(Aus dem physiol. Institute der Columbia University, in dem College of Physicians and Surgeons zu New York.)

Über Temperatur und Muskelermüdung.

Von

Frederic S. Lee.

(Mit 6 Textfiguren.)

Im Verlaufe einer Untersuchung über Muskelermüdung habe ich es für nötig befunden zu bestimmen, ob während dem Zustandekommen der bekannten, bei der Ermüdung des Kalt- und Warmblütermuskels entstehenden Zuckungsunterschiede die Temperatur möglicherweise eine wichtige Rolle spielt. Schon vor mehreren Jahren hat der Verfasser bewiesen, dass, während die ermüdenden Muskeln des Frosches und der Schildkröte eine fortschreitende Verlangsamung des ganzen Zuckungsvorganges erleiden, welche hauptsächlich durch eine Verlängerung des herabsteigenden Teiles der Kurve gekennzeichnet ist, die Muskeln der Katze ein solches Verhalten nicht erkennen lassen¹⁾).

Rollett²⁾ befasste sich zu derselben Zeit mit dem gleichen Thema, ohne dass dem Verfasser dieser Umstand bekannt war, und nahm ganz ähnliche Unterschiede in dem Verhalten der Muskeln des Frosches und der Kröte einerseits und denjenigen des Kaninchens und des Menschen wahr. Späterhin, in Verbindung mit gewissen von Liehr ausgeführten Versuchen, kam Schenck³⁾ zu der Überzeugung, dass dieses verschiedene Verhalten wenigstens zum Teile durch Temperaturunterschiede erzeugt sei. In letzter Zeit hat

1) Muscle Fatigue. Proceedings of the Fourth International Physiological Congress. August 1898. Journal of Physiology vol. 23, Suppl. p. 61. — Auch: The Nature of Muscle Fatigue. Proceedings of the American Physiological Society, New-York Dec. 1898. American Journal of Physiology vol. 2 p. II.

2) Dieses Archiv Bd. 64 S. 507. 1896; und Bd. 71 S. 209. 1898.

3) Dieses Archiv Bd. 79 S. 356. 1900.

Lohmann¹⁾ unter Anweisung von Schenck diese Frage experimentell geprüft und gefunden, dass die Verlängerung der Zuckungsdauer bei der Ermüdung des Gastrocnemius des Frosches durch Erwärmung auf etwa 34° C. ganz verhütet werden kann. Hinwiederum kann die in Frage stehende Verlangsamung bei der Ermüdung des Gastrocnemius der Maus zum Vorschein gebracht werden, wenn man diesen einer Temperatur von 8—11° C. aussetzt. In Lohmann's Schlussfolgerung heisst es: „Dadurch, dass ich in gleicher Weise beim Kaltblüter wie beim Warmblüter gezeigt habe, dass an ausgeschnittenen Muskeln beim Erwärmen die Verlängerung der Zuckungsdauer während der Ermüdung ausbleibt, während sie bei niedrigerer Temperatur eintritt, glaube ich den Beweis erbracht zu haben, dass ein physiologischer Unterschied dieser Muskeln, wie ihn Rollett auf Grund des verschiedenen Verhaltens der Zuckungsdauer bei der Ermüdung des kalten Kaltblüter- und des warmen Warmblütermuskels annimmt, nicht besteht.“

Da erstens eine so einfache Deutung dieser Erscheinung a priori überraschend erscheint, zweitens Lohmann die Muskeln nur zweier Spezien untersucht hat und drittens die der Arbeit beigegebenen Kurven seine Schlussfolgerung ohne weiteres nicht rechtfertigen, habe ich diese Frage noch einmal einer sorgfältigen Prüfung unterworfen. Die Resultate scheinen zu beweisen, dass das verschiedene Verhalten der Muskeln nicht primär durch Temperaturunterschiede erklärt werden kann.

Ich habe verschiedene Muskeln des Frosches (*Rana virescens*, Kalm), der Schildkröte (*Malaclemys centrata concentrica*, Shaw), der Katze, des Kaninchens, der weissen Maus, der weissen Ratte, des virginischen Murmeltieres und des Meerschweinchens benutzt. In den meisten Fällen wurden die Tiere durch Zerstörung des Kopfmarks getötet, worauf die Muskeln sofort herausgeschnitten und in den Muskelbehälter gebracht wurden. Von den Kaltblütern wurden sowohl kurarisierte wie nichtkurarisierte Tiere gebraucht; doch konnte ein Unterschied in dem Verhalten dieser so behandelten Muskeln nicht wahrgenommen werden. Wegen dem frühen Absterben der Nerven wurde es nicht für nötig erachtet, Kurare bei den Warmblütern anzuwenden. Die späteren Schlussfolgerungen müssen daher im Sinne der Muskelsubstanz und ohne Berücksichtigung der Nervenversorgung gedeutet werden.

1) Dieses Archiv Bd. 91 S. 338. 1902; und Bd. 92 S. 387. 1902.

Ein gewöhnlicher, aus Messing verfertigter Muskelbehälter wurde gebraucht, dessen innere Kammer den Muskel und einen Thermometer und dessen äusserer Raum Wasser enthielt, welches leicht durch eine Alkohollampe erwärmt oder durch Eis abgekühlt werden konnte. Nasse Luft oder Olivenöl bildete das Medium um den Muskel. Nasse Luft besitzt den Nachteil, dass die Temperaturanpassung darin langsamer vor sich geht; jedoch hat man hier den grossen Vorteil, den Muskel direkt mit dem Hebel durch die Öffnung im Boden des Behälters verbinden zu können. Wenn Öl gebraucht wird und die Verbindung mit dem Hebel aus bekannten Gründen über eine Rolle geschehen muss, wird wegen der grösseren Schwingungsträgheit der rein isotonische Charakter der Zuckung gefährdet. Dieses ist besonders nachteilig, wenn die schnellen Zuckungen eines erwärmten Muskels aufgezeichnet werden sollen.

Vor Anfang der Reizungen wurde der Muskel erst immer für längere Zeit in dem Behälter gelassen, so dass sich die Temperatur im Innern desselben der äusseren anpassen konnte. Um etwaigen kritischen Bemerkungen vorzubeugen, wurde zuerst eine Reihe von Vorversuchen angestellt, deren Zweck es war, die Zeit zu bestimmen, welche für eine genaue Anpassung der Temperatur nötig ist. Diese Bestimmungen wurden einestheils mit Hilfe eines kleinen Thermometers ausgeführt, dessen Ende in der Muskelsubstanz vergraben werden konnte; oder auch es wurde die Zeit bestimmt, welche vergehen muss, ehe die in Zwischenräumen von 1—2 Minuten erfolgenden Zuckungen eine gleiche Schwingungsgrösse zeigten. Nur selten geschah es, dass die Muskeln die Temperatur des Mediums innerhalb zehn Minuten annahm. Aus diesem Grunde habe ich oft 15—18 Minuten gewartet, ehe ich die Reizungen anfang. Es scheint, dass in Lohmann's Untersuchung eine Pause von nur drei Minuten zwischen dem Versenken des Gastrocnemius der Maus in dem Öle und dem Anfange der Reizung gemacht wurde. Man kann unschwer die Überzeugung erlangen, dass dieses Interval von genügend langer Dauer war. Lohmann's Wiedergabe der 31. Zuckung in Fig. 3 scheint eher die Wirkung der Kälte wie die der Ermüdung zu veranschaulichen.

Beim Erhitzen des Muskels wurde es sorgfältigst vermieden, eine Temperatur zu erzielen, bei welcher eine Gerinnung der Proteide entstehen könnte. Brodie und Richardson¹⁾ und

1) Philosophical Transactions of the Royal Society, B. vol. 191 p. 127. 1899.

Vernon¹⁾ haben den Gerinnungspunkt der Proteide einzelner Muskeln verschiedener europäischer Froscharten und anderer Tiere bestimmt. Es scheint, dass Lohmann hierin nicht absolut einwandsfrei vorgegangen ist. Er gibt einen Versuch an, in welchem der Gastrocnemius eines Frosches, dessen Spezies er jedoch nicht genauer bezeichnet, auf 38° C. erwärmt wurde. Ein solcher Versuch kann überhaupt nicht in Betracht gezogen werden.

Bei Anwendung niedriger Temperaturen habe ich in den verschiedenen Versuchen solche zwischen 10° und 13° C. angewandt; während der Dauer irgendeines Versuches betrug die Schwankung jedoch selten mehr wie einen Grad. Diese Temperaturerniedrigung wurde für die Prüfung der mir gestellten Frage als genügend erachtet. Wegen der Kontraktur, welche die gereizten Muskeln aller Tiere bei niedriger Temperatur zeigen, würde ein Ermüdungsversuch bei einer weniger als 10° C. betragenden Temperatur und mit den hier angewandten Reizungsgeschwindigkeiten fast unmöglich sein.

Der Muskel wurde durch maximale Öffnungsinduktionsschläge direkt gereizt. Hierzu wurde das von v. Frey modifizierte Bernstein'sche Rheotom gebraucht oder auch diesem ähnliche, an dem Kymographion selbst befestigte automatische Unterbrecher. Die Reize folgten verschieden schnell aufeinander. Da jedoch mehrere Autoren angegeben haben, dass, wenn der Muskel in langen Intervallen gereizt wird, es möglich sei, denselben auch ohne die charakteristische Verlängerung der Zuckung zu ermüden, habe ich es vorgezogen, hier nur vergleichsweise schnell aufeinanderfolgende Einzelreize zu gebrauchen. Ihre Zahl schwankte zwischen 24 bis 50 in der Minute. Das zwischen der Temperatur und der Ermüdung obwaltende Verhältnis muss natürlich von dem zwischen der Reizungsschnelligkeit und der Ermüdung bestehenden gesondert werden. Letzteres soll von mir in einer besonderen Arbeit besprochen werden.

Es wurde ein aus Stroh gefertigter Schreibhebel angewandt, dessen Länge 100 mm betrug. Der Muskel wurde 40 mm von der Achse befestigt, wo die Spannung des in der horizontalen Stellung sich befindlichen Hebels 0,11 gm betrug. Das Gewicht befand sich 4 mm von der Achse, so dass ein sehr empfindliches isotonisches System gebildet wurde. Da hier hauptsächlich der absteigende Teil der Zuckungskurve zur Beobachtung gelangen sollte, erschien es

1) Journal of Physiology vol. 24 p. 239. 1899.

angebracht zu sein, nur Gewichte von geringer Schwere zu benutzen, da anderenfalls diese den Hebel mechanisch herunterziehen und so den Hauptpunkt der Untersuchung verundeutlichen könnten. Ich habe versucht, soweit das möglich ist, reine Muskelkurven und keine Hebelkurven aufzuzeichnen. Die Kontraktionen wurden gewöhnlich auf einem Baltzar'schen Kymographion aufgezeichnet; jede fünfzigste Zuckung wurde anmarkiert.

Die Muskeln des Frosches.

Die Art der Ermüdung des Froschmuskels bei einer hohen und einer niedrigen Temperatur wird durch Fig. 1 und 2 deutlich dargestellt. Erstere wurde bei einer konstanten Temperatur von 12° C. aufgezeichnet. Dieselbe vergegenwärtigt uns wieder das bekannte Bild der Verlangsamung der Zuckungsdauer, welche durch die grössere Länge der ganzen Kurve gekennzeichnet ist, schon während den ersten fünfzig Kontraktionen zum Ausdrucke kommt und zuerst von einer Erhöhung, sodann aber von einer Verringerung der Hebungskraft begleitet wird. An der Verlängerung nimmt der aufsteigende Teil der Kurve auch ein wenig teil; am meisten betroffen ist jedoch die absteigende Hälfte derselben.

Ich habe gefunden, dass der Gastrocnemius der *Rana virescens* Rigor Caloris in den meisten Fällen etwa bei 35° C. zeigt. Aus diesem Grunde habe ich bei der Untersuchung des erwärmten Muskels nur Temperaturen benutzt, die diesen Punkt nicht überstiegen. In Fig. 2 sind die Zuckungen des Gastrocnemius der entgegengesetzten Seite des für die Aufzeichnung von Fig. 1 benutzten Tieres wiedergegeben. Die Versuchsbedingungen verblieben dieselben; nur wurde die Temperatur während dieses Experimentes auf $33,5^{\circ}$ bis 34° C. erhöht. Ferner wurde, um eine Vergleichung der Kurven zu erleichtern, der Trommel eine grössere Drehungsgeschwindigkeit, im Verhältnis zu der durch die Wärme bedingten Verkürzung der Kontraktion, verliehen. Die Figur zeigt eine Reihe von Erscheinungen, die quantitativ verschieden, qualitativ jedoch mit den in Fig. 1 beobachteten identisch sind. Eine Verlängerung der ganzen Kurve tritt ein, die schon während der ersten fünfzig Zuckungen zum Vorschein kommt und teilweise den aufsteigenden, hauptsächlich aber den absteigenden Teil betrifft. Ferner sind die Treppe und später eine Verringerung der Höhe zu erkennen. Dieses Resultat wurde jeweils mit demselben Muskel erhalten. Es allein scheint zu

Fig. 1.

genügen, um die Frage zu beantworten, ob der erwärmte Gastrocnemius Ermüdungserscheinungen zeigt, welche von denen des abgekühlten Muskels qualitativ unterschieden werden können. In dem

in Frage stehenden Versuche verhält sich die Länge der längsten Zuckung, der 401., 0,5 mm über der Abszisse gemessen, zu der Länge der ersten wie 3:1. Da nähere Angaben über diesen Punkt in Lohmann's Arbeit nicht zu finden sind, hält es schwer, zu

Fig. 2.

verstehen, wie er eine so ausgesprochene Erscheinung hat übergehen können. Vielleicht wurden zu schwere Gewichte benutzt, welche die gerade zu bestimmende Tatsache verundeutlicht haben. In meinen ersten Versuchen habe ich denselben Fehler begangen. Somit habe ich auch in meiner Mitteilung an die „Society for Experimental

Biology and Medicine“ und die „American Physiological Society“ irrtümlicherweise Lohmann's Angaben über den Gastrocnemius des Frosches gebilligt. Ich habe ferner mit leichten Gewichten auch den Sartorius und den Gracilis major des Frosches geprüft und gefunden, dass beide die Verlangsamung des Zuckungsvorganges während der Ermüdung zeigen, ob nun hohe oder niedrige Temperaturen gebraucht werden.

Ich habe oben angegeben, dass die während der Ermüdung des erwärmten Gastrocnemius auftretenden Erscheinungen von denen des abgekühlten quantitativ verschieden sind. Mit diesem Ausdrucke soll gemeint sein, dass die die Ermüdung begleitende Verlangsamung des Zuckungsvorganges, im Vergleiche mit der Dauer der Anfangskontraktionen, in dem ersten Falle weniger beträchtlich ist als im letzteren. In anderen Worten: Während die Wärme bekanntlich den Zuckungsvorgang beschleunigt, besitzt sie zugleich das Bestreben, die die Ermüdung begleitende Verlangsamung, obgleich es diese nicht verhütet, doch weniger deutlich zum Ausdrucke kommen zu lassen.

Die Muskeln der Schildkröte.

Wenden wir uns nun von dem Frosche zur Schildkröte, so müssen die hier erzielten Resultate sogar noch viel offener erscheinen. Fig. 3 und 4 können als typische Beispiele angesehen werden. Erstere wurde mit dem Coraco-antibrachialis profundus (Biceps brachii) erhalten, welcher auf 12° C. abgekühlt und mit derselben Schnelligkeit wie der Gastrocnemius des Frosches ermüdet wurde. Es kann leicht ersehen werden, dass der aufsteigende Teil der Kurve hier in bedeutend grösserer Masse wie bei dem Froschmuskeln an der Verlängerung der ganzen Kurve teilnimmt. Diese Tatsache, welche für alle bisher untersuchten Muskeln der Schildkröte charakteristisch ist, ist von mir schon 1898¹⁾ angegeben worden. In allen anderen Beziehungen besteht eine grosse Ähnlichkeit zwischen diesem Bilde und dem von den Froschmuskeln aufgezeichneten. Der Muskel befand sich während des ganzen Versuches in einem leicht kontrahiertem Zustande — eine Erscheinung, die man bei niedrigen Temperaturen hauptsächlich mit diesem Muskel der Schildkröte erhält. Aus diesem Grunde ist die Verlängerung der Kurve nicht vollständig verzeichnet.

1) loc. cit.

Fig. 4 veranschaulicht die Kontraktionen des entgegengesetzten Muskels desselben Tieres, welcher auf 34° C. erwärmt und mit derselben Schnelligkeit ermüdet wurde. Ein auffallenderer Beweis für die Tatsache, dass eine hohe Temperatur die charakteristische Art der Ermüdung des Kaltblütermuskels qualitativ unverändert lässt, würde schwer zu finden sein. Eine ganz ähnliche Reihe von Erscheinungen wie bei dem entsprechenden abgekühlten Muskel sind hier zu erkennen. Die Länge der 551. Kontraktion, in einem Punkte 0,5 mm über der Abszisse gemessen, verhielt sich zu der Länge der ersten, ähnlich gemessenen Zuckung wie 125:1. Die

Fig. 3.

grössere Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel, welche angewandt wurde, um die Wirkung der Ermüdung leichter vergleichen zu können, verhütet freilich eine vollkommene Würdigung der durch die hohe Temperatur verursachten Verkürzung aller Kontraktionen.

Man kann eine noch höhere Temperatur wie 34° C. benutzen, ohne Gefahr zu laufen, die Muskeln dieser Schildkröte zu schädigen. Hierin scheinen sie daher mit denen der Landschildkröte von Vernon¹⁾ ziemlich gut übereinzustimmen. Wenn der Coraco-antebrachialis profundus benutzt wurde, war es mir möglich,

1) loc. cit.

Fig. 4.

eine Temperatur von 40° C. anzuwenden, ohne eine Gerinnung der Proteide zu verursachen. Bei solch einer Temperatur zeigt die Ermüdungskurve ganz ähnliche Merkmale wie Fig. 4; freilich ist sodann die Verlängerung weniger stark ausgeprägt.

Ausser dem Coraco-antebrachialis profundus, der ja ein roter Muskel ist, habe ich auch den Dorso-occipitis, welcher ein ausgeprägt weisser Muskel ist, den Coraco-radialis superficialis, den Pubo-tibialis, den Ilio-fibularis und den Ischio-caudali-tibialis benutzt. Alle zeigten bei niedriger sowie bei hoher Temperatur im wesentlichen dieselbe Art der Ermüdung.

Von obigen mit neun Muskeln des Frosches und der Schildkröte ausgeführten Versuchen, die alle gleich positive Resultate geliefert haben, kann mit Recht der Schluss gezogen werden, dass eine der charakteristischen Erscheinungen der Ermüdung der ausgeschnittenen gestreiften Muskeln der kaltblütigen Tiere durch die ausgesprochene Verlangsamung des ganzen Zuckungsvorganges gebildet wird, und dass diese durch die hohe Temperatur, obgleich verringert, doch nicht aufgehoben wird.

Die Muskeln der Katze.

Die Muskeln der Katze sind wegen ihrer Widerstandsfähigkeit sehr gut für physiologische Zwecke geeignet. Ich habe sie oft noch eine Stunde nach Entnahme aus dem Körper in vortrefflichem physiologischen Zustande vorgefunden. Sie behalten ihre Reizbarkeit während vielen Stunden bei, und man kann dieselben experimentell wie Froschmuskeln behandeln. Ein für allgemeine Untersuchungen gut geeigneter Muskel ist der Extensor longus digitorum. Wenn dieser nach seiner Entfernung aus dem Körper einer Temperatur von 34° C. ausgesetzt und dreissigmal in der Minute gereizt wird, erhält man eine Reihe von Kurven, wie sie durch Fig. 5 veranschaulicht sind. Diese können zugleich als typische Beispiele für andere Säugetiermuskeln gelten. Der Treppe folgend, die ja nicht in dieser Figur gekennzeichnet ist, erkennt man eine stetige Abnahme in der Höhe der Kontraktionen, aber eine Verlängerung des aufsteigenden oder des absteigenden Teiles der Kurve ist nicht vorhanden.

Bei der Untersuchung des abgekühlten Säugetiermuskels muss grosse Sorgfalt angewandt werden, dass dieser die durch den äusseren

Thermometer angezeigte Temperatur auch wirklich angenommen hat, ehe man die Reizungen anfängt, denn sonst könnte man leicht die durch die Kälte verursachte Verlängerung der Zuckung mit einer womöglich durch die Ermüdung erzeugten verwechseln. In den gegenwärtigen Versuchen dauerte es wenigstens 10 Minuten, ehe der

Fig. 5.

mit Öl umgebene und 15 Minuten, ehe der in nasser Luft sich befindliche Extensor longus digitorum der Katze von der Körpertemperatur bis auf 12°C . abgekühlt war.

Fig. 6 veranschaulicht einen typischen Versuch. Der Muskel wurde dem Körper einer eben getöteten Katze entnommen, mit dem Schreibhebel verbunden und in den mit Öl gefüllten Behälter bei 14°C . gebracht. Während der folgenden zehn Minuten sank die Temperatur auf $12,5^{\circ}\text{C}$. und verblieb sodann während des Versuches nahe konstant. Die ersten elf Kurven wurden in Intervallen von je einer Minute aufgeschrieben und veranschaulichen die Wirkung der Kälte, nicht der Ermüdung. Die elfte und zehnte Zuckung stimmten so gut miteinander überein, dass es vollkommen angebracht erschien, nun die Ermüdungsreizungen zu beginnen, d. h. 12 Minuten,

nachdem der Muskel in Öl getan wurde. Die Wirkung der Ermüdung wird durch die folgenden vierzehn Kurven gekennzeichnet. Eine Verlängerung der Kurve ist nicht zu erkennen; jedoch findet

Fig. 6.

man, dass ihr oberer Teil verbreitert ist, welche Tatsache teilweise dadurch bedingt ist, dass der Muskel eine Zeitlang in einem stark kontrahierten Zustande verharret hat, und teilweise dadurch, dass

die Höhe der Kurve verringert worden ist. Diese Verbreiterung der Kurve ist, neben der Verringerung ihrer Höhe, das hauptsächlichste Merkmal der Ermüdung des abgekühlten Säugetiermuskels. Diese Erscheinung ist zuweilen deutlicher ausgeprägt als hier, niemals jedoch ist sie genügend im Vordergrunde, um eine direkte Verlängerung der ganzen Kurve des Muskels der Katze zu verursachen. Man kann daher den Schluss ziehen, dass der herausgeschnittene Muskel der Katze bei hoher sowie bei niedriger Temperatur ohne irgendwelche Verlängerung des ganzen Zuckungsvorganges zu ermüden pflegt.

Die Muskeln anderer Säugetiere.

Ich habe auch Versuche mit dem Extensor longus digitorum des Kaninchens, des virginischen Murmeltieres und des Meerschweinchens sowie mit dem Gastrocnemius der weissen Maus, der weissen Ratte und des Meerschweinchens ausgeführt. Alle diese Muskeln ermüden bei hoher Temperatur, ohne die in Frage kommende Verlangsamung zu zeigen. Dasselbe gilt auch bei niedriger Temperatur von den Muskeln des Kaninchens, des Meerschweinchens und der weissen Maus. Die Kurven der genannten Tiere lassen jedoch die Verbreiterung erkennen, die auf so charakteristische Weise von dem Muskel der Katze veranschaulicht worden ist. Der Gastrocnemius der weissen Ratte bildet hierin eine Ausnahme. In acht Versuchen von zehn war die Verbreiterung genügend stark ausgeprägt, um der ganzen Kurve eine etwas grössere Länge zu verleihen. Die Verlängerung war jedoch ausserordentlich gering. Sie betrug im Maximum nur kaum 0,7 der Länge der ursprünglichen Kurve.

Glücklicherweise gelang es mir, mehrere virginische Murmeltiere einige Tage nach ihrem Erwachen aus dem Winterschlaf und ehe sie Futter zu sich genommen hatten, zu erhalten. Ich nahm an, dass eine physiologische Ähnlichkeit zwischen den Muskeln dieser Tiere und denen der Kaltblüter bestehen könnte. Hierin war ich jedoch enttäuscht, denn in vier von den fünf mir zu Gebote stehenden Tieren fand ich eine vollkommene Übereinstimmung mit der Ermüdungskurve der Katzenmuskeln. Das fünfte Tier wich jedoch in einigen interessanten Punkten hiervon ab. Trotzdem es sehr abgemagert aussah und seine Temperatur nur $21,5^{\circ}\text{C}$. betrug, leistete sein Muskel dennoch bei einer Temperatur von $10,5^{\circ}$ bis 12°C . viel Arbeit. Er zeigte die dieser Spezie charakteristischen kräftigen,

aber langsamen Zuckungen. Dabei war die Verbreiterung der Kurven während der Ermüdung sehr stark gekennzeichnet, und ferner war die Zuckungsdauer um 0,1 der Länge der ursprünglichen Kurve verlängert. Weitere Versuche mit den Muskeln von Winterschläfern — vor und nach dem Schlafe — sind in Anschlag genommen.

Von obigen Versuchen fühle ich mich gerechtfertigt den Schluss zu ziehen, dass ausserhalb des Körpers die gestreiften Muskeln der Warmblüter bei hoher sowie bei niedriger Temperatur gewöhnlich keine Verlängerung der Zuckungsdauer während der Ermüdung zeigen. Eine Verbreiterung der Kurve ist jedoch bei niedriger Temperatur vorhanden, welche Tatsache andeutet, dass der Muskel für kurze Zeit im kontrahierten Zustande verharret. Bei gewissen Tieren, z. B. der weissen Ratte, ist zuweilen eine ganz geringe Verlangsamung des ganzen Vorganges nicht zu verkennen.

Schlussfolgerungen.

1. Es besteht ein physiologischer Unterschied in der Art der Ermüdung der aus dem Körper entfernten gestreiften Muskeln der Kalt- und Warmblüter.

2. Eine der charakteristischen Erscheinungen der Ermüdung der ausgeschnittenen Muskeln der kaltblütigen Tiere besteht in der ausgeprägten Verlangsamung des ganzen Zuckungsvorganges, wie sie durch die Verlängerung der Muskelkurve angedeutet wird. Am besten ist diese bei niedriger Temperatur gekennzeichnet; bei hoher Temperatur verschwindet sie nicht, kommt aber weniger deutlich zum Ausdrucke.

3. Die Muskeln der meisten Warmblüter pflegen ohne eine Verlangsamung des Zuckungsvorganges zu ermüden. Bei niedriger Temperatur zeigt die Muskelkurve eine von der Ermüdung abhängende Verbreiterung, welche in einzelnen Fällen in eine ganz geringe Verlängerung der ganzen Kurve übergehen kann.

4. Obige Tatsachen deuten an, dass die physiologischen Unterschiede zwischen den Muskeln der kaltblütigen und denen der warmblütigen Tiere nicht direkt durch Temperaturunterschiede bedingt sind. Durch homotherme Bedingungen und die konstante Einwirkung einer gleichmässigen Temperatur auf den Skelettmuskel scheinen diesem Systeme scharf gekennzeichnete Eigentümlichkeiten auferlegt zu werden.

Figurenerklärung.

Fig. 1. Ermüdung des ausgeschnittenen, abgekühlten Gastrocnemius des Frosches. Direkte Reizung. Temperatur: 12° C. Belastung: 2,5 g. Die erste Zuckung wurde etwa 10 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter getan worden war, aufgezeichnet; die Ermüdungsreizungen wurden 1 Minute später angefangen. Die erste Zuckung wurde auf eine schnell umlaufende Trommel aufgezeichnet, die andere auf eine langsam umlaufende, um somit eine Vergleichung mit Fig. 2 leichter zu ermöglichen. Reizungsgeschwindigkeit: 30 in der Minute.

Fig. 2. Ermüdung des ausgeschnittenen erwärmten Gastrocnemius des für die Aufzeichnung von Fig. 1 gebrauchten Frosches. Direkte Reizung. Temperatur: $33,5\text{--}34^{\circ}$ C. Belastung: 2,5 g. Die Reizungen wurden 10 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter getan worden war, angefangen. Reizungsschnelligkeit: 30 in der Minute. Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel verblieb dieselbe wie bei Aufzeichnung der ersten Zuckung der Fig. 1.

Fig. 3. Ermüdung der ausgeschnittenen abgekühlten Coraco-antebrachialis profundus der Schildkröte. Direkte Reizung. Temperatur: 12° C. Belastung: 2,5 g. Die erste Zuckung wurde bei schneller Geschwindigkeit der Trommel etwa 10 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter gebracht wurde, aufgezeichnet; Ermüdungsreizungen wurden 1 Minute später angefangen. Kontraktionen 2—502 wurden auf eine langsam umlaufende Trommel aufgeschrieben, um eine Vergleichung mit Fig. 4 leichter zu ermöglichen. Reizungsgeschwindigkeit: 30 in der Minute.

Fig. 4. Ermüdung des ausgeschnittenen erwärmten Coraco-antebrachialis profundus der für Fig. 3 gebrauchten Schildkröte. Direkte Reizung. Temperatur: 34° C. Belastung: 2,5 g. Die Reizungen wurden 10 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter getan wurde, angefangen. Reizungsgeschwindigkeit: 30 in der Minute. Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel dieselbe wie bei Aufzeichnung der ersten Zuckung der Fig. 3.

Fig. 5. Ermüdung des ausgeschnittenen warmen Extensor longus digitorum der Katze. Direkte Reizung. Temperatur: $34\text{--}34,5^{\circ}$ C. Belastung: 2,5 g. Die erste Zuckung wurde 6 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter gebracht wurde, aufgezeichnet. Reizungsgeschwindigkeit: 30 in der Minute.

Fig. 6. Ermüdung des ausgeschnittenen abgekühlten Extensor longus digitorum der Katze. Direkte Reizung. Temperatur: $12,5^{\circ}$ C. Belastung: 5 g. Die erste Zuckung wurde 2 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter gebracht wurde, aufgeschrieben. Kontraktionen 1—11 wurden in Intervallen von je einer Minute verzeichnet, um die durch die Kälte verursachte Verlängerung der Kurven zum Vorschein zu bringen. Die Ermüdungsserie, Kontraktionen 11—711, wurde 12 Minuten, nachdem der Muskel in den Behälter getan wurde, angefangen. Reizungsschnelligkeit: 30 in der Minute. Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel langsamer wie bei Aufzeichnung von Fig. 5.