

マウス脛板筋の神経支配について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/8772

マウス脛板筋の神経支配について

金沢大学医学部解剖学第一講座 (主任: 本陣良平教授)

山下利夫

(昭和54年2月20日受付)

本論文の一部は, 第82回, 第83回日本解剖学会総会において発表した。

Horner 症候群については, 古くから多数の研究がなされ¹⁾, その主徴の一つである眼瞼下垂は, 脛板筋に分布する交感神経の麻痺が原因であるとされている²⁾. Horner 症候群に関与する交感神経に関して, その節前線維は頸髄下部および胸髄上部の側柱細胞から起り, 主として第1~4胸神経の前根を通過, ついで白交通枝を通過して交感神経幹に入り, これを上行して上頸神経節の神経細胞に終るとされている³⁾.

しかし, 上頸神経節の神経細胞から起こる節後線維が脛板筋に至る走路については, 近年二, 三の研究がなされたにもかかわらず^{4)~6)}, この節後線維が頭蓋底の骨壁を貫いて複雑な走行をとり, その追跡が困難なためか, 詳細はなお明確でない。また, 最近一部の研究者から, 脛板筋の平滑筋細胞における神経終末の形態, 特にシナプスの微構造所見や, 組織化学的検索に基づいて, 脛板筋が交感神経のみならず副交感神経や知覚神経の支配をも受けていることが示唆され^{7)~9)}, 脛板筋の神経支配の詳細な系統的検索が望まれている。

著者は, 前報¹⁰⁾でその形態と微構造を明らかにしたマウス脛板筋を試料とし, まず脛板筋およびこれに関係する神経をその周囲の組織臓器とともに取りだしたものを連続切片とし, これに神経染色を施し, 可視光顕微鏡 (以下「光顕」と略記) 再構築観察によって脛板筋に分布する神経線維の由来と筋に達するまでの走路を検した。ついでその神経走路の各部において, 神経線維構築と内頸動脈神経切断後のその変化を電子顕微鏡 (以下「電顕」と略記) によって検した。さらに正常な個体ならびに内頸動脈神経を切断した個体の各脛板筋について, 神経染色法, 組織化学的方法および電顕観察により, 脛板筋に分布している神経線維の終末構造と組織化学的特性, ならびに神経切断によるその変化を検索した。

材料と方法

純系成熟 KH-1 種マウス (*Mus wagneri* var. *albula*) を実験動物として用いた。

光顕再構築観察により, 脛板筋に分布する神経線維の由来と走路を検するため, 下記の3箇所から神経を含む組織を試料として取りだした。第1の試料は, 内頸動脈神経を含む頸部の組織。第2は, 動眼神経や三叉神経など眼窩へ向かう脳神経を含む頭蓋底の組織。第3は, 脛板筋に分布する神経を含む眼窩内容および眼瞼。これらの試料について, Cajal-本陣写真銀法¹¹⁾ (以下「写真銀法」と略記) による連続切片を作製した。この方法によると, 神経細胞体および神経線維軸索が褐色ないし黒色に特異的に染色され, 連続切片の描画再構築によって, 神経線維の由来・走路・終末を追求することができる。

ついで, 上記の方法により明らかにされた脛板筋支配神経の由来と走路をさらに明確にするため, 正常なマウス, ならびに内頸動脈神経切断後 16, 24 時間, 2, 4, 7 日間生存させたマウスから, 上記3種の試料を取りだし, それらに含まれている神経のうち脛板筋支配神経の走路として重要と考えられる, 頸動脈管に入る直前の部における内頸動脈神経, 翼突管神経, 頭蓋内部における外転神経, 眼窩内における滑車上神経, 滑車下神経, 涙腺神経, 頬骨神経の頬骨側頭枝および頬骨顔面枝について, 前報¹⁰⁾と同様の方法で電顕観察し, その神経線維構築と内頸動脈神経切断後の変化を検した。

さらに, 正常なマウス, ならびに内頸動脈神経切断後 16, 24 時間, 2, 4, 7 日間, 2, 3 週間, 1 月間生存させたマウスから, 脛板筋を試料として取りだし, 下記の3法によって検した。第1は, 写真銀法¹¹⁾による脛板筋に分布する神経線維の終末構造ならびに神経切

The innervation of the tarsal muscle of the mouse. Toshio Yamashita, Department of Anatomy (Director: Prof. R. Honjin), School of Medicine, Kanazawa University.

ら分枝した深錐体神経は、顔面神経膝から分かれた大錐体神経と合流し、翼突管神経を形成する。翼突管神経は無髄線維と小径有髄線維とからなる。翼突管神経は、翼口蓋窩で翼口蓋神経節に入る(図1)。

翼口蓋神経節は、上記の翼突管神経のほか、上顎神経から由来する翼口蓋神経を受け、眼窩枝および口蓋と鼻腔粘膜へ走る枝を出す。眼窩枝は、主に無髄線維からなる約10本の枝で、翼口蓋神経節の背外側面から起こり、上顎神経の背側を通過して眼窩へ向かうが、そのうち吻側で起こるものは、その走路中に小神経節を含み、Harder腺に分布し、尾方で起こるものは、鼻毛様体神経、前頭神経、長毛様体神経などへ小さな交通枝を出した後、涙腺神経に合流する(図1)。

頸動脈管内で上記の深錐体神経を分枝した後、内頸動脈神経叢は内頸動脈とともに頭蓋腔に達し、同神経叢の海绵静脈洞部を形成する。この部における内頸動脈神経叢を構成する神経線維のうち、少数の無髄線維は、内頸動脈の壁に沿って末梢へ走るが、その大部分は、内頸動脈が後交通動脈を分枝する部位で、外転神経の海绵静脈洞部に合流する(図1)。このように外転神経に合流するこれらの内頸動脈神経由来の神経線維は、ほとんどすべて無髄神経線維で、外転神経内に入っても、その大部分はそれらだけで別個の線維束を形成して走り、外転神経固有の有髄神経線維の束とは区分される。但し一部の少数の無髄線維は、外転神経固有の有髄線維の束内に混入する。内頸動脈神経叢から外転神経に合流する上記の無髄線維の大部分は、しばらく外転神経内を末梢方向へ走るが、外転神経が鼻毛様体神経、前頭神経、涙腺神経、長毛様体神経および動眼神経下枝との間に形成する交通枝を介して、外転神経から再び分離し、これらの諸神経の内に入り、その神経線維に混入する(図1)。上記の交通枝のうち、動眼神経下枝に至るものは、後述のように毛様体神経節に達する。

眼神経は、三叉神経節から起こり、大部分大径および小径有髄線維からなる。上眼窩裂を通過して眼窩に進入する際に、眼神経は鼻毛様体神経と前頭神経に分岐する(図1)。

鼻毛様体神経は、眼窩の後方部で細い涙腺神経と長毛様体神経を分枝し、続いて動眼神経の上・下枝および外転神経へそれぞれ小さな交通枝を出したのち、外転神経および前記の翼口蓋神経節の眼窩枝から交通枝を受け、前走して視神経の上側でこれを横切って眼窩内側壁に近づき、前篩骨神経を分枝したのち、終枝である滑車下神経になる(図1)。前篩骨神経は、同名動脈とともに前篩骨孔を通過して鼻腔に達する。マウスに

おいては、ヒトの場合と異なり、滑車下神経は著しく強大で、上斜筋に沿って内眼角へ走る。その末梢分枝については後に触れる。

前頭神経は、上眼窩裂で滑車神経へ小さな交通枝を出し、外転神経および翼口蓋神経節の眼窩枝から交通枝を受けた後、細い滑車上神経を分枝し、終枝である眼窩上神経になる。滑車上神経は、同名動脈に伴行して内眼角へ走る(図1)。その末梢分枝については後に触れる。眼窩上神経は、同名動脈に伴行して眼窩上縁へ走り、前頭部の皮膚に分布する。

涙腺神経は、上眼窩裂で鼻毛様体神経から分枝し、外転神経から無髄線維よりなる交通枝を受け、ついで翼口蓋神経節からの眼窩枝を受けた後、頬骨神経へ交通枝を出し、涙腺動脈に伴行して外眼角へ走る(図1)。その末梢分枝については後に触れる。

頬骨神経は、ヒトの場合と異なり、三叉神経節から直接起始し、大部分大径および小径有髄線維からなる。頬骨神経は、翼口蓋窩を通過して、眼窩と側頭窩との境を走り、涙腺神経から交通枝を受けた後、頬骨側頭枝と頬骨顔面枝に分岐する。これらはそれぞれ上眼瞼および下眼瞼の外眼角付近に達し、さらに末梢へ走る(図1)。その末梢分枝については後に触れる。頬骨側頭枝と頬骨顔面枝の間を上記の涙腺神経と涙腺動脈が外眼角方向へ走る。

長毛様体神経は、鼻毛様体神経から分枝し、更に2枝に分かれて視神経に沿って前走し、視神経進入部の左右で眼球壁に進入する。この間、外転神経および翼口蓋神経節の眼窩枝から小さな交通枝を受ける。

動眼神経、滑車神経ならびに外転神経は、脳から出てまもない部で、いずれも大部分、大径および小径有髄神経線維からなり、それぞれ三叉神経知覚根と三叉神経節の内側面、背内側面、腹内側面に沿って前方へ走り、三叉神経節の前端付近で徐々に走向を外側に転じ、上顎神経の起始部をその背側で横切り、眼神経とともに、上眼窩裂を通過して眼窩に入る。

動眼神経は、上眼窩裂を通る際、上枝と下枝に分岐する。上枝は、鼻毛様体神経の起始部をその背側で横切り、鼻毛様体神経から交通枝を受けた後、上直筋に分布する枝を出し、ついで上眼瞼挙筋に分布する。動眼神経の下枝は、鼻毛様体神経の起始部をその腹側で横切り、外転神経および鼻毛様体神経から交通枝を受けた後、その末梢側の神経束中に毛様体神経節を保有する。下枝はその末梢側で、内側直筋への枝、ついで下直筋への枝を出し、下直筋に沿って前走し、その末梢は下斜筋に分布する。

上記のように、マウスではヒトの場合と異なり、毛

様体神経節は動眼神経の下枝の走路中に存し、下枝から内側直筋への枝が分かれる部のすぐ中枢側に存在する。したがって、ヒトにおいて観察される毛様体神経節への動眼神経下枝からの根は、マウスにおいては独立した根として認められず、下枝内の神経線維が神経節の神経細胞体及びその突起の周囲に神経終末を作って終わっているのが認められる。毛様体神経節は、前方へ2~3本の短毛様体神経を出す。短毛様体神経は、さらに分枝して、視神経に沿ってその外鞘の外面を眼球に向かって走る。しばしば短毛様体神経の走行中に、5~6個の神経細胞からなる小神経節が散見される。これらはおそらく、毛様体神経節の神経細胞が末梢側へ移動したものであろう。短毛様体神経は、すべて眼球の後部で眼球壁に進入する。

滑車神経は、すでに述べたように上眼窩裂で前頭神経から交通枝を受けるが、そのうち上斜筋に分布する。外転神経は、すでに述べたように鼻毛様体神経、前頭神経、涙腺神経、長毛様体神経および動眼神経下枝などへ、これらとの間に在る交通枝として、内頸動脈神経から受けた無髄神経線維を送った後(図1)、鼻毛様体神経から交通枝を受け、ついで眼球牽引筋に分布する枝を分かち、その終枝は外側直筋に分布する。

以上が、眼窩内外における主な神経とその枝の分布であるが、このうち、本論の主題である瞼板筋の神経支配に直接関係あるものを列挙すると、1)滑車上神経、2)滑車下神経、3)涙腺神経、4)頬骨神経の頬骨側頭枝、および5)頬骨神経の頬骨顔面枝がある。以下これらの神経の末梢分枝について述べる。

滑車上神経と滑車下神経は、内眼角に近づくと、それぞれ上枝と下枝に分岐する。内眼角の近傍で、上枝と上枝の間および下枝と下枝の間にそれぞれ1本の交通枝がある(図1)。

滑車上神経の上枝は、上瞼板の上縁に沿って外走し、上瞼板筋および上瞼板腺のそれぞれの内側部に分布する(図1)。滑車下神経の上枝は、眼窩隔膜を貫いて、上眼瞼の内側部や鼻根の皮膚に分布するが、眼窩隔膜を貫くまえの部で、3~4本の小枝を出す。これらの小枝のうち、一部のものは、上瞼板筋の内側部を貫いて、上眼瞼の結膜の固有層内に達し、上結膜神経叢の構成に内側から参加し、残りの小枝は、眼窩隔膜の側から上瞼板筋に入り、その内側部に分布する(図1)。

滑車上神経の下枝と滑車下神経の下枝は、ともに涙小管をその前方で上方から下方に横切って走り、下眼瞼に達する。滑車上神経の下枝は、下瞼板の下縁に沿って外走し、下瞼板筋および下瞼板腺の内側部に分布する(図1)。滑車下神経の下枝は、上枝に比してはる

かに細く、上記の滑車上神経との交通枝の末梢側で、3~4本の小枝に分岐する。これらの小枝のうち、比較的太い1~2本の枝が下眼瞼の結膜固有層内に達し、下結膜神経叢の構成に内側から参加し、残りの小枝が下瞼板筋の内側部に分布する(図1)。

涙腺神経は、外眼角に近づくと、上枝と下枝に分岐する。涙腺神経の上枝は、頬骨側頭枝から細い交通枝を受け、上瞼板の上縁に沿って内走し、上瞼板筋および上瞼板腺の外側部に分布する(図1)。頬骨神経の頬骨側頭枝は、眼窩隔膜を貫いて側頭部の皮膚に分布するが、眼窩隔膜を貫く前で、涙腺神経の上枝へ交通枝を出すとともに、3~4本の小枝を分かち、これらの小枝の一部は、上眼瞼の結膜固有層に存する上結膜神経叢の構成に、外側から参加するとともに、一部の小枝は直接上瞼板筋の外側部に分布する(図1)。

涙腺神経の下枝は、頬骨顔面枝から交通枝を受け、涙腺の導管に伴行する枝を出した後、下瞼板の下縁に沿って内走し、下瞼板筋および下瞼板腺の外側部に分布する(図1)。涙腺の導管に伴行する枝は、導管周囲神経叢¹⁴⁾を形成し、導管の周囲に沿って走り、内涙腺および外涙腺に達する。頬骨顔面枝は、眼窩隔膜を貫いて、下眼瞼の外側部や頬骨部の皮膚に分布するが、眼窩隔膜を貫く前で、上記の涙腺神経との交通枝を有するほか、3~4本の小枝を出す。これらの小枝は、下眼瞼の結膜固有層内に存する下結膜神経叢の構成に、外側から参加するとともに、その一部は下瞼板筋の外側部に分布する(図1)。

上結膜神経叢と下結膜神経叢は、それぞれ上・下眼瞼の結膜固有層内にあるが、これから神経線維が、上・下瞼板筋および上・下瞼板腺に入る(図1)。

以上の所見から、瞼板筋に分布する神経枝を総括する。上瞼板筋のうち、その内側ほぼ半分は、滑車上神経の上枝と、これに合流する滑車下神経の上枝からの交通枝、および滑車下神経の上枝の末梢部における小さな側枝によって支配される(図1)。また上瞼板筋の外側ほぼ半分は、涙腺神経の上枝と、これに合流する頬骨神経の頬骨側頭枝からの交通枝、および頬骨側頭枝の末梢部における小さな側枝によって支配される(図1)。下瞼板筋のうち、その内側半分は、滑車上神経の下枝と、これに合流する滑車下神経下枝からの交通枝、および滑車下神経下枝の末梢部における小終枝によって支配される(図1)。また下瞼板筋の外側ほぼ半分は、涙腺神経の下枝と、これに合流する頬骨神経の頬骨顔面枝からの交通枝、および頬骨顔面枝の末梢部における小さな側枝によって支配される(図1)。この際、上記の側枝あるいは終枝と呼ばれた小神経束は、

その一部は直接脛板筋に入るが、一部は、内側と外側に由来するものが交錯して、結膜固有層内に上・下結膜神経叢を作り、これを経て脛板筋内に分布する(図1)。以上脛板筋に達する神経要素は、その大部分が無髄神経線維からなり、小数の小径有髄線維を含むことが特徴である。

ここで、神経染色を施した連続切片の顕微再構築所見から、脛板筋に分布する神経線維の由来と筋に至るまでの走路を考察することにする。脛板筋には、つぎの3種の神経線維が分布すると考えられる。第1は、上頸神経節由来の交感神経節後線維、第2は、翼口蓋神経節由来の副交感神経節後線維、第3は、三叉神経由来の求心性神経線維である。

交感神経節後線維は、上頸神経節の神経細胞に発し、内頸動脈神経を経て内頸動脈神経叢に達し、ここからつぎの2種の走路を経て三叉神経の末梢枝に混入して、脛板筋に達すると推測される。第1に推測される走路は、内頸動脈神経叢から深錐体神経を経て、翼突管神経内を走り、翼口蓋神経節に達し、ここを通過して、この神経節内の神経細胞に発する副交感神経節後線維とともに、この神経節の眼窩枝を経て、これが吻合する鼻毛様体神経→滑車下神経、前頭神経→滑車上神経、涙腺神経、および涙腺神経から線維を受ける頬骨神経の頬骨側頭枝ならびに頬骨顔面枝の末梢部の側枝などを経て、脛板筋に達するものである。第2に推測される走路は、内頸動脈神経叢を走り、これと外転神経との交通枝を通して外転神経に移行した後、外転神経からの交通枝を通り、鼻毛様体神経、前頭神経、涙腺神経などに入り、これを介して脛板筋に達するものである。したがって第2の経路では、鼻毛様体神経以下は第1の経路とほぼ一致する。

上頸神経節を発する交感神経線維が、これらの2経路をとるか否かは、切断実験にまたねばならないが、これについて、次章に述べることにする。

II. 脛板筋に分布する神経線維を含む神経の電顕所見と内頸動脈神経切断後のその変化

脛板筋に分布する交感神経節後線維の経路は、神経枝の分布所見から上記のように推測されるが、これを明らかならしめるために、内頸動脈神経、翼突管神経、外転神経の海绵静脈洞部、滑車上神経、滑車下神経、涙腺神経、頬骨神経の頬骨側頭枝および頬骨顔面枝を薄片とし、電顕によって検し、続いて内頸動脈神経起始部または頸部交感神経幹を切断した後の、上記各神経における神経線維の二次変性を検し、上記節後線維の経路を追及した。

1. 内頸動脈神経

1) 正常所見

まず、電顕検索用に固定・包埋した試料の、厚さ約1 μ の切片を、toluidine blueで染色し、光顕によって検すると、内頸動脈神経は、その起始部の横断面が、薄い神経周膜に囲まれた直径約85 μ の円形を呈し、ほとんど無髄神経線維のみからなるが、極めて細い有髄神経線維も1~3本含んでいる(写真1)。この横断面積を基準とし、さらに神経内の各部の横断薄片を電顕で観察し、その一定面積中に含まれている神経線維の数をかぞえ、面積の比から、全神経内に含まれている神経線維の数を求めた。この作業によって、内頸動脈神経には、無髄神経線維約5,300本と、小径有髄神経線維1~3本とが存在することが判明した。無髄神経線維の軸索は、直径0.2~2.0 μ (平均0.8 μ)で、小径有髄神経線維は、軸索の直径約1.0 μ で、髄鞘の厚さ約0.15 μ である(写真7)。これらの神経線維の超微構造は、従来記載の哺乳類一般末梢神経のそれと同様である¹⁵⁾。すなわち、軸索内部に神経細線維、神経細管、ミトコンドリアなどが存在する。ミトコンドリアは、軸索の走る方向に細長い(写真7)。

2) 内頸動脈神経起始部切断後の変化

内頸動脈神経を起始部で切断すると、この神経を構成する神経線維は、切断部より末梢側ですべて二次変性に陥る。その経時的微構造変化については、マウス涙腺導管周囲神経叢についての切断実験に関する報告¹⁴⁾¹⁶⁾とほぼ一致する結果を得た。

すなわち、術後16時間では、切断部より末梢側の無髄軸索に、局所的な腫大(最も大きな部で径約5 μ)が現われ、その内部に大略つぎの2様の変性像が認められる。第1は、腫大した軸索内に、ミトコンドリア、神経細管などが集簇して軸索内を満たし、いわゆる暗調化変性¹⁴⁾の初期像であり、第2は、腫大した軸索内に、雲状に変性産物が散在している、いわゆる明調化変性¹⁴⁾の初期像である(写真8)。同一の軸索でも部位によって変化は区々で、腫大した部の間に細い部もあり、全体として数珠状を呈する。ミトコンドリアの多くは、球状に腫大しているが、この時期ではクリスタはなお保持されている。軸索膜には断裂がみられない。

術後24時間では、軸索は全長にわたって、完全に上記2様の変性に陥る(写真9)。この時期になると、軸索膜に断裂や凹凸が現われ、ミトコンドリアや、内部に小胞を含む多胞小体の内部の構造は一部崩壊し、電子密度を増し、全体として不規則塊状の集合体を呈する。

術後2日になると、Schwann細胞はやや腫大し、軸索変性産物の取り込みを示す。すなわち、軸索膜は

断裂消失し、変性産物は Schwann 細胞の細胞質内に封入体状に存在する (写真 10)。少数ではあるが、この時期に疎化ミエリン¹⁶⁾¹⁷⁾の存在を認めた。これは、小径有髄神経線維の髄鞘の二次変性産物であろう。

術後 4 日では、Schwann 細胞内の変性産物は著明に減少し、Schwann 細胞は、細長い多数の突起を伸ばしている。この時期では、内頸動脈神経内に、正常な無髄および有髄軸索を全く認めない。Schwann 細胞は肥大し、神経束はいわゆる Büngner 束の構成を示す (写真 11)。

術後 7 日では、Schwann 細胞の突起の数がさらに増加する。

3) 交感神経幹を上頸神経節の尾方で切断した後の変化

この場合、術後 24 時間で、薄切片で検すると、内頸動脈神経を構成する軸索のうち、極めて少数の無髄線維の軸索が変性像を示した。

以上 2), 3) の神経切断実験所見は、内頸動脈神経を構成する軸索が、ほとんどすべて上頸神経節に由来する交感神経節後線維に属することを示している。

2. 翼突管神経

1) 正常所見

翼突管神経が深錐体神経と大錐体神経の合流によって形成されるすぐ前の部でこれらを検すると、深錐体神経は、その横断面が直径約 50μ の円形を呈し、ほとんど無髄神経線維のみからなるが、極めて細い有髄線維を 1~2 本含んでいる。大錐体神経は、その横断面が直径約 75μ の円形を呈し、小径有髄線維と無髄線維をともに多数有し、束内でこれらが混在している。両神経合流直後の翼突管神経は、その横断面が長径約 110μ 、短径約 45μ の楕円形を呈し、その一側に、深錐体神経に由来する無髄線維が、独自の束をなして走っているが、やがてこれらは他の神経線維と混じりあって、これを末梢へ追及することは困難であった。翼口蓋神経節にはいる少し前の部における翼突管神経は、その横断面が直径約 90μ の円形を呈し、内部で小径有髄線維と無髄線維とが混じり合っている。

光顕所見と薄切片の電顕像から算定すると、翼突管神経には、約 3,900 本の無髄神経線維と約 250 本の小径有髄神経線維の存在を認める。小径有髄線維の軸索は、径 $0.7\sim 2.0\mu$ で、その髄鞘の厚さが $0.05\sim 0.3\mu$ である。これらの神経線維の超微構造は、前述の内頸動脈神経のそれと同様である。

2) 内頸動脈神経切断後の変化

内頸動脈神経切断 24 時間後の試料で、翼突管神経内の無髄神経線維軸索の約 70% のものが、上記の明調化

変性ないし暗調化変性を示した。しかし残りの約 30% の無髄線維軸索には、変性像が見られなかった。またこのとき小径有髄神経線維にも変性所見を見いだすことができなかった。

上記の神経切断実験は、翼突管神経を構成する無髄線維軸索の約 70% が、上頸神経節に由来する交感神経節後線維に属することを示している。

3. 外転神経の海綿静脈洞部

1) 正常所見

すでに述べたように、内頸動脈神経叢の大部分の神経線維は、交通枝として、束をなして外転神経に合流するが (写真 2)、この種の神経線維は、外転神経に入ると、外転神経固有の有髄線維束の周囲に、横断面で三日月形ないし馬蹄形を呈する無髄線維束を形成して、末梢に走る (写真 3)。この部の外転神経は、横断面で直径約 110μ の円形を呈し、横断面積の約 16% が、上記の内頸動脈神経由来の無髄線維束で占められている (写真 3)。

この種の無髄線維束は、外転神経の海綿静脈洞部において約 1.5mm の距離にわたって本来の外転神経線維束と共に走るが、やがて、すでに述べた鼻毛様体神経、前頭神経、涙腺神経などへ交通枝として出ることによって外転神経を去り、これらの神経へ移行し (写真 4)。さらに滑車上神経、滑車下神経、涙腺神経などの末梢枝に達する。

すでに述べた算定法によって神経線維の数を算定すると、外転神経の海綿静脈洞部は、約 1,600 本の無髄線維と約 190 本の有髄線維を含んでいる。有髄神経線維は、大径のものが圧倒的に多く、小径のものはこれに比して少ない。これらの無髄および有髄神経線維の超微構造は、一般末梢神経のものと同様である (写真 12)。

2) 内頸動脈神経切断後の変化

内頸動脈神経切断後、外転神経の海綿静脈洞部内の無髄線維は、ほとんどすべて二次変性に陥る (写真 13, 14)。その経時的微構造変化は、上述の内頸動脈神経における変性所見とほぼ一致する。

なおこの検索過程で、海綿静脈洞の付近を走る動眼神経と滑車神経をも電顕で検したところ、これら 2 種の神経も少数の無髄線維を含んでいることを見いだしたが、この無髄線維は、内頸動脈神経切断後にもかかわらず、全く変性を示さなかった。

以上の正常ならびに切断実験の所見は、外転神経の海綿静脈洞部に存する無髄神経線維が、ほとんどすべて上頸神経節由来の交感神経節後線維に属し、付近を走る同部の動眼神経と滑車神経には、この種の神経線維

が全く含まれていないことを示している。

3. 滑車上神経, 滑車下神経, 涙腺神経, および頬骨神経の頬骨側頭枝と頬骨顔面枝

1) 正常所見

上記諸神経を, その起始部よりやや末梢側で検した。

滑車上神経は, その横断面で, 直径約 15μ の円形を呈し, 内に無髓線維約 260 本と小径有髓線維 3~4 本を含む。滑車下神経は, その横断面で, 長径約 180μ , 短径約 70μ の楕円形を呈し, 内に約 2,500 本の無髓線維と, 約 670 本の大径もしくは小径の有髓線維を含んでいる。涙腺神経の横断面は, 径約 24μ の円形を呈し, 約 450 本の無髓線維と, 4~5 本の小径有髓線維の存在を示す。頬骨側頭枝と頬骨顔面枝は, いずれもその横断面が, 長径約 130μ , 短径約 90μ の楕円形を呈し, 両神経枝ともに約 1,400 本の無髓線維と, 約 380 本の大径もしくは小径の有髓線維を含んでいる。

なお, 涙腺神経が頬骨顔面枝から交通枝を受けた後に形成する涙腺導管周囲神経叢¹⁴⁾は, 外涙腺の導管の中央で検すると, 直径 5~ 20μ の 4~5 条の神経束からなり, それらすべてが含む神経線維は, 無髓線維約 1,600 本, 小径有髓線維 14~15 本であった。

以上の所見で注目すべきことは, これらの諸神経はすべて多数の無髓線維と少数の小径有髓線維を含むが, 滑車下神経と頬骨神経の両枝にはそのほか大径の有髓線維が大量に存在し, 滑車上神経と涙腺神経には大径有髓線維が存在しないことである。

2) 内頸動脈神経切断後の変化

変性に陥る神経線維の数の明確な算定は今回の実験では困難であったが, 切断実験 24 時間後で, 上記 5 種の各神経において, 多数の無髓線維の軸索が二次変性に陥ることが見いだされた (写真 15, 16)。しかしこのとき, 涙腺導管周囲神経叢には, このような変性所見を見いだせなかった。

なおこの際, 動眼神経の末梢枝のうち, 下斜筋に分布する枝について, 上記と同様に神経線維の二次変性像を検したが, この神経枝に含まれる少数の無髓線維には全く変性が認められなかった。

以上の実験結果は, 三叉神経の末梢枝である滑車上神経, 滑車下神経, 涙腺神経, および頬骨側頭枝と頬骨顔面枝には, 上頸神経節由来の交感神経節後線維が含まれているが, 涙腺導管周囲神経叢と動眼神経の末梢枝である下斜筋への神経枝には, この種の神経線維が全く含まれていないことを示している。

Ⅲ. 脛板筋における神経終末の微構造と神経組織化学的特性, ならびに内頸動脈神経切断あるいは上頸神経節切除後のこれらの変化

1. 写真銀法所見

1) 正常所見

写真銀法によると, 末梢神経線維の軸索は黒色ないし黒褐色に銀染され, 神経細胞およびその樹状突起は褐色ないし黄褐色に染まる。脛板筋をこの方法によって光顕で検すると, 脛板筋に分布する神経束は, 外部から筋内に進入するにしたがって, 分岐と吻合をかさね, 筋内に細い神経束の網を作る。はじめは神経束内に多数の微細な無髓軸索と少数のやや太い軸索を含んでいるが, 末梢に進んで神経束が細くなるにしたがって, 軸索の数が減じ, この間, 無髓軸索は Schwann 細胞に囲まれて末梢に進み, 平滑筋細胞の間を走り, 所々で瘤状の腫大を形成し, 瘤状の腫大と腫大の間は細い軸索でつながれている (写真 5)。以上のようにして, 無髓軸索はいわゆる神経終末網, neural terminal net¹⁸⁾¹⁹⁾を形成している。一方, やや太い軸索は, 小径有髓線維の軸索で, 筋の外面および内部の結合組織内で分岐して次第に細くなり, 尖鋭状の遊離終末を形成する。

2) 内頸動脈神経切断後の変化

内頸動脈神経切断後 16 時間~3 週にわたって経時的に脛板筋を検した。無髓神経軸索は, 切断 24 時間後ごろから, 軸索の表面がやや粗雑となり, その染色性が赤褐色を呈するものが見られ, やがて多数の無髓軸索が, その染色性を減じて, 小顆粒に断裂し, 切断 4 日以後には, 正常な無髓線維軸索の数が著しく減少する。このとき, Schwann 細胞は核がやや肥大し, 細胞質も腫大して, 神経束内に並び, いわゆる Büngner 束を形成する。この状態でも, 変性神経束内に, なおかなり多数の表面平滑な無髓線維軸索が存在する。注目すべきは, 小径有髓線維に由来する遊離終末には, このとき変化が認められず, 切断実験の影響を受けないことである (写真 6)。

3) 上頸神経節切除後の変化

上頸神経節切除後, 上記と同様経時的に, 写真銀法によって, 脛板筋内の神経要素の変化を光顕で検したが, その結果は, 内頸動脈神経切断後の所見と大差を認めなかった。

以上, 2), 3) の所見は, 脛板筋内の無髓神経線維の極めて多数が, 上頸神経節から発して内頸動脈神経を経て筋に達していることを示している。

2. 電顕所見

1) 正常所見

脛板筋に分布する神経束を電顕で観察すると, 薄い神経周膜に包まれて, 内部に数本から数十本の無髓神経線維が存在する。太い神経束において, 1~2 本の

小径有髄神経線維を含むものもある。これらの神経線維の超微構造は、一般末梢神経のそれと一致する。筋内において、神経束は、分岐を重ねて細くなり、神経周膜がみられなくなり、平滑筋細胞の間を走る。この部では、Schwann細胞内に包まれて1~数本の無髄軸索(径 $0.15 \sim 0.5\mu$)が走っている。軸索は所々で、径 $0.6 \sim 1.2\mu$ の腫大を形成し、しばしばその部でSchwann細胞の被鞘を脱し、外面に露出している(写

真17, 図2)。この軸索の腫大部は、写真銀法により光顕下に認められた前記の瘤状の腫大に相当する。

このような無髄神経軸索の瘤状腫大部は、細い軸索の所々に存する拡張部で、その内部に多数のシナプス小胞、ミトコンドリア、少数の神経細管および神経細線維を含み、すでに述べたように、この部でSchwann細胞の被鞘を失なって、平滑筋組織の組織腔に直接面している。このような部は、しばしば平滑筋細胞のピノ

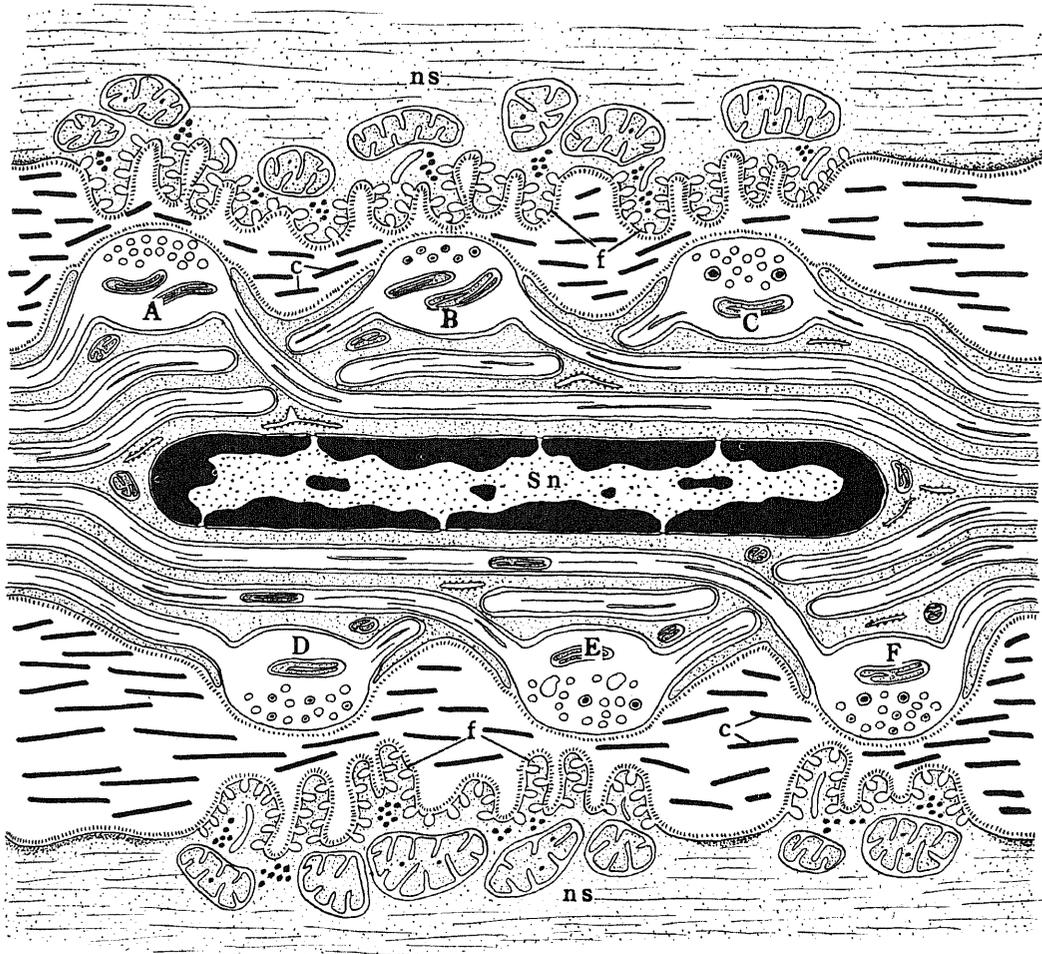


図2 マウス脛板筋内の各種神経終末の模式図

A: 多数の径約 500 \AA の無顆粒性小胞のみを含むA型終末, B: 多数の径約 500 \AA の小顆粒性小胞のみを含むB型終末, C: 多数の径約 500 \AA の無顆粒性小胞と少数の径約 $1,000 \text{ \AA}$ の大顆粒性小胞を含むC型終末, D: 径約 500 \AA の無顆粒性小胞と径約 500 \AA の小顆粒性小胞を含むD型終末, E: 径約 500 \AA の無顆粒性小胞, 径約 $1,000 \text{ \AA}$ の大顆粒性小胞および径約 $1,000 \text{ \AA}$ 以上の小胞体を含むE型終末, F: 径約 500 \AA の無顆粒性小胞, 径約 500 \AA の小顆粒性小胞および径約 $1,000 \text{ \AA}$ の大顆粒性小胞を含むF型終末, c: 膠原細線維, f: 平滑筋細胞のヒダ, ns: 平滑筋細胞, Sn: Schwann細胞の核

サイトーシス小胞密集部¹⁰⁾と相対して位置している。しかし、両者の間には500 Å以上(多くの場合0.1~1.0μ)の組織間隙が存し、通常、腫大部とこれに対する平滑筋細胞の表面には基底膜が存し、しばしばこの部に膠原細線維が介在している。腫大部が平滑筋細胞に密接する所見には接しなかった。以上の無髄軸索腫大部にみられる微構造特徴は、いわゆる遠距離シナプス(Synapse auf Distanz)²⁰⁾²¹⁾に相当するものである(写真17, 18, 図2)。しかし腫大部の外面を限る限界膜には、少数例でわずかに局所的肥厚を見るほか、特殊な分化した構造は認められなかった。なお、このような腫大部に対向する平滑筋細胞の部では、細胞膜の凹凸がはげしく、断面で指状を呈する多数のヒダがあり、この部にピノサイトーシス小胞が密集している(写真18, 図2)。

この種の神経終末は、その中に含まれるシナプス小胞の種類および数によって次の6型に区分される。A型)多数の径約500 Åの無顆粒性小胞のみを含むもの(写真19, 22)。B型)径約500 Åの小顆粒性小胞のみを含むもの(写真20, 21)。C型)多数の径約500 Åの無顆粒性小胞と、少数の径約1,000 Åの大顆粒性小胞を含むもの(写真20)。D型)径約500 Åの無顆粒性小胞と、径約500 Åの小顆粒性小胞を含むもの(写真22, 24)。E型)径約500 Åの無顆粒性小胞、径約1,000 Åの大顆粒性小胞および径約1,000 Å以上の小胞体を含むもの(写真23)。F型)径約500 Åの無顆粒性小胞、径約500 Åの小顆粒性小胞および径約1,000 Åの大顆粒性小胞の3種を含むもの(写真20, 24)。以上6型の自律神経終末を模式図として図2に示す。

今回の正常試料の電顕所見から、上記のような神経終末324例を観察したが、この内A型が34例(10.5%)、B型が2例(0.6%)、C型が11例(3.4%)、D型が230例(71.0%)、E型が6例(1.8%)、F型が41例(12.7%)であった。このうちB型は、少数でしかも小さく、D型の一部が小断面として示されたものと考えられ、E型は、C型とほぼ同質のものと考えられる。

なお、前述の小径有髄神経線維は(写真25)、脛板筋に入ると髄鞘を失い、その末梢軸索終末は電顕像の上で同定できなかった。

2) 内頸動脈神経切断後の変化

内頸動脈神経切断後、脛板筋に分布する無髄神経線維の軸索および神経終末は、その多数が二次変性に陥り(写真26, 27)、その数を著しく減ずる。すなわち、神経切断16時間後ごろより、脛板筋内の無髄線維軸索ならびにその終末に明調化変性や暗調化変性が現われ

始め、術後4日を過ぎると、軸索の変性産物はほとんどすべて消失し、術後7日では、無髄軸索の二次変性の全過程が終了し、変性に陥った軸索は完全に消失する。このような二次変性像およびその時間的推移は、マウスの他種の末梢神経について、実験的切断後、その終末部において報告された従来の知見にほぼ一致する¹⁴⁾¹⁶⁾²²⁾²³⁾。しかし、著者の行なった切断後においても、脛板筋内の一部の無髄軸索とその神経終末、および小径有髄線維は、正常のまま残存している。注目すべきことは、今回の検索において、術後24時間~2日の間に、筋内の小神経束中において、同一の腫大したSchwann細胞内に、正常な無髄軸索と変性に陥った無髄軸索が、同時に存在する所見にしばしば遭遇したことである(写真26, 27)。また、太い小径有髄線維の軸索が、髄鞘を脱した後、細い無髄軸索とともに同一のSchwann細胞内に包みこまれている像に接した。

術後7日の試料では、筋内を走る神経束内の無髄軸索が著しくその数を減じ、しばしば軸索を含まない腫大したSchwann細胞の断面が多数観察された。この時期に残存している神経終末は、すべてA型、C型ないしはE型に属し、これらには、小顆粒性小胞を含まない、という点に共通点が見いだされる。

以上の切断実験結果は、脛板筋に分布する無髄神経線維のうち、小顆粒性小胞を含む神経終末(B型、D型およびF型)を形成するものが、上頸神経節に由来する交感神経節後線維に属することを示している。また小顆粒性小胞を含まない神経終末(A型、C型およびE型)は、上頸神経節由来の交感神経節後線維の終末でないことを示唆している。

3. Catecholamine 蛍光検出法所見

脛板筋を paraformaldehyde と glutaraldehyde の混液で固定し、凍結切片を作って蛍光顕微鏡で検すると、脛板筋の平滑筋細胞の間に分布する無髄神経線維に一致して、catecholamine に特有な黄色を帯びた強い蛍光が観察される(写真28)。蛍光は、上記の瘤状腫大部において特に強く、これらをつなぐ細い軸索部ではやや弱い。

この catecholamine 蛍光は、内頸動脈神経切断後16時間で、著しく減弱し(写真29)、24時間以後、脛板筋の全域で完全に消失する(写真30)。この所見は、脛板筋には、その終末部に多量の catecholamine を含むいわゆる adrenaline 作動性の無髄神経線維が多数分布し、それらがすべて上頸神経節に由来することを示している。

なお、滑車上神経および滑車下神経を、同時にそれ

ぞれの起始部のやや末梢側で切断し、2日後に脛板筋を検索したが、上・下脛板筋ともに、それらの内側部約半分の領域で、catecholamine 蛍光が消失することが認められた。また、涙腺神経および頬骨神経の頬骨側頭枝・頬骨顔面枝を、同時にそれぞれの起始部のやや末梢側で切断し、2日後に同様にして検したが、上・下脛板筋の外側部約半分の領域で、catecholamine 蛍光が消失することが見いだされた。

この実験結果は、脛板筋に分布する adrenaline 作動性神経線維のうち、脛板筋の内側半分に分布するものが、滑車上神経ないしは滑車下神経を経て脛板筋に達し、脛板筋の外側半分に分布するものが、涙腺神経、頬骨側頭枝ないしは頬骨顔面枝を経て脛板筋に達することを示している。

4. Acetylcholinesterase 活性検出法所見

脛板筋の凍結切片を作り、acetylthiocholine iodide・sodium citrate・硫酸銅・赤血塩・ 10^{-5} M, DFP を含む基質液にこの切片を浸漬し、acetylcholinesterase 活性を光顕で検すると、脛板筋に分布する無髄神経線維の中に、acetylcholinesterase 活性に特有な赤褐色の陽性部位が、少数ながら見いだされた(写真31)。この acetylcholinesterase 活性を示す神経線維は、脛板筋の筋層全域に分布している。

内頸動脈神経切断、あるいは上頸神経節切除後24時間～1月の間にわたって、脛板筋の acetylcholinesterase 活性を検したが、上記の無髄神経線維の一部が示す acetylcholinesterase 活性は、術後全く減弱ないし消失しなかった。

以上の結果は、脛板筋に分布する無髄神経線維のうち少数のものが、choline 作動性神経線維に属し、この種の線維が内頸動脈神経に由来しないことを示している。

考 察

1. 脛板筋に分布する神経

ヒトの脛板筋の神経支配に関しては、交感神経のみがこれに携わっていると、一般に考えられている²⁾⁴⁾。既に緒言でも言及したように、脛板筋支配に関与する交感神経の節前線維は、頸髄下部および胸髄上部の側柱細胞から起こり、第1～4胸神経の前根を通り、白交通枝を経て交感神経幹に入り、これを上行して上頸神経節の神経細胞に終るとされている³⁾。また、上頸神経節の神経細胞から発する交感神経節後線維のうち、脛板筋の神経支配にあずかるものは、内頸動脈神経を

経て内頸動脈神経叢に入り、この中を末梢に走り、中頭蓋窩に達し、ここで、内頸動脈神経叢から動眼神経への交通枝を経て動眼神経に入り、動眼神経中を末梢方向へ走り、動眼神経の上枝ならびに下枝を通り、続いて、動眼神経上枝の上直筋への枝と上眼瞼挙筋への枝、動眼神経下枝の内側直筋への枝、下直筋への枝および下斜筋への枝を経て、脛板筋に至ると一般に考えられている³⁾²⁾⁴⁾²⁵⁾。

今回、マウスで、軸索染色を施した連続切片の光顕再構築観察により、中頭蓋窩において、内頸動脈神経叢内の多数の無髄線維が、叢から別れて交通枝を形成して外転神経に入ることが見いだされ、内頸動脈神経切断後、この種の無髄線維が変性に陥ることが判明した。また、内頸動脈神経叢から、動眼神経、滑車神経、三叉神経、あるいは毛様体神経節に直接達する交通枝は、見いだされなかった。ヒトの場合にも、内頸動脈神経叢からの外転神経への交通枝の存在が、Johnston ら⁶⁾²⁶⁾により、肉眼検索によって報告されている。Johnston ら⁶⁾は、さらに、内頸動脈神経叢からの交通枝が、外転神経に合してこれと共に末梢へ走る部を組織切片として検し、ヒトの場合、この交通枝に由来する神経線維が、単に外転神経の神経周膜の外面に沿って走るにすぎず、本来の外転神経の神経線維と混じらないと報告している。著者の検したマウスの場合、内頸動脈神経叢からの交通枝に由来する神経線維は、外転神経の海綿静脈洞部内を神経周膜の内面に沿って走ることが確認された。

今回の電顕観察により、内頸動脈神経に約5,300本の無髄線維と1～3本の極めて細い有髄線維が含まれており、内頸動脈神経起始部切断後、これらの神経線維はほとんどすべて変性に陥るが、交感神経幹を上頸神経節の尾方で切断後、内頸動脈神経内には、変性に陥る神経線維がほとんど見いだされないことが明らかとなった。また、外転神経の海綿静脈洞部には、約1,600本の無髄線維が含まれており、その多くは外転神経の一侧に集まって末梢へ走るが、同側の内頸動脈神経切断後、これらの無髄線維がほとんどすべて変性に陥ることも電顕観察によって確認された。以上の実験結果は、外転神経の海綿静脈洞部に含まれている無髄線維が、ほとんどすべて、同側のの上頸神経節内の神経細胞から発する交感神経節後線維であり、内頸動脈神経を経て、外転神経の海綿静脈洞部に達する線維であることを示している。なお著者は、海綿静脈洞の近傍を走る動眼神経と滑車神経についても、同様の検索を行なったが、いずれの神経の場合にも、それらの神経束内に少数存する無髄線維には、内頸動脈神経切断

後、二次変性に陥るものを見なかった。この実験結果は、海綿静脈洞の近くを走る動眼神経と滑車神経には、内頸動脈神経に由来する交感神経節後線維が全く含まれていないことを示している。

前述の光顕再構築観察によって、内頸動脈神経叢から交通枝を経て外転神経に入った交感神経節後線維を末梢へ追及した結果、これらの交感神経線維は、外転神経の海綿静脈洞部を末梢方向へ走り、上眼窩裂の近くで、ほとんどすべてのものが、外転神経から別れ、前頭神経、鼻毛様体神経、涙腺神経、動眼神経下枝などに入ることを見いだした。これらのうち、動眼神経下枝に入った交感神経線維を、さらに末梢へ追及したところ、この交感神経線維は、動眼神経下枝内を神経周膜の内面に沿って末梢方向へしばらく走った後、動眼神経下枝内に存する毛様体神経節を通過し、短毛様体神経に進入することが判明した。この所見は、マウスの場合、動眼神経下枝に入る上記の交感神経線維が、ヒトの場合の毛様体神経節への交感神経枝を構成する交感神経線維に相当するものであって、陰板筋の神経支配にあずかるものではないことを示している。光顕検索に基づく上記の知見は、切断実験の電顕観察によっても支持される。すなわち、所見にも述べたように、毛様体神経節の存在部位より末梢で、動眼神経下枝の分かつ下斜筋への枝を、内頸動脈神経切断後、電顕で観察したが、この神経枝内に、変性に陥る無髄線維を見いだすことができなかった。

外転神経の海綿静脈洞部内を走る交感神経節後線維は、既に述べたように、光顕再構築観察による末梢への追及の結果、ほとんどすべてのものが、外転神経から別れ、上記の動眼神経下枝のほか、前頭神経、鼻毛様体神経、涙腺神経などに分かれて入るが、このうち涙腺神経に入った交感神経線維は、一部のものが、そのまま涙腺神経内を末梢方向へ走るが、大部分のものは、直ちに涙腺神経から別れ、頬骨神経に入る。一方、正常試料の軸索染色光顕再構築観察によって、前頭神経の枝である滑車上神経、鼻毛様体神経に続く滑車下神経、涙腺神経、頬骨神経の頬骨側頭枝ならびに頬骨顔面枝の5種の神経が、それぞれ、陰板筋に小神経束を送ることが明らかとなったので、内頸動脈神経切断後、上記5種の神経の起始部のやや末梢側の部で電顕観察した結果、いずれの神経内にも二次変性に陥る無髄線維が多数見いだされた。この実験結果は、上頸神経節由来の交感神経節後線維が上記5種の神経内に多数達していることを示している。また、同じ切断実験によって、陰板筋内の無髄線維とその終末が多数変性に陥るので、陰板筋内の無髄線維の少なくとも一部の

ものは、これらの諸神経内の交感神経節後線維に由来すると考えられる。Ruskell²⁷⁾は、サルで、上頸神経節切除後、涙腺神経を電顕で観察し、涙腺神経内に含まれている無髄線維の数が、正常な場合に比べて明らかに減少することを確認している。また、Thompson⁴⁾は、ネコの瞬膜筋について、電気刺激実験によって、上頸神経節由来の交感神経節後線維が、滑車下神経および頬骨神経を経由することを生理学的に示唆している。これらの報告は、著者の所見を支持するものであろう。

以上、論じてきたように、マウスの場合、陰板筋支配の交感神経節後線維の走路として、第1に、内頸動脈神経叢から外転神経の海綿静脈洞部を経由し、ついで三叉神経の眼窩への諸枝を経て陰板筋に達する走路がある。しかし、今回の光顕再構築観察の結果、このほか翼突管神経を経由する第2の走路の存在も推測される。すなわち、陰板筋支配に関与する交感神経節後線維の一部は、内頸動脈神経叢から深錐体神経を経て、翼突管神経内を末梢方向へ走り、翼口蓋神経節を通過し、翼口蓋神経節の眼窩枝を経て、前頭神経、鼻毛様体神経、涙腺神経などに入り、以後、第1の走路の場合と同じ走路を通して陰板筋に至る可能性がある。Shimozawa²⁸⁾は、マウスの翼突管神経を電顕で観察し、翼突管神経が、平均3,944本の無髄線維と243本の小径有髄線維とで構成されていることを明らかにしたが、著者が今回、マウス翼突管神経の神経線維構成を電顕で検した結果は、神経線維の数に関しては上記Shimozawaの結果とほぼ一致した。著者は、さらに、内頸動脈神経切断後、翼突管神経を電顕で観察し、翼突管神経内に含まれている約3,900本の無髄線維の約70%のものが、二次変性に陥ることを確認した。ヒトの場合、翼突管神経内を走る交感神経節後線維は、翼口蓋神経節を通過した後、翼口蓋神経節の枝である外側上後鼻枝、外側下後鼻枝、内側上後鼻枝、鼻口蓋神経、大口蓋神経、小口蓋神経などを経て、主に鼻腔と口蓋の粘膜の血管や腺に分布すると一般に考えられている²⁹⁾。しかし、翼突管神経を経由する交感神経節後線維の末梢分布が陰板筋の神経支配に関与するや否やは、現時点での断言を避けたい。

陰板筋が、滑車上神経、滑車下神経、涙腺神経、頬骨神経の頬骨側頭枝ならびに頬骨顔面枝から神経線維を受けており、内頸動脈神経切断後、これらの神経内の無髄線維に二次変性に陥るものがあることは、上述のとおりであるが、この際一部の無髄線維は変性に陥らない。この変性に陥らない無髄線維は、おそらく翼口蓋神経節の神経細胞から起こり、翼口蓋神経節の眼

窩枝を通して、上記の三叉神経の諸枝に入った副交感神経節後線維であろう。また今回の検索で、内頸動脈神経切断後、脛板筋内の無髄線維に変性に陥らないものがかなりあることが判明したので、脛板筋は、上記の諸神経から、交感神経節後線維のみならず、翼口蓋神経節由来の副交感神経節後線維をも受けていると考えられる。このことは、著者が同時に行なった acetylcholinesterase 活性の組織化学的証明により、脛板筋内の神経に同証明法で陽性の知見を得たことから確実である。

既に述べたように、滑車上神経、滑車下神経、涙腺神経、頬骨神経の頬骨側頭枝ならびに頬骨顔面枝から、脛板筋に分与される神経束内には、多数の無髄線維に加えて、数本の小径有髄線維が含まれているが、これらの小径有髄線維は、内頸動脈神経切断後、変性に陥らない。この所見は、脛板筋に分布する上記の小径有髄線維が、三叉神経由来の求心性神経線維であることを示唆している。

2. 脛板筋内の神経終末

今回、著者は、軸索を染める銀染色法標本の光顕観察により、外から脛板筋に進入した小神経束が、筋内で分岐と吻合を重ねながら広がり、筋層全域に細い神経束の網を形成することを確認した。永井³⁰⁾も、ウサギで、同様な神経束の網を methylene blue 法で見ている。また、Lawrentjew ら³¹⁾と Knoche³²⁾も、銀染色法によりネコの瞬膜筋で、Clark³³⁾も、銀染色法によりネコの毛様体筋、瞳孔散大筋および瞳孔括約筋で、Hillarp³⁴⁾も、methylene blue 法によりラットの瞳孔散大筋と瞳孔括約筋で、同様な網の存在を報告している。

著者は、さらに、脛板筋内に分布している上記の細い神経束が、Schwann 細胞に包まれた 1~数本の無髄線維で構成され、これらの無髄線維軸索が、平滑筋細胞の間を走りつつ所々で瘤状の腫大を形成することを、銀染色法によって確認した。Jabonero³⁵⁾も、ネコ瞬膜筋で、OsO₄-ZnI₂ 染色法により、平滑筋細胞の間を走る無髄線維軸索が所々で瘤状に腫大することを報じている。

平滑筋内の神経終末部の構造に関しては、古く網状説の立場から Terminalretikulum 説^{36)~39)}、神経細胞的性格をもつとする Cajal の間質細胞説^{40)~42)}があるが、今回の検索では、マウス脛板筋内に、上記のような構造が見られず、電顕観察にも述べたように、Schwann 細胞のならんだ神経束中を軸索がこの細胞に包まれて走り、そのところどころで Schwann 細胞外に露出して小腫大の形の終末を形成しているこ

とが明らかとなった。これは、Honjin¹⁸⁾¹⁹⁾が光顕所見から予見した、Schwann 細胞とそれに包まれて走る多数の軸索からなる a large neural terminal net にほかならない。

Kuntz ら⁴³⁾は、動脈壁の平滑筋について、Hillarp³⁴⁾は、ラット虹彩の平滑筋について銀染色法あるいは methylene blue 法により、外転神経切断後、これらの平滑筋内の神経要素がすべて変性に陥ることから、古く Cajal 間質細胞と呼ばれた細胞が、神経軸索の鞘細胞である Schwann 細胞にほかならないと述べ、Jabonero ら⁴⁴⁾も、これに讃している。

今回、銀染色法による光顕観察の結果、脛板筋に進入した小径有髄線維軸索が、筋内で分岐を重ねて細くなり、平滑筋束間の結合組織内に尖鋭状の遊離終末を形成することを見いだしたが、これはその形からおそらく求心性の神経終末と考えられる。Honjin¹⁹⁾は、マウスの肺内の気管枝で、その平滑筋の一部の筋束を蔓状にとりまく、筋紡錘とも呼ぶべき求心性終末を報告しているが、今回の脛板筋では、このような終末は認められなかった。

今回の電顕観察によると、平滑筋細胞の間に存し、鞘細胞である Schwann 細胞のところどころで神経束外に露出している軸索の腫大部には、その内部に多数のシナプス小胞とミトコンドリアが含まれている。この腫大部は、光顕で小神経束の所々に認められる無髄軸索の瘤状腫大部に相当する。また、電顕観察により周囲の平滑筋細胞との位置的相関を検すると、この腫大部は、Schwann 細胞の被鞘を脱して組織腔に露出し、多くの場合、平滑筋細胞の表面のうちでピノサイトーシス小胞密集部と、0.1~1.0 μ の距離を隔てて対面していることが明らかとなった。著者の前報¹⁰⁾にも明らかのように、平滑筋細胞は、ピノサイトーシス小胞密集部で、代謝が活発であると考えられるので、神経終末と平滑筋細胞とのこのような密接な位置的相関は、興奮の伝達の見地からも重要であろう。

Esterhuizen ら⁷⁾は、ネコの瞬膜筋で、軸索腫大部と平滑筋細胞間には、多くの場合 600 Å 以上の間隔が存すると報じ、Honjin ら²⁰⁾²¹⁾は、ヒトの小腸と虫垂の粘膜炎筋板で、Nilsson⁴⁵⁾と Hökfelt ら⁴⁶⁾は、ラット虹彩の平滑筋で、多数のシナプス小胞を含む軸索腫大部と、平滑筋細胞との間に、通常、1,000 Å 前後の幅の組織腔が介在していることを電顕で確認し、Honjin ら²⁰⁾²¹⁾は、これらの軸索腫大部が遠距離シナプス型 (Synapse auf Distanz) の神経終末であることを指摘している。今回、マウス脛板筋内で観察された無髄軸索の腫大部も、この種の神経終末に属すると考えられ

る。

著者は、マウス脛板筋内に存する上記の神経終末を、その内部に含まれているシナプス小胞の種類と数とによって6種に分類した。その結果、無顆粒性小胞のみを含むもの(A型)が10.5%、小顆粒性小胞のみを含むもの(B型)が0.6%、多数の無顆粒性小胞と少数の大顆粒性小胞を含むもの(C型)が3.4%、無顆粒性小胞と小顆粒性小胞を含むもの(D型)が71.0%、無顆粒性小胞、大顆粒性小胞、小胞体を含むもの(E型)が1.8%、無顆粒性小胞、小顆粒性小胞、大顆粒性小胞を含むもの(F型)が12.7%であった。すなわち、D型に属する神経終末が圧倒的に多い。

内頸動脈神経切断後の電顕観察では、これらの神経終末及びこれが属する神経軸索の多数が変性に陥り、一部のものは正常のまま残存し、切断7日以後、残存する終末を明確に観察できる。それによると、この際正常に残存する神経終末は、上記6種の神経終末のうち、A、C、E型のいずれかに属していた。この実験結果は、正常なマウス脛板筋内に存する神経終末のうち、B、D、F型のいずれかに属する神経終末が、上頸神経節由来の交感神経節後線維の終末であることを示している。A、C、E型の神経終末と、B、D、F型の神経終末とを微構造の面から比較すると、前者は、小顆粒性小胞を含んでいないのに対し、後者は、多少とも小顆粒性小胞を含んでいる。このことは、交感神経節後線維の終末が、内に小顆粒性小胞を含有しているという微構造特徴をもつことを意味する。最近、中泉¹⁴⁾は、マウス涙腺の神経支配の研究で、副交感神経切断後、涙腺内の小顆粒性小胞を含む神経終末が残存することを明らかにしているが、この結果は著者の今回の検索結果とよく符合する。おそらく小顆粒性小胞を含まないA、C、E型の終末は、既に述べた翼口蓋神経節由来の副交感神経節後線維の終末であろう。この際問題となるのは、三叉神経由来の求心性神経終末であるが、これは特有な遊離終末を形成し、しかもその数が極めて少ないので、A、C、E型の終末が求心性終末である可能性は極めて小さい。

以上の知見は、神経組織化学的検索結果からも再確認できた。すなわち、脛板筋内に分布している無髄線維軸索およびその終末の多くのものに、catecholamine 蛍光が観察されることは、脛板筋内に多数のadrenaline 作動性神経線維が分布し、終末を形成していることを示し、また、筋内に分布している無髄線維の一部にacetylcholinesterase 活性が認められることは、脛板筋内にcholine 作動性神経線維も分布していることを示している。Page⁹⁾も、正常試料につい

て、catecholamine と acetylcholinesterase の活性がラット脛板筋に陽性であると報じている。著者は、さらに、神経変性時の組織化学検索を行ない、内頸動脈神経切断後、脛板筋に分布している上記のadrenaline 作動性神経線維のcatecholamine 蛍光が、すべて消失することを見いだした。このことは、脛板筋内に分布しているadrenaline 作動性神経線維が、すべて上頸神経節由来の交感神経節後線維に属することを示している。一方、脛板筋内に分布しているcholine 作動性神経線維のacetylcholinesterase 活性には、内頸動脈神経切断あるいは上頸神経節切除後、変化がみられない。以上の電顕検索結果と組織化学的検索結果は、小顆粒性小胞を含んでいる神経終末(B、D、F型)が、adrenaline 作動性神経線維の終末であることを示している。

さらに、滑車上神経と滑車下神経とを同時に切断すると、上・下脛板筋とも内側部約半分の領域で、上記のcatecholamine 蛍光が消失し、涙腺神経、頬骨神経の頬骨側頭枝および頬骨顔面枝を同時に切断すると、上・下脛板筋とも外側部約半分の領域で、catecholamine 蛍光が消失することが確認されたが、この実験結果は、脛板筋内に分布しているadrenaline 作動性神経線維およびその終末が、上記の三叉神経の枝から脛板筋に供給されることを示し、また、滑車上神経および滑車下神経から脛板筋に入ったものが、脛板筋の内側部に分布し、涙腺神経、頬骨側頭枝および頬骨顔面枝から脛板筋に入ったものが、脛板筋の外側部に分布することも示している。この組織化学的検索知見は、既に述べた光顕ならびに電顕所見とも符合する。

最近、各種の平滑筋や腺で、purine 作動性神経、あるいは非adrenaline・非choline 作動性神経の終末として、内部に大顆粒性小胞に類似しているがそれよりやや大型で、顆粒と限界膜との間隙が不明瞭ないわゆるopaque granule と、楕円形ないしは円形を呈する無顆粒性小胞を含むものが報告されているが^{47,48)}、今回検索したマウス脛板筋内には、上記のような神経終末を認めなかった。

結 論

脛板筋の神経支配、特に脛板筋に分布する交感神経節後線維の由来と筋に至るまでの走路、筋内の神経終末の微構造と組織化学的特性を、正常マウス、ならびに内頸動脈神経を切断して二次変性をおこさせたマウスについて、可視光顕微鏡、電子顕微鏡および蛍光顕微鏡によって検し、次の結果を得た。

1. マウス脛板筋は、上頸神経節由来の交感神経性

の無髄節後線維、翼口蓋神経節由来の副交感神経性無髄節後線維、および極めて少数の三叉神経由来の求心性小径有髄線維によって支配されている。

2. 交感神経節後線維は、上頸神経節より発し、内頸動脈神経、内頸動脈神経叢を経て、交通枝を介して外転神経に入り、さらに交通枝を介して前頭神経、鼻毛様体神経ならびに涙腺神経に入り、ついでこれらの神経の末梢枝である滑車上神経、滑車下神経、涙腺神経、頬骨神経の頬骨側頭枝と頬骨顔面枝に入り、これらの眼板筋への末梢枝を経て、眼板筋に達する。

3. 上・下眼板筋の受ける交感神経節後線維のうち、これらの筋の内側部に分布するものは、滑車上神経と滑車下神経を通り、外側部に分布するものは、涙腺神経、頬骨側頭枝と頬骨顔面枝を通り、筋に達する。

4. 眼板筋内に達した無髄神経線維は、小束からなる網を形成し、この部では、Schwann細胞内に包まれて無髄軸索が走り、軸索は、ところどころでSchwann細胞外に出て、瘤状に腫大した神経終末を形成する。小束の網に沿って、catecholamineならびにacetylcholinesterase活性が陽性である。その活性部位の分布強度は、catecholamine活性の方が強い。

5. 内頸動脈神経切断後、上記のcatecholamine活性は消失する。

6. 眼板筋内の上記瘤状腫大神経終末は、眼板筋の平滑筋細胞のピノサイトーシス小胞密集部に面し、平滑筋細胞との間に0.1~1.0 μ の距離をもち、いわゆる遠距離シナプス(Synapse auf Distanz)の特徴をもっている。

7. 無髄神経線維の瘤状腫大神経終末を、内部に含まれるシナプス小胞の種類によって、A~Fの6型に区分したが、この内、多かれ少なかれ小顆粒性シナプス小胞を含むB, D, Fの3型は、内頸動脈神経切断後の無髄線維の変性と共に変性消失する。これらは、交感神経節後線維の終末と考えられる。これに反し、小顆粒性小胞を含まないA, C, E型は、これを伴う無髄線維と共に、内頸動脈神経切断後、変性しない。これらは、副交感神経節後線維の終末と考えられる。

8. 内頸動脈神経切断後、眼板筋内の神経小束において、しばしば同一のSchwann細胞内に、変性した無髄軸索と変性しない正常な無髄軸索とが共存している所見に接した。このことは、眼板筋の自律神経末梢部においては、交感性及び副交感性の節後線維が同一のSchwann細胞内に包まれて走り、所々で、Schwann細胞の外部に露出し、その部に瘤状に腫大した神経終末を形成していることを示す。

9. 小径有髄線維は、極めて少ないが、眼板筋内で、

鋭角状の分枝に終る遊離性求心性終末を形成する。この種の小径有髄線維は、内頸動脈神経切断後、変性しない。

稿を終るに臨み、終始御懇篤な御指導と御校閲を賜った恩師本陣良平教授に感謝の意を表します。また神経組織化学検査法に関する有益な御助言を頂いた神経情報研究施設物性部門の中村俊雄教授に謝意を表し、御協力いただいた教室の宮下鎮憲、電子顕微鏡室の西村竹治郎・増村幸吉・山口稔毅の諸氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 吉岡愛智郎・萬年 甫：いわゆる「Horner 症候群」について。神経進歩, 9, 828 - 833 (1965).
- 2) Horner, F.: Ueber eine Form von Ptosis. Klin. Mbl. Augenheilk., 7, 193-198 (1869).
- 3) Duke-Elder, S. & Wybar, K. C.: The peripheral sympathetic system, p849 - 857. In S. Duke-Elder(ed.), System of ophthalmology, vol. II, Henry Kimpton Publishers, London, 1961.
- 4) Thompson, J. W.: The nerve supply to the nictitating membrane of the cat. J. Anat., 95, 371-386 (1961).
- 5) Ruskell, G. L.: The orbital branches of the pterygopalatine ganglion and their relationship with internal carotid nerve branches in primates. J. Anat., 106, 323-339 (1970).
- 6) Johnston, J. A. & Parkinson, D.: Intracranial sympathetic pathways associated with the sixth cranial nerve. J. Neurosurg., 39, 236 - 243 (1974).
- 7) Esterhuizen, A. C., Graham, J. D. P., Lever, J. D. & Spriggs, T. L. B.: Catecholamine and acetylcholinesterase distribution in relation to noradrenaline release. An enzyme histochemical and autoradiographic study on the innervation of the cat nictitating muscle. Br. J. Pharmac. Chemother., 32, 46 - 56 (1968).
- 8) Knoche, H. & Terwort, H.: Elektronenmikroskopischer Beitrag zur Kenntnis von Degenerationsformen der vegetativen Endstrecke nach Durchschneidung postganglionären Fasern, Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 141, 181 - 202 (1973).
- 9) Page, R. E.: The distribution and innervation of the extraocular smooth muscle in the orbit of the rat. Acta anat., 85, 10 - 18 (1973).

- 10) 山下利夫 : マウス腭板筋の形態と微構造について. 十全医会誌, 88, 1-12(1979).
- 11) Honjin, R. : Studies on the nerve endings in the small intestine. Cytol. Neurol. Stud., Kanazawa, 9, 1-14 (1951).
- 12) Furness, J. B., Costa, M. & Wilson, A. J. : Water-stable fluorophores, produced by reaction with aldehyde solutions, for the histochemical localization of catechol-and indolethylamines. Histochemie, 52, 159-170 (1977).
- 13) Karnovsky, M. J. & Root, L. : A "direct-coloring" thiocholine method for cholinesterases. J. Histochem. Cytochem., 12, 219-221 (1964).
- 14) 中泉裕子 : マウス外涙腺の神経支配, 特に腺内神経終末の超微構造と導管伴行神経束切断後の神経終末および腺細胞の変化について. 十全医会誌, 86, 686-713 (1977).
- 15) 本陣良平 : 神経線維の微細構造. 細胞, 3, 2-10 (1971).
- 16) 本陣良平 : 末梢神経損傷, 形態学的立場より. 日医会総会誌, 19, 925-928 (1975).
- 17) 本陣良平 : ミエリンの形成と崩壊. 蛋, 核, 酵, 22, 441-448 (1977).
- 18) Honjin, R. : The innervation of the pancreas of the mouse, with special reference to the structure of the peripheral extension of the vegetative nervous system. J. comp. Neurol., 104, 331-372 (1956).
- 19) Honjin, R. : On the nerve supply of the lung of the mouse, with special reference to the structure of the peripheral vegetative nervous system. J. comp. Neurol., 105, 587-626 (1956).
- 20) Honjin, R., Takahashi, A. & Tasaki, Y. : Electron microscopic studies of nerve endings in the mucous membrane of the human intestine. Okajima Folia anat. jap., 40, 409-427 (1965).
- 21) 本陣良平・高橋 暁 : 消化管におけるシナプスの電子顕微鏡所見. 細胞化学シンボ, 16, 59-74 (1966).
- 22) 山田光興 : 骨盤内臓神経と骨盤神経節の電子顕微鏡的研究. 十全医会誌, 79, 214-237 (1970).
- 23) 羽岡直樹 : マウス頬筋の神経支配, 特に運動終板の超微構造とその顔面神経切断後の変化. 十全医会誌, 84, 135-158 (1975).
- 24) Mitchell, G. A. G. : The sympathetic component, p203-204. In G. A. G. Mitchell(ed.), Anatomy of the autonomic nervous system, E. & S. Livingstone Ltd., Edinburgh & London, 1953.
- 25) Duke-Elder, S. & Wybar, K. C. : The palpebral muscles, p517-518. In S. Duke-Elder(ed.), System of ophthalmology, vol. II, Henry Kimpton Publishers, London, 1961.
- 26) Parkinson, D., Johnston, J. A. & Chaudhuri, A. : Sympathetic connections to the fifth and sixth cranial nerves. Anat. Rec., 191, 221-226 (1978).
- 27) Ruskell, G. L. : The distribution of autonomic post-ganglionic nerve fibers to the lacrimal gland in monkeys. J. Anat., 109, 229-242 (1971).
- 28) Shimozawa, A. : An electron microscopic analysis of the nerve of the pterygoid canal in the mouse. Anat. Rec., 173, 631-638 (1973).
- 29) Mitchell, G. A. G. : The superior cervical ganglion, p217. In G. A. G. Mitchell(ed.), Anatomy of the autonomic nervous system, E. & S. Livingstone Ltd., Edinburgh & London, 1953.
- 30) 永井正清 : ミューラ氏筋に関する実験的組織学的研究(その2)ミューラ氏筋の神経終末について. 大阪大医誌, 3, 509-513 (1951).
- 31) Lawrentjew, B. I. & Borowskaja, A. J. : Die Degeneration der postganglionären Fasern des autonomen Nervensystems und deren Endigungen. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 23, 761-778 (1936).
- 32) Knoche, H. : Morphologisch-experimenteller Beitrag zum lichtmikroskopischen Bau des vegetativen Nervensystems. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 55, 514-555 (1961).
- 33) Clark, S. L. : Innervation of the intrinsic muscles of the eye of the cat. J. comp. Neurol., 66, 307-325 (1937).
- 34) Hillarp, N.-Å. : The construction and functional organization of the autonomic innervation apparatus. Acta physiol. scand., 46, Suppl. 157, 1-38 (1959).
- 35) Jabonero, V. : Beobachtungen über die feinere Innervation der Nickhaut. Z. mikrosk.-anat. Forsch., 78, 511-556 (1968).
- 36) Stöhr, P. jr. : Mikroskopische Studien zur

Innervation des Magen-Darmkanales. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 12, 66-154 (1931).

37) Reiser, K. A. : Der Nervenapparat im Processus Vermiformis nebst einigen Bemerkungen über seine Veränderungen bei chronischer Appendicitis. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 15, 761-800 (1932).

38) Stöhr, P. jr. : Mikroskopische Studien zur Innervation des Magendarmkanales III. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 21, 243-278 (1934).

39) Reiser, K. A. : Über die Nerven der Darmmuskulatur. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 22, 673-693 (1935).

40) Jabonero, V. : Études sur le système neurovégétatif périphérique. I. Structure des fibres nerveuses. Acta anat., 6, 14-54 (1948).

41) Boeke, J. : The sympathetic endformation, its synaptology, the interstitial cells, the periterminal network and its bearing on the neurone theory. Discussion and critique. Acta anat., 8, 18-61 (1949).

42) Meyling, H. A. : Structure and significance of the peripheral extension of the autonomic nervous system. J. comp. Neurol., 99, 495-543 (1953).

43) Kuntz, A. & Napolitano, L. M. : Autonomic neuroeffector formations. J. comp. Neurol., 104, 17-31 (1956).

44) Jabonero, V., Prieto, R. L., Casas, A. P. & Bengoechea, M. E. : Neue Beobachtungen über die Endigungsweise der efferenten vegetativen Nervenbahnen. Eine experimentell-morphologische und histochemische Analyse. Z. mikrosk.-anat. Forsch., 67, 1-103 (1961).

45) Nilsson, O. : The relationship between nerves and smooth muscle cells in the rat iris. I. The dilator muscle. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 64, 166-171 (1964).

46) Hökfelt, T. & Nilsson, O. : The relationship between nerves and smooth muscle cells in the rat iris. II. The sphincter muscle. Z. Zellforsch. mikrosk. Anat., 66, 848-853 (1965).

47) Burnstock, G. : Purinergic nerves. Pharm. Rev., Baltimore, 24, 509-581 (1972).

48) Campbell, G., Haller, C. J. & Rogers, D. C. : Fine structural and cytochemical study of the

innervation of smooth muscle in an amphibian (*Bufo marinus*) lung before and after denervation. Cell Tiss. Res., 194, 419-432 (1978).

写真説明

写真1~6, 28~31は光顕写真, 写真7~27は電顕写真である.

Plate I

写真1. 内頸動脈神経の起始部の横断像. 薄い神経周膜に包まれ, 多数の無髄神経線維と2本の極めて細い有髄神経線維(m)が含まれている. Sn: Schwann細胞の核. toluidine blue染色. ×600.

写真2. 外転神経の海綿静脈洞部の横断像. 内頸動脈神経叢から由来した無髄神経線維束からなる交通枝(c)が, 本来の外転神経由来の有髄線維束の外面に密接している. toluidine blue染色. ×600.

写真3. 写真2の部よりわずかに末梢の部における外転神経の横断像. 矢印は, 内頸動脈神経からの交通枝に由来する無髄線維束を示す. toluidine blue染色. ×600.

写真4. 上眼窩裂の近くで, 外転神経(a)から別れ, 交通枝として, 鼻毛様体神経(n), 前頭神経, 涙腺神経, 長毛様体神経(l)ならびに動眼神経下枝(o)に入る無髄神経線維. t: 三叉神経節, ma: 上顎神経. 写真銀法. ×150.

写真5. 上瞼板筋線維束間無髄神経線維とその瘤状腫大終末(v). s: 上眼瞼挙筋の骨格筋線維. 写真銀法. ×600.

写真6. 内頸動脈神経切断後2週間の下瞼板筋の縦断像. 無髄神経線維とその終末は, 大部分のものが変性消失しているが, 小径有髄線維(m)とその遊離終末(e)は, 正常のまま残存している. Sn: Schwann細胞の核. 写真銀法. ×600.

Plate II

写真7. 内頸動脈神経の横断像. u: 無髄線維軸索, m: 小径有髄線維軸索, Sn: Schwann細胞の核. ×10,000.

写真8. 内頸動脈神経起始部切断後16時間の末梢側の内頸動脈神経の横断像. 一部の軸索に, 明調化変性(cd)あるいは暗調化変性(dd)の初期像を認める. ×10,000.

写真 9. 内頸動脈神経起始部切断後 24 時間の末梢側の内頸動脈神経の縦断像。ほとんどすべての軸索が、明調化変性 (cd) あるいは暗調化変性 (dd) に陥っている。× 10,000.

写真 10. 内頸動脈神経起始部切断後 2 日の末梢側の内頸動脈神経の横断像。Schwann 細胞は肥大し、その細胞質内に軸索の変性産物 (矢印) が認められる。× 10,000.

写真 11. 内頸動脈神経起始部切断後 4 日の末梢側の内頸動脈神経の横断像。軸索の変性産物は、減じて、ほとんど消失し、肥大した Schwann 細胞から伸びた細長い多数の突起 (Sp) の横断面が、観察される。× 10,000.

Plate III

写真 12. 外転神経の海绵静脈洞部における無髄線維束の横断像。Sn : Schwann 細胞の核, m : 外転神経固有の有髄線維。× 10,000.

写真 13. 内頸動脈神経切断後 24 時間の外転神経の海绵静脈洞部内の無髄線維束の横断像。ほとんどすべての軸索が、明調化変性 (cd) あるいは暗調化変性 (dd) に陥っている。× 10,000.

写真 14. 内頸動脈神経切断後 4 日の外転神経の海绵静脈洞部内の無髄線維束の横断像。軸索の変性産物は、減少し、ほとんど認められない。無髄軸索を失った Schwann 細胞は、多数の突起 (Sp) を伸ばしている。m : 外転神経固有の有髄線維, p : 外転神経の神経周膜。× 10,000.

写真 15. 内頸動脈神経切断後 24 時間における滑車下神経の、起始部よりわずかに末梢側における横断像。無髄軸索の中に、明調化変性 (cd) や暗調化変性 (dd) に陥るものが見られる。× 10,000.

写真 16. 内頸動脈神経切断後 24 時間における涙腺神経の、起始部よりわずかに末梢側における横断像。写真 15 の場合と同様、無髄軸索の一部のものが、明調化変性 (cd) や暗調化変性 (dd) に陥っている。× 10,000.

Plate IV

写真 17. 脛板筋内の瘤状神経終末 (v)。瘤状神経終末 (v) は、内部に多数のシナプス小胞とミトコンドリアを含み、Schwann 細胞の被鞘を脱して粗織腔に露出している。瘤状神経終末に対向する平滑筋細胞 (ns) の部では、細胞膜の凹凸が激しく、この部に

ピノサイトーシス小胞が密集している。神経終末と平滑筋細胞との間には、両細胞膜間に $0.1 \sim 1.0 \mu$ の隔たりがみられ、遠距離シナプス (Synapse auf Distanz) の特性を示している。無髄軸索と瘤状神経終末部との移行が見られる (矢印)。× 17,500.

写真 18. 脛板筋内の瘤状神経終末 (v) とそれに対面する平滑筋細胞 (ns)。平滑筋細胞の表面に、断面が指状を呈するヒダ (f) がみられる。この部には、多数のピノサイトーシス小胞の存在が認められる。× 20,000.

写真 19. 脛板筋内の A 型神経終末 (A)。× 20,000.

写真 20. 脛板筋内の B 型 (B)、C 型 (C) および F 型 (F) の神経終末。× 20,000.

Plate V

写真 21. 脛板筋内の C 型神経終末 (C)。× 20,000.

写真 22. 脛板筋内の A 型 (A) および D 型 (D) の神経終末。× 20,000.

写真 23. 脛板筋内の E 型神経終末 (E)。× 20,000.

写真 24. 脛板筋内の D 型 (D) および F 型 (F) の神経終末。× 20,000.

写真 25. 脛板筋内の神経束。左に小径有髄線維 (m) が認められる。u : 無髄線維軸索, ns : 平滑筋細胞。× 10,000.

写真 26. 内頸動脈神経切断後 24 時間の脛板筋内の神経終末。神経終末の多数が、明調化変性 (cd) や暗調化変性 (dd) に陥っている。しかし、正常のまま残存している終末もみられる (矢印)。× 10,000.

Plate VI

写真 27. 内頸動脈神経切断後 2 日の脛板筋内の神経終末。同一の Schwann 細胞内に、暗調化変性に陥った終末 (dd) と変性に陥っていない正常な C 型神経終末 (C) が、共存している。細い無髄軸索と瘤状終末部との移行が見られる (矢印)。× 20,000.

写真 28. 上脛板筋縦断切片 (厚さ 18μ) の catecholamine 蛍光所見。筋内に catecholamine 蛍光陽性線維が密に分布し、瘤状神経終末部 (v) に特に蛍光が著明である。s : 骨格筋線維。× 400.

写真 29. 内頸動脈神経切断後 16 時間の上脛板筋の catecholamine 蛍光所見。終末における catecholamine 蛍光は、正常に比して著しく減退している。s : 骨格筋線維。× 400.

写真 30. 内頸動脈神経切断後 24 時間の上脛板筋の

catecholamine 蛍光所見. catecholamine 蛍光は、
全く消失している. s : 骨格筋線維. $\times 400$.
写真 31. 上腭板筋の縦断切片 (厚さ 18μ) の acetyl-

cholinesterase 活性所見. 平滑筋細胞間に, 少数の
acetylcholinesterase 活性陽性線維 (矢印) が認め
られる. $\times 600$.

The innervation of the tarsal muscle of the mouse. Toshio Yamashita, Department of Anatomy, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa, 920, Japan. *J. Juen. Med. Soc.*, 88, 262--286(1979)

Abstract The innervation of the tarsal muscle of the mouse was studied by light, electron and fluorescence microscopy, with special reference to the origin and pathway of the postganglionic sympathetic nerve fibers innervating the tarsal muscle, and to the fine structure and histochemical properties of the nerve endings in the tarsal muscle. For this study the normal mice and the sympathectomized mice by section of the internal carotid nerve were used.

The tarsal muscle of the mouse is supplied with both the unmyelinated postganglionic sympathetic nerve fibers derived from the superior cervical ganglion and the unmyelinated postganglionic parasympathetic nerve fibers derived from the pterygopalatine ganglion, as well as the thin myelinated afferent nerve fibers derived from the trigeminal nerve.

The postganglionic sympathetic fibers pass through the internal carotid nerve and plexus to enter the abducent nerve via communicating branches. These nerve fibers run through the abducent nerve and divisionally enter the frontal, nasociliary and lacrimal nerves via communicating branches. Then they proceed peripherally running through these nerves and their peripheral branches. Finally they are distributed to the medial half of the tarsal muscle via the supratrochlear nerves and to the lateral half of the tarsal muscle via the lacrimal, zygomaticotemporal and zygomaticofacial nerves.

The unmyelinated axons supplied to the tarsal muscle run between the muscle cells, being enclosed by Schwann cells. They form many varicose nerve endings along their length which bulge out of their Schwann cell sheath and often face the pinocytosis vesicle-rich zone of the smooth muscle cells, intervening a wide gap of $0.1 - 1.0 \mu$ in width, to prepare the so-called "Synapse auf Distanz."

After sympathectomy, the B, D and F types of nerve endings, which have the small granular synaptic vesicles in common, undergo degeneration, while the A, C and E types of nerve endings, having no small granular synaptic vesicles in common, survive intact. This indicates that the former corresponds to the endings of the postganglionic sympathetic fibers and the latter to those of the postganglionic parasympathetic ones.

Both the catecholamine-fluorescence-positive fibers and the acetylcholinesterase-activity-positive fibers are distributed in the tarsal muscle. The former is more abundant in number than the latter. The former loses their fluorescence after sympathectomy.

The thin myelinated fibers supplied to the tarsal muscle are very small in number, and they form afferent free endings within the intramuscular connective tissue. These thin myelinated fibers do not degenerate after sympathectomy.

