

# Die Ultrastrukturen der motorischen Endplatte

Autor(en): **Nickel, Elvira**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie Suisse des Sciences Medicales = Bollettino dell' Accademia Svizzera delle Scienze Mediche**

Band (Jahr): **22 (1966)**

PDF erstellt am: **21.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-307657>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

PHYSIOLOGISCHER TEIL  
PARTIE PHYSIOLOGIQUE  
PHYSIOLOGICAL PART

DK: 611.018.86:611.018.62

Pharmakologisches Institut der Universität Zürich – Direktor: Prof. P. G. Waser

**Die Ultrastruktur der motorischen Endplatte**

ELVIRA NICKEL

In den motorischen Endplatten endigen die efferenten markhaltigen Nervenfasern in der quergestreiften Muskulatur. Der Bau der Endplatten läßt sich nur mit Spezialfärbungen (Silber- oder Goldimprägnation, Methylblau oder Fermentreaktionen) studieren. Im Lichtmikroskop zeigen sich die Endplatten als mehr oder weniger elliptische Erhebungen mit einem Quer- und Längsdurchmesser von 40 bzw. 60  $\mu$  beim Menschen.

Aus den Nervenfaserbündeln, die an die Skelettmuskulatur herantreten, entspringen aus einer Nervenfasern bestehende Ästchen, welche sich mit je einer Muskelfaser verbinden. Nahe der Kontaktstelle mit dem Muskel teilt sich die Nervenfasern und bildet zusammen mit einer verdichteten Zone des Sarkoplasmas die motorische Endplatte (Abb. 1). Diese Zone enthält besonders viele Kerne und Mitochondrien. Bei stärkerer Vergrößerung lassen sich in den Verzweigungen Zonen mit Einfaltungen erkennen, die bereits von COUTEAUX (1947) beschrieben und als Subneuralapparat bezeichnet wurden (Abb. 1A). So weit lassen sich die Strukturen der Endplatte im Lichtmikroskop verfolgen; weitere Einzelheiten sind nur im Elektronenmikroskop sichtbar.

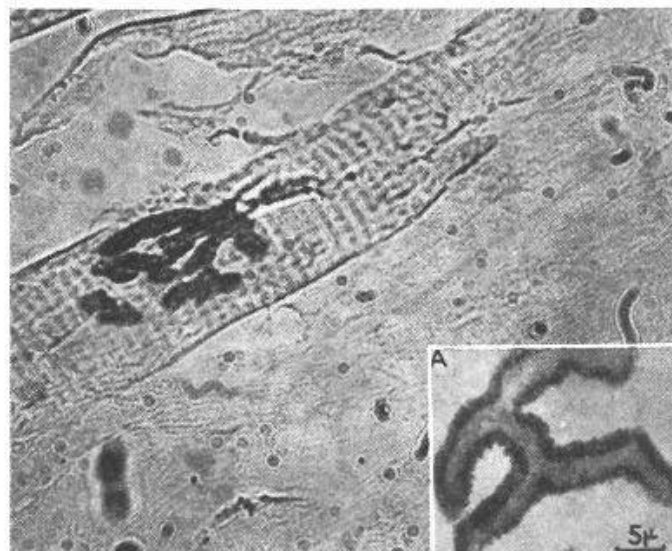


Abb. 1. Quergestreifte Muskelfaser mit motorischer Endplatte. Acetylthiocholinmethode nach KOELLE, 400fach. – A: Subneuralapparat (aus COUTEAUX und TAXI 1952).



Abb. 2. Endplattenband im Diaphragma der Maus. Acetylthiocholinmethode nach KOELLE, 2,3fach.

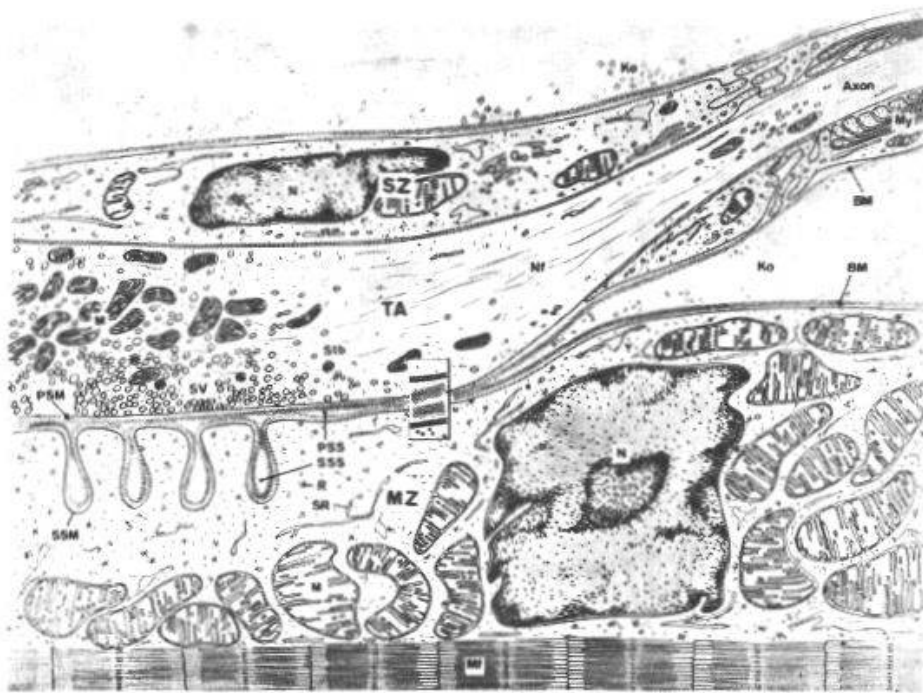


Abb. 3. Schema einer motorischen Endplatte. - BM = Basalmembran, Go = Golgi-Apparat, Ko = Kollagen, M = Mitochondrien, Mf = Myofibrillen, My = Myelinscheide, MZ = Muskelzelle, N = Nucleus, Nf = Neurofilamente, PSM = präsynaptische Membran, PSS = primärer Synapsenspalt, R = Ribosomen, SR = sarkoplasmatisches Reticulum, SSM = subsynaptische Membran, SSS = sekundärer Synapsenspalt, Stb = Stachelsaumbläschen, SV = synaptische Vesikel, SZ = Schwannsche Zelle, TA = terminales Axon. — Zeichnung: Dr. E. GRIESHABER.

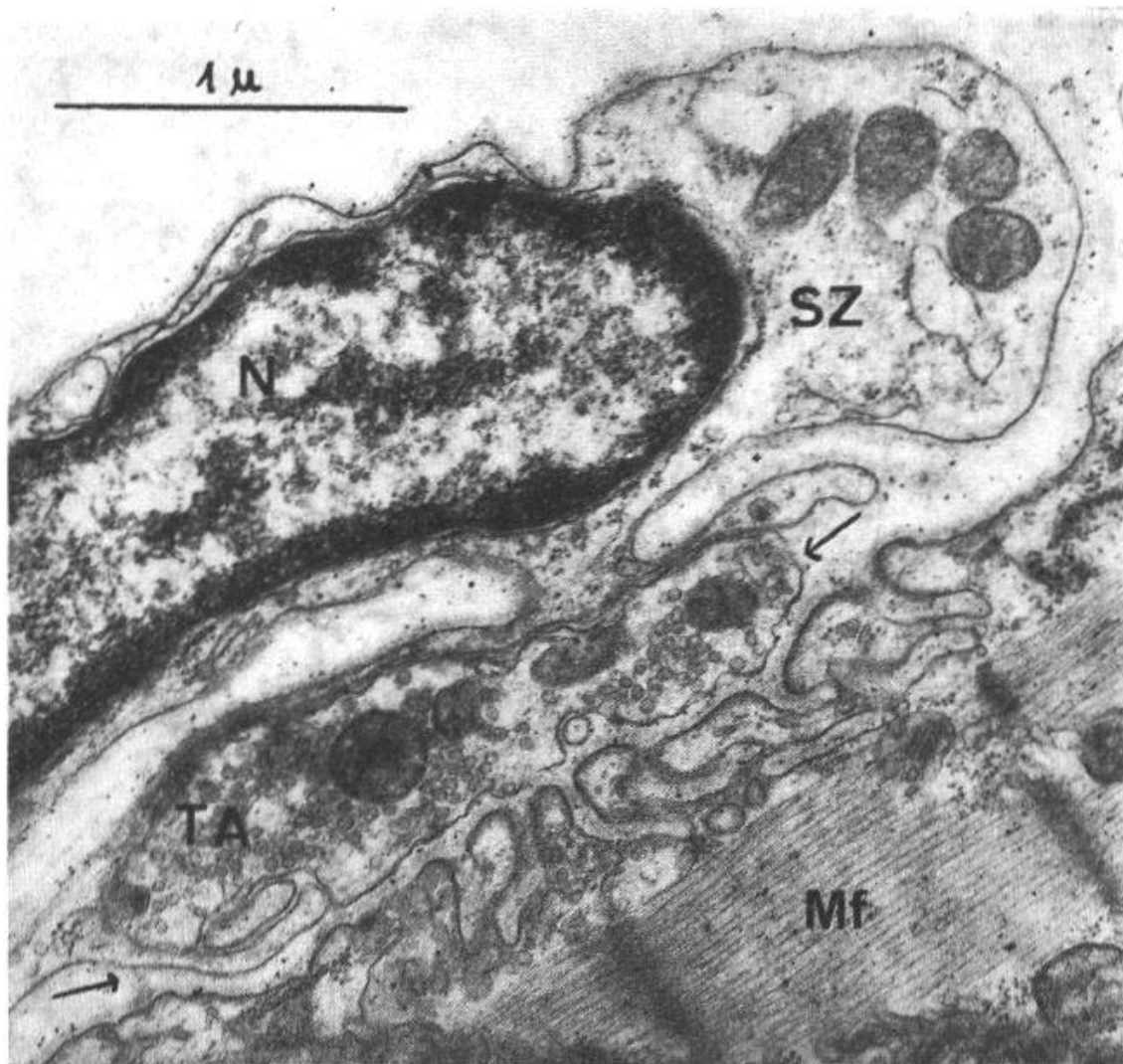


Abb. 4. Lage der Schwannschen Zelle auf dem terminalen Axon. An der Kontaktstelle zwischen Nerv und Muskel wird das Axon nur noch von der Basalmembran der Schwannschen Zelle umschlossen (Pfeile). Kontrastierung: Blei nach REYNOLDS, 34 000fach.

Das Studium der Ultrastruktur wurde am Mausdiaphragma durchgeführt. Hier sind die Endplatten auf ein 1–2 mm breites Band verteilt (Abb. 2), das konzentrisch um das Centrum tendineum verläuft. Es liegt zwischen Phrenicusast und Ansatz des Rippenbogens. Durch diese genaue Lokalisation sind die Endplatten für die Präparation verhältnismäßig leicht zugänglich.

Die Struktur der Endplatte besteht aus drei Hauptkomponenten: dem terminalen Axon, der Schwannschen Zelle und der modifizierten Sarkoplasmazone der Muskelzelle (Abb. 3). Nahe der Oberfläche des Muskels teilt sich die Nervenfasern in Endabschnitte auf, die ihre Myelinscheide verlieren, so daß der Achsenzylinder nur noch in die Schwannsche Zelle eingebettet ist. An der Kontaktstelle von Nerv und Muskel endet die Schwannsche Zelle (Abb. 4), nur die Basalmembran schließt sich dem Axon an. Im Muskel läßt sich eine spezialisierte Zone erkennen, die man als Sohlenplatte bezeichnet (Abb. 5). Sie enthält besonders viele Kerne mit großen Nucleoli und zahlreiche Mitochondrien. Die Kerne entstehen wahrscheinlich amitotisch in der Ontogenese und häufen sich an der Oberfläche der Muskelzelle an. Die Ober-

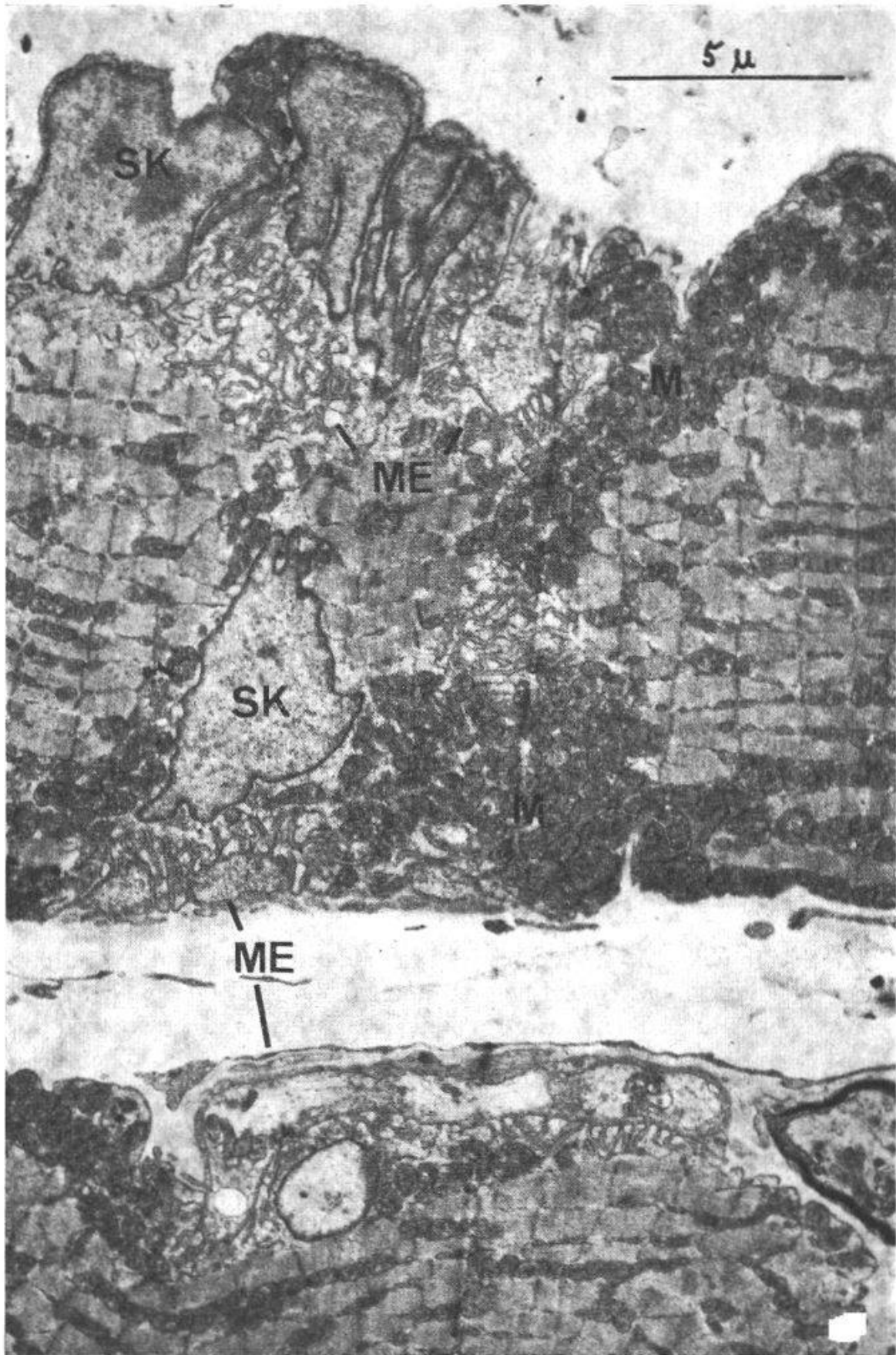


Abb. 5. Übersichtsaufnahme von motorischen Endplatten (ME) auf quergestreiften Muskelfasern. Anhäufung von Sohlenplatten-Kernen (SK) und Mitochondrien im Endplattengebiet. Kontrastierung: Blei nach REYNOLDS, 5800fach.

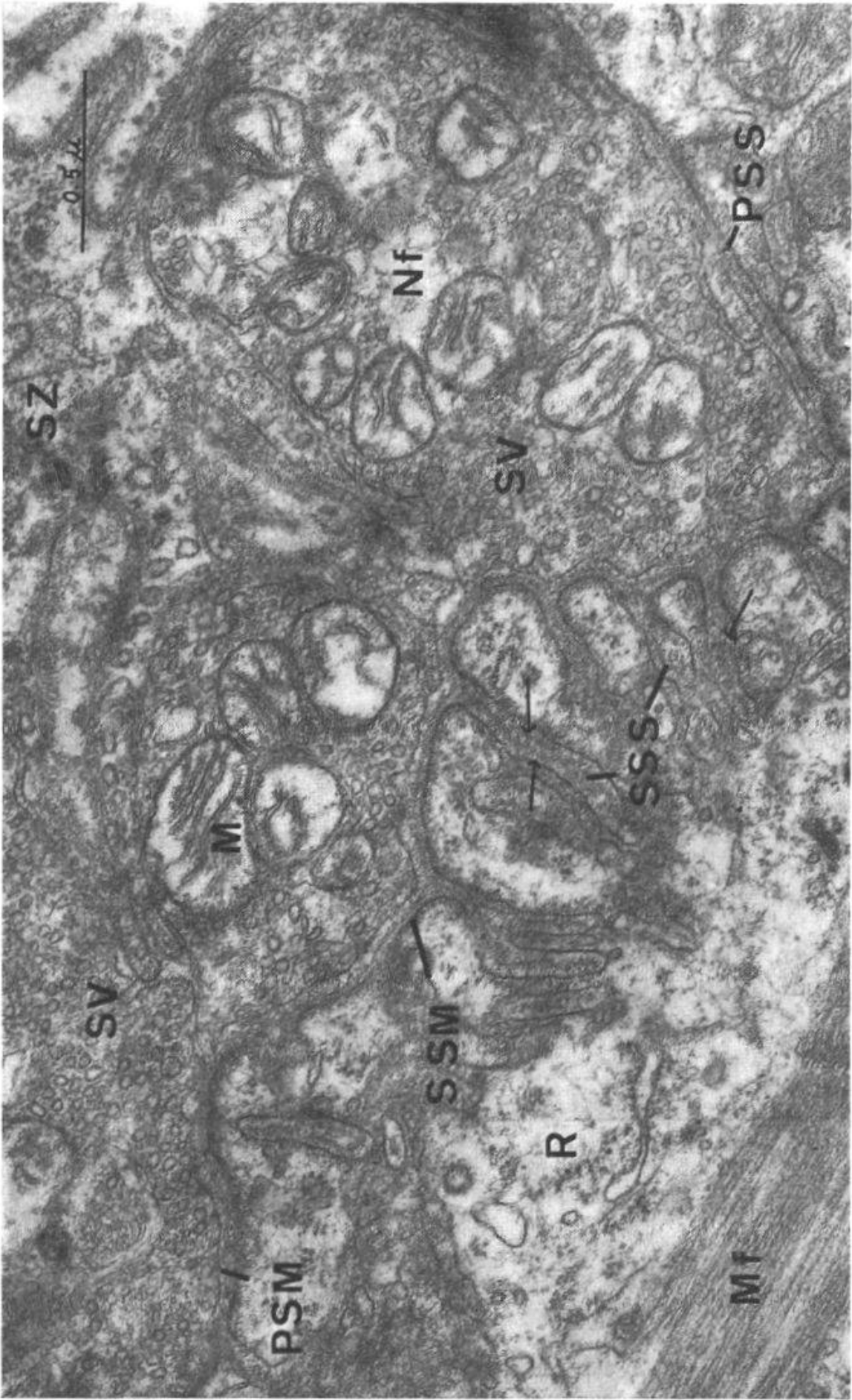


Abb. 6. Anhäufung von synaptischen Vesikeln besonders an der präsynaptischen Membran. Im sekundären Synapsenspalt liegt die Basalmembran der Muskelzelle, die den Einfaltungen der Muskeloberflächenmembran folgt (→). Kontrastierung: Uranylacetat-Kaliumpermanganat, 47000fach.

flächenmembran der Muskelzelle bildet den aus lamellären Einfaltungen bestehenden subneuronalen Apparat, der somit eine Modifikation der innerierten Muskelzelle ist. Wahrscheinlich bildet er sich aus, nachdem Nerv und Muskel in Kontakt miteinander getreten sind. Die Einfaltungen bewirken eine beträchtliche Oberflächenvergrößerung der postsynaptischen Membran. Nach ANDERSSON-CEDERGREN (1959) beträgt die Zunahme der Muskeloberfläche im Bereich des subneuronalen Apparates das 4,5fache.

Zwischen Axon- und Muskelplasmamembran bildet sich der primäre Synapsenspalt von 400–500 Å Weite. Er trennt Nerv- und Muskelzelle von einander und wird von der Basalmembran der Schwannschen Zelle ausgefüllt (Abb. 6). Zwischen den Einfaltungen der Muskeloberflächenmembran liegt der sekundäre Synapsenspalt. Er ragt 0,5–1  $\mu$  ins Sohlenplattensarkoplasma hinein. Am Eingang beträgt seine Breite 500 Å, am Ende weitet er sich bis auf etwa 900 Å. In ihn hinein zieht sich die Basalmembran der Muskelzelle.

Beide Oberflächenmembranen bestehen aus einer Unit-Membran von 90 Å Dicke. Sie ist aus zwei Proteinschichten aufgebaut, die in der Mitte eine Schicht von Lipoiden einschließen. Die Basalmembran besteht aus Mucopolysacchariden. Ihre Dicke beträgt 200 Å (vergrößertes Membranschema in Abb. 3).

Das Axon enthält zahlreiche Mitochondrien mit Cristae mitochondriales. Die starke Anreicherung der Mitochondrien in Axon und Sohlenplatte weist auf eine hohe Fermentaktivität im Bereich der Endplatte hin. Die Neurofilamente ziehen nur bis an den Anfang der Nervenendigung. Ihr Durchmesser beträgt etwa 100 Å. Das Axon ist mit vielen Bläschen, den sogenannten synaptischen Vesikeln, gefüllt (s. Abb. 6). Ihre Größe beträgt 300–600 Å im Durchmesser. Sie sind von einer Unit-Membran umschlossen und erscheinen elektronendichter als das umgebende Grundplasma. An der präsynaptischen Membran zeigt sich eine starke Anreicherung der Vesikel. Man nimmt an, daß in ihnen das Acetylcholin als Transmittersubstanz gespeichert wird. Bei Nervenreizung sollen die Vesikel ihren Inhalt in den Synapsenspalt entleeren und somit die Ionenpermeabilität der Muskelmembran und den Aufbau des Aktionspotentials bewirken. Das freigesetzte Acetylcholin soll von der Cholinesterase im Synapsenspalt hydrolysiert werden.

Die Cholinesterase wurde von einigen Autoren nach verschiedenen Methoden im primären und sekundären Synapsenspalt nachgewiesen (BARNETT 1962; BROWN 1961; KOELLE 1954; LEHRER und ORNSTEIN 1959, ROGERS u. Mitarb. 1965; ROGERS u. Mitarb. 1966). Erst kürzlich konnte KOELLE (mündliche Mitteilung) durch einen sehr feinen Goldsulfidniederschlag zeigen, daß die Cholinesterase an der prä- und stärker noch an der postsynaptischen Membran lokalisiert ist.

Ferner liegen im Axon größere Vesikel mit einem Durchmesser von 700 bis 1500 Å (Abb. 7 und 8). Sie sind mit einer besonderen Membrandifferenzierung in Form eines Stachelsaums von etwa 150 Å Breite versehen. Die Stacheln sind zwischen 60 und 80 Å dick, ihr Abstand voneinander beträgt 50–100 Å. Nach ANDRES (1964) dienen sie der Resorption von makromole-

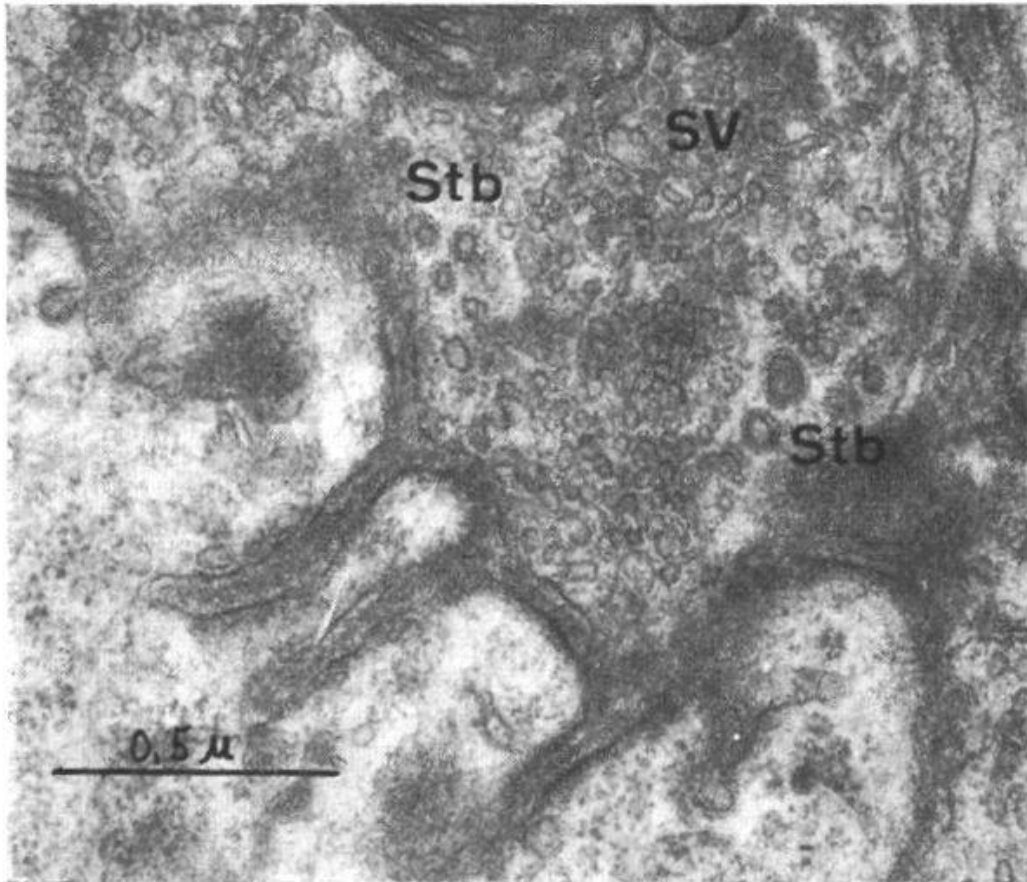


Abb. 7. Stachelsaumbläschen in motorischer Endplatte. Kontrastierung: Uranylacetat-Kaliumpermanganat, 55 000fach.

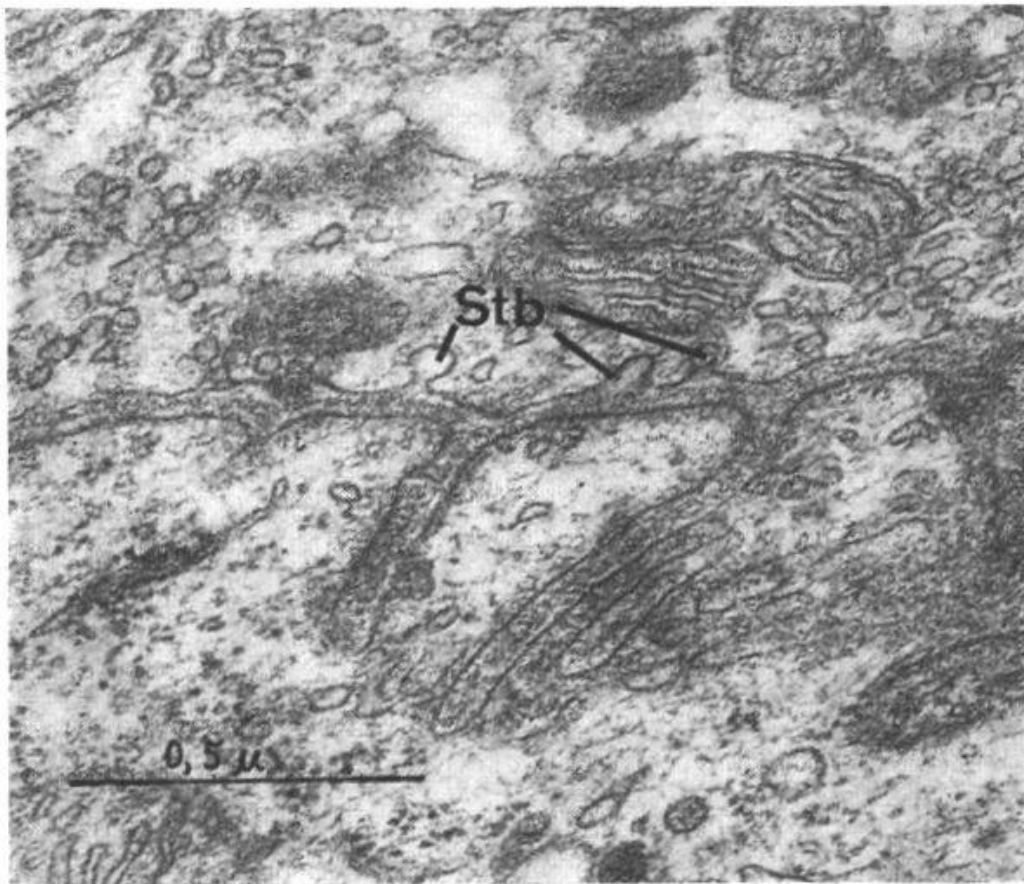


Abb. 8. Entstehung der Stachelsaumbläschen an der präsynaptischen Membran. Kontrastierung: Uranylacetat-Kaliumpermanganat, 68 000fach.



kularen Substanzen. Im Zentralnervensystem stellen sie ein verbreitetes Phänomen dar und besitzen im Bereich der neuronalen Synapsen eine wichtige Stoffwechselfunktion. Auch von GRAY (1962) wurden sie in den neuronalen Synapsen gesehen und als «complex vesicles» beschrieben. Nach ANDRES wird das Cholin von der präsynaptischen Nervenendigung in Form dieser Stachelsaumbläschen wieder aufgenommen, um von neuem zur Transmittersubstanz synthetisiert zu werden.<sup>1</sup>

Mit Hilfe des Elektronenmikroskops konnte ein wesentlicher Beitrag zur Aufklärung der Struktur der motorischen Endplatte geliefert werden. Folgende Punkte wurden klar herausgestellt:

1. die Diskontinuität von Nerv- und Muskelzelle;
2. die Bildung des subneuronalen Apparates durch die Muskeloberflächenmembran;
3. die Anwesenheit von synaptischen Vesikeln;
4. die Lokalisation der Cholinesterase in der prä- und postsynaptischen Membran.

### *Zusammenfassung*

In den motorischen Endplatten endigen die efferenten markhaltigen Nervenfasern in der quergestreiften Muskulatur. Der Bau der Endplatten läßt sich nur mit Spezialfärbungen (Silber- oder Goldimprägnation, Methylenblau oder Fermentreaktionen) studieren. Einzelheiten sind nur im Elektronenmikroskop sichtbar.

Die Struktur der Endplatten besteht aus drei Hauptkomponenten: dem terminalen Axon, der Schwannschen Zelle und der Zone von modifiziertem Sarkoplasma. Nahe der Oberfläche des Muskels teilt sich die Nervenfasern und bildet zusammen mit einer kern- und mitochondrienreichen Zone des Sarkoplasmas (Sohlenplatte) die motorische Endplatte. Vor der Kontaktstelle verliert die Nervenfasern ihre Myelinscheide, so daß der Achsenzylinder nur noch in die Schwannsche Zelle eingebettet ist. Das Sarkolemm bildet den aus lamellären Einfaltungen bestehenden subneuronalen Apparat. Mit Hilfe von Schemata und elektronenoptischen Aufnahmen werden die Membranverhältnisse von Schwannscher Zelle, Axon und Muskel diskutiert. Das Axon ist mit den sogenannten synaptischen Vesikeln von 300–600 Å im Durchmesser angefüllt. Sie sind von einer Membran umschlossen und enthalten eine Zone geringer Elektronendichte. An der präsynaptischen Membran zeigt sich eine starke Anreicherung der Vesikel. Man nimmt an, daß in ihnen das Acetylcholin als Transmittersubstanz gespeichert wird. Durch fermentchemische Reaktion konnte die Lokalisation der Cholinesterase an der prä- und postsynaptischen Membran nachgewiesen werden.

---

<sup>1</sup> *Anmerkung bei der Korrektur:* Eigene kürzliche Untersuchungen (NICKEL, VOGEL, WASER: Z. Zellforsch., im Druck) haben eine weite Verbreitung dieser Stachelsaumbläschen («coated vesicles») in verschiedenen Zellarten des Mausdiaphragmas ergeben. Auf Grund dieser Beobachtungen läßt sich schließen, daß ihnen keine spezielle Funktion im Bereich der Synapsen zukommt, sondern daß sie vielmehr ein allgemein günstiges und vielseitiges Aufnahme- und Transportmittel für verschiedene Stoffe darstellen.

### *Résumé*

Les fibres nerveuses efférentes, myélinisées, se terminent dans la musculature striée par des plaques motrices. L'étude de celles-ci nécessite des colorations spéciales (imprégnation à l'argent ou à l'or, réactions histochimiques ou histoenzymatiques particulières, ou coloration au bleu de méthylène). Les détails de structure ne sont visibles qu'au microscope électronique.

La plaque motrice se compose de trois éléments principaux: l'axone terminal, la cellule de Schwann et la zone du sarcoplasme modifié. Avant d'aborder la fibre musculaire, le nerf se divise et perd sa gaine de myéline. Le cylindre-axe, entouré seulement d'une cellule de Schwann, se termine dans une zone du sarcoplasme riche en noyaux et en mitochondries formant ainsi la plaque motrice. Le sarcolemme forme l'appareil sousneural. A l'aide d'un schéma et d'images prises au microscope électronique, nous discutons les relations entre les membranes des cellules de Schwann, de l'axone et du muscle. L'axone terminal est rempli de «vésicules synaptiques» d'un diamètre de 300–600 Å. Ces vésicules sont entourées d'une membrane et présentent une zone de moindre densité optique. Près de la membrane présynaptique, les vésicules sont particulièrement fréquentes. On suppose que l'acétylcholine est stockée à leur niveau. Des réactions enzymatiques ont permis de démontrer la présence de cholinestérase dans les membranes pré- et post-synaptiques.

### *Riassunto*

All'altezza delle placche motoriche terminali, le fibre nervose mieliniche efferenti terminano nella muscolatura striata. La struttura delle placche terminali può essere studiata soltanto mediante colorazioni speciali (saturazione con argento o oro, blu di metilene o reazioni enzimatiche). I particolari sono visibili solamente al microscopio elettronico.

La struttura delle placche terminali è composta di tre parti principali: l'assone terminale, la cellula di Schwann e la zona a sarcoplasma modificato. In prossimità della superficie del muscolo la fibra nervosa si divide e forma la placca motorica assieme ad una zona del sarcoplasma ricca di nuclei e mitocondri (placca plantare). All'altezza del punto di contatto, la fibra nervosa perde la sua guaina mielinica di modo che il cilindrase si trova circondato soltanto dalla cellula di Schwann. Il sarcolemma forma l'apparato subneurale composto di ripiegature lamellari. Con l'aiuto di schemi e registrazioni ottico-elettroniche si discutono le condizioni della membrana della cellula di Schwann, del prolungamento cilindrase e del muscolo. Il prolungamento cilindrase è riempito delle cosiddette vescicole sinapsiche dal diametro di 300–600 Å. Tali vescicole sono avvolte da una membrana e contengono una zona di densità elettronica ridotta. Nella regione presinapsica della membrana si nota un aumento sensibile delle vescicole. Si ammette che in queste vescicole sia accumulata l'acetilcolina quale sostanza di trasmissione. Mediante reazioni enzimatiche si poté localizzare l'esterasi dell'acetilcolina nella membrana pre- e postsinapsica.

### Summary

Efferent medullated nerve fibers terminate in the striated muscles at the motor endplates. The structure of these endplates, details of which are only visible under the electron microscope, can be studied with special staining methods such as silver or gold impregnation, methylene blue staining, or enzyme reactions.

The endplate consists of three main structural components: the terminal axon, the Schwann cell, and the zone of modified sarcoplasm. The nerve fibers divide near the surface of the muscle and, together with a zone rich in mitochondria and nuclei, the soleplate, form the motor endplates. Near the region of contact with the muscle, the nerve fiber loses its myelin sheath, so that the axon is embedded only in the Schwann cell. The sarcolemma forms the junctional folds of the subneural apparatus. With the aid of a diagram and electron microscopic photographs, the relationship between the membrane complex of the Schwann cell, the axon, and the muscle cell are discussed. The axon is filled with the so-called synaptic vesicles of 300–600 Å diameter, each of which is surrounded by a unit membrane and contains a zone of low electron density. There is a large accumulation of vesicles at the presynaptic membrane. It is assumed that acetylcholine is stored in them and is the stimulus-transmitting substance. Cholinesterase can be localized on the pre- and postsynaptic membranes by means of an enzyme reaction.

- ANDERSSON-CEDERGREN E.: Ultrastructure of motor end plate and sarcoplasmic components of mouse skeletal muscle fiber as revealed by three-dimensional reconstructions from serial sections. *J. Ultrastruct. Res.*, Suppl. 1 (1959).
- ANDRES K. H.: Mikropinozytose im Zentralnervensystem. *Z. Zellforsch.* 64, 63–73 (1964).
- BARNETT R. J.: The fine structural localization of acetylcholinesterase at the myoneural junction. *J. Cell Biol.* 12, 247–262 (1962).
- BROWN L. M.: A thiocholine method for locating cholinesterase activity by electron microscopy. *Histochemistry of cholinesterase, Symposium Basel 1960. Bibl. anat. (Basel)* 2, 21–33 (1961).
- COUTEAUX R.: Contribution à l'étude de la synapse myoneurale (Buisson de Kühne et plaque motrice). *Rev. canad. Biol.* 6, 563–711 (1947).
- COUTEAUX R. und TAXI J.: Recherches histochimiques sur la distribution des activités cholinestérasiques au niveau de la synapse myoneurale. *Arch. Anat. micr. Morph. exp.* 41, 352–392 (1952).
- GRAY E. G.: Electron microscopy of synaptic organelles of the central nervous system. IV. int. Kongr. Neuropath., München 1961 (Proc.), II, 57–61. Thieme, Stuttgart 1962.
- KOELLE G. B.: The histochemical localization of cholinesterase in the central nervous system of the rat. *J. comp. Neurol.* 100, 211–235 (1954).
- LEHRER G. M. und ORNSTEIN L.: A diazo coupling method for the electron microscopic localization of cholinesterase. *J. biophys. biochem. Cytol.* 6, 399–406 (1959).
- ROGERS A. W., BARNARD E. A. und OSTROWSKI K.: The number of cholinesterase molecules in motor end-plates of the mouse. *J. Cell Biol.* 27, 87A–88A (1965).
- ROGERS A. W., DARZYNKIEWICZ Z., BARNARD E. A. und SALPETER M. M.: Number and location of acetylcholinesterase molecules at motor endplates of the mouse. *Nature (Lond.)* 210, 1003–1006 (1966).

Adresse des Autors: Dr. Elvira Nickel, Pharmakologisches Institut der Universität, Gloriastraße 32, 8006 Zürich