Histology. — *Ueber die Entstehung der kurzen Kontraktionswellen in der quergestreiften Muskulatur der Säugetiere.* (Vorläufige Mitteilung). Von B. I. LAWRENTJEW, Moskau. (Communicated by Prof. J. BOEKE).

(Communicated at the meeting of February 23, 1929).

Wie bekannt unterscheidet sich die Länge der Kontraktionswelle bei Einzelzuckung der quergestreiften Muskelfaser bei Wirbellosen und bei Wirbeltieren stark voneinander. Insbesondere nimmt man für Warmblüter an, dass die Länge der Kontraktionswelle grösser als die der Muskelfaser selbst ist. Umgekehrt ist die Wellenlänge bei einigen Insekten bei Einzelzuckung kürzer als die Länge der Muskelfaser (ROLLET) (4). In diesem Falle gelingt es, den Verlauf der Welle längs der Muskelfaser in Gestalt eines am Muskel sich fortbewegenden Knotens zu erfassen. Dieses interessante Phänomen hat es ermöglicht, die Morphologie der Kontraktionen an lebenden Muskelfasern zu erforschen (HÜRTHLE) (3).

In Alkohol fixierte Käfermuskeln ergeben ebenfalls das Phänomen einer kurzen Welle. In diesem Falle entspricht das Bild der Verdickung im Wellengebiete nicht in allem den Beobachtungen am lebenden Muskel, da die Menge der von der Welle erfassten Kommata bedeutend grösser als bei Kontraktion im lebenden Zustande ist. Es unterliegt jedoch keinem Zweifel, dass das Phänomen der kurzen Welle auf dem fixierten Präparate eine Erscheinung derselben Ordnung wie bei der Kontraktion im lebenden Zustande darstellt. Man nimmt an, dass die kurzen Wellen eines fixierten Muskels das Resultat einer gewissen Summierung mehrerer kurzen Wellen sind.

Was nun die quergestreiften Muskeln der Säugetiere anbetrifft, so lassen sich hier auf den fixierten Präparaten häufig Kontraktionsknoten beobachten, deren Entstehung und Charakter jedoch, wie HEIDENHAIN (2) mit Recht hervorhebt, keine Gesetzmässigkeit zeigt und nicht den Typus wirklicher Wellen besitzt.

Bei Untersuchung der Speiseröhre eines Hundes ist mir jedoch die Feststellung des Phänomens der kurzen Welle mit Anzeichen einer bestimmten Gesetzmässigkeit gelungen, weshalb ich es für nicht uninteressant halte, darüber zu berichten.

Wie bekannt, besteht die muscularis propria der Speiseröhre eines Hundes bis zur cardia hauptsächlich aus quergestreiften Muskelfasern.

Durch Imprägnation nach BIELSCHOWSKY lässt sich leicht nachweisen, dass jede quergestreifte Muskelfaser durch den motorischen Apparat von den markhaltigen Nervenfasern versorgt wird. Diese Verhältnisse hat SABUSSOW (5) bei seinen Arbeiten nach der Methylenblaumethode vorzüglich nachgewiesen. Die Nervenendigungen zeigen den Charakter der für die quergestreifte Muskulatur typischen motorischen Endplatte. Sehr häufig tritt die Endplatte über das allgemeine Niveau der Muskelfaser hervor und bildet eine Art von Hugel. Die Sohlenplatte enthält 5—12 Kerne. Bei gelungener Imprägnation tritt das von J. BOEKE (1) entdeckte und ins Sarkoplasma der Muskelfaser übergehende periterminale Netzwerk sehr deutlich hervor [1]).

Durch ein- und beiderseitige Durchschneidung der n.n. vagi und nachfolgende Untersuchung des Degenerationsverlaufs der Nervenfasern in der Wand der Speiseröhre ist es mir gelungen, festzustellen, dass die markhaltigen Nervenfasern, die auf den quergestreiften Muskeln der Speiseröhre motorische Endplatten ergeben, den n. vagi angehören.

Es wird also die Innervation der quergestreiften Muskeln der Speiseröhre eines Hundes bis zur cardia ohne Unterbrechung der zentralen Fasern in den peripheren Ganglien vorgenommen.

Die motorischen Fasern der n. vagi und ihre Endigungen in den quergestreiften Muskeln degenerieren am 5.—6. Tage nach Durchschneidung der n. vagi. Am 7. Tage nach Durchschneidung des rechten n. vagus fand ich, dass die vom linken n. vagus innervierten quergestreiften Muskelfasern (d.h. die Fasern, deren motorische Apparate intakt geblieben waren) typische kurze Kontraktionswellen besassen.

Das Bild einer solchen kurzen Welle ist, wie das aus den beigefügten Abbildungen gut hervorgeht, ein derart charakteristisches, dass man es in keinem Falle mit den Kontraktionsknoten, wie sie in fixierten Muskeln angetroffen werden und die in den meisten Fällen Absterbeerscheinungen der Muskelfaser darstellen, verwechseln darf.

Die von mir wahrgenommenen kurzen Wellen befinden sich in allen Fällen auf dem Niveau der motorischen Endplatte, erstrecken sich in völlig gleicher Entfernung zu beiden Seiten des Endplattenzentrums und gehen allmählich in normale Querstreifen über. Diese Wellen zeigen demnach dasselbe Bild, wie es an Käfermuskeln erhalten worden ist.

Die Menge der von der Welle erfassten Kommata schwankt in den Grenzen von 12—60. Die Abbildungen 1,3. geben eine anschauliche Vorstellung von diesem Phänomen. Hier ist es uns gelungen, gleichzeitig

---

[1]) Die Präparate aller hier beschriebenen Versuche wurden in folgender Weise hergestellt: Lebensfrische Stückchen der Speiseröhre wurden mit der Muscularis nach oben auf Paraffinplättchen gespannt und in folgendem Gemisch fixiert: Ac. arsenicosi 1%—30.0, Alcohol aeth. rect. 96°—30.0, Formol —30,0. Hier bleiben die Stückchen 1 Stunde. Im weiteren wurden die Stückchen ohne vorherige Spülung in 20 prozentiges Formol gebracht, in dem sie ohne Schaden längere Zeit bleiben können. Gefrierschnitten. Nervenfärbung nach BIELSCHOWSKY-GROS, Vergoldung. Hämatoxilin. Einbettung in Lävulose nach HERINGA.

auch die motorische Endplatte mit der Nervenfaser zu färben und daher tritt der Zusammenhang der Welle mit dem Nervenapparate besonders deutlich hervor.

Meine Aufgabe bestand in der unwiederleglichen Feststellung folgender vier Punkte: 1. Entstehen die kurzen Wellen in Wirklichkeit auf Muskelfasern mit intakt gebliebenen Nervenapparaten. 2. Ist die Entstehung kurzer Wellen auf Fasern mit degenerierten Nervenendigungen möglich. 3. Zu welchen Fristen nach der Operation tritt das Phänomen der kurzen Welle am deutlichsten hervor. 4. Lassen sich kurze Wellen bei normalen, nicht operierten Tieren beobachten.

Zu diesem Zwecke durchschnitt ich die n. vagi auf der einen Seite des Halses, nahm eine beiderseitige Vagotomie vor, tötete nach Verlauf verschiedener Fristen die operierten Tiere und untersuchte endlich die Speiseröhren normaler, nicht operierter Tiere. Bis jetzt ist mir folgendes festzustellen gelungen:

1. Muskelfasern, die ihre Nervenapparaten von einem unversehrten n. vagus erhalten, ergeben vom 7. — 14. Tage nach Durchschneidung des anderen n. vagus am besten ausgeprägte Wellen.

2. Angefangen vom 2. Tage nach Ausschaltung des die gegebenen Muskelfasern innervierenden n. vagus lassen sich keine kurzen Wellen auf ihnen beobachten, d. h. die denervierte Muskelfaser zeigt nicht das Phänomen der kurzen Wellen. Die Abbildungen 2 und 3 illustrieren die angeführten Verhältnisse. Beide Abbildungen sind ein und demselben Versuche und der gleichen Präparatserie entnommen. In dem einen Falle (Abb. 2) hat die denervierte Muskelfaser (14. Tag nach Ausschaltung des rechten n. vagus) eine völlig gleichartige, normale Form; im anderen Falle (Abb. 3) zeigen drei nebeneinander liegende Fasern mit intakt gebliebenen Nervenapparaten deutliche Kontraktionswellen. Endlich ist es mir noch gelungen, kurze Wellen auf den Muskelfasern einer von normalen, nicht operierten Hunden genommenen Speiseröhre zu erhalten. Jedoch werden diese Wellen hier nicht so häufig beobachtet und sind nicht so gut ausgeprägt.

Hier im Gebiete der Endplatten lässt sich bisweilen eine für die Welle typische Anschwellung und Annäherung der Menisken beobachten, jedoch keine so intensive, wie bei den nach Vagotomie beschriebenen Fällen.

Auf Grund des bis jetzt erhaltenen Materials habe ich natürlich zu irgendeiner Schlussfolgerung, inwieweit das beobachtete Phänomen den im lebenden Organismus bestehenden physiologischen Kontraktionsbedingungen entspricht, kein Recht. Es ist durchaus möglich, dass die kurze Welle in der von mir im fixierten Präparate beobachteten Form nicht bei normaler Arbeit der Speiseröhrenmuskeln entsteht, was jedoch das Interesse an unserer Beobachtung nicht schmälert.

In erster Linie ist der Zusammenhang der kurzen Welle mit dem Nervenapparate von Interesse. MARTIN HEIDENHAIN suchte das Wesen der kurzen Wellen in der Struktur der kontraktilen Substanz selbst. Die

Phylogenese der quergestreiften Muskeln geht nach M. HEIDENHAIN in der Richtung einer Zunahme der Wellenlänge vor sich. Aus diesem Grunde haben die "unvollkommenen" Käfermuskeln, die nur kurze Wellen ergeben können, eine Menge Innervationspunkte, "um die Homogenität der Funktion zu sichern".

In unserem Falle sehen wir jedoch ein unmittelbares Abhängigkeitsverhältnis der kurzen Welle vom Nervenleiter. Der denervierte Muskel ergibt kein Phänomen der kurzen Welle. Ausserordentlich interessant ist auch die Abhängigkeit, die zwischen den kurzen Wellen und der Durchschneidung eines der n. vagi besteht.

Man erhält den Eindruck, dass die Durchschneidung des einen n. vagus gewisse funktionelle Veränderungen beim intakt gebliebenen Partner nach sich zieht. In jüngster Zeit begegnen wir in der physiologischen Literatur Hinweisen, dass bei Durchschneidung eines der paarigen Nerven die Erregbarkeit des anderen in der Tat gesteigert wird.

Die erhaltenen Resultate gestatte ich mir in folgender Weise zusammenzufassen:

1. Die quergestreifte Muskulatur der Speiseröhre eines Hundes erhält vom n. vagus motorische Fasern, die sich ohne Unterbrechung in den peripheren Ganglien unmittelbar zu den Muskelfasern hinziehen.

2. Die Nervenapparate auf den quergestreiften Muskelfasern der Speiseröhre stellen typische für die willkürliche Muskulatur motorische Endplatten mit gut ausgeprägtem periterminalem Netzwerk dar.

3. Auf den quergestreiften Muskelfasern der Speiseröhre lässt sich in fixiertem Zustande das Phänomen der kurzen Kontraktionswelle beobachten, das den bei Käfermuskeln beschriebenen kurzen Wellen ausserordentlich ähnlich ist.

4. Auf den mit einem nicht degenerierten n. vagus in Zusammenhang stehenden Muskelfasern werden die kurzen Wellen bei Durchschneidung des anderen n. vagus mit der grössten Deutlichkeit vom 7. bis zum 14. Tage nach der Operation beobachtet.

5. Denervierte Muskelfasern der Speiseröhre ergeben keine kurzen Wellen.

LITERATUR.

1. BOEKE J. Die Beziehungen der Nervenfasern zu den Bindegewebselementen und Tastzellen. Das periterminale Netzwerk der motorischen und sensibeln Nervenendigungen, seine morphologische und physiologische Bedeutung. Zeitschr. für microscop.-anatomische Forschung Bd. **4**. Heft 1. 1926.

2. HEIDENHAIN M. Plasma und Zelle. 1 Abteilung. Jena. Fischer 1907.

3. HÜRTHLE K. Ueber die Struktur des quergestreiften Muskels im ruhenden und tätigen Zustande und seinen Aggregatzustand. Biolog. Centralblat. Bd. **27**. 1907.

4. ROLLET A. Ueber die Kontraktionswellen und ihre Beziehung zu der Einzelzuckung bei den quergestreiften Muskelfasern. Pflüger's Arch. Bd. **52**. 1892.

5. SABUSSOW N. Zur Frage nach der Innervation des Schlundkopfes und der Speiseröhre der Säugetiere. Anatomischer Anzeiger Bd. **44**, N $^3/_4$. 1913.

ERKLÄRUNG DER ABBILDUNGEN.

Abb. 1. Hund. Kurze Kontraktionswelle in der Muskelfaser der Speiseröhre. Die motorische Nervenendplatte nach Bielschowsky inprägniert. Photo.

Abb. 2. Hund. 14 Tage nach Durchscheidung des rechten n. vagus. Die Nervenfasern des rechten n. vagus und die von ihnen gebildeten Nervenendplatten völlig degeneriert. Keine Kontraktionswellen. Bielschowsky. Vergoldung. Hämatoxylin.

Abb. 3. Hund. 14 Tage nach Durchschneidung des rechten n. vagus. Kurze Kontraktionswellen in den Muskelfasern der Speiseröhre. Die Nervenfasern des linken vagus und ihre Endigungen intakt geblieben. Bielschowsky. Vergoldung. Hämatoxylin.

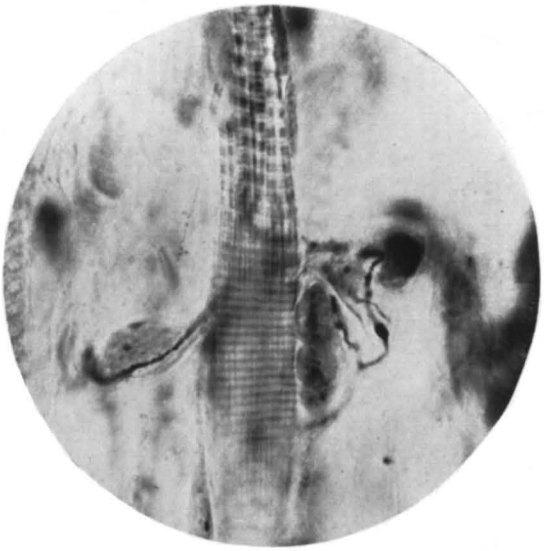

Fig. 1.

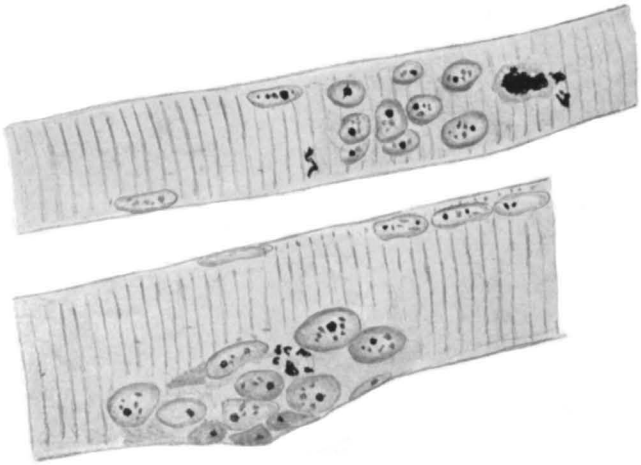

Fig. 2.

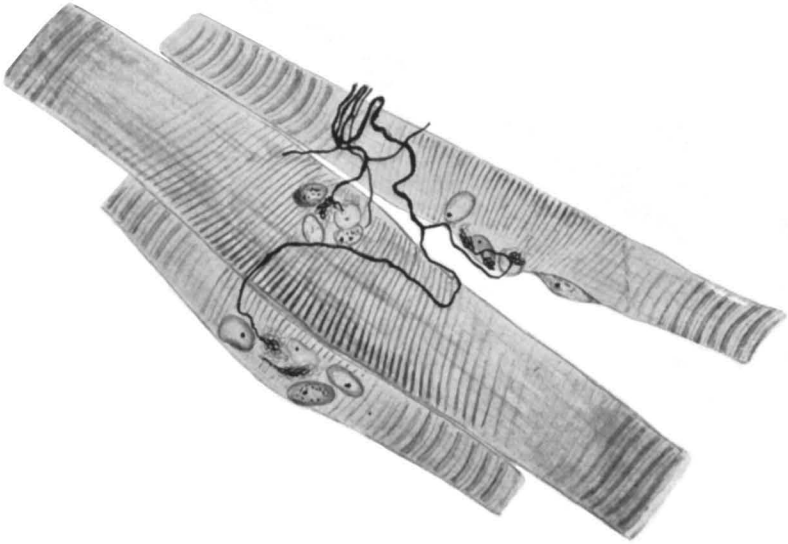

Fig. 3.