な末梢神経束においても、軸索が Schwann 氏鞘によって完全にとり囲まれず、一部が基底膜のみに覆われて組織腔に露呈した所見を報告している。今回の著者の検索によって、軸索が組織腔に部分的に露出した無髄線維が、正常の神経根にも存在することが確認された。

今回の所見で、Schwann 氏細胞の核の近傍にしばしば中心小体の存在を見たが、この知見は、Grillo⁹⁴⁾の知見を確認するものである。しかし、中心小体と関係ある繊毛構造は Schwann 氏細胞には見出し得なかった。

すでに報せられているように²⁷⁾107)~109), 末梢神経の神経内膜鞘は、神経線維の長軸と平行に走る collagen fibrils⁷⁾と線維細胞から構成されている。Gamble^ら110) はヒトの末梢神経および神経根の神経内膜鞘を検し、神経根には collagen fibrils がごく少量しか存在しないとしている。Gamble⁵⁹⁾ は、ラットの末梢神経と神経根の神経内膜鞘を同時に比較検討し、²⁾末梢神経の神経内膜鞘には肥満細胞が出現し、collagen fibrils も比較的少量に存し、時にこの collagen fibrils は Schwann 氏細胞内に陥入し、collagen pockets を形成するが、これに反し、神経根では肥満細胞は全く観察されず、また collagen fibrils もごく少量しか存在せず、collagen pockets の形成もほとんど見られないと述べている。以上の知見と著者の今回の検索結果とは一致している。光顕検索で Tarlov⁸⁾ が、神経根末梢部に遊走細胞が見られると述べているが、Gamble⁵⁹⁾ および著者の今回の電顕検索の結果から、神経根での遊走細胞の出現は¹⁾きわめて疑わしい。神経根神経内膜鞘に繊毛を有する線維細胞が稀に観察されたが、この所見は Sorokin¹¹¹⁾の報告を確認するものである。

神経根の中枢部の微細構造の電顕検索は、簡単な予報¹¹²⁾のほか詳細な報告を見ない。神経根中枢部の微細構造は、原則的に視神経や中枢神経系の白質のそれとほぼ類似した所見を呈していることが、今回の検索で初めて明らかになった。中枢部では、有髄・無髄神経線維の間には、astro. および oligo. の胞体・突起が相互に密接して存在し、末梢部で見られた神経内膜鞘および組織腔に相当する構造は認められない。

中枢神経系では、有髄線維の髓鞘板層膜は oligo. の細胞膜に連続する³⁵⁾64)~66)76)83)。本陣^ら96)97)は、ハツカネズミの脊髄白質の新鮮材料の X 線回折実験で、髓鞘の周期値が 160~161 Å を示し、末梢髓鞘の周期値より 21~22 Å 少ないことを明らかにしている。著

者の電顕による検索では、中枢部の髓鞘の周期値は 80~130 Å を示した。このことは、中枢部の髓鞘板層膜の単位周期は、末梢部のそれより明らかに小さいことを示している。

中枢部の Ranvier 氏絞輪の微細構造は、これまでの多数の研究報告⁶⁴⁾113)~115) と原則的には一致している。しかし、髓鞘小輪の限界膜が密接する Ranvier 氏絞輪部の軸索膜の特殊な肥厚構造物や、軸索膜と髓鞘小輪間の gap¹¹³⁾115) などの構造物は、今回の検索では全く見られなかった。

光顕検索で Skinner⁶⁾ は、神経根の中枢部には astro. と oligo. は存在するが、micro. は観察されないことを指摘したが、一方、Tarlov⁸⁾ は micro. も、astro. および oligo. とともに神経根に存在すると報じている。Peters⁶³⁾ はカエルおよびラットの視神経の電顕像で、2種類の膠細胞が存在することを示し、小坂⁶⁴⁾もカエル視神経の電顕像で、astro. と oligo. の存在を確認し、micro. は観察されないと述べている。著者の検索によって、ハツカネズミ三叉神経根中枢部には、膠細胞要素として astro. と oligo. の2種の膠細胞が存在することが明らかになったが、micro. と同定も得る膠細胞は認めることはできなかった。

Peters⁶⁷⁾ が視神経の電顕像で示した astro. の突起間の quintuple-layered unit とほぼ同一形態を示す微細構造が、今回の著者の検索において、神経根の中枢部内に認められた。この構造は細胞膜間のいわゆる tight junction であり、Peters⁶⁷⁾によると、相隣る astro. の突起の限界膜の細胞間細隙が局部的に消失し、向い合っている2枚の限界膜には、この細隙が消失している部位で、対称的に膜の肥厚が見られ、電子密度が大きくなっているという。Gray⁸⁵⁾ は、中枢神経系の毛細血管をとり囲んでいる astro. の突起間や脳軟膜下の astro. の突起間に、同様の構造物を認め、これを closed contact と呼び、これが細胞外通路を遮断していると考えた。Brightman^ら84) は、脳室上衣細胞間に類似の構造が存することを見て、これを zonula occludens と呼んだ。Maturana⁶¹⁾ と小坂⁶⁴⁾ が、カエル視神経で記載した astro. の胞体あるいは突起間に見られる desmosome 構造は、ハツカネズミの神経根中枢部内には認められなかった。

今回の著者の知見によると、oligo. の胞体および突起の細胞質内には、Schwann 氏細胞で見られた同一の microtubules が多数存在した。この microtubules は astro. にはほとんど見られない構造物である。oligo. に存在するこの microtubules は、Ta-

kano³⁹⁾ がハツカネズミ舌下神経核内の oligo. の胞体に 250 Å の径を有する filament として記載しているものとはほぼ同一の微細構造を示す。中枢部有髄線維髄鞘の inner および outer myelin loop に存在した 200~250 Å の径を有する小胞は microtubules の横断面を示すものと推測される。oligo. の細胞体内に存在する microtubules は、Golgi 野と密接な位置的関係にあることが今回の検索で明らかになった。Andres¹¹⁶⁾ も oligo. が microtubules を有することを報告している。oligo. の胞体および突起内には、しばしば密度大な板層構造物が認められるが、これは、Bunge ら⁷¹⁾ がラットの脊髄白質の oligo. で記載した spindle-shaped body に相当するものであろう。

毛細血管は、神経根の末梢部、中枢部のいずれにも見られるが、薄切々片ではその出現頻度はきわめて稀であった。いずれの部位の毛細血管も微細構造上、神経節で述べたのと同じの像を示しているが、中枢部では壁の全周囲を astro. の突起からなる脈管周囲膠小足がとり囲み、His-Held 氏腔に相当する腔は見られず、中枢神経において今日までに報告された毛細血管の微細構造⁵³⁾⁷⁵⁾⁷⁶⁾⁷⁸⁾⁸³⁾⁸⁶⁾と完全に一致している。

中枢・末梢移行部の微細構造に関する電顕による検索は、Waggner¹¹²⁾ の簡単な抄録があるのみで、詳細な報告には未だ接しない。

今回の検索で著者が得た神経線維の中枢・末梢移行部の電顕所見を一応ここで総括してみよう；

1. 光顕の各種染色標本で、神経根内に dome 状の明層として示された中枢・末梢移行部を電顕で観察すると、個々の神経線維の移行部は、ほぼこの明層の部にあるが、平坦な面状に一線を画して並んでいるものではなく、個々の線維は相前後しながら、複雑に入り組み合って移行している。

2. 有髄線維にあっては、移行部には必ず Ranvier 氏絞輪構造が存し、この種の移行部 Ranvier 氏絞輪にあっては、中枢側では中枢神経系に見られる Ranvier 氏絞輪の絞輪端の構造が、末梢側では末梢神経に見られる絞輪端の構造が見られる。髄鞘を欠く絞輪部の軸索の外側の大部分は astro. の突起によってとり囲まれ、残余の小部分は Schwann 氏細胞の突起によって覆われている。

3. 同一の有髄線維の末梢側の軸索の径と、中枢側の軸索の径との間にはほとんど差が認められない。同一線維の中枢側の髄鞘は末梢側のそれより薄く、中枢側の髄鞘の板層膜の数は末梢側の髄鞘のそれより少ない。また中枢側の髄鞘板層膜の周期は末梢側のそれよ

り約 30 Å 小である。

4. 移行部 Ranvier 氏絞輪の末梢側の絞輪端の髄鞘小輪に、時に desmosome 類似の構造物が見られる。

5. 無髄線維では、有髄線維の移行部の付近で、軸索の外面で astro. の突起と Schwann 氏細胞とが相接している像が観察される。

6. 移行部 Ranvier 氏絞輪の付近には、中枢側からの astro. の突起が多数存し、一種の glial limiting membrane を作っている。astro. の突起はこの部の所々で互に tight junction を形成、密着している。神経線維はこの glial limiting membrane を貫いて、中枢・末梢間に走っている。glial limiting membrane の末梢側で組織腔に面する部には基底膜があり、この基底膜は、末梢側の Schwann 氏細胞の基底膜に連続している。基底膜を伴う glial limiting membrane は末梢側の組織腔に向って凹凸不整を示す。しばしば末梢側神経線維間に細長い指状の突起を出している。

7. 組織腔に面している glial limiting membrane の astro. の突起の一部のものが末梢側に小突起を出し、これが Schwann 氏細胞の外面に基底膜を介せず、密接していることがある。

8. 移行部末梢側の組織腔には、collagen fibrils・線維細胞・毛細血管などが存し、先人が鍍銀標本の光顕所見で存在を主張した、有髄線維末梢側の外側をとり巻く argyrophilic spiral fibers, その他に相当する構造物は認められない。

さて光顕所見において、移行部は明調で、核のない部分を呈しているが、電顕所見では、この部に一致して、少数の astro. の核を除くほか、核のない astro. の突起が多数集積し、加うるに移行部 Ranvier 氏絞輪が存して、髄鞘を欠く裸軸索の部が集まっている。これらが光顕所見において移行部が明層を呈した主な原因と考えられる。

個々の神経線維が一線を画して中枢から末梢に移行するものでなく、複雑な入り組みが存することは、hematoxylin-eosin, Klüver-Barrera 氏法, OsO₄ などの各種染色法の光顕標本から推測されるのみならず、電顕所見において更に明確にこの状態が観察され、一部の有髄線維は末梢から、末梢神経線維の特徴である Schwann 氏細胞を伴ったまま、中枢部にかなりの距離進入している所見が見られた。この所見は、Hosokawa⁹¹⁾ が光顕所見で intracentral portion of the peripheral nerve fiber と呼んだものに一致する。

今回の電顕検索により、有髄線維の中枢・末梢移行部に、特有な Ranvier 氏絞輪が存在することが明らかになった。すなわち、ここから中枢側は膠組織が個々の神経線維軸索をとり囲み、ここから末梢側の軸索は Schwann 氏細胞によって覆われ、個々の神経線維の間には、結合組織を併う組織腔が存在する。有髄線維の移行部の Ranvier 氏絞輪の中枢側には、oligo. によって作られた髄鞘が、末梢側には、Schwann 氏細胞によって作られた髄鞘が、裸軸索を挟んで相対峙している。このように相対する2種の髄鞘の絞輪端の髄鞘小輪は、その微細構造が中枢側と末梢側とで異なるのみならず（末梢側では desmosome 様の微構造の分化がある）、末梢側髄鞘が中枢側のそれに比し、板層膜の数が多く、また板層薄膜の周期が大で、明らかにその構成に両者の間に差異が認められる。髄鞘染色標本の光顕所見において、末梢髄鞘が中枢のそれに比し、より強く染色されることも、この事実の一面を示すものであろう。

移行部における神経線維の周囲は、移行部 Ranvier 氏絞輪を境として、中枢部は astro. の突起によってとり囲まれ、astro. の突起は glial limiting membrane を形成し、突起間には僅かに 100~200Å の密度小さな層が存し、所々で tight junction を形成し、末梢側の組織腔に面している。組織腔に面する astro. の突起の表面の基底膜は Schwann 氏細胞の基底膜に連続している。このような glial limiting membrane の存在は、脳実質表面の微構造によく似ている。脳実質表面の微細構造についてはすでに多数の報告があるが⁸⁵⁾¹¹⁷⁾¹¹⁸⁾、一致して subpial glial layer の脳実質表面の被覆を報じている。移行部 glial limiting membrane を構成している astro. の突起間に見られる tight junction は、特殊分化した形質膜の接触部にしばしば見られる微構造で、中枢神経系の末梢組織腔に対するイオンの diffusion の barrier としての作用を持つものと考えられる。すなわち、移行部の glial limiting membrane は体液-脳関門機構として、イオンその他の物質の中枢神経内進入に対する barrier 機能を示すものと解される。

中枢・末梢移行部の末梢側の組織腔には、かなりの線維細胞、collagen fibrils が認められ、また毛細血管も数多く見られた。collagen fibrils の走向は一定せず、あらゆる方向に走っている。Hosokawa⁹⁾は光顕検索で、移行部末梢側の有髄線維の外側に、argyrophilic spiral fibers と彼が呼ぶ構造物の存在を主張しているが、著者は、このような組織化された構造物を電顕下で観察しなかった。恐らくこの部に存する

collagen fibrils に沈着した還元銀粒子を argyrophilic spiral fibers 構造と光顕下に解したものであろう。Tarlov⁸⁾が光顕所見にいう pial ring や、argyrophilic tubules も同様に解してよいであろう。

glial limiting membrane の astro. の突起の一部が小突起を出して、最中枢側の Schwann 氏細胞の表面と、基底膜を介せず、密接している像が見られた。このような構造の意義はよく解らないが、機械的に抵抗の弱い部である移行部の補強構造ではないかと推定される。

生理学的に後根に電気刺激を与え、後索から活動電位を記録することにより、両者の間における興奮伝導速度を測定した二、三の究究報告がある^{10)~12)}。それによると、脊髄に入ると伝導速度が減少し、後根での伝導速度の 1/4~1/6 に低下し、後根が脊髄に入る部位でこの変化が急激におこるといふ。従来から、神経線維の径と伝導速度との間には密接な関係があり、径の太い線維では伝導速度が大きいことが知られている¹¹⁹⁾¹²⁰⁾。これは大径線維では、小径線維より Ranvier 氏絞輪間距離が大で、いわゆる興奮の跳躍伝導機構による結果である。著者が今回得た所見によると、移行部で軸索の径には、中枢側と末梢側との間に、特に著しい変化は見られなかったが、移行部より中枢側では末梢側に比し、髄鞘の単位板層膜の数が少なく、髄鞘の厚さが明らかに小であった。絞輪間の距離が髄鞘の薄い線維にあっては、髄鞘の厚い線維より短いことはすでによく知られたところである。すなわち、移行部より中枢内に入ると有髄線維の髄鞘は菲薄となり、その Ranvier 氏絞輪間距離は小となり、興奮伝導速度の低下を招来するものであろう。

結 論

ハツカネズミの三叉神経根について、根の起始部から半月神経節に至る間の微細構造を、可視光顕微鏡および電子顕微鏡によって観察し、次の結果を得た。

1. 光学顕微鏡所見

1) ハツカネズミの三叉神経根では、根が橋脳よりおこる起始から末梢側 0.5~0.6 mm の部に、末梢凸面を呈する層をなして中枢・末梢移行部が存する。

2) 軸索染色では、移行部局所で個々の軸索の径が多少細くなっているが、中枢部および末梢部では、軸索の径に大差は見られない。髄鞘染色では、移行部は染色性弱く、明層として観察される。一般に末梢部の髄鞘が中枢部に比し、強く染色される。

2. 電子顕微鏡所見

1) 神経細胞に電子密度の大なる dark cell と小なる light cell およびこれらの移行型が観察され、このような差は細胞質内に分布する小胞体と RNP 顆粒の量の多寡に起因する。

2) Nissl 氏小体を構成する粗面小胞体の内腔に、径約 1,000Å の電子密度大なる小顆粒がしばしば存在する。

3) 外套細胞体の核周部に、長軸の位置が直角に交わる 2 個の中心小体が観察された。

4) 神経節内に、Ranvier 氏 heminode を示す有髄線維が存し、その髄鞘断端部の軸索内に多数の mitochondria の集積像が見られる。これは神経細胞の突起が初めて髄鞘の被鞘を受ける部位である。

5) 有髄線維の中核・末梢移行部には必ず特有な構造を持つ移行部 Ranvier 氏絞輪が存し、この絞輪部の裸軸索の大部分は星状膠細胞の突起で囲まれ、一部は Schwann 氏細胞の突起に覆われている。

6) 同一の有髄線維の末梢部の軸索の径と中枢部のそれとの間には電顕的にも差はないが、末梢側の髄鞘は中枢側のそれに比し、髄鞘板層膜の数が多く、全体として厚く、また髄鞘板層膜の単位周期は、末梢側のものが中枢側のものより約 30Å 厚い。髄鞘板層膜の最外側の層は、末梢側では外結合膜を介して、Schwann 氏細胞の限界膜に、中枢側では稀突起膠細胞の突起 (outer myelin loop) の限界膜に結合している。移行部 Ranvier 氏絞輪の末梢側絞輪端の髄鞘小輪内に、desmosome 類似の構造物が見られるが、中枢側のものではこの構造は見られない。

7) 中枢部の有髄線維髄鞘には、Schmidt-Lanterman 氏切痕は観察されない。

8) 無髄線維では、有髄線維の移行部の附近で、軸索外面で、星状膠細胞と Schwann 氏細胞とが相接している像が見られる。

9) 移行部で星状膠細胞の多数の突起が glial limiting membrane を形成し、突起の一部相互間には tight junction 構造が存する。glial limiting membrane の末梢側は末梢部の組織腔に面し、この部に基底膜が存し、これは Schwann 氏細胞表面の基底膜に連続している。

10) Schwann 氏細胞および稀突起膠細胞の細胞質内に、200~250Å の径を有する microtubules がしばしば見られるが、星状膠細胞では見られない。

11) 移行部より末梢側の組織腔内には、線維細胞と collagen fibrils が存在する。

12) 移行部の附近で、星状膠細胞の胞体または突起より小突起が出て、これが最中枢側の Schwann 氏細

胞の表面に基底膜を介せず、直接密接する所見を得た。

稿を終えるにあたり、御指導と御検閲をいただいた本陣良平教授、中村俊雄助教授に深く感謝いたします。また写真撮影に御協力いただいた電子顕微鏡室および写真部の神戸・吉田・西村・増村・山口の諸氏に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) Redlich, F. K. : Zbl. Psychiat., 11, 1 (1892).
- 2) Obersteiner, H. & Redlich, F. K. : Arb. neur. Inst. Univ. Wien, 2, 158 (1894). Scharf⁸⁷⁾ より引用.
- 3) Hoche, A. : Neurol. Zbl., 10, 100 (1891).
- 4) Levi, E. : Arb. a. d. neur. Inst. a. d. Wiener Universität, 13, 62 (1906). Tarlov⁸⁾ より引用.
- 5) Henschen, F. : Arch. Psychiatr., 56, 20 (1915).
- 6) Skinner, H. L. : Arch. Neurol. Psychiat., 25, 356 (1931).
- 7) Nageotte, J. : Cytology and Cellular Pathology of the Nervous System, edited by W. Penfield, New York, Paul B. Hoeber, I, p. 189, 1932.
- 8) Tarlov, I. M. : Arch. Neurol. Psychiat., 37, 555 (1937).
- 9) Hosokawa, H. : J. Comp. Neur., 111, 407 (1959).
- 10) 円谷 豊 : 日生誌, 13, 375 (1951).
- 11) 真島英信 : 日生誌, 13, 552 (1951).
- 12) Holmgren, B. : J. Physiol. (Lond.), 123, 324 (1954).
- 13) 本陣良平 : 最新医学, 16, 857 (1961).
- 14) Michaelis, L. : Biochem. Z., 234, 139 (1952).
- 15) Palade, G. E. : J. exp. Med., 95, 285 (1952).
- 16) Sabatini, D. D., Bensch, K. & Barrnett, R. J. : J. Cell Biol., 17, 19 (1963).
- 17) Luft, J. H. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 2, 799 (1956).
- 18) Kushida, H. : J. Electron Microscopy, 10, 16 (1961).
- 19) Luft, J. H. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 9, 409 (1961).
- 20) Karnovsky, M. J. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 11, 729 (1961).
- 21) Reynolds, E. S. : J. Cell Biol., 17, 208 (1963).
- 22) Watson, M. L. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 4, 475 (1958).
- 23) Honjin, R. : Okajimas Folia Anat. Jap., 29, 117 (1956).
- 24) Palay, S. L. & Palade, G. E. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 1, 69 (1955).

- 25) 本陣良平 : 細胞化学シンポジウム, 5, 109 (1957). 26) Honjin, R. : Okajimas Folia Anat. Jap., 27, 179 (1955). 27) Honjin, R. : Okajimas Folia Anat. Jap., 30, 257 (1957). 28) 本陣良平 : 生体の科学, 8, 110 (1957). 29) 本陣良平 : 総合医学, 16, 673 (1957). 30) 本陣良平 : 解剖誌, 32, 89 (1957). 31) Sotelo, J. R. & Porter, K. R. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 5, 327 (1959). 32) Bunge, M. B. & Bunge, R. P., Peterson, E. R. & Murray, M. R. : J. Cell Biol., 32, 439 (1967). 33) Rosenbluth, J. : J. Cell Biol., 12, 329 (1962). 34) Rosenbluth, J. : J. Cell Biol., 13, 405 (1962). 35) 本陣良平 : 脳と神経, 12, 5 (1960). 36) Andres, K. H. : Z. Zellforsch., 55, 1 (1961). 37) Hiraoka, J. & van Breemen, V. L. : J. Comp. Neur., 121, 69 (1963). 38) Hess, A. : Anat. Rec., 123, 399 (1955). 39) Takano, I. : Okajimas Folia Anat. Jap., 40, 1 (1964). 40) Honjin, R., Takahashi, A., Hanyu, T. & Muro, S. : Okajimas Folia Anat. Jap., 41, 267 (1965). 41) Samorajski, T., Ordy, J. M. & Keefe, J. R. : J. Cell Biol., 26, 779 (1965). 42) Roizin, L., Nishikawa, K. & Koizumi, J. : J. Neuro-path. exp. Neurol., 26, 223 (1967). 43) Elfvin, L.-G. : J. Ultrastruct. Res., 5, 374 (1961). 44) Gray, E. G. : J. Anat. (Lond.), 93, 420 (1959). 45) Bondareff, W. : J. Geront., 12, 364 (1957). 46) Duncan, D. & Morales, R. : J. Geront., 15, 366 (1960). 47) Gatenby, J. B. & Devine, R. L. : J. Roy. Micr. Soc., 79, 1 (1959). 48) Andrew, W. : J. Geront., 16, 388 (1961). 49) Gonatas, N. K., Terry, R. D., Winkler, R., Korey, S. R., Gomez, C. & Stein, A. : J. Neuro-path. exp. Neurol., 22, 557 (1963). 50) Moses, H. L., Beaver, D. L. & Ganote, C. E. : Arch. Path., 79, 541 (1965). 51) Wyburn, G. M. : J. Anat. (Lond.), 92, 528 (1958). 52) Pannese, E. : Z. Zellforsch., 52, 576 (1960). 53) 本陣良平 : 脳と神経, 18, 5 (1966). 54) Honjin, R., Takahashi, A., Nakamura, A. & Taniguchi, H. : Okajimas Folia Anat. Jap., 38, 387 (1962). 55) Robertson, J. D. : Z. Zellforsch., 50, 553 (1959). 56) 本陣良平・高橋 暁・西 正美 : 十全医会誌, 67, 462 (1961). 57) Hess, A. & Lansing, A. L. : Anat. Rec., 117, 175 (1953). 58) Gasser, H. S. : J. Gen. Physiol., 38, 709 (1955). 59) Gamble, H. J. : J. Anat. (Lond.), 98, 17 (1964). 60) Thomas, P. K. : J. Anat. (Lond.), 97, 35 (1963). 61) Maturana, H. R. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 7, 107 (1960). 62) Peters, A. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 7, 121 (1960). 63) Peters, A. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 8, 431 (1960). 64) 小坂登志喜 : 十全医会誌, 70, 64 (1964). 65) 本陣良平 : 解剖誌, 34, 43 (1959). 66) Honjin, R., Kosaka, T., Takano, I. & Hiramatsu, K. : Okajimas Folia Anat. Jap., 39, 39 (1963). 67) Peters, A. : J. Anat. (Lond.), 96, 237 (1962). 68) Peters, A. : J. Cell Biol., 20, 281 (1964). 69) Honjin, R. & Changus, G. W. : Okajimas Folia Anat. Jap., 39, 251 (1964). 70) Metzuzals, J. : J. Ultrastruct. Res., 8, 30 (1963). 71) Bunge, R. P. & Bunge, M. B. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 7, 685 (1960). 72) Farquhar, M. G. & Hartmann, J. F. : J. Neuro-path. exp. Neurol., 16, 18 (1957). 73) Schultz, R. L., Maynard, E. A. & Pease, D. C. : Anat. Rec., 100, 369 (1957). 74) 本陣良平・西 正美 : 解剖誌, 33, 242 (1958). 75) 魚津 竹男 : 十全医会誌, 64, 289 (1959). 76) 本陣良平 : 内分泌と代謝, 2, 43 (1960). 77) 藤田尚男 : 最新医学, 16, 831 (1961). 78) Honjin, R. : Morphology of Neuroglia, edited by J. Nakai, Tokyo, Igaku Shoin, p. 53, 1963. 79) Luse, S. A. : J. Biophysic. & Biochem. Cytol., 2, 531 (1956). 80) Luse, S. A. : Biology of Neuroglia, edited by W. F. Windle, Springfield, Illinois, Charles C Thomas, p. 56, 1958. 81) Luse, S. A. : Anat. Rec., 138, 471 (1960). 82) Dempsey, E. W. & Luse, S. A. : Biology of Neuroglia, edited by W. F. Windle, Spring-

- field, Illinois, Charles C[^] Thomas, p. 99, 1958. 83) 本陣良平 : 神経進歩, 6, 41 (1962). 84) Brightman, M. H. & Palay, S. L. : J. Cell Biol., 19, 415 (1963). 85) Gray, E. G. : Electron Microscopic Anatomy, edited by S. M. Kurtz, New York, London, Academic Press, p. 369, 1964. 86) Maynard, E. A., Schultz, R. L. & Pease, D. C. : Amer. J. Anat., 100, 409 (1957). 87) Scharf, J-H. : Möllendorff's Handbuch der Mikroskopischen Anatomie des Menschen, B. IV T. 3, Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer-Verlag, 1958. 88) 本陣良平・高野郁夫 : 解剖誌, 36, 376 (1961). 89) Dixon, A. D. : J. Ultrastruct. Res., 8, 107 (1963). 90) Moses, H. L. : J. Neurosurg., 26, 112 (1967). 91) Kerr, F. W. L. : J. Neurosurg., 26, 132 (1967). 92) 本陣良平・中西 昭 : 解剖誌, 33 (6), 附 6 (1958). 93) Cervós-Navarro, J. : Arch. Psychiat. Nervenkr., 200, 267 (1960). 94) Grillo, M. A. & Palay, S. L. : J. Cell Biol., 16, 430 (1963). 95) 本陣良平 : 解剖誌, 35, 429 (1960). 96) 本陣良平・平松京一 : 解剖誌, 36, 375 (1961). 97) 本陣良平・中村俊雄 : 化学, 18, 688 (1963). 98) 本陣良平・中村俊雄・平松京一 : 解剖誌, 39, 108 (1964). 99) 平松京一 : 十全医会誌, 70, 45 (1964). 100) Harkin, J. C. : Z. Zellforsch., 64, 189 (1964). 101) Lillie, R. S. : J. Gen. Physiol., 7, 437 (1925). 102) Tasaki, I. : Amer. J. Physiol., 127, 211 (1939). 103) Huxley, A. F. & Stämpfli, R. : J. Physiol. (Lond.), 108, 315 (1949). 104) Bargmann, W. & Lindner, E. : Z. Zellforsch., 64, 868 (1964). 105) 本陣良平・高橋 暁 : 細胞化学シンポジウム, 16, 59 (1966). 106) Kerr, F. W. L. & Miller, R. H. : Arch. Neurol., 15, 308 (1966). 107) 本陣良平・平井善昭 : 解剖誌, 31, 78 (1956). 108) 本陣良平・平井善昭・井村正人 : 十全医会誌, 59, 1048 (1957). 109) Gamble, H. J. & Eames, R. A. : J. Anat. (Lond.), 89, 655 (1964). 110) Gamble, H. J. & Eames, R. A. : Arch. Neurol., 14, 50 (1966). 111) Sorokin, S. : J. Cell Biol., 15, 363 (1962). 112) Waggner, J. D. : Anat. Rec., 145, 296 (1963). 113) Andres, K. H. : Z. Zellforsch., 65, 701 (1965). 114) Metuzals, J. : Z. Zellforsch., 65, 719 (1965). 115) Peters, A. : Quart. J. exp. Physiol., 51, 229 (1966). 116) Andres, K. H. : Z. Zellforsch., 65, 530 (1965). 117) Pease, D. C. & Schultz, R. L. : Amer. J. Anat., 102, 301 (1959). 118) Ramsey, H. J. : J. Cell Biol., 26, 323 (1965). 119) Gasser, H. S. & Erlanger, J. : Amer. J. Physiol., 80, 522 (1927). 120) Grundfest, H. & Campbell, B. : J. Neurophysiol., 6, 61 (1942).

Abstract

The fine structure of the mouse trigeminal nerve root was studied by light and electron microscopies. The results obtained were summarized as follows:

1. Light microscopic findings.

1) The centro-peripheral transition site of the nerve fibers in the trigeminal nerve root of mice is located distally about 0.5-0.6 mm from the attachment of the nerve root to the pons and appears as a layer which is convex towards the distal direction.

2) The axon staining preparations indicate that the axon decreases more or less in diameter at the transition site. There is seen, however, no difference in diameter of axons between the central and peripheral portions. The transition site is stained very faintly by the myelin staining methods and observed as a clear zone. The peripheral myelin sheath is stained more intensively than the central.

2. Electron microscopic findings.

1) Based on the density of distribution of RNP granules, the nerve cells in the mouse trigeminal ganglion are classified into two types; dark and light cells.

The intermediate cell type is also found.

2) Occasionally the intracisternal, dense granules of about $1,000 \text{ \AA}$ in diameter are found in the rough-surfaced endoplasmic reticula within the Nissl substances.

3) A pair of centrioles arranged at the right angle to their long axis is found in the perinuclear zone of the satellite cells.

4) The heminode structure of Ranvier is observed in the myelinated nerve fibers in the trigeminal ganglion. Many mitochondria are piled up in the naked axon near the heminode.

5) A characteristic node structure of Ranvier, termed "*transition node of Ranvier*", is always found in the centro-peripheral transition site of the myelinated nerve fibers. A large part of the naked segment of axons in the node is wrapped by the astrocytic processes, while a distal, small part of it is enveloped by the Schwann cell processes.

6) The diameter of axon shows no difference between the central and peripheral portions in one and the same myelinated fiber. The myelin sheath as a whole is thicker in the peripheral portion than in the central, because the myelin lamellar membranes seen in thin sections are more in number in the peripheral myelin sheath than in the central, and the periodicity of the lamellar membranes in the peripheral myelin sheath is thicker than that of the central ones by 30 \AA . In the peripheral portion of the myelinated fibers, the outermost lamellar membrane of myelin sheath is continuous to the Schwann cell surface membrane, while in the central portion it is continuous to the surface membrane of the process of oligodendrocytes (outer myelin loop). A desmosome-like structure is seen in the myelin loops of the peripheral myelin segment in the transition node, while it is not found in those of the central myelin segment.

7) The myelinated nerve fibers in the central portion show no indication of Schmidt-Lanterman clefts.

8. On the surface of the non-myelinated nerve axons near the transition site of the myelinated fibers, the processes of both the astrocyte and the Schwann cell come in contact with each other.

9) A large number of processes of astrocytes form a glial limiting membrane in the transition site of nerve fibers. Some of the processes have a tight junction structure between themselves. The distal surface of the glial limiting membrane looking out on the peripheral tissue space is coated by a basement membrane which is continuous to a basement membrane on the outer surface of the Schwann cell.

10) Microtubules of $200-250 \text{ \AA}$ in diameter are observed in the cytoplasm of the Schwann cell and the oligodendrocyte, but not in that of the astrocyte.

11) Fibrocytes and collagen fibrils are observed in the tissue space which is present in the distal part beyond the transition site.

12) Sometimes it is seen that a small process of astrocytes comes in direct contact with the outer surface of the nodal process of the Schwann cell without intermediation of the basement membrane near the transition site.

写 真 説 明

Plate I は光学顕微鏡所見, Plate II~Plate VIII は, 写真18を除くほかは OsO_4 固定材料の電子顕微

鏡所見である。電顕写真の下方のスケールは 1μ の長さを示す。

Plate I

写真1と2は半月神経節, 写真3~8は神経根の中

枢・末梢移行部（左が中枢側，右が末梢側）の縦断各種染色標本による 300 倍光学顕微鏡像である。

写真 1. 写真銀法染色。半月神経節内の神経細胞を示す。神経細胞の突起と軸索が染っている。

写真 2. OsO₄ 法髄鞘染色。半月神経節内の神経細胞が濃淡種々に Os に染っているのが見える。

写真 3. hematoxylin-eosin 染色。

写真 4. van Gieson 法染色。

写真 5. OsO₄ 法髄鞘染色。

写真 6. Weigert-Pal 法髄鞘染色。

写真 7. Klüver-Barrera 法髄鞘染色。

写真 8. 写真銀法による軸索染色。

写真 3～8 では、ほぼ中央が神経線維の中枢・末梢移行部で、**写真 3～7** では移行部が淡染した明層として示され、**写真 8** では銀に濃染した層として移行部が示されている。

Plate II

写真 9. 半月神経節。中央に比較的小型の神経細胞があり、核(N)，核小体(NL)，Nissl 氏小体(NI)，Golgi 装置(G)が見える。神経細胞の外面には薄層をなす外套細胞(SC)，さらにその外側に組織腔があり、内に collagen fibrils (C) を含む。左に小径有髄線維を含む Schwann 氏細胞(S) が認められる。
×6,000

写真 10. 半月神経節。上部中央に明調細胞(LC)，その左右に暗調細胞(DC) が存する。外套細胞は神経細胞の外面を覆い、外套細胞核(SCN) が中央やや左に見える。下方に無髄神経線維を含む Schwann 氏細胞(S) がある。
×6,000

Plate III

写真 11. 半月神経節。神経細胞の限界膜は凹凸を示し、ところどころで外套細胞に対して spine (矢印) を形成しているのが見られる。神経細胞の核(N)，Golgi 装置(G)，多胞小体(MV)，lipofuscin 顆粒(LP)，coated vesicles (CV)，下方にある神経細胞の細胞質は、右方で起始円錐(axon hillock) に続いている。この付近では外套細胞(SC) の細胞質は多い。
×10,000

写真 12. 半月神経節内の半側絞輪(heminode)。軸索内に多数の mitochondria が集積している。
×16,500

Plate IV

写真 13. 半月神経節内の暗調神経細胞。Nissl 氏小体部の粗面小胞体内腔に 1～2 個の電子密度大な顆粒が出現している(矢印)。lipofuscin 顆粒(LP) も見える。
×10,000

写真 14. 半月神経節内の明調神経細胞。Nissl 氏小体部の粗面小胞体内腔に電子密度大な顆粒(矢印) が多数見られる。
×20,000

写真 15. 神経細胞内の種々の細胞内小器官。右下に核(N)，細胞質内に Golgi 装置(G)，lipofuscin 顆粒(LP)，lysosome (LY)，lamellar body (LB)，coated vesicles (CV) が見える。
×16,000

写真 16. 外套細胞の核(SCN) の近くの細胞質内に、直交した位置にある一対の中心小体(矢印) が見える。
×6,000

Plate V

写真 17. 神経根の末梢部の有髄線維の Ranvier 氏絞輪の縦断。Schwann 氏細胞の細胞質(S) の外面の組織腔には、わずかの collagen fibrils (C) が存する。
×11,000

写真 18. 神経根の末梢部の Ranvier 氏絞輪の縦断(この写真のみ KMnO₄ 固定)。個々の髄鞘小輪(myelin loop) の先端と軸索膜とは密接している。
×30,000

写真 19. 神経根中枢部内の Ranvier 氏絞輪の縦断。髄鞘小輪内に著明な microtubules が存在する。
×21,000

Plate VI

写真 20. 中枢・末梢移行部の Ranvier 氏絞輪の縦断。左が中枢髄鞘，右が末梢髄鞘で、それぞれ髄鞘小輪を作って軸索膜に密着している。下方にいまひとつの他の有髄線維の移行部が見られる。上方に中枢部の有髄線維がある。右方 Schwann 氏細胞(S) の表面を覆ってきた基底膜が、裸軸索の近くで星状膠細胞の突起(A) の表面の基底膜に移行している。
×24,000

写真 21. 有髄線維移行部の Ranvier 氏絞輪の縦断。左が中枢髄鞘，右が末梢髄鞘である。末梢側では、基底膜(BM) の外面の組織腔(TS) 内に collagen fibrils (C) がある。
×15,000

Plate VII

写真 22. 中央に有髄線維移行部の Ranvier 氏絞輪の末梢側髄鞘端。上部の glial limiting membrane は凹凸不整を示し、組織腔に面する星状膠細胞の突起(A) の外面に基底膜がある。
×15,000

写真 23. 有髄線維移行部 Ranvier 氏絞輪の末梢側髄鞘端の髄鞘小輪内に desmosome 類似の構造物(矢印) が認められる。星状膠細胞の突起(A) の組織腔面および Schwann 氏細胞(S) の外面に基底膜が見える。
×24,000

Plate VIII

写真24. 有髄線維移行部の Ranvier 氏絞輪の末梢側髄鞘端。Schwann 氏細胞 (S) と星状膠細胞の突起 (A) とが部分的に密接した像 (矢印) が見られる。
×17,000

写真25. 2本の有髄線維移行部の Ranvier 氏絞輪。右上に中枢髄鞘，左下方に末梢髄鞘が位置する。右下に他の有髄線維の移行部裸軸索の部が見える。

×9,500

写真26. 右側が末梢有髄線維，左側が中枢部。両者の間に線維細胞 (F) が介在している。
×8,500

写真27. 有髄線維移行部の Ranvier 氏絞輪。左下方に末梢側髄鞘端が見える。Schwann 氏細胞 (S) と星状膠細胞の突起 (A) とが部分的に密接した像 (矢印) が認められる。
×20,000

Plate I

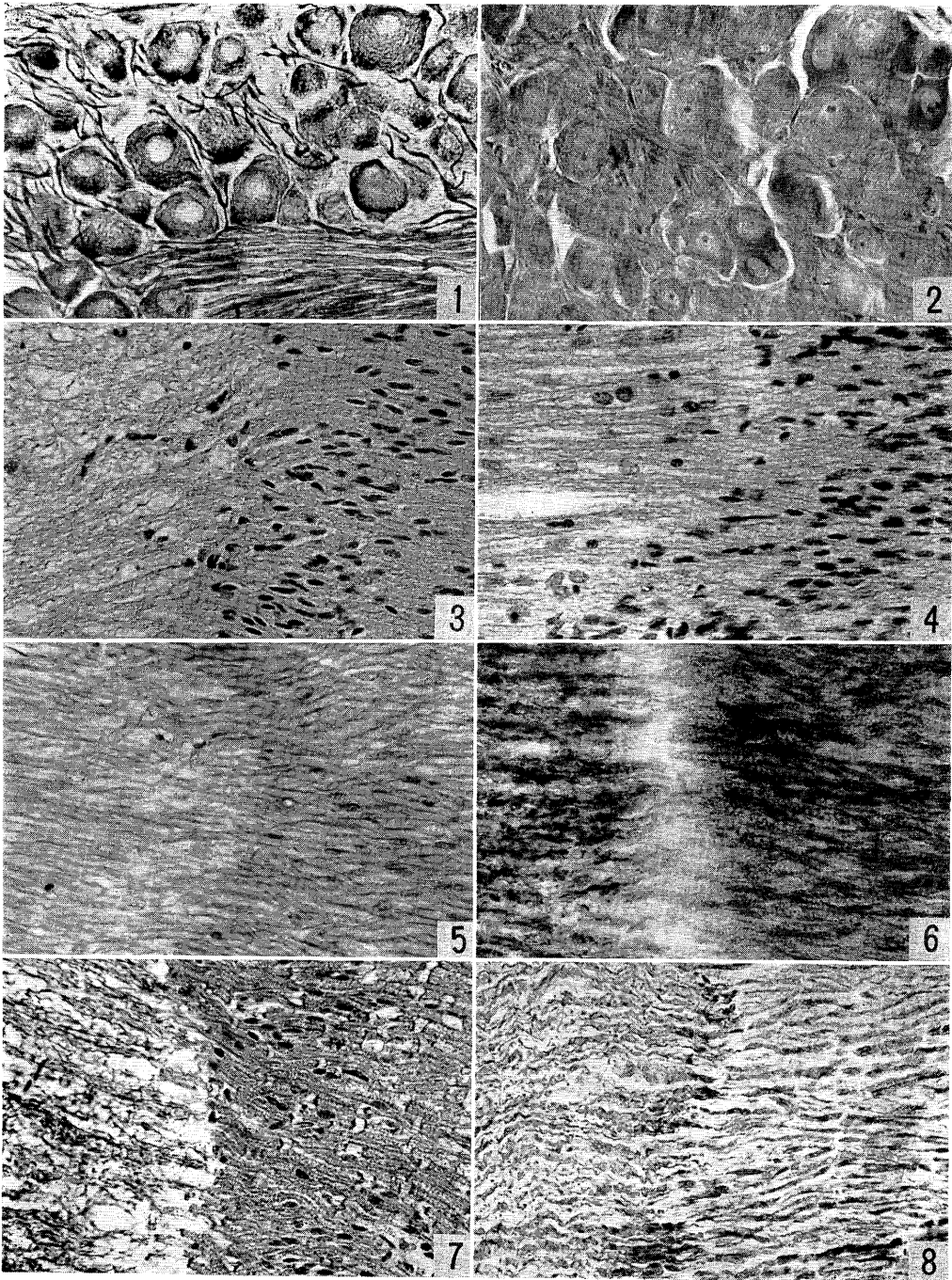


Plate II

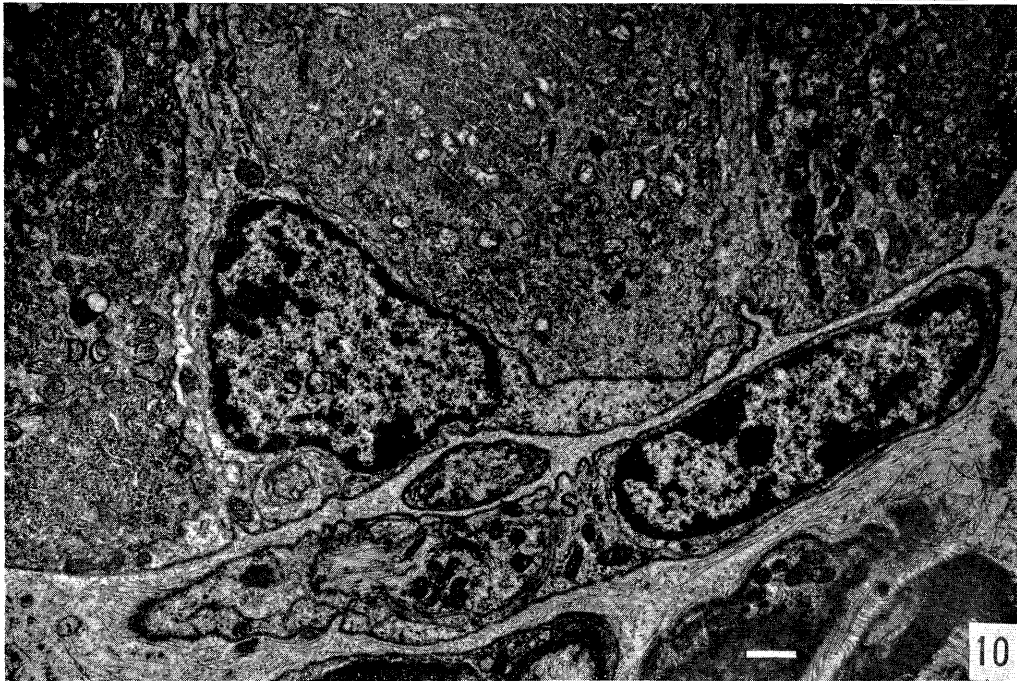
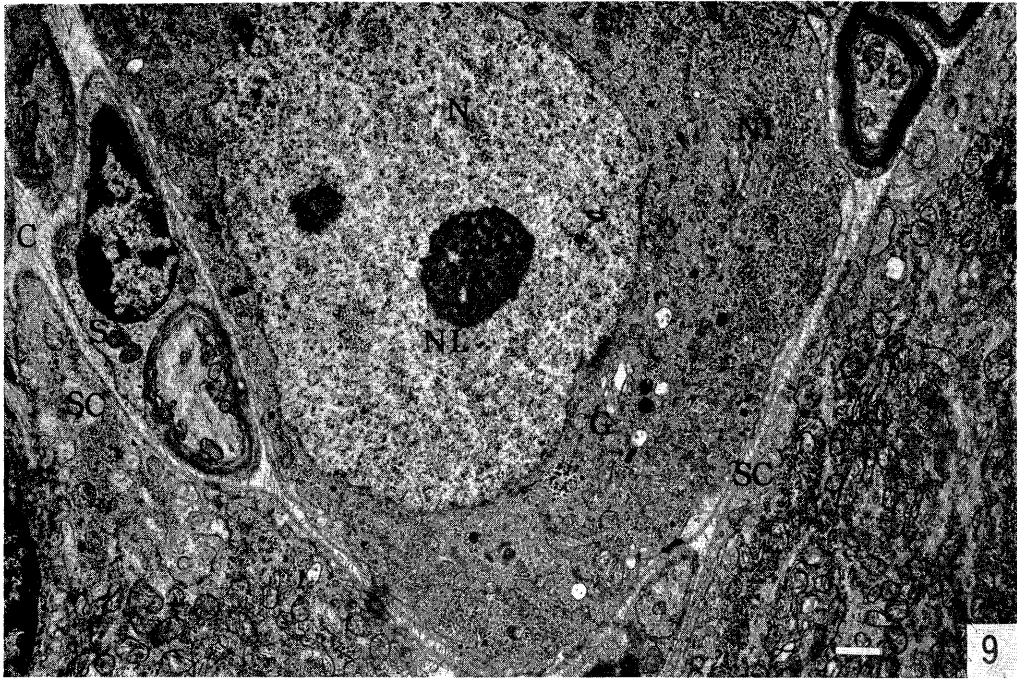


Plate III

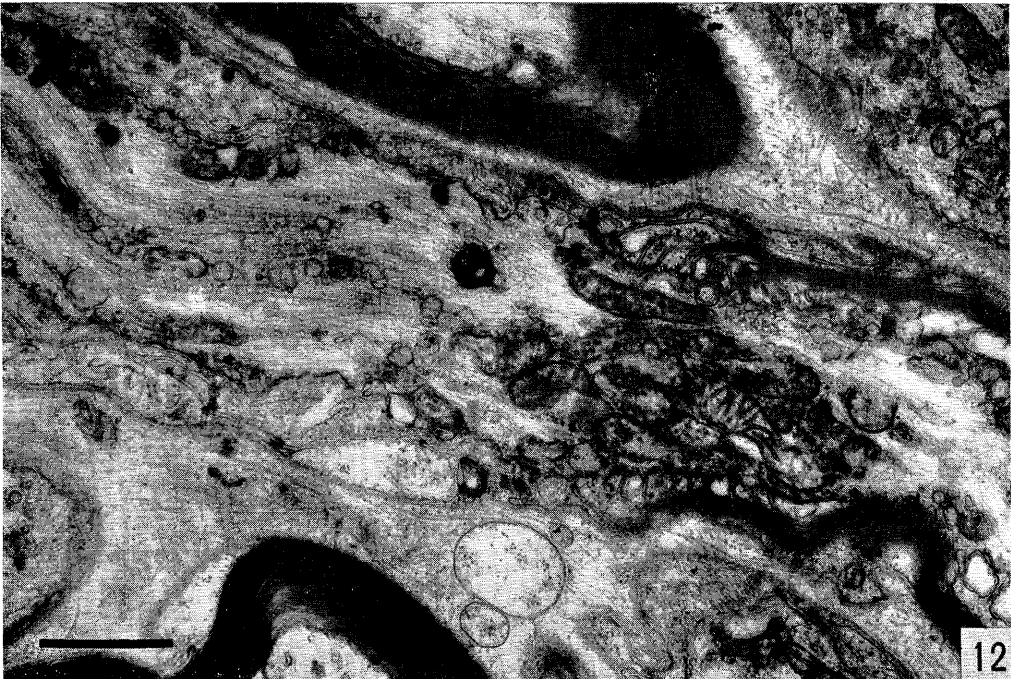
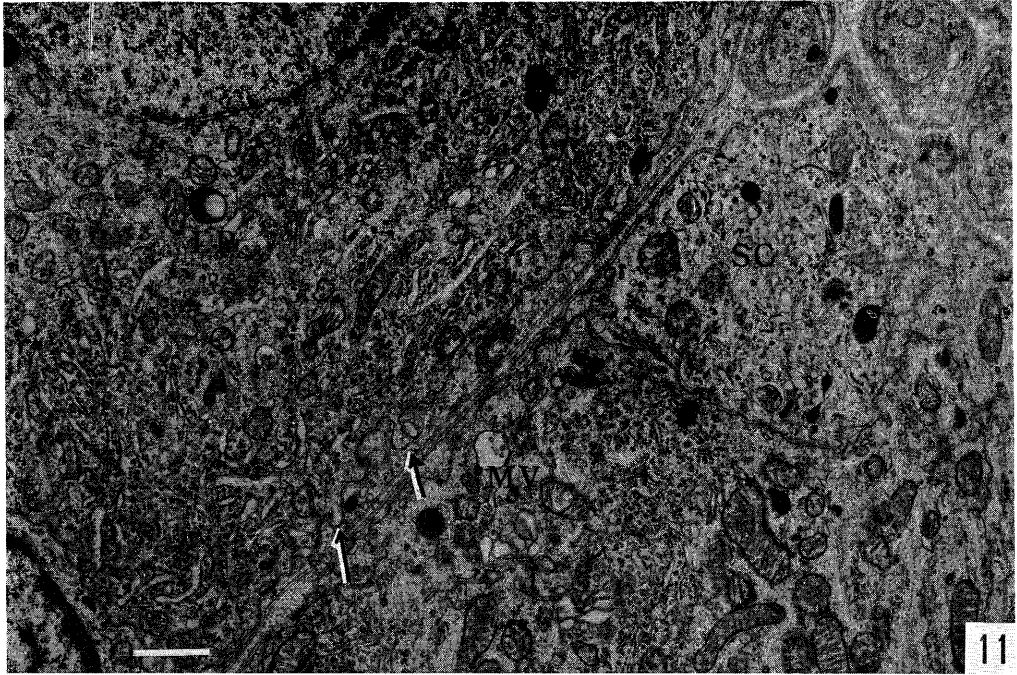


Plate IV

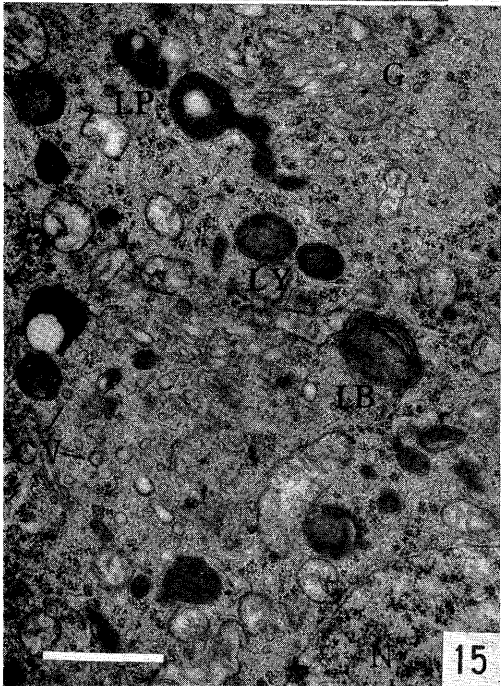
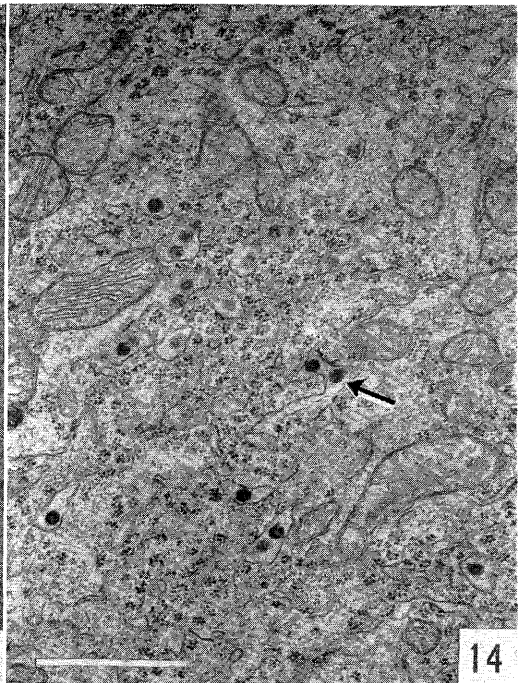
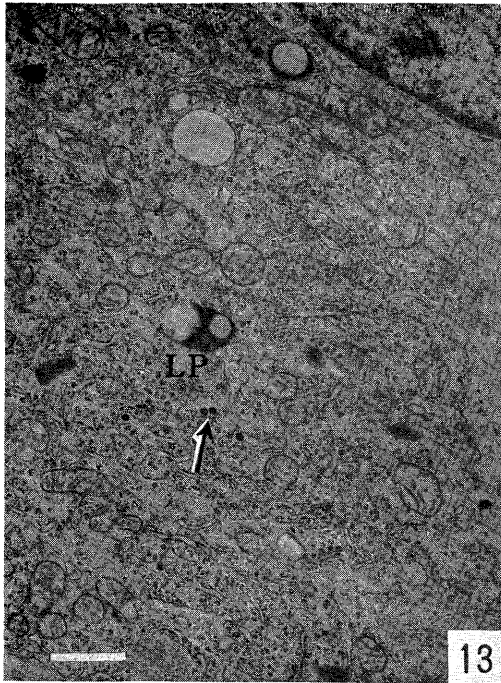


Plate V

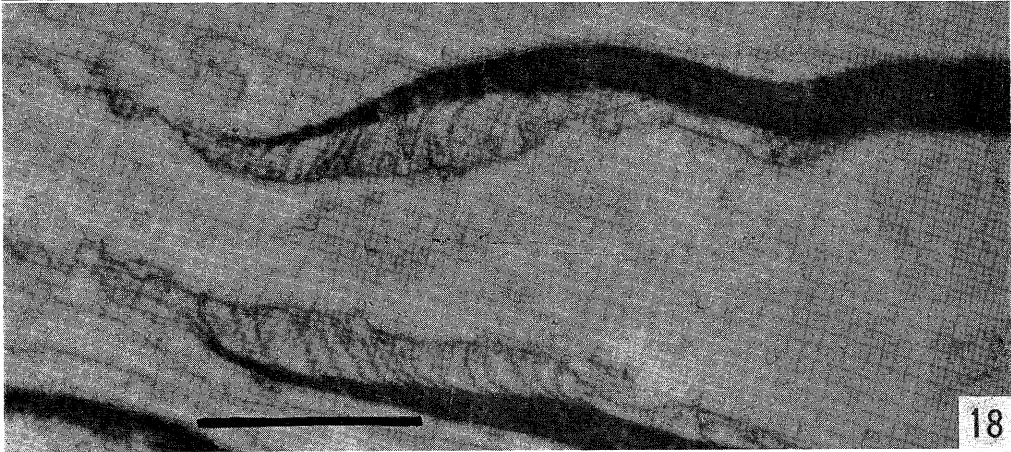
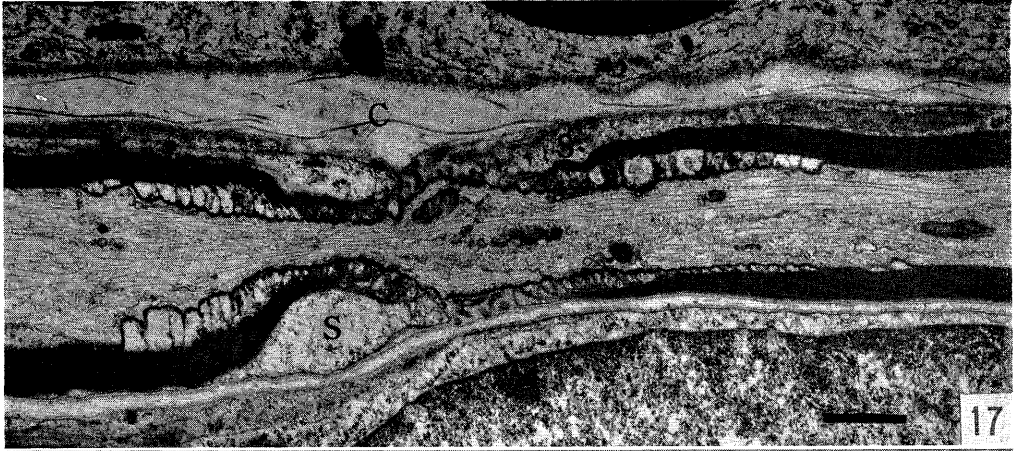


Plate I VI

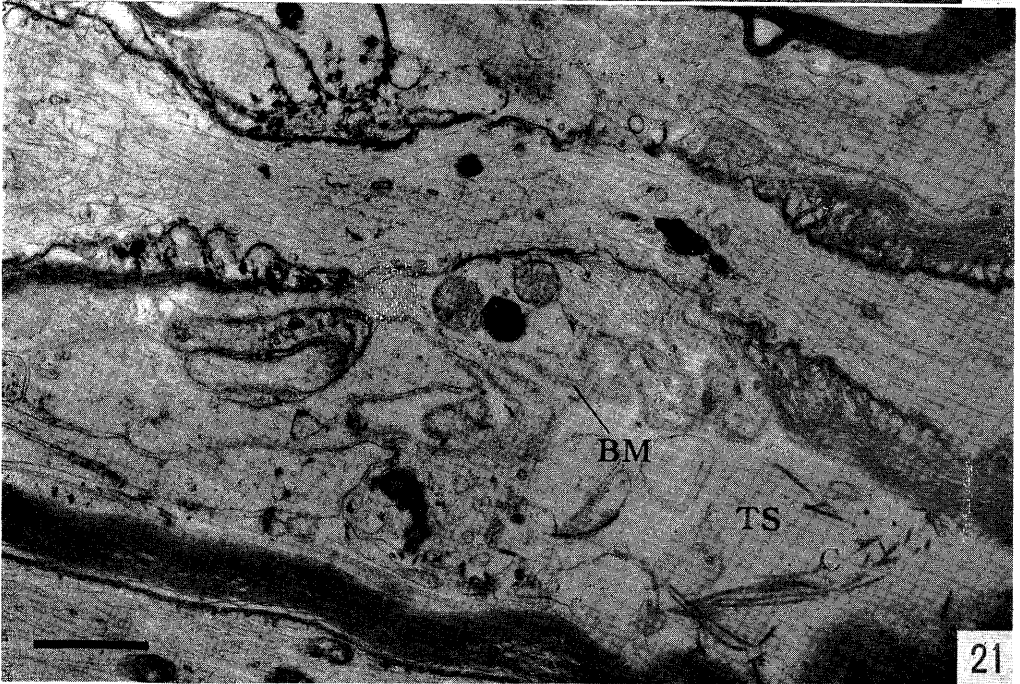


Plate VII

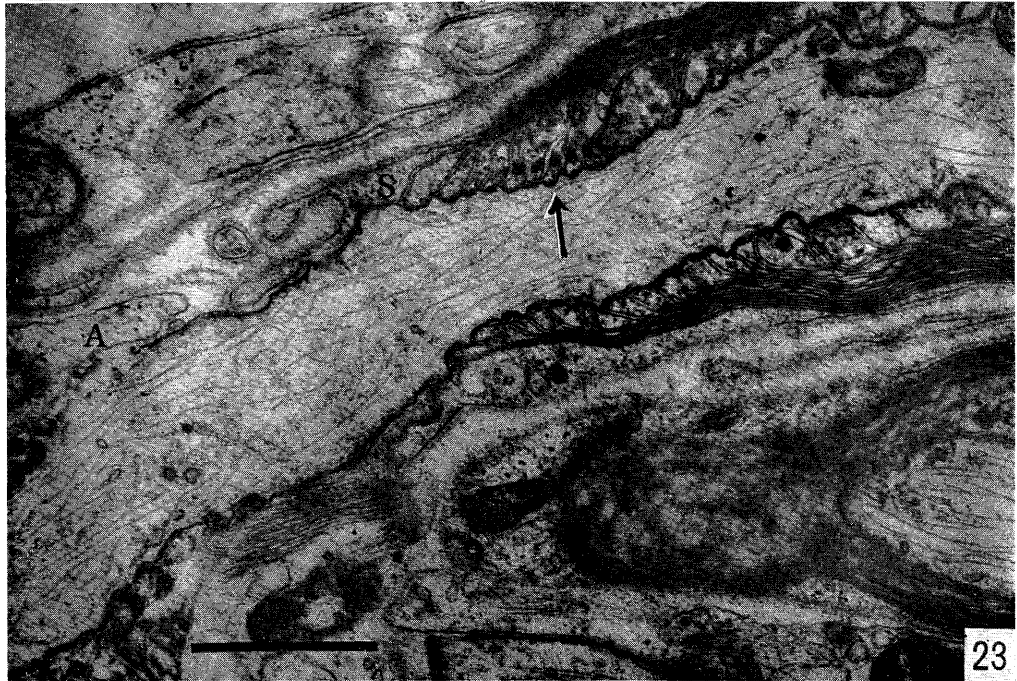
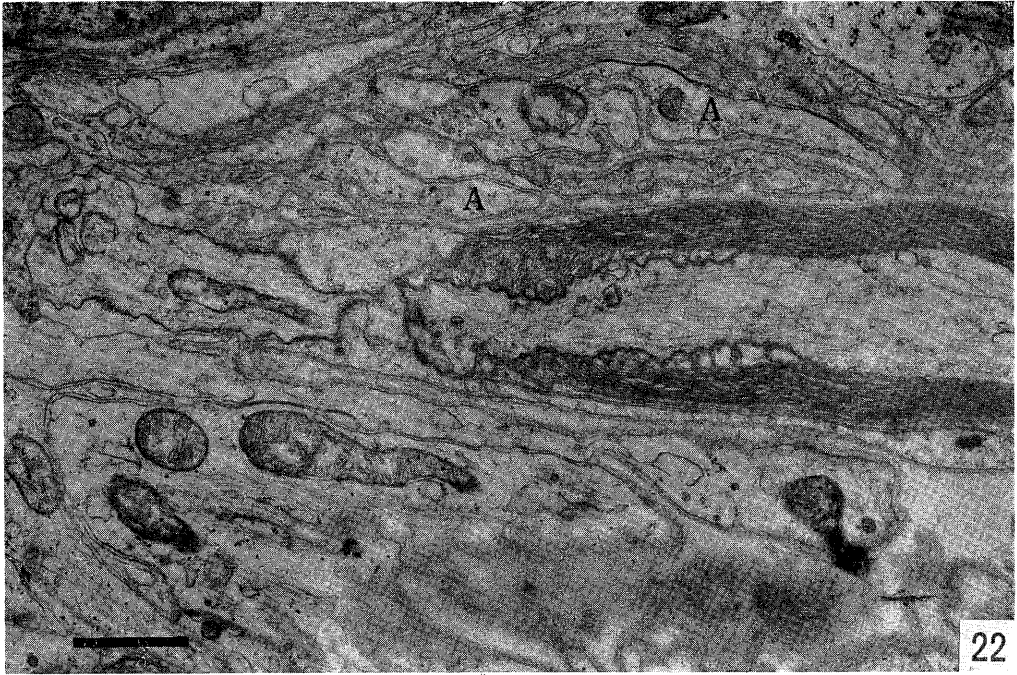


Plate VII

