Mikrokontraktion des Ureters.

Von

Masatake Yano.

(矢野正武)

(Aus dem II. Institut der Physiologie der Tohoku Reichsuniversität
zu Sendai, Vorstand: Prof. Dr. K. Motokawa.)

Im Jahre 1928 beobachteten Fischl und Kahn¹⁾ bei den einzelnen Fasern der Membrana basihyoidea des Frosches verschieden grosse, nicht über die ganze Länge der Faser fortgeleitete Verkürzungen je nach der Reizstärke. Seither sind zahlreiche Mitteilungen über derartige kleine Kontraktionen erschienen. Aber sie beziehen sich alle nur auf die Skelettmuskeln; es bleibt also noch offen, ob solche Mikrokontraktionen auch bei glatten Muskeln zu finden sind.

Ich habe mich in vorliegender Untersuchung mit dieser Frage beschäftigt, indem ich Mikroelektrode statt der grossen unpolarisierbaren Elektrode benutzte. Ich möchte diese kleine, nicht über die ganze Länge fortpflanzende Kontraktion einfach als „Mikrokontraktion“ bezeichnen, obwohl verschiedene Benennungen z. B. „partielle Erregung“, „lokale Kontraktion“, „submaximale Kontraktion“, „nahe leitende Kontraktion“ usw. bisher vorgeschlagen worden sind.

Methode.

Ausgeschnittener Schweineureter wurde auf eine Korkplatte in eine Schale gelegt und mittels Glasnadeln in der Weise befestigt, dass nur das Fettgewebe um die Muskulatur durch die Nadeln eingestochen wurde (s. Fig. 1). Bei dieser Fixation konnte sich der Ureter etwas bei der Kontraktion verschieben, aber seine vorherige Lage wurde jedesmal nach Ablauf der Kontraktion genau wiederhergestellt.

Um die Verbreitung des Reizstroms weitgehendst einzuschränken, wurde das Bindegewebe am Reizort so gut wie möglich losgelöst, aber die vollkommene Ablösung desselben war ohne die darunter liegenden Muskeln zu verletzen fast unmöglich, weil die Bindegewebsfasern beim Ureter direkt in die Muskeln übergehen. Bei meinen Präparaten blieb

Fig. 1. Versuchsanordnung.

B	Bogenlampe.	MP	Mikroskop.
C	Camera.	P	Prisma.
CuSO_4	Kupfersulfat.	Q	Quecksilbertröpfchen.
E	Batterie.	R	Widerstand der Nebenschliessung.
H	Harnleiter.	R'	veränderbarer Widerstand.
J	Jacquetsches Chronometer.	S	Schlüssel.
KP	Korkplatte.	SP	Spiegel.
L	Linse.	T	Tyrodesehe Lösung.
ME	Mikroelektrode.	U	unpolarisierbare Gelatinelektrode.

die Bindegewebsschicht von etwa 10μ noch zurück. Der Reizstrom wurde aus Akkumulatoren von 60 V entnommen, und seine Stärke durch einen Serienwiderstand (R' in Fig. 1) reguliert. Eine indifferente Anode befand sich bei dem Ureter in der Tyrodesehen Lösung, und die differente Kathode, d. h. die Mikroelektrode wurde auf den Reizort des Ureters aufgesetzt. Die Spitze der Mikroelektrode (ME in Fig. 1) wurde stumpf abgeschliffen, so dass die Muskeln damit nicht verletzt wurden. Der Porendurchmesser betrug 20, 50 und 100μ . Die Mikrokontraktion wurde zuerst mikroskopisch beobachtet, indem die Bewegung der Tierkohlenpartikelchen oder der Quecksilbertröpfchen in der Nähe der Mikroelektrode als Merkmal der Kontraktion gewählt wurde.

Weiter photographierte ich die Bewegung des Quecksilbertröpfchens, um den Verlauf der Mikrokontraktion genauer zu untersuchen. Als Lichtquelle fand eine Bogenlampe (B, in Fig. 1) Verwendung. Das Licht wurde mit Hilfe einer Linse auf das Quecksilbertröpfchen konvergiert und das dadurch reflektierte Licht durch ein Mikroskop und ein Prisma der photographischen Kamera zugeführt.

Die Messung der Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion wurde in folgender Weise ausgeführt. Entlang der Längsachse des Ureters legte man einige Quecksilbertröpfchen nebeneinander auf von der Reizelektrode verschieden entfernte Stellen, wie z. B. 2, 5, 10 und 20 mm, um die Bewegung dieser Tröpfchen nacheinander photographieren zu können. Das durch diese Tröpfchen reflektierte Licht konnte aber infolge der Querbewegung des Ureters zu oft der Spalte der Kamera entweichen und die Registrierung des ganzen Verlaufes der Kontraktion verhindern. Um diesen Nachteil zu umgehen, wurde die das Licht reflektierende Fläche dadurch erweitert, dass ein Stück der Zinnfolie von $3 \times 3 \text{ mm}^2$ in der Nähe des Quecksilbertröpfchens auf die Muskeln gelegt wurde. Man konnte auf diese Weise den annähernd naturgetreuen Verlauf kennenlernen, selbst wenn das durch das Tröpfchen reflektierte Licht der Spalte entwich.

Bei der Einstellung des Mikroskops auf einzelne Tröpfchen wurde das Mikroskop mit Hilfe einer Mikroschraube des Stativs entlang der Längsachse des Ureters verschoben. Auf diese Weise erhielt man eine Reihe der Kontraktionskurven verschiedener Stellen und folglich konnte die Zeitdauer vom Reizmoment bis zum Beginn der Kontraktion für jede Stelle ermittelt werden. Die Leitungsgeschwindigkeit ergab sich ohne weiteres als das Verhältnis des Abstandes beider Quecksilbertröpfchen zur Differenz der oben genannten Zeitdauer.

Ergebnisse.

A. Bedingungen für das Auftreten der Mikrokontraktion.

1. Einfluss des physiologischen Zustandes des Präparates auf die Mikrokontraktion.

Nach den Resultaten von Hintner³⁾ (Membrana basihyoidea des Frosches), Steiman⁴⁾ (nicht geschädigte Retrolingualmembran des Frosches), Miyake⁵⁾ (*Rana japonica* Günther, einschichtige Brustmuskelfaser in situ) und Sugi⁶⁾ (Sartorius der Kröte, Retrolingualmembran des Frosches) folgen einzelne Skelettmuskelfasern nur in ihrem frischen Zustande dem Alles oder Nichts-Gesetz; die Mikrokontraktionen erscheinen nur nach Verblutung, Schädigung, Ermüdung oder nach Ablauf einer langen Zeit vom Versuchsbeginn. Gelfan⁷⁾ beobachtete demgegenüber die Mikrokontraktion an der Retrolingualmembran sowohl in situ, als auch beim ausgeschnittenen frischen Präparat.

Ich konnte beim ausgeschnittenen Schweineureter von Anfang an die Mikrokontraktion beobachten. Ob dies auf der mangelhaften Frische meiner Präparate beruht, ist vorläufig nicht zu entscheiden, weil ich die Untersuchung weder in situ noch sofort nach der Exstirpation ausgeführt habe.

2. Einfluss der Reizstärke auf die Mikrokontraktion.

Hashida⁸⁾ reizte die einzelne Muskelfaser (Membrana basihoidea, M. sartorius, M. cutaneopectoris) mit einer feinen Kapillarelektrode und beobachtete unter dem Mikroskop die Kontraktion an der gereizten Stelle selbst. In seinem Versuche trat eine sehr kleine Kontraktion bei verhältnismässig schwachem Reiz auf, die sich nur an der Spitze der Elektrode lokalisierte und sich nicht weiter fortpflanzte. Die Kontraktion vergrösserte sich mit der Zunahme der Reizstärke. Überschritt die Reizstärke eine bestimmte Grenze, so pflanzte sich die dadurch erzeugte Kontraktion über die ganze Länge der Muskelfaser fort. Gelfan u. Gerad⁹⁾, Asmussen¹⁰⁾, Motituki¹¹⁾, Yonehara¹²⁾ und Nagamitsu¹³⁾ konstatierten diese Tatsache.

In meinem Falle ist die Mikrokontraktion bei schwachem Reiz sehr klein und vergrössert sich mit der Zunahme der Reizstärke, bis sie endlich die maximale Grösse erreicht. Also besteht kein Unterschied zwischen dem Skelett- und dem glatten Muskel in dieser Hinsicht. Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit der Mikrokontraktionsgrösse von der Reizstärke. Die Neigung der Kurve ist bald steil (wie A), bald sanft (D), bald mittelmässig (B, C).

Fig. 2. Die Abhängigkeit der Mikrokontraktionsgrösse von der Reizstärke.

A, B, C, D. verschiedene Präparate.

† zeigt die maximale Kontraktion.

↑ zeigt die Versuchsreihenfolge.

Die nicht über die ganze Länge fortleitende Kontraktion kann unter Umständen, wenn auch selten, 1000μ betragen, bleibt aber ge-

wöhnlich innerhalb 200μ . Die maximale Kontraktion beträgt 2,8 mm im Durchschnitt bei 18°C , ist also im allgemeinen viel grösser als die Mikrokontraktion. Abgesehen von ihrer Kontraktionsgrösse ist die Mikrokontraktion von der maximalen leicht zu unterscheiden, denn die letztere kann sich über die ganze Strecke des Ureters fortpflanzen, während diese Fähigkeit bei der ersteren fehlt.

Der Verlauf der grösseren Mikrokontraktion ist von demselben der maximalen kaum unterscheidbar, aber derselbe der kleineren ist etwas anders; er ist durch ein Plateau gekennzeichnet.

3. Einfluss der Grösse der Mikroelektrode auf die Mikrokontraktion.

Gelfan und Gerad machten Beobachtungen über den Einfluss der Grösse der Mikroelektrode auf die Mikrokontraktion bei der Retro-lingualmembran des Frosches. Mit einer feinen Elektrode ($2-5\mu$) liess sich die Mikrokontraktion immer beobachten. Wenn der Reiz verstärkt wurde, so vergrösserte sich die Kontraktion. Dieser Parallelismus hörte bei einer mittelgrossen Elektrode (25μ) bald auf und die maximale Kontraktion setzte ein. Bei einer grösseren Elektrode (50μ) folgte die Muskelfaser dem Alles oder Nichts-Gesetz.

Sugi gab an, dass bei dem Hervortreten der Mikrokontraktion die Grösse der direkt gereizten Stelle eine Rolle spielt. Ich konnte bei einer Mikroelektrode ($20, 50\mu$) und wirksamer Reizstärke immer die Mikrokontraktion beobachten, welche bei einer grösseren Elektrode (100μ) nicht mehr zustandekam. In vorausgegangener Arbeit habe ich nachgewiesen, dass wenn der Schweineureter mittels der grossen Elektroden elektrisch an einem Punkte gereizt wird, die Kontraktion jeder Stelle nicht nur bei der fortgeleiteten Erregung, sondern auch bei der direkten Reizung ungeachtet der Reizstärke stets mit der für einzelne Stellen charakteristischen maximalen Grösse auftritt, nämlich dass der Ureter die Alles oder Nichts-Kontraktion erzeugt. Auch die Grösse des monophasisch abgeleiteten Aktionsstroms des Ureters folgt demselben Gesetz²⁾.

Bozler¹⁴⁾ studierte über die einzelne Faser von Beroë und stellte fest, dass schwache oder sehr starke Induktionsschläge stets maximale Zuckungen hervorrufen, aber dass mittelstarke Schläge entweder die maximale Kontraktion verursachen oder ganz unwirksam bleiben. Er führte diese Erscheinung auf die für Muskel und Nerven schon lange bekannte polare Wirkung des elektrischen Stromes zurück. Bei seiner Untersuchung liess sich das Treppenphänomen auffallend bemerken

und die Zuckungshöhe war bei derselben Reizstärke nicht immer gleich. Ich konnte aber bei glatten Muskeln des Ureters keine derartige Erscheinung beobachten. Jedenfalls verhält sich der Ureter gemäss dem Alles oder Nichts-Gesetz, wenn die Reizelektrode gross genug (über 100μ) ist. Bei kleinerem Kaliber der Elektrode kommt demgegenüber die Mikrokontraktion fast ohne Ausnahme zustande.

B. Fortleitung der Mikrokontraktion.

Hashida bestätigte, dass sich die kleinste Kontraktion mit der Zunahme der Reizstärke verbreitet. Gelfan und Gerad teilten mit, dass der Fortleitungsbereich um so grösser ist, je kleiner die Elektrode ist. Nach Sugi ist der Fortleitungsbereich der grössten Mikrokontraktion in einem bestimmten Erregbarkeitszustand immer derselbe und unabhängig von der Grösse der Reizelektrode, wenn es überhaupt zu den Mikrokontraktionen mit dieser Elektrode kommt.

Auch ich untersuchte die Abhängigkeit des Fortleitungsbereichs

Fig. 3. Dekrement der fortgeleiteten Mikrokontraktion.

L	Längsmuskel	} bei stärkerem Reiz (23,076 V)
Z	Zirkulärmuskel	
l	Längsmuskel	} bei schwächerem Reiz (8,571 V)
z	Zirkulärmuskel

von der Reizstärke. Die Mikrokontraktion des Längs- sowie Zirkulärmuskels verbreitet sich mit der Zunahme der Reizstärke. Dabei verliert irgend einer der beiderartigen Muskeln das Leitungsvermögen früher als der andere und nur der letztere pflanzt sich weiter fort. Ich konnte niemals das gleichzeitige Verschwinden des Leitungsvermögens des Längs- sowie Zirkulärmuskels beobachten.

Zweifellos wird die Grösse der Mikrokontraktion um so kleiner, je weiter sie fortgeleitet ist (Dekrement). Die Abhängigkeit des Fortleitungsbereiches von der Reizstärke ist in Fig. 3 dargestellt. L und Z sind die Mikrokontraktionsgrösse des Längs- bzw. Zirkulärmuskels durch einen starken Reiz, und l und z sind dieselbe durch einen schwachen Reiz. Die Mikrokontraktionen bei stärkerer Reizung (L und Z) leiten sich weiter fort als die bei schwächerer (l und z).

Im allgemeinen kann sich die Kontraktion des Längsmuskels am Blasen-

Fig. 4. Dekrement der fortgeleiteten Mikrokontraktion.

Reizstelle: 2 cm vom Blasenende.

Reizstärke: 8,571 V.

a: Mikrokontraktionskurve am von der Reizstelle 2,08 mm entfernten Punkt.

b: 12,025 mm von der Reizstelle.

c: 22,095 mm von der Reizstelle.

Zeitmarke 1 Sek.

Das schichtartige Aussehen der Kurven ist durch das Licht von der Oberfläche der Zinnfolie bedingt, die neben dem Quecksilbertröpfchen auf dem Muskeln gelegt war.

ende weiter als die des Zirkulärmuskels fortpflanzen. Die Art und Weise des Kleinerwerdens der Kontraktion bei der Fortpflanzung ist aus Fig. 4 zu entnehmen. Fig. 4 a stellt die Kontraktion am von der Reizstelle 2,08 mm entfernten Punkt, und b und c diejenigen an den davon 12,025 und 22,095 mm resp. entfernten Punkten dar. Man kann daraus das Dekrement der fortgeleiteten Kontraktion und die Reversibilität des Grössenverhältnisses ersehen.

Als den grössten Fortleitungsbereich führen Sugi 500 μ , Hinter 700 μ , Gelfan und Gerad 1 mm bei den Skelettmuskeln an. Aber ich konnte beim Ureter einen viel grösseren Wert desselben, nämlich 3 cm beobachten.

Es gibt keine genaue Forschung über die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion bei den Skelettmuskeln, was vielleicht auf methodischer Schwierigkeit beruht. Dagegen konnte ich die Geschwindigkeit der Mikrokontraktion durch die erwähnte Methode verhältnismässig genau messen, weil dieselbe beim Ureter träger als beim Skelettmuskel ist. Aber die Bestimmung der Zeitdauer vom Reizmoment bis zum Kontraktionsbeginn war nicht immer so leicht, denn die Höhe besonders bei fortgeleiteten dekrementierten Kontraktionen ist zu klein, um eine genaue Messung zu gestatten. In solchem Fall misst man die Dauer im allgemeinen länger als wirklich und somit ist die Geschwindigkeit etwas kleiner.

Die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion beträgt bei 16°–19°C 17,2 mm/Sek. am grössten, 0,55 mm/Sek. am kleinsten, 8,4 mm/Sek. im Durchschnitt (Tab. I). Dieselbe der maximalen Kontraktion ist bei 18°C mit 18 mm/Sek. am grössten, mit 5 mm/Sek. am kleinsten, 10,2 mm/Sek. im Durchschnitt. Also ist die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion und der maximalen Kontraktion von gleicher Grössenordnung, doch in der Mehrzahl der Fälle scheint die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion etwas kleiner zu sein. Berücksichtigt man den Messungsfehler, so kann man nicht mit Sicherheit behaupten, dass die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion wirklich kleiner als diejenige der maximalen Kontraktion ist. Man dürfte wenigstens so weit sagen, dass die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion von derselben der maximalen Kontraktion nicht so beträchtlich verschieden ist. Die Frage, ob sich die Leitungsgeschwindigkeit mit der Fortleitung dekrementiert oder umgekehrt inkrementiert, ist vorläufig nicht zu beantworten.

Tabelle I.

Die Messungswerte der Kontraktionskurve und Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion.

		Grösse (μ)	Verkürzungs- zeit in Sek.	Zeitdauer vom Reiz- moment bis zum Beginn der Kontrak- tion in Sek.	Leitungs- strecke (mm)	Leitungs- geschwindig- keit der Mikrokon- traktion mm/Sek.	Leitungs- geschwindig- keit der maximalen Kontraktion mm/Sek.
I	a	360	9,5	1,2	} 10,07	16,8	17,4
	b	100	—	1,8		17,2	
	c	60	—	2,33	} 9,1	15,9	
	c	40	—	2,67		16,8	
	b	390	13,5	2,1	} 10,07		
	a	460	9,5	1,5			
II	a	760†	—	1,7	} 8,905	14,8	16,6
	b	320†	—	2,3		15,9	
	c	140	—	3,0	} 11,18	16,6	
	c	80	—	2,9			
	b	120†	—	—	} 20,085		
	a	710†	—	1,7			
III	a	560	13,0	2,3	} 9,945	9,6	18,1
	b	84	—	3,33		9,8	
	c	16	—	4,35	} 10,07		
	c	84	—	—			
	b	144	—	—			
	a	520	—	—			

a: Am etwa 2 mm von der Reizelektrode entfernten Punkt.

b: Von a etwa 10 mm entfernt.

c: Von b etwa 10 mm entfernt.

†: Annähernde Werte (aus der Bewegung des neben dem Quecksilbertröpfchen gelegten Zinnfoliestückes gemessen).

C. Über die Richtung der resultierenden Kräfte aus dem Längs- und dem Zirkulärmuskel.

Nimmt man die Längs- (L) und Querachse (Q) des Ureters als Koordinatenachsen, wobei das Zentrum O der Reizelektrode den Anfangspunkt der Koordinaten darstellt, wie in Fig. 5 A gezeigt ist, so sind die Kontraktionen der Punkte auf der L- oder Q-Achse immer nach O gerichtet.

Die Kontraktion eines beliebigen Punktes, z. B. a oder b in Fig. 5 A besteht aus zwei Komponenten, nämlich aus der Kontraktion des Längsmuskels und derjenigen des Zirkulärmuskels. Werden die einzelnen Komponenten unter dem Mikroskop gesondert gemessen und die resultierende Kraft daraus berechnet, so richtet sich die letztere immer nach dem Anfangspunkt O.

Fig. 5. Richtung der Kontraktion des Ureters.

- L Längsachse des Ureters.
 Q Querachse desselben.
 L' Parallel zu L.
 O Zentrum der Mikroelektrode.
 a, b, c, d, p: Alle befinden sich innerhalb 2 mm vom Zentrum der Reizelektrode.

Betrachtet man die Kontraktion auf einer Achse L' parallel der Längsachse L, so bleibt die Kontraktion des Zirkulärmuskels verhältnismässig unverändert, während die des Längsmuskels um so kleiner wird, je näher der Punkt der Q-Achse steht (Vergleich a und b in Fig. 5 A). Daher ist die Längskomponente auf der Q-Achse selbst gleich Null, indem nur die Querkomponente erkennbar ist. Am Punkt d ist die Querkomponente derjenigen am Punkt a entgegengesetzt, wie in Fig. 5 A gezeigt ist. Sie wird um so kleiner, je näher der Punkt der Längsachse liegt, so dass sie auf der letzteren verschwindet und nur die Längskomponente zurückbleibt.

Auf jeden Fall ist die Richtung der Resultierenden der Längs- und Querkomponente nach der Reizelektrode gerichtet. Es kommen öfters Fälle vor, in denen das Zentrum der resultierenden Kraft nicht genau mit dem Zentrum der Reizelektrode O übereinstimmt, sondern ausserhalb des letzteren etwa O' in Fig. 5 B liegt, als ob der Reizpunkt nicht O sondern O' wäre.

Aber die Kontraktion des Längs- und Zirkulärmuskels geschieht nicht immer gleichzeitig; die erstere eilt der letzteren voraus oder umgekehrt. Trotzdem richtet sich die resultierende Verschiebung nach dem bestimmten Zentrum O oder O'.

D. Summation der Mikrokontraktionen.

Nach Sichel und Prosser¹⁵⁾ soll das absolute Refraktärstadium bei der kleinen nicht fortleitenden Kontraktion der einzelnen Faser des Skelettmuskels (Adductor longus des Frosches) vermisst werden. Ich habe beim Ureter die Summation der Mikrokontraktionen mit abnehmendem Reizintervall bis zu 1 Sek. verfolgt. Die weitere Verkürzung des Reizintervalls erforderte eine enorm grosse Reizspannung, so dass ich darauf verzichten musste.

Das absolute Refraktärstadium der maximalen Kontraktion beträgt bei 18°C 12,5–15,5 Sek., ist also sehr gross gegen dasselbe der

Fig. 6. Summation der Mikrokontraktionen.

Reizstelle: 2 cm vom Blasenende.

Einzel- und erster Reiz: 8,571 V, zweiter Reiz: 12 V.

a: Einzelkurve.

b: Summationskurve, Reizintervall 1 Sek.

c: Einzelkurve nach b.

d: Summationskurve, Reizintervall 10 Sek.

↓ zeigt die Andeutung der Zweigipfeligkeit.

Zeitmarke 1 Sek.

Temperatur 17°C.

Mikrokontraktion (unter 1 Sek), so dass die Summation bei der Mikrokontraktion viel leichter als bei der maximalen Kontraktion zustandekommen kann.

Fig. 6 zeigt die Summation der Mikrokontraktionen, wobei a (Höhe 514μ) und c (512μ) Einzelkontraktion je vor und nach der Summation und b (784μ , Reizintervall 1 Sek.) die Summationskurve darstellen. Beim längeren Reizintervall wie von 10 Sek. kann die Summationskurve zweigipfelig sein, wie in Fig. 6 d ersichtlich ist.

Wenn die beiden Kontraktionen auch in der Nähe der Reizelektrode vollkommen zusammengefügt sind und eine glatte Summationskurve bilden, wird die letztere mit der Fortleitung immer flacher und zweigipfelig (s. Fig. 7). Diese Erscheinung wird dadurch verursacht,

Fig. 7. Veränderung der Summationskurve durch Fortpflanzung.

Vereinigte Summationskurve am Reizort wird mit der Fortleitung kleiner und zweigipfelig.

Reizstelle: 2cm vom Blasenende.

Erster Reiz: 15 V,

Zweiter Reiz: 20 V.

Reizintervall: 15 Sek.

a: Vereinigte grosse Summation, 1,3 mm vom Reizort.

b: Fortgeleitete verkleinerte, zweigipfelige Summationskurve.

Zeitmarke: 1 Sek.

Temperatur: 17°C .

dass die Leitungsgeschwindigkeit der durch die zweite Reizung hervorgerufenen Erregung kleiner als die durch die erste ist. Aizawa¹⁶⁾ und ich konnten auch bei der maximalen Kontraktion eine derartige Erscheinung erkennen.

E. Ermüdung.

Ich führte die Reizung mit gleicher Stärke und mit einem Intervall von 3 Minuten aus und verfolgte die Veränderung der Grösse der Mikrokontraktion bis zur vollkommenen Ermüdung. Wie in Fig. 8 beispielsweise gezeigt ist, bleibt die Grösse der Mikrokontraktion während der ersten Stunde im grossen und ganzen gleich gross und dann werden einzelne Antworten im Laufe der Zeit unregelmässiger. Die Schwankungsbreite der Kontraktion beträgt in diesem Stadium

Fig. 8. Ermüdung der Mikrokontraktion.

Reizstelle: Mittelteil.

Submaximaler Reiz, 57,14 V.

Reizintervall 3 Minuten.

↑ zeigt, dass eine maximale statt einer Mikrokontraktion auftrat.
Temperatur 16°C.

70–200 μ . Wird der Ureter noch weiter wiederholt gereizt, so gerät er nach etwa 3 Stunden in Ermüdung und schliesslich in Erschöpfung. Wenn die Antwort in dieser Weise unregelmässig wird, entsteht die fortleitende maximale Kontraktion von Zeit zu Zeit (gedeutet mit Pfeilen in Fig. 8). Es ist recht bemerkenswert, dass dies auch der Fall ist, selbst wenn die Kontraktilität infolge der Ermüdung stark herabgesetzt ist. Die Kontraktionen des Längs- und Zirkulärmuskels verändern sich miteinander ganz parallel, aber im Laufe der Zeit verliert irgend einer der beiden die Kontraktilität früher als der andere (Fig. 9).

Reizt man den Ureter mit stärkerer Reizung und mit einem In-

Fig. 9. Übergang der normalen Kontraktion in die Mikrokontraktion mit der Zunahme der Ermüdung.

Reizstelle: 4 cm vom Nierenende.

Maximaler Reiz: 50,084 V, aber 59,406 V nach der 145ten Minute.

Reizintervall: 10 Minuten.

× Längsmuskel.

• Zirkulärmuskel.

↑ zeigt maximale Kontraktion (Grösse unbekannt).

Temperatur 16°C.

tervall von 10 Minuten, so tritt die maximale Kontraktion nacheinander auf, macht aber mit zunehmender Ermüdung der Mikrokontraktion Platz, und schliesslich gerät auch die letztere in Ermüdung und Erschöpfung (Fig. 9). Wenn man in dieser Zeit den Ureter noch stärker reizt, tritt die maximale Kontraktion wieder auf, aber sie dauert nicht lange, geht in die Mikrokontraktion über und dann schliesslich zu Grunde.

Der Fortleitungsbereich wird um so enger, je stärker der Ureter ermüdet ist und zuletzt verschwindet die Mikrokontraktion schon in der Nähe der Elektrode. Nimmt die Ermüdung zu, wird nicht nur die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion verringert, sondern auch die Latenzzeit verlängert.

Diskussion der Ergebnisse.

Wenn man den Verlauf der normalen Kontraktion der einzelnen Skelettmuskelfaser mit demjenigen des glatten Muskels (Ureter) vergleicht, ist der letztere 1 000 mal so langsam wie der erstere. Aber die Tatsache, dass die Latenzzeit, Kontraktionsgrösse und Verkürzungszeit usw. der maximalen Kontraktion dem Alles oder Nichts-Gesetz folgen, ist gemeinsam für beiderartige Muskeln.

Bei der Mikrokontraktion des Ureters ist das Refraktärstadium viel kleiner als bei der maximalen Kontraktion. Die Mikrokontraktion vergrössert und verbreitet sich gegen das Alles oder Nichts-Gesetz mit der Zunahme der Reizstärke. Diese Eigenschaft der Mikrokontraktion ist ganz gleich bei glatten- und Skelettmuskeln, obgleich der zeitliche Verlauf der Kontraktion der beiderartigen Muskeln auffallend verschieden ist. Es ist von grosser Bedeutung in der Reizphysiologie, dass die beiderartigen Muskeln in dieser Weise in ihrem Erregungstypus miteinander sehr nahe stehen, wenn auch merkliche Unterschiede in der Struktur und im zeitlichen Verlauf bestehen.

Zusammenfassung.

1. Ausgeschnittener Ureter macht bei der Grösse der Elektrode über 100μ Alles oder Nichts-Kontraktionen aber bei kleineren Reizelektroden Mikrokontraktionen, die über die ganze Länge nicht fortgeleitet werden. Die Mikrokontraktion folgt nicht dem Alles oder Nichts-Gesetz.

2. Die Mikrokontraktion dekrementiert sich mit der Fortleitung. Der grösste Fortleitungsbereich beträgt etwa 3 cm. Kontraktions-

wellen pflanzen sich bei Längs- sowie Zirkulärmuskeln nicht immer in gleicher Weise fort. Die Leitungsgeschwindigkeit der Mikrokontraktion beträgt bei 16°–19°C 17,2 mm/Sek., ist somit am grössten, ist mit 0,55 mm/Sek. am kleinsten, und zeigt mit 8,4 mm/Sek. den Durchschnitt. Sie liegt in gleicher Grössenordnung wie diejenige der maximalen Kontraktion.

3. Die resultierende Kraft des Längs- und Zirkulärmuskels ist immer nach der Mikroelektrode gerichtet.

4. Das Refraktärstadium der Mikrokontraktion ist beträchtlich kleiner als bei der maximalen Kontraktion.

5. Im Ermüdungszustand verkleinert sich sowohl die Kontraktionsgrösse als auch die Leitungsgeschwindigkeit, verengt sich der Fortleitungsbereich und verlängert sich die Latenz vielleicht.

Der glatte Muskel des Ureters scheint schliesslich demselben reizphysiologischen Gesetz wie der Skelettmuskel zu folgen, nicht nur bei der maximalen Kontraktion, sondern auch bei der Mikrokontraktion, abgesehen vom zeitlichen Verlauf.

Am Schluss spreche ich Herrn Prof. Dr. Motokawa für seine freundliche Leitung und Unterstützung meinen besten Dank aus.

Literatur.

- (1) Fischl, E. u. R. H. Kahn, Pflügers Arch., 1932, **219**, 33.
- (2) Yano, M., Tohoku Ig. Z. 1939, **25**, 441. Tohoku J. Exp. Med., 1941, **41**, 1.
- (3) Hintner, H., Pflügers Arch., 1930, **224**, 608.
- (4) Steiman, S. E., Amer. J. Physiol., 1937, **118**, 492.
- (5) Miyake, S., Seirigaku Kenkyu, 1937, **14**, 55.
- (6) Sugi, M., Jap. J. Med., Sci., III, Bioph., 1938, **5**, 157.
- (7) Gelfan, S., Amer. J. Physiol., 1930, **93**, 1; Ib. 1931, **96**, 16; J. Physiol., 1934, **80**, 285.
- (8) Hashida, K., Jap. J. Med. Sci., III, Bioph., 1931, **2**, 36*.
- (9) Gelfan, S. u. R. W. Gerad, Amer. J. Physiol., 1930, **95**, 412.
- (10) Asmussen, E., Pflügers Arch., 1932, **230**, 263.
- (11) Motituki, K., Jap. J. Med. Sci., III, Bioph., 1931–1933, **2**, 182*.
- (12) Yonehara, T., Ib., 254*.
- (13) Nagamitsu, J., Ib., 146*.
- (14) Bozler, E., Ztschr. f. vergl. Physiol., 1927, **6**, 361.
- (15) Siebel, F. J. M. u. O. L. Prosser, Amer. J. Physiol., 1939–40, **128**, 208.
- (16) Aizawa, S., Tohoku Ig. Z. 1936, **19**, 46.