

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 378/1961

Skelettmuskulatur

Kontraktionswellen in Einzelfasern

***Geotrupes silvaticus* (Geotrupidae)**

GÖTTINGEN 1964

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht
Länge der Kopie (16-mm-Stamminfilm, farbig): 64 m
Vorführdauer: 6 Min. — Vorführgeschwindigkeit: 24 B/s

Die Herstellung des Films erfolgte im Jahre 1960 durch
das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen

(Direktor: Dr.-Ing. G. WOLF)

Sachbearbeitung: Dr. H. KUCZKA

Aufnahme: K. PHILIPP

Wissenschaftliche Leitung: Dr. H. LÖHRL, Staatl. Vogelschutz-
warte f. Baden-Württemberg, Inst. f. angew. Vogelkunde,

Ludwigsburg

Skelettmuskulatur

Kontraktionswellen in Einzelfasern *Geotrupes silvaticus* (Geotrupidae)

Filmbeschreibung von Prof. Dr. K. E. ROTHSCHUH

Allgemeine Vorbemerkungen

Die Frage nach der Ausbreitung von Kontraktionswellen in Muskelfasern entstand, als verschiedene Autoren zu der Überzeugung kamen, daß viele Muskelfasern helikoid gebaut sind. Das ist schon früher aus der sogenannten Noniusverschiebung erschlossen worden, neuerdings hat ENGELHARDT ([1], [3]) an der Einzelfaser des *M. cutaneus dorsi* vom Frosch den Weg der Kontraktionswelle verfolgen können. Danach verläuft diese schneckenförmig (vielleicht zwischen zwei Z-Streifen) durch die Faser. Die benachbarten Sarkomeren werden nacheinander im Abstand von 2 m/s aktiviert. Dann würde sich ein Kontraktionsvorgang, der geradlinig eine Scheingeschwindigkeit von 2 m/s besitzt, in Wirklichkeit im Wendelverlauf mit einer Geschwindigkeit von 60 m/s über die Faser fortpflanzen. Diese helikoidale Fortpflanzung haben auch MATTHAEI und TREGS [3] beobachtet. RUSKA und EDWARDS [6] entwarfen auf Grund elektronenmikroskopischer Befunde einen neuen Bauplan der helikoidalen Muskelfaser — der helikoidale Weg der Erregungswelle durch die Muskelfaser ist zur Zeit aus den Vorstellungen der Elektrophysiologie nicht erklärbar, da wir anzunehmen pflegen, daß der Erregungsvorgang auf der elektrisch homogenen polarisierten Oberfläche des die Fibrillen einhüllenden Membransacks gleichmäßig und achsenparallel fortschreitet. Eine helikoidal gebänderte Membranpolarisation für die Muskelfaser anzunehmen, fällt uns schwer. Das endoplasmatische Reticulum hat auch keinen helikoidalen Verlauf. Den Stand der Frage haben ROTHSCHUH [5] und zuletzt RUSKA [7] dargestellt.

Das Ziel des Films bestand in zweierlei: Erstens sollte der Ablauf des Kontraktionsgeschehens überhaupt einmal sichtbar gemacht werden. Der Vorgang ist wegen seiner Schnelligkeit mit unbewaffnetem Auge nicht zu verfolgen und auch mikroskopisch nur an einer Einzelfaser von geringer optischer Dichte zu beobachten. Nur durch die Zeitdehneraufnahmen kann der Vorgang so auseinandergezogen werden, daß ihn das menschliche Auge auflösen kann.

Das zweite Ziel bei der Aufnahme der Kontraktionswellen im Arthropodenmuskel war eine Klärung der Frage, ob sich die Kontraktionswelle faserparallel oder wendelförmig (helikoidal) über die Faser fortpflanzt.

Die Muskelfasern der Arthropoden sind sehr dünn und fast durchsichtig, so daß sie sich für die mikroskopische Beobachtung, die Photographie und Lebendbeobachtung besonders gut eignen. Dazu kommt, daß sie sich relativ leicht präparieren und gut einige (bis etwa zehn) Minuten überlebend erhalten lassen. Die Muskelfasern von *Geotrupes silvaticus* sind wegen der Häufigkeit der Tiere, zumal im Herbst, un schwer zu beschaffen. Schließlich haben diese Fasern bei diesen Käfern die besondere Eigentümlichkeit, daß sie nach der Herauslösung aus den Chitinschäften der Beine, in eine geeignete Lösung gebracht, spontan tätig sind. So läßt sich minutenlang die von den verletzten Faserenden ausgehende Ausbreitung der Kontraktionswellen beobachten (ROTH-SCHUH [4]).

An den vom lebenden Käfer körpernah abgetrennten Beinen löst man den dicken Oberschenkel ab, öffnet mit einer feinen Schere das Chitinrohr und hebt mit einer spitzen Präpariernadel die Fasern heraus. Dann bringt man sie auf einen Objektträger in eine Lösung der folgenden Zusammensetzung: 0,004 g CaCl_2 , 0,02 g KCl, 0,6 g NaCl in 100 cm^2 aqua dest. Die Ca-Armut der Lösung ist Voraussetzung für die autorhythmische Aktivität. Schonende und schnelle Präparation begünstigt die Fortdauer der Kontraktionswellen bis zu zehn Minuten. Dabei beginnt eine vom Faserende aus fortschreitende Kontraktur (ROTH-SCHUH [4], [8]), die sich durch ein Zusammenrücken der Querstreifungslinien deutlich bemerkbar macht.

Filminhalt

50 B/s¹⁾

1. Man sieht deutlich die Querstreifung der Faser. Von links nach rechts wandern Kontraktionswellen über die Faser hin. Eine Kontraktionswelle scheint nicht alle Teile der Faser, die auf dem gleichen Querschnitt liegen, im gleichen Zeitpunkt zu aktivieren, denn die Faser krümmt sich gelegentlich, was nur durch einen Vorsprung der Aktivierung auf einer Faserseite erfolgen kann. Man hat mitunter den Eindruck, daß die Kontraktionswelle die Faserrückseite früher als die dem Beschauer zugekehrte Seite erfaßt. Es ist hier, wie in den nächsten Aufnahmen nicht deutlich erkennbar, ob die Fortpflanzung der Kontraktionswelle „schneckenförmig“ erfolgt oder nicht.

2. Ähnliche Bildserie. Etwas größere Faser. Die Kontraktionswellen laufen von rechts nach links (Objektiv 20, Okular 6).

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

3. Bei stärkerer Zeitdehnung sieht man an einer von rechts nach links fortschreitenden Kontraktionswelle deutlich, daß der Prozeß am oberen und unteren Faserrand nicht ganz gleichzeitig auftritt. Manchmal scheint auch der mittlere Faseranteil zuletzt von der Welle erfaßt zu werden (Objektiv 20, Okular 6).

4. Starke Zeitdehnung und noch stärkere Vergrößerung. Nur ein kleiner Teil der Faser ist im Bildausschnitt. Man hat den Eindruck, als ob die sichtbaren Faserabschnitte nicht gleichzeitig von einer achsenparallel fortschreitenden Kontraktionswelle erfaßt wurden (Objektiv 20, Okular 9).

5. Die Kontraktionswellen wandern von unten nach oben über die senkrecht gelagerte Faser. Man vermag deutlich zu erkennen, daß die an ruhenden Fasern sich zu einer Querlinie deckenden Querstrukturen bei der Aktivierung so auseinandergezogen werden, daß man den Eindruck von einer Kreisstruktur oder Spiralstruktur bekommt. Mitunter sieht die Struktur fast wendeltreppenartig aus.

Auch die schnelle Bildfolge erlaubt noch nicht, das Fortschreiten der Kontraktionswelle so genau zu verfolgen, daß eine Entscheidung darüber möglich ist, ob tatsächlich die Ausbreitung der Kontraktionswelle wendelartig helikoidal um die Faserachse und nicht faserparallel erfolgt.

Literatur

- [1] ENGELHARDT, A., Über die Ausbreitung der Kontraktionswelle im quergestreiften Muskel. *Z. Biol.* **105** (1953), S. 313.
- [2] ENGELHARDT, A., Über den helikoiden Bau menschlicher Augenmuskelfasern. *Anat. Anz.* **101** (1954/55), S. 233.
- [3] MATTHAEI, E. & O. W. TIEGS, The path of the slow wave in arthropod muscle fibre. *Phil. Trans. Royal Soc., Ser. B.* **238** (1954/55), p. 238.
- [4] ROTHSCHUH, K. E., Analyse der Bedingungen für die fortschreitende Desorganisationskontraktur verletzter Skelettmuskelfasern. *Pflügers Arch.* **261** (1955), S. 557.
- [5] ROTHSCHUH, K. E., Beziehungen zwischen Struktur und Funktion an der Muskelfaser. 4. Intern. Kongr. f. Elektronenmikroskopie Berlin 10.—17. Sept. 1958. Heidelberg 1960.
- [6] RUSKA, H., G. A. EDWARDS & R. CAESAR, Conduction of irritation. *Ann. Rep. of the Div. of Labor and Research. N. Y. State Dep. of Health*, p. 25/26, 1956.
- [7] RUSKA, H., Der Beitrag der Elektronenmikroskopie zum Verständnis der Muskelfunktion. *Hippokrates* **34** (1963), S. 253.

Vgl. ferner den wissenschaftl. Film des Instituts für den wissenschaftlichen Film, Göttingen, mit zugehöriger Begleitveröffentlichung:

- [8] B 712 — Fortschreitende Strukturveränderungen an verletzten Skelettmuskelfasern.