

ブタ外眼筋筋紡錘の超微細構造

窪田 美幸

東京医科歯科大学医学部眼科学教室

要 約

外眼筋筋紡錘の形態学的特徴を解明するためにブタの外眼筋（4直筋，2斜筋）を電子顕微鏡を用いて精査した。1）ブタ外眼筋筋紡錘は外包，内包，核袋線維，核鎖線維で構成され，環螺旋終末，撒形終末などの知覚終末と，ガンマ運動終末で支配されていた。2）1本の核袋線維だけで構成された筋紡錘，知覚終末で支配された衛星細胞，cross terminal，錘内筋線維のpairingなどが高頻度に認められた。これより，ブタ外眼筋筋紡錘は発生初期の幼若な形態をとどめているものが多いことが示唆された。（日眼会誌 94：167—175，1990）

キーワード：筋紡錘，ブタ外眼筋，超微細構造

Ultrastructure of the Muscle Spindles in the
Extraocular Muscles of Pigs

Miyuki Kubota

Department of Ophthalmology, Faculty of Medicine, Tokyo Medical and Dental University

Abstract

To define the morphological properties of muscle spindles relative to the accurate control of eyeball movement, muscle spindles were investigated in 6 extraocular muscles of three white pigs by an electron microscope. The muscle spindles were composed mainly of a thin outer capsule, nuclear bag and chain fibers. The bag fibers seem to be slow fibers and the chain fibers to be fast fibers in the external fashion, in so far as the former has a greater myofibril density than the latter. The intrafusal muscle fibers were innervated by three categories of nerve terminals; annulospiral and flower spray sensory terminals and gamma motor terminals. The annulospiral terminal was coiled sparsely on the bag fiber and densely on the chain fiber. The cross terminals were found in the pairing muscle fibers. We frequently observed that the satellite cells were controlled by the sensory terminals. It was also frequently observed that the muscle spindles were composed of only one intrafusal bag muscle fiber. It was suggested that the extraocular muscle spindles of the pig remained a primordial profile in the structure. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 94: 167—175, 1990)

Key words: Muscle spindle, Pig extraocular muscle, Ultrastructure

I 緒 言

筋の自己受容器の1つである筋紡錘は，遠心性神経

と求心性神経の支配を受け，筋の伸張を反射的に制御して筋運動を円滑ならしめる重要な役割を持っている。そこで，この筋紡錘の構造が精密な眼球運動をつ

別刷請求先：〒154 東京都世田谷区三軒茶屋1-2-15 窪田 美幸

（平成元年6月13日受付，平成元年9月11日改訂受理）

Reprint requests to: Miyuki Kubota

1-2-15, Sangenjaya, Setagaya-ku, Tokyo 154, Japan

（Received June 13, 1989 and accepted in revised form September 11, 1989）

かさどる外眼筋と抗重力筋である他の骨格筋との間で形態的な差異があるか否かは興味あることである。精密な眼球運動をつかさどる外眼筋は、筋線維は細く、徐筋と速筋の2つの種類の筋線維を有する¹⁾という点で他の骨格筋と明らかに異なっている。従って、外眼筋筋紡錘の微細構造は他の骨格筋のそれとは異なることが考えられる。外眼筋筋紡錘の存在については光顕的な報告は多くあるが^{2)~5)}、その電子顕微鏡的な微細構造についての報告は少ない。向野⁶⁾は初めてヒトの外眼筋の微細構造を研究し、筋紡錘の同定に必要不可欠な知覚終末を見出し筋紡錘の存在を証明したが知覚終末の形態学的特徴については詳述していない。一方、ヒト以外の外眼筋筋紡錘の電子顕微鏡による観察はヒッジの外眼筋筋紡錘に関する報告⁷⁾のみであり十分に検索されていないのが現状である。ブタの外眼筋には筋紡錘がヒトなどに比較して多数存在し、ヒッジと同様に筋の表層部、特に眼窩側に分布しているという報告⁸⁾があるので、ブタを用いて外眼筋筋紡錘を電子顕微鏡的に精査した結果、眼球運動と関連した外眼筋筋紡錘の超微細構造の特徴を明らかにすることができたのでここに報告する。

II 研究方法

体重20~30kgのブタ3頭を2.5%グルタルアルデヒド溶液(0.1M 磷酸緩衝液 pH 7.4を含む)で心臓から灌流固定した後、6つの眼筋(4直筋、2斜筋)を摘出し、さらに同液で浸漬した。その後1mm³の小片に細切して、オスミウム液にて後固定した。磷酸緩衝液で洗浄後、エタノール系列で脱水し、エポン802に包埋した。超薄切後、酢酸鉛と酢酸ウラニールで二重染色して電子顕微鏡(日立 H-800)で観察した。

III 結 果

1. 筋紡錘の一般構造

一般に、筋紡錘は4ないし5本の錘内筋線維で構成されていた(図1)が、少数ではあるが1本だけのこともあり(図2)、あるいは10本以上のこともあった(タンデム筋紡錘)(図3)。タンデム筋紡錘の電顕像は、まだ明らかにされていないが、図3に示された筋紡錘はほぼ同径の錘内筋線維からなり、更に、その個々の線維には知覚、運動終末は存在しておらず、薄い内包細胞の突起で大きく二つに分けられていた。これらの点よりこの像は2個の筋紡錘の錘内筋線維がタンデム形に重なり合っている部位の横断面を示す像と思われる。

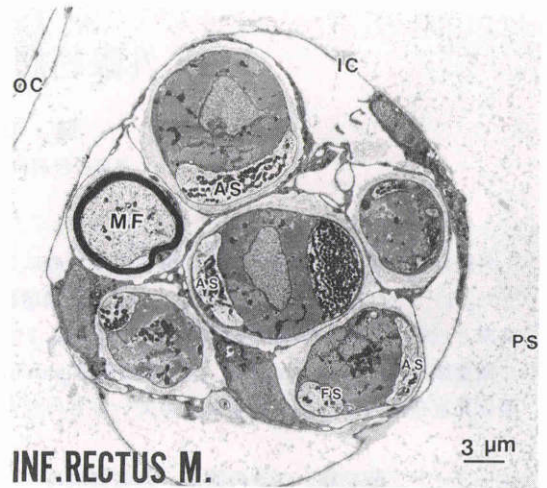


図1 外眼筋筋紡錘の赤道部(下直筋)の電顕像。薄い外包(OC)に包まれた広い錘内リンパ腔(PS)内に浮かんでいる。錘内筋線維は内包(IC)で包まれている。錘内筋線維は多量のミトコンドリアを含んだ環螺旋終末(AS)あるいは、撒形終末(FS)で支配されている。内包内に随神経線維(MF)が見られる。

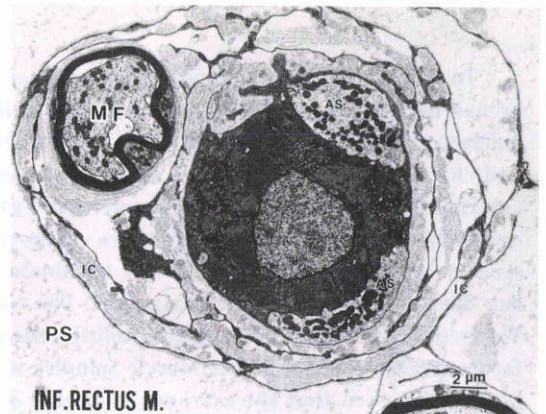


図2 一本の錘内筋線維(核袋線維)で構成された筋紡錘(下直筋)の電顕像。錘内筋線維は数層の内包(IC)で包まれ、さらに薄い外包で包まれている。内包と外包の間には広い錘内リンパ腔(PS)がみられる。この錘内筋線維は多量のミトコンドリアを含んだ環螺旋終末(AS)で支配されている。

る。タンデム筋紡錘以外の筋紡錘の内包内には、有髄(図1, 2)あるいは無髄神経線維と毛細血管が含まれていた。筋紡錘の一般構造は外眼筋の直筋と斜筋の間では大きな差異は認められなかった。

2. 錘内筋線維の構成

筋紡錘中の錘内筋線維は核鎖線維(図4, 5)と核袋線維(図6, 7)よりなっていた。核鎖線維は、典型的な環螺旋終末で支配されていた(図4)。筋線維の縦断切片でみると、筋原線維束は明瞭でM線(図5B)

もはっきりと認められた。核袋線維は、赤道部付近で膨隆し、その部位には多数の核の集積が見られた(図6)。筋線維の縦断切片でみると筋原線維束の輪郭は明瞭ではないが、M線は明瞭に認められ(図7B)、筋形質内には層状構造物(図7A)が高頻度に存在してい

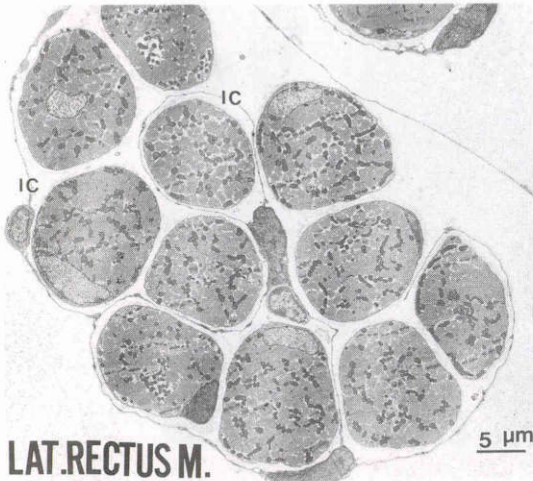


図3 タンデム形の筋紡錘(外直筋)の電顕像。多数の錘内筋線維は内包(IC)でまばらに取り巻かれていて、知覚終末も運動終末もみられない。

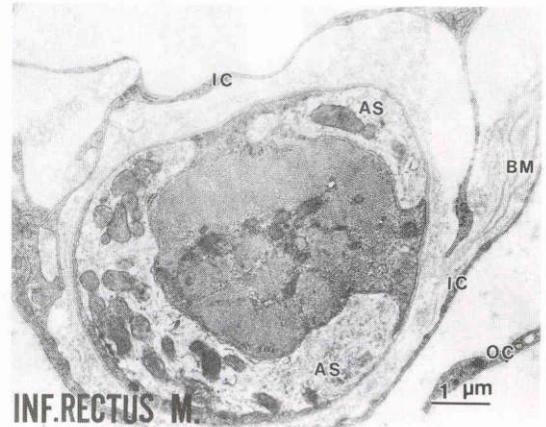


図4 環螺旋終末で支配された核鎖線維(下直筋)の電顕像。環螺旋終末(AS)は核鎖線維の周囲をぐるりと取り囲んでいる。

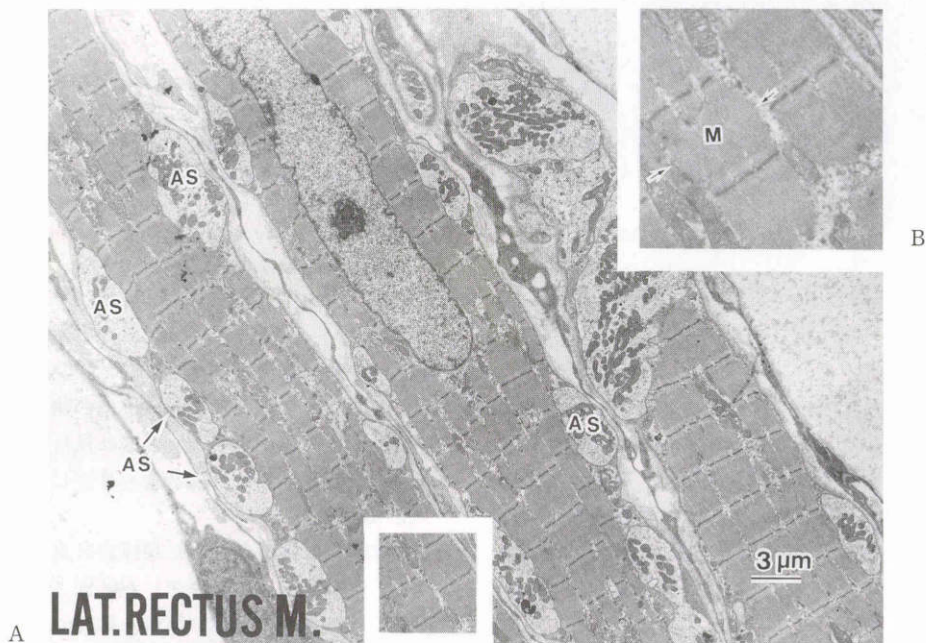
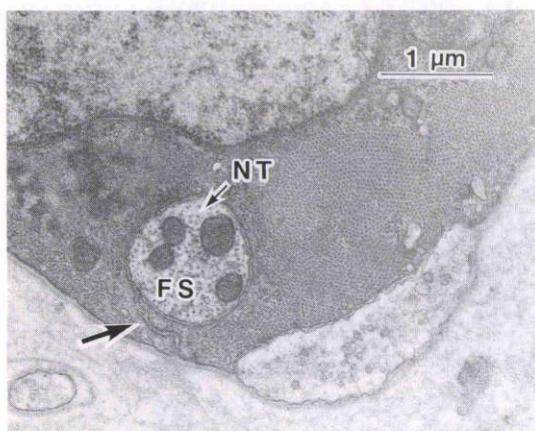
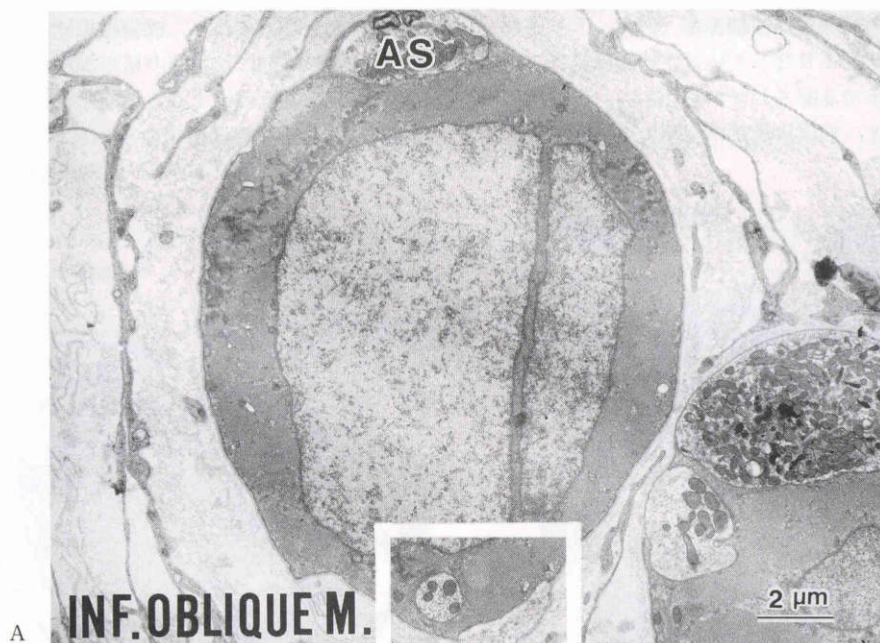


図5 核鎖線維(外直筋)の縦断電顕像。

A:環螺旋終末(AS)のコイルの巻き方は密である。B:図Aの枠内の拡大写真。隣接する筋原線維束の輪郭は明瞭で、M線(矢印の間)が認められる。



B

図6 環螺旋終末と撒形終末で支配された核袋線維（下斜筋）の電顕像。

A：上方には環螺旋終末（AS）が認められる。B：図A 枠内の拡大写真。撒形終末（FS）は筋形質の深部に包埋され、蛇行した筋形質膜は二重のヒダ（矢印）を形成している。ミトコンドリアは少なく神経細管（NT）が多量に含まれている。

た。

筋紡錘が1本の錘内筋線維で構成されている時は必ず核袋線維であった。数本の錘内筋線維で構成されている時は1～2本の線維は核袋線維で、残りは核鎖線維という構成であった。そして、これら錘内筋線維は通常、2種類の知覚終末（環螺旋終末、撒形終末）（図4, 5, 6, 7）とガンマ運動終板で支配されていた（図8）。

外眼筋筋紡錘の錘内筋線維に特徴的な所見として、隣接する核鎖線維の間に pairing 構造（図9, 10）や cross terminal（図9）がみられたほか、錘内筋線維に

接して多数の衛星細胞がみられた（図9, 11）。更に多量のグリコーゲン顆粒が筋原線維の間の筋形質隙、筋形質膜下並びに細胞核周辺領域に見られ（図12）、筋形質膜下領域には無定形構造物も存在した（図12）。

3. 知覚終末

知覚終末には、前述した環螺旋終末（一次終末）の他に、撒形終末（二次終末）が区別され、それぞれの神経・筋接合部の幅はいずれも約40nmであった。

環螺旋終末は豊富なミトコンドリアを含んでいて、錘内筋線維の浅い筋形質膜の溝のなかに錘内筋線維と共通の基底膜で包まれており、筋形質内に深くはいり

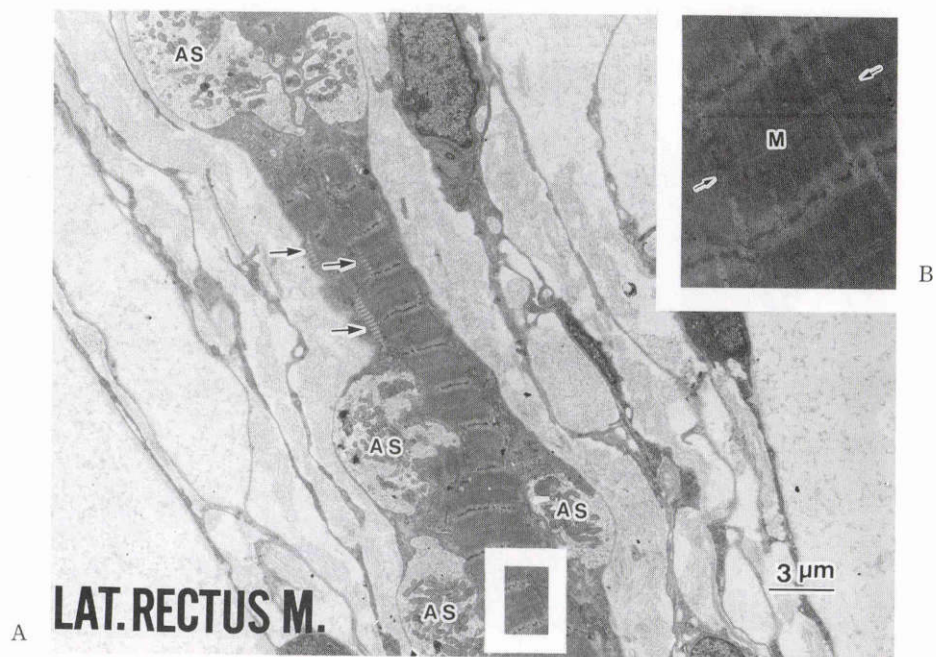


図7 核袋線維（外直筋）の縦断電顕像。

A：環螺旋終末（AS）コイルは不規則に粗に核袋線維を巻いている。筋線維内には層状構造物（3個の矢印）が出現している。B：図Aの枠内の拡大写真。隣接する筋原線維束の輪郭は不明瞭である。M線（矢印の間）が見られる。

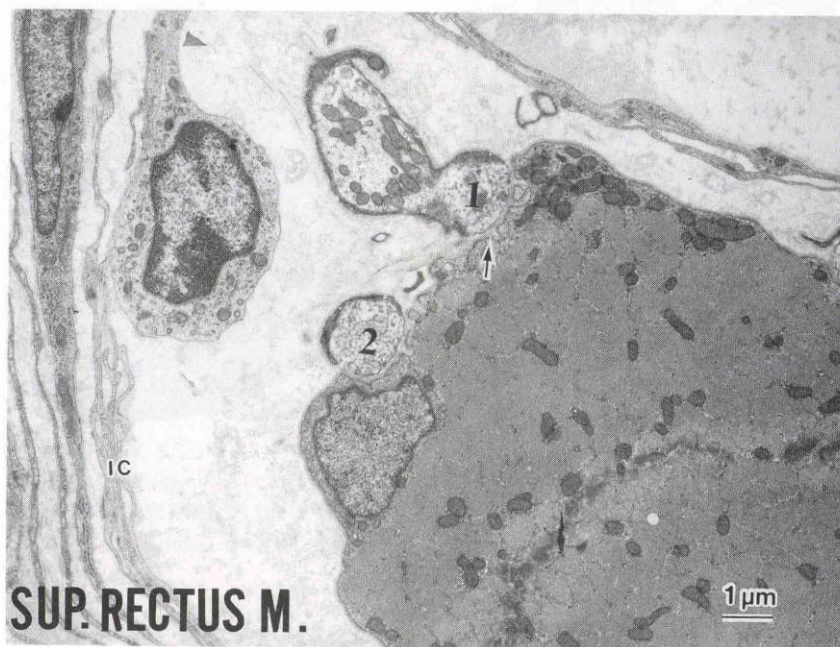


図8 ガンマ運動終板に支配された錘内筋線維（上直筋）の電顕像。ミトコンドリアとシナプス小胞を含んだガンマ運動終板の終末ブートン（1，2）が見られる。これと錘内筋線維との間には平坦なシナプス隙（矢印）がある。

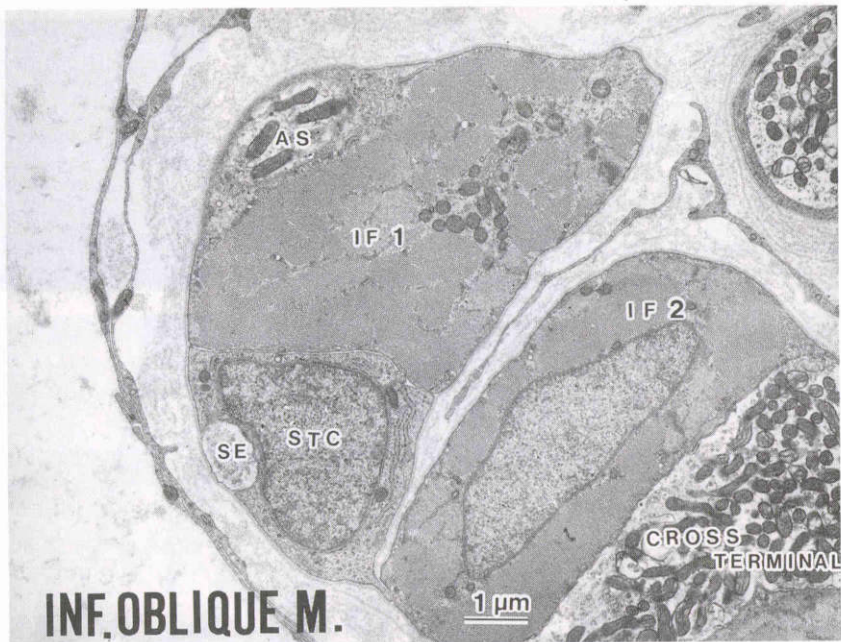


図9 知覚終末で支配された衛星細胞（下斜筋）の電顕像。衛星細胞（STC）を支配している知覚終末（SE）が認められる。pairingしている2つの錐内筋線維（核鎖線維）のうち、IF1には環螺旋終末（AS）が、IF2にはcross terminalが見られる。

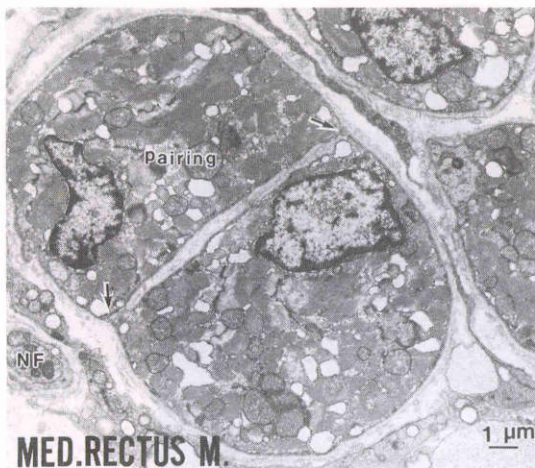


図10 核鎖線維のpairing（内直筋）の電顕像。隣接する核鎖線維は矢印の部分でpairingしている。左下方には無髄神経線維（NF）が認められる。

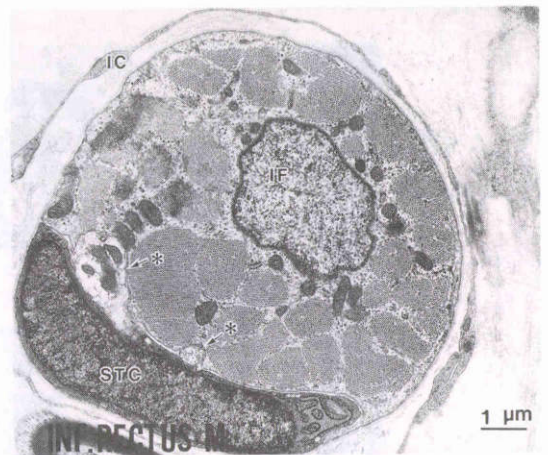


図11 錐内筋線維と衛星細胞（下直筋）の電顕像。衛星細胞（STC）と錐内筋線維（IF）の間にサンドウィッチされた環螺旋終末（上・矢印）と撒形終末（下・矢印）が見られる。

こんではいなかった。一方、撒形終末は、筋形質膜の蛇行した二重ヒダを形成して筋形質内に深く埋没された状態で見られた（図6B）。また撒形終末内にはミトコンドリアは少なく、むしろ神経細管が多量に含まれていた。

この他に錐内筋線維中にみられる衛星細胞とシナプス接合している知覚終末が認められた（図9）。この知覚終末はミトコンドリアの少ない撒形終末と同じ構造を持っていた。また、いろいろな状態の cross terminal

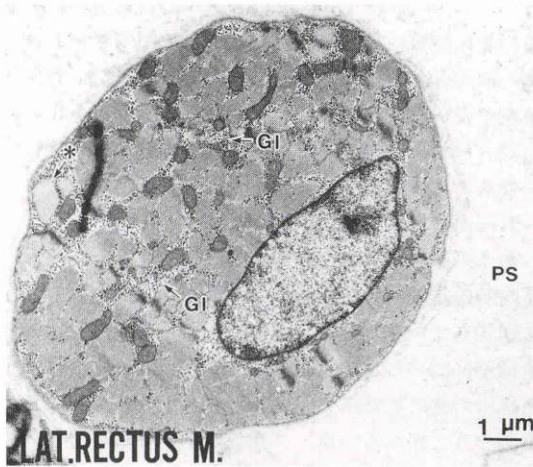


図12 グリコーゲン顆粒を持つ錘内筋線維（外直筋）の電顕像。錘内筋線維には筋原線維間の拡大した間隙にグリコーゲン顆粒（G1）の蓄積がみられる。また、筋形質膜下領域には多量のグリコーゲン顆粒でとりまかれた無定型構造（矢印*）が見られる。

（ミトコンドリアの多い環螺旋終末）がしばしば pairing した錘内筋線維間に見られることもあった（図9）。

4. ガンマ運動終板

ガンマ運動終板は錘内筋線維の極部に存在しているが、その終末ブートンは分岐し、多量のシナプス小胞を含み、基底膜の介在したシナプス隙で錘内筋線維から隔てられていた。シナプス隙の幅は約70nmであった（図8）。

IV 考 按

1. ブタ外眼筋筋紡錘とヒト外眼筋筋紡錘の形態的比較

哺乳類での骨格筋の錘内筋線維には、核袋線維と核鎖線維の二つの基本的な型のあることは、一般に一致した見解であるが⁹⁾、ヒトの外眼筋筋紡錘の電子顕微鏡的検討⁶⁾¹⁰⁾では、典型的な核袋線維と核鎖線維とを明らかに区別できなかったと述べられている。しかし、ブタ外眼筋筋紡錘では、他の骨格筋と同様に典型的な核袋線維と核鎖線維とに区別することができた。この差はヒトとブタという種属差によるものか、あるいはヒト外眼筋筋紡錘はブタに比して少ないために筋紡錘の赤道部の十分な検索が行い難いことによるのかもしれない。

知覚終末は一般の骨格筋筋紡錘では二種類あるとい

われている^{11)~14)}。向野⁶⁾はヒト外眼筋筋紡錘では二種類の知覚終末を明らかに区別できなかったと述べている。錘内筋線維の二種類の知覚終末の電顕像による分類の基準はまだ確立されてはいないが、Kubota¹⁵⁾によると、環螺旋終末（一次終末）は、豊富なミトコンドリアを含み、筋線維の表面の浅い筋形質の溝の中にはまり込んでおり、それとは対称的に撒形終末（二次終末）は、余りミトコンドリアを含まず、その代わりに多量の神経細管を含んでおり、筋形質の中に深く埋没されているという。ブタ外眼筋筋紡錘にはそれぞれの特徴を備えた知覚終末が観察された。Lennerstrand¹⁶⁾はミニブタの外眼筋の伸展実験で、筋紡錘の二種類の知覚終末の反応を証明した。彼等は脊髄運動調節における筋紡錘機構はそのまま眼球運動調節に当てはまるかどうかはまだ疑問としているが、今回の実験によって、機能的ばかりではなく形態的にも二種類の知覚終末の存在を証明することができたと考えてよいであろう。

2. 形態からみた外眼筋筋紡錘の機能

外眼筋の錘外筋線維は徐筋と速筋の二種類の筋線維を持つが、錘内筋線維に関しても Harker⁷⁾はヒッジで、箕田¹⁰⁾はヒト外眼筋筋紡錘の観察で、核袋線維は徐筋（en grappe 型運動終板を持ち、筋原線維束の輪郭が不明瞭。M 線が認められる。）の、核鎖線維は速筋（en plaque 型運動終板を持ち、筋原線維束の輪郭が明瞭。M 線は認められない。）の構造を持つと報告している。ブタ外眼筋筋紡錘は、筋原線維束の輪郭の状態からは、核袋線維は徐筋の、核鎖線維は速筋の構造的性質を示しているが、M 線は両者に認められ、ミトコンドリアや運動終板の形態には差異は認められなかった。従って、ブタ外眼筋筋紡錘の錘内筋線維は徐筋と速筋の中間に属しているとも考えられる。徐筋線維と速筋線維の中間に属する線維に関しては、サル¹⁷⁾やウサギ¹⁰⁾の錘外筋線維に認められたという報告がある。今回ブタの錘内筋線維にも上述の如く中間型と思われる筋線維が観察された。しかし、この中間型の筋線維は動物の種属差がかなり顕著であり、生理学的特性も明らかにされていないので今後の検討が必要であろう。

ブタ外眼筋の錘内筋線維は多量のグリコーゲン顆粒を筋形質膜下領域、細胞核周辺領域及び筋原線維束間領域などに含んでいる（図12）。このような多量なグリコーゲン顆粒の蓄積は外眼筋以外では貧歯類のセンザンコウの咬筋の筋紡錘で報告され、葉¹⁸⁾はこの蓄積をセンザンコウが咀嚼しないことによって咀嚼筋の機能

低下がおこり、グリコーゲン代謝が低下したためと考えた。同様に推察すれば、外眼筋筋紡錘のグリコーゲン代謝もそう活発ではないのかもしれないが、この点に関しては今後の検討が必要であると思われる。また、錘内筋線維の筋形質膜下領域に層状構造物や無定形構造物がブタの外眼筋筋紡錘でも観察され(図7, 12), この層状構造物は特に核袋線維で多く認められる傾向があった。向野¹⁹⁾は層状構造物を筋原線維を筋細胞膜に結び止める錨の働きをするのではないかと推察し、Ovalle²⁰⁾²¹⁾はこれを細かな膜構造の一つと考えている。更に、これは除神経され、萎縮した筋細胞によく現れる²²⁾という報告もある。以上のことより、この構造物は筋活動を反映しているようにもおもわれるがその機能的意義は十分に解明されていない。また、錘内筋線維中の無定形構造物は拡張した筋小胞とみなされているが²⁰⁾²¹⁾、これも層状構造物と同様に機能的意義は不明である。

3. ブタ外眼筋筋紡錘の幼若性について

以上のごとく、ブタ外眼筋筋紡錘を構成する個々の微細構造の特徴を明確にすることができたが、さらに、ブタ外眼筋筋紡錘全体を見た場合、発生学的にみて幼若あるいは发育段階にあると思われる以下に述べるような所見が多く認められた。

1) 一本の錘内筋線維で構成された筋紡錘

マウスを使った筋紡錘の発生学的研究^{11)~14)}によると、まず核袋線維の原基が最初に現れ、核鎖線維の原基は遅れて現れてくるという。また、Granit⁹⁾は小さな運動を制御することのできる動物で多くの錘内筋線維をもつ筋紡錘がみつかったので、錘内筋線維の数の少ないものほど未発達のものであると考察している。従って、今回著者の観察したブタ外眼筋では一本の核袋線維で構成された筋紡錘が多くみられたことから、発生初期の面影を残しているのではないかと推察される。

2) 知覚神経支配を受けた衛星細胞

衛星細胞がブタ外眼筋筋紡錘の錘内筋線維に高頻度に認められ、通常は認められない知覚終末により支配されている所見がしばしば認められた(図9)。さらに、知覚終末が衛星細胞と錘内筋線維にはさまれて、その両方を支配していると思われる構造も観察された。このような外眼筋筋紡錘の衛星細胞の神経支配の様相は他の骨格筋の筋紡錘ではまだ報告されていない。衛星細胞の生物学的役割については、筋線維の再生と関係があるのではないかと考えられているが、まだ不明な

点が多い。しかし、Ohkubo¹⁴⁾が述べているように筋紡錘の発生段階において、知覚終末の支配を受けた後に錘内筋線維の myofilament が現れるとすれば、錘内筋線維でない衛星細胞に知覚終末が認められるという所見は、一本の核袋線維で構成された筋紡錘と同様に幼若なものと考えてよいと思われる。

3) cross terminal と錘内筋線維の pairing

多くの研究者¹¹⁾¹²⁾²³⁾²⁴⁾がいろいろな動物で筋紡錘の錘内筋線維間に pairing 構造が高頻度に見られることを報告している。特に发育中のマウスの筋紡錘で、この構造は認められ、Ohkubo¹⁴⁾は、この pairing 構造を发育中の錘内筋線維の間にみられる偽足接合の名残りであろうと述べている。ブタ外眼筋筋紡錘の錘内筋線維間にもこの pairing 構造が認められた(図10)。また、高頻度で cross terminal が pairing している二本の核鎖線維の間にみられたが(図9)。これも、Ohkubo¹⁴⁾が述べている様に、錘内筋線維発生時の知覚終末の初期像の名残りであろう。

以上の特徴よりブタの外眼筋筋紡錘は筋紡錘としての一般的な形態を示しているが、筋紡錘発生初期の幼若な形態をとどめているのではないかということが強く示唆された。このような幼若な形態は他の骨格筋筋紡錘では胎生期には多数認められるが¹⁴⁾、成熟した動物で多く認められたという報告はない。

4. 自己受容器としての筋紡錘

自己受容器の働きの一つである眼球位置感覚については、それを惹起させる網膜外情報源として二つのものがあると云われてきた。すなわち一つは outflow 説といわれるもので、中枢よりの motor commands が外眼筋を動かすという Helmholtz (1866) の説であり、もう一つは Sherrington (1918) がだした位置感覚情報は外眼筋の伸張受容器より発したものが中枢神経へいくという inflow 説である。今回の実験で自己受容器の一つであるブタ外眼筋筋紡錘が他の骨格筋の筋紡錘と同様に二種類の錘内筋線維と二種類の知覚終末を持つ完全な形の筋紡錘をもつということを証明できたことは後者の説の有力な証拠となりうる。しかしながら、ブタ外眼筋筋紡錘の中には幼若な形態をとどめているものが多く認められたのも事実であり、このことは、outflow, inflow 両方の情報源のバランスを考える上で重要であろう。

稿を終えるにあたり、終始、御指導ならびに御校閲を賜りました所 敬教授に厚く御礼申し上げます。また研究の遂行に、多大なる御援助頂きました東京医科歯科大学歯学部

顎研構造部門窪田金次郎教授(現名誉教授), 井関八郎文部技官並びに顎研の諸先生方の御協力に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) **Dieter SE**: The demonstration of different types of muscle fibers in human extraocular muscle by electron microscopy and cholinesterase staining. *Invest Ophthalmol* 4: 51—63, 1965.
- 2) **Buzzard EF**: A note on the occurrence of muscle spindles in ocular muscles. *Proceedings Royal Soc Med, Sect Neurol* 1: 83—88, 1908.
- 3) **Daniel F**: Spiral nerve endings in the extrinsic eye muscles of man. *J Anat* 80: 189—193, 1946.
- 4) **Cooper S, Daniel PM**: Muscle spindles in human extrinsic eye muscles. *Brain* 72: 1—24, 1949.
- 5) **Cooper S, Daniel PM, Whitteridge D**: Afferent impulses in the oculomotor nerves from the extrinsic eye muscles. *J Physiol* 113: 463—474, 1951.
- 6) **向野和雄, 野村恒民**: ヒト外眼筋の筋紡錘の微細構造(予報). *日眼会誌* 73: 255—263, 1969.
- 7) **Harker DW**: The structure and innervation of sheep superior rectus and levator palpebrae extra ocular muscles' spindle. *Invest Ophthalmol* 11: 970—979, 1972.
- 8) **松山茂樹**: ブタ外眼筋紡錘の胎生発育とその意義. *解剖誌* 63: 419—431, 1988.
- 9) **Granit R**: *The Basis of Motor Control*, London, Academic Press, 1970, 本間三郎, 渡辺士郎共訳, 運動制御の原理. 東京, 医歯薬出版, 29—58, 1972.
- 10) **箕田建生**: 外眼筋の形態—電顕的観察. *神経進歩* 19: 829—844, 1975.
- 11) **Landon DN**: The fine structure of the equatorial regions of developing muscle spindles in the rat. *J Neurocytol* 1: 189—210, 1972.
- 12) **Milburn A**: Stages in the development of cat muscle spindles. *J Embryo Exp Morphol* 82: 177—216, 1973.
- 13) **Banks RW, Barker D, Stacy MJ**: Form and distribution of sensory terminals in the cat hindlimb muscle spindles. *Phil Trans Royal Soc London B* 299: 329—364, 1982.
- 14) **Ohkubo K**: Developing muscle spindles in the mouse masseter muscle studied by electron microscopy. *Bull Tokyo Med Dent Univ* 34: 9—23, 1987.
- 15) **Kubota K, Sato Y, Masegi T**: Electron microscopic identification of the sensory end-bulbs of the mole snout muscle spindles. *Verh Anat Ges* 71: 1155—1163, 1977.
- 16) **Lennerstrand G, Bach-y-Rita P**: Spindle response in pig eye muscles. *Acta Physiol Scand* 90: 795—797, 1974.
- 17) **Miller JE**: Cellular organization of rhesus extraocular muscle. *Invest Ophthalmol* 6: 18—39, 1967.
- 18) **葉 永正**: 穿山甲(Manis aurita)の顎口腔系の感覚・運動機構の比較解剖学的特性に関する研究. *口病誌* 52: 16—42, 1985.
- 19) **向野和雄**: ヒト外眼筋の微細構造(1), 筋線維の層状構造. *電顕誌* 15: 227—236, 1966.
- 20) **Ovalle WK Jr**: Fine structure of rat intrafusal muscle fibers. The polar region. *J Cell Biol* 51: 83—103, 1971.
- 21) **Ovalle WK Jr**: Fine structure of rat intrafusal muscle fibers. The equatorial region. *J Cell Biol* 52: 382—396, 1972.
- 22) **Pellegrino C, Franzini C**: An electron microscope study of denervation atrophy in red and white skeletal muscle fibers. *J Cell Biol* 17: 327—349, 1963.
- 23) **Corvaja N, Marinozzi V, Pomeiano O**: Close apposition and junctions of plasma membranes of intrafusal muscle fibers in mammalian muscle spindles. *Pflugers Arch Ges Physiol* 296: 337—345, 1967.
- 24) **Adal MN**: The fine structure of the sensory region of cat muscle spindles. *J Ultrastruct Res* 26: 332—354, 1969.