

IV.

Untersuchungen über die wachsartige Umwandlung der Muskelfasern.

Erste Mitteilung.

Von

Prof. Dr. R. Thoma in Magdeburg.

(Mit 15 Textabbildungen.)

Vor einer Reihe von Jahren hat Wehl¹⁾ auf meine Veranlassung das bereits von Cohnheim bemerkte Vorkommen wachsartig umgewandelter Muskelfasern in der Zunge des lebenden Frosches weiter verfolgt. Dabei ergab sich, daß diese wachsartigen Umwandlungen sich unter sehr verschiedenen Bedingungen entwickeln und namentlich bei Kontinuitätstrennungen der Muskelfasern in kurzer Zeit auftreten. Die Einzelheiten der Entstehung der wachsartigen Massen entzogen sich indessen zum großen Teile der direkten Beobachtung. Ich möchte daher hier eine Reihe von Tatsachen mitteilen, welche meines Erachtens ein neues Licht auf den Vorgang der wachsartigen Umwandlung werfen.

Zu meinen Versuchen verwendete ich vorwiegend *Rana temporaria*. Nach sorgfältiger Curaresierung wird die Zunge auf einem passenden Objektträger²⁾ ausgespannt, und zwar bei der Rückenlage des Tieres. Sodann irrigiert man die Zunge unter dem Mikroskope mit einem kontinuierlichen Strome von $\frac{3}{4}$ % Kochsalzlösung und präpariert in der Gegend der Vena mediana linguae einen Teil der nach oben gekehrten, rauhen Zungenschleimhaut ab. Am Boden des dabei entstehenden Substanzverlustes liegen die Blutgefäße, das Bindegewebe, die Nerven und die Muskelfasern der Zunge frei und können bei beliebiger Vergrößerung untersucht werden. Ich bediente mich dabei eines Satzes von Hartnackschen Objektiven, von denen die stärkeren unbedenklich in die Kochsalzlösung immigriert werden können.

1) Wehl, Dieses Archiv, Bd. 61, 1874.

2) Thoma, Dieses Archiv, Bd. 65, 1875.

Am einfachsten ist es sodann, bei schwacher 100 bis 130facher Vergrößerung (Objektiv 3 oder 4, Ocular 3, ausgezogener Tubus) die Muskelfasern einzeln mit der scharfen Spitze einer feinen, in ein Heft gefaßten Nähnadel zu verletzen. Der Erfolg zeigt jedoch, je nach der Schwere der Verletzung einige Variationen, von denen zunächst die drei am häufigsten vorkommenden Berücksichtigung erfahren sollen.

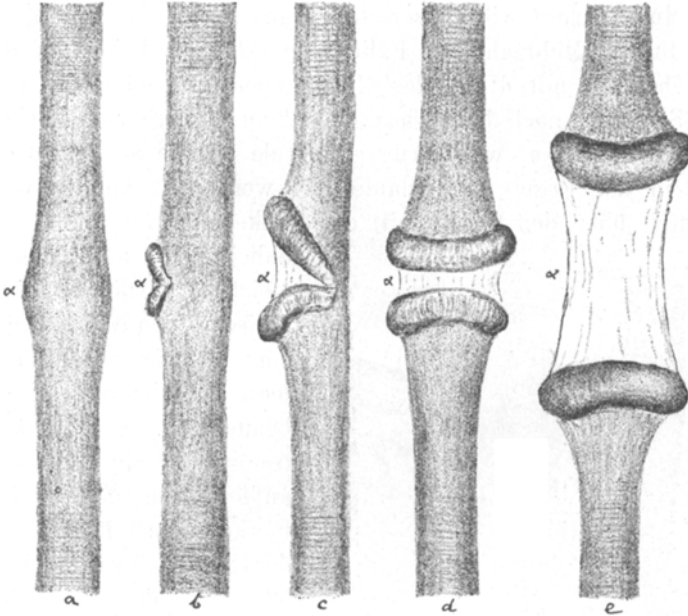


Fig. 1. Quergestreifte Muskelfasern der Froschzunge 1—5 Sekunden nach der Berührung mit einer Nadelspitze an der Stelle α . Vergr. 200fach.

Bei den geringsten Graden der Verletzung ergibt sich als erste Veränderung eine umschriebene Anschwellung der Muskelfaser an der Stelle, welche von der Nadelspitze berührt worden war (Fig. 1a). Dabei gerät zuweilen — wie es scheint bei schwacher Curaresierung — der Sarkolemminhalt gleichzeitig in eine leicht wogende Bewegung. Diese sowie die umschriebene Anschwellung kann nach wenigen Sekunden völlig verschwinden, indem sich das frühere Verhalten der Muskelfasern wieder herstellt, um dauernd erhalten zu bleiben. Die

Anschwellung dürfte daher als eine umschriebene Kontraktion zu deuten sein, welche einer direkten Reizung des Sarkolemm-inhaltes ihre Entstehung verdankt und demgemäß als eine idiomuskuläre Kontraktion zu bezeichnen wäre. Solche idiomuskuläre Kontraktionen, allerdings viel größeren Maßstabes, sind auch in der Muskulatur des lebenden Menschen mit unbewaffnetem Auge beobachtet worden, wo sie ebenso wie hier in der Froschzunge nach kurzer Dauer infolge der Spannung der Muskelfasern wieder verschwinden.

In der Mehrzahl der Fälle bemerkt man jedoch in der Froschzunge mit Hilfe des Mikroskopes drei bis höchstens fünf Sekunden nach der Verletzung, daß an der verletzten Muskelfaser zwei kleine, wachsartig glänzende Wülste auftreten, die sich in der Regel im Verlaufe von wenigen Sekunden oder Minuten über den Querschnitt der Muskelfaser verbreiten und

dabei etwas auseinanderweichen (Textfig. 1 b, c, d). Zwischen den Wülsten wird zugleich der anscheinend leere Sarkolemmaschlauch bemerkbar. Kontinuitätstrennungen sind indessen an letzterem nicht zu bemerken; doch liegt es auf der Hand, daß geringe Verletzungen desselben sich in der Regel dem Nachweise entziehen dürften. Die wachsartigen, glänzenden Wülste, welche sich an den beiden Enden des auseinanderweichenden Sarkolemm-inhaltes, gebildet haben, entfernen sich in der Folge eine Strecke weit rascher oder langsamer voneinander, um dann dauernd unverrückt liegen

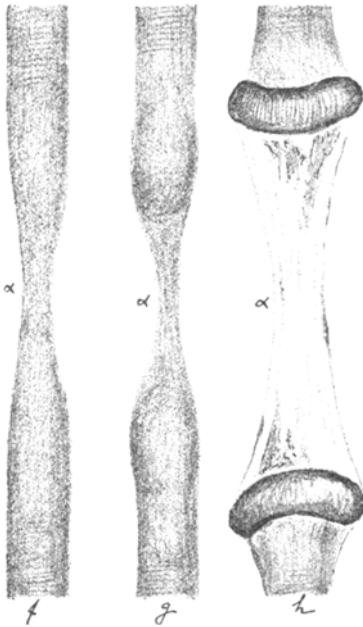


Fig. 2. Quergestreifte Muskelfasern der Zunge des lebenden Frosches in den ersten Sekunden nach der Berührung mit einer Nadelspitze an der Stelle α . Vergr. 200fach.

zu bleiben. Dabei kann der Zwischenraum zwischen denselben in extremen Fällen 700 μ und mehr erreichen. In der Regel bleibt er viel geringer (Textfigur 1e) und in seltenen Fällen trennen sich die glänzenden Wülste nicht vollständig voneinander, sondern bleiben mit einem Teile ihres Umfanges miteinander verbunden (Textfig. 5r). Dies gilt natürlich nur für die wenigen Stunden, auf welche in solchen Fällen die ununterbrochene Beobachtung beschränkt ist. Ob später nicht doch noch eine Trennung der miteinander zusammenhängenden Wülste eintritt, bleibt daher zweifelhaft. Nach der Ausbildung der wachstartig glänzenden Wülste und nach

oder während ihrer Wanderung treten sodann andere Veränderungen ein, welche später besprochen werden sollen, sowie die wichtigsten Abweichungen von den soeben beschriebenen Vorgängen Berücksichtigung gefunden haben.

Keineswegs selten kommt es vor, daß die verletzende Nadelspitze eine umschriebene Verdünnung der Muskelfaser hinterläßt (Textfig. 2f). Diese verdünnte Stelle und ihre Umgebung kann in der Längsrichtung der Muskelfaser etwas hin- und herwogen. In der Regel erfährt sodann die verdünnte Stelle innerhalb der nächsten Sekunden eine weitere Verjüngung, während sich zu beiden Seiten derselben umschriebene Verdickungen einstellen (Textfig. 2g), welche wiederum als

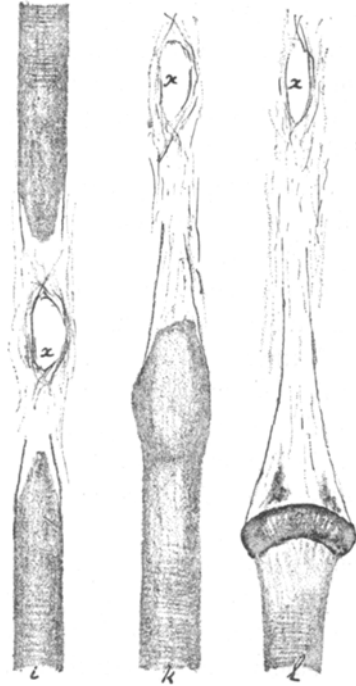


Fig. 3. Quergestreifte Muskelfasern der Zunge des lebenden Frosches in den ersten 5 Sekunden nach vollständiger traumatischer Kontinuitätstrennung. x Läsionsstelle, kenntlich durch eine Lücke im Bindegewebe. Vergr. 200fach.

idiomuskuläre Kontraktionen gedeutet werden können. Geringere Grade dieser Veränderungen, die allerdings nicht immer sehr deutlich sind, werden zuweilen wieder vollständig rückgängig, so daß sich das frühere Verhalten der Muskelfaser dauernd wieder herstellt. In der Regel jedoch entstehen aus den beiden verdickten Stellen im Laufe von 3—5 Sekunden, von dem Zeitpunkt der Verletzung an gerechnet, zwei glänzende, wachsartige Wülste, die sich langsam voneinander entfernen, während die dünne Verbindungsbrücke einreißt (Textfig. 2h). Es sind dann im wesentlichen dieselben Veränderungen gegeben wie in Textfig. 1e. Als konstanter, wenn auch nicht immer deutlich nachweisbarer Unterschied wäre nur die Anwesenheit von Resten der zerrissenen Verbindungsbrücke zu erwähnen, welche bei dem hier beschriebenen Vorgange wenigstens zu Anfang regelmäßig getroffen werden. In späterer Zeit können diese Reste ein körniges Gefüge annehmen und mehr oder weniger unkenntlich werden.

In einer dritten Reihe von Fällen erzeugt die Nadelspitze eine vollständige Kontinuitätstrennung des Sarkolemminalhaltes und zumeist auch des Sarkolemmaschlauches. Es schließen sich dann (Textfig. 3) die gleichen Veränderungen des Sarkolemminalhaltes an, wie diejenigen, welche soeben beschrieben wurden. Unmittelbar nach der Verletzung erscheinen die Enden des durchtrennten Sarkolemminalhaltes kegelförmig verjüngt oder meißelförmig abgeplattet (Textfig. 3i). Dann entwickelt sich im Verlaufe von 3—5 Sekunden in jedem Rißende eine umschriebene Anschwellung (Textfig. 3k), welche sich alsbald in einen glänzenden, wachsartigen Wulst verwandelt (Textfig. 3l). Dieser Wulst wird in der Folge eine Strecke weit in die Sarkolemmascheide zurückgezogen. Außerdem retrahiert sich auch die Sarkolemmascheide etwas, soweit ihre Befestigungen an dem umgebenden Bindegewebe dies gestatten. An den wachsartig glänzenden Wülsten hängen auch in diesem Falle zuweilen Reste des gequetschten Sarkolemminalhaltes, welche nicht in die Wulstbildung einbezogen wurden.

Zugleich bedarf es keiner ausführlicheren Erörterung der Tatsache, daß auch die Muskelfasern, welche bei der Anlegung des Substanzverlustes der Froschzunge durchschnitten und ver-

stümmelt wurden, an ihren Schnittenden die in Fig. 3 wiedergegebenen Veränderungen durchlaufen. Doch ist man nach solchen Schnittverletzungen nicht leicht in der Lage, die früheren Entwicklungsstadien (Textfig. 3i und k) direkt zu verfolgen.

Wenn man genauer auf die soeben beschriebenen Vorgänge achtet, bemerkt man, daß die Verletzung zunächst eine initiale, idiomuskuläre Kontraktion hervorruft, welche umschriebene, bauchförmige Verdickungen der Muskelfaser erzeugt. Diese initiale Kontraktion kann, vorausgesetzt daß die Verletzung selbst keine Kontinuitätstrennung des Sarkolemm-inhaltes bewirkte, wieder rückgängig werden, wenn der gesetzte Reiz abklingt, indem die Spannung der Muskelfaser den alten Gleichgewichtszustand der einfachbrechenden und der doppeltbrechenden Teile wieder herstellt. Zumeist führt jedoch das Trauma entweder unmittelbar oder durch die von ihm hervorgerufene idiomuskuläre Kontraktion zu einer Kontinuitätstrennung des Sarkolemm-inhaltes. In ersterem Falle kann man von einer direkten, traumatischen Kontinuitätstrennung sprechen. Im zweiten Falle aber liegt eine idiomuskuläre Selbstzerreißung der Muskelfaser vor. Bei dieser dürften indessen vielleicht geringe Ablösungen des Sarkolemm-s von seinem Inhalte oder oberflächliche Verletzungen und Quetschungen des letzteren, welche sich der direkten Beobachtung entziehen, als Momente zu betrachten sein, welche die idiomuskuläre Kontraktion sehr wesentlich unterstützen bei der Herbeiführung der idiomuskulären Selbstzerreißung.

Hand in Hand mit diesen Vorgängen entwickeln sich die wachsartig glänzenden Wülste. Die traumatische, direkte sowohl wie die idiomuskuläre, indirekte Kontinuitätstrennung des Sarkolemm-inhaltes sind vielleicht als Reize anzusehen, welche die noch bestehende idiomuskuläre Kontraktion zu steigern imstande sind. Jedenfalls aber werden die Reißenden des Sarkolemm-inhaltes durch die Kontinuitätstrennung von einem großen Teile der Zugwirkungen entlastet, welche Folge der Längsspannung der Muskelfasern sind. Die idiomuskuläre Kontraktion ist daher in der Lage, hier in beschränkter Ausdehnung eine maximale Verkürzung des Sarkolemm-inhaltes herbeizuführen,

da dieser bei seiner Verkürzung keinen Widerstand zu überwinden hat. Demgemäß ziehen sich die Reißenden des Sarkolemminhaltes, soweit sie völlig entspannt sind, maximal zusammen und zwar in der trägen Weise, welche für die idiomuskulären Kontraktionen kennzeichnend ist. Man kann daher die auf diesem Wege entstandenen wachsglänzenden Wülste auch als maximal kontrahierte Wülste bezeichnen. Sie erreichen indessen nur eine geringe Breite, weil die idiomuskuläre Kontraktion eine lokal sehr beschränkte Ausdehnung besitzt und weil der sich kontrahierende Teil des Sarkolemminhaltes erheblich an Volum verliert, indem er die im Sarkolemma-schlauche frei auftretende Flüssigkeit abgibt. Der eigenartige wachsartige Glanz der maximal kontrahierten Wülste aber scheint Folge des Umstandes zu sein, daß die Muskelquerstreifen bei der maximalen Verkürzung sehr dicht aneinander rücken. Die einzelnen Querstreifen sind zwar an den wachsglänzenden Wülsten nur ausnahmsweise, wenn die maximale Kontraktion eine nicht ganz vollkommene ist, im lebenden Tiere zu sehen. Ihre Anwesenheit erzeugt indessen, wie man annehmen darf, auch wenn sie nicht zu sehen sind, Beugungs- und Interferenzerscheinungen, bei denen die Farbe silbergrau entsteht. Diese silbergraue Färbung scheint es hauptsächlich zu sein, welche den kontrahierten Massen ihr eigenartiges wachsähnliches Ansehen verleiht.

Ähnliche maximale Kontraktionen können in entspannten oder sehr schwach gespannten Muskelfasern auch durch verschiedenartige lokale, mechanische oder chemische Reizungen erzeugt werden, ohne daß eine Kontinuitätstrennung des Sarkolemminhaltes eintritt. Sie stellen sich dann als wachsglänzende, quer oder schräg über die Muskelfasern ziehende Bänder dar, welche hauptsächlich von Wagener, Exner und Rollett¹⁾ genauer untersucht und beschrieben wurden. Wagener hat an

1) Wagener, Arch. f. mikr. Anat., Bd. 9, 1873. Bd. 10, 1874, drei Aufsätze. — Arch. f. Anat. 1880. — Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 30, 1883.

Exner, Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 40, 1887.

Rollett, Denkschr. d. k. k. Akad. Wien. Math.-naturw. Kl. Bd. 49, 1885. Bd. 58, 1891.

der lebenden Larve von *Corethra plumicornis* beobachtet, daß bei erhaltener Kontinuität der Muskelfasern die Kontraktion imstande ist, wachsartige Bänderungen zu erzeugen, welche später wieder völlig verschwinden. Auch hat er diese zu einer Erklärung der sogenannten wachsartigen Degeneration des Typhusmuskels verwertet. An der Muskulatur des Frosches kann man diese Beobachtungen, welche Wagener an der Corethralarve machte, indirekt bestätigen, und zwar durch Erfahrungen, welche sich bei Alkoholhärtungen gewinnen lassen. Härtet man entspannte oder schwach gespannte Muskeln oder Muskelfasern in Alkohol, so entstehen unter bestimmten Bedingungen, welche bei einer späteren Gelegenheit ausführlicher besprochen werden sollen, regelmäßig wachsartig glänzende Bänderungen in den Muskelfasern, ohne daß es dabei in irgendwelcher Weise zu Kontinuitätstrennungen käme. Dagegen werden die wachsartigen Bänderungen in ebenso regelmäßiger Weise vermißt, wenn ganze Muskeln oder kleinere Bündel von Muskelfasern in stark gespanntem Zustande in Alkohol gehärtet werden. Wenn daher Exner diese wachsglänzenden Bänder, welche er an völlig isolierten Muskelfasern beobachtete, als Dauerkontraktionen bezeichnete, so erscheint mir dieses wenig zweckmäßig. Denn die Versuche von Wagener zeigen, daß die angeblichen Dauerkontraktionen nur so lange bestehen, als eine Kraft fehlt, welche die Muskelfaser bei dem allmählichen Abklingen der Reizwirkung wieder auf ihre normale Länge zurückführt. Ich ziehe deshalb für diese Veränderung der unverletzten Muskelfaser die Bezeichnung maximal kontrahierte Bänder vor.

Die maximal kontrahierten Bänder stellen sich, als umschriebene, maximale, idiomuskuläre Kontraktionen dar. Sie entstehen im Gefolge lokaler Reizungen, wenn die Spannung der Muskelfaser so gering ist, daß sie ohne Kontinuitätstrennung des Sarkolemminaltes an einzelnen Stellen maximale Kontraktionen des letzteren gestattet. Längeren Bestand können jedoch die maximal kontrahierten Bänder nur dann gewinnen, wenn bei vollständig aufgehobener Längsspannung jede Kraft fehlt, welche nach Ablauf der Reizwirkung die maximal kontrahierten Muskelfaserabschnitte wieder auf ihre normale Länge zu dehnen

imstande wäre. Diese Bedingung war für die von Exner untersuchten isolierten Muskelfasern erfüllt. Im lebenden Körper aber ist sie, solange die Kontinuität der Muskelfasern erhalten ist, im allgemeinen nicht gegeben. Früher oder später tritt hier immer wieder eine Anspannung der zuvor völlig entspannten Muskelfasern ein. Bei Alkoholhärtungen dagegen gestalten sich die Verhältnisse von vornherein in etwas anderer Weise. Hier stellt sich unmittelbar nach der lokal reizenden Wirkung des Alkohols, welche bei mangelnder oder geringer Längsspannung maximal kontrahierte Bänder erzeugt, die Alkoholgerinnung des Eiweißes ein, welche den augenblicklich gegebenen Zustand des Sarkolemminalhaltes dauernd fixiert.

Bei den oben beschriebenen Kontinuitätstrennungen des lebenden Sarkolemminalhaltes bleiben die wachsartig glänzenden, maximal kontrahierten Wülste dauernd bestehen, weil infolge der Kontinuitätstrennung jede Kraft fehlt, welche imstande wäre, dieselben wieder zu dehnen. Die rundliche, bei schräger Projektion im Gesichtsfelde des Mikroskopes immer ringförmig oder gedellt erscheinende Gestalt derselben dürfte sodann Folge des Umstandes sein, daß die Primitivfibrillen gegen die Mitte der Muskelfaser hin umgebogen werden. Diese Umbiegung aber ist leicht zu erklären. Die Sarkolemma-scheide zieht sich, solange ihre Kontinuität erhalten ist, in der Längsrichtung überhaupt nicht zurück. Ist sie aber durchtrennt, so ist ihre Retraktion gering, weil sie von dem umgebenden Bindegewebe festgehalten wird. An der Innenfläche der Sarkolemmascheide haftet jedoch die peripherische Zone des Sarkolemminalhaltes, während die zentralen Teile des letzteren, nachdem ihre Kontinuität unterbrochen ist, durch die Spannung der kontraktilen Substanz zurückgezogen werden. So kommt während der maximalen Kontraktion eine Einwulstung des Sarkolemminalhaltes mit zentraler Dellenbildung zustande. Bei nicht ganz symmetrischer Ausbildung aber projiziert sich der die Delle umgebende Rand in der Ebene des Gesichtsfeldes als ein glänzender Ringwulst. Dieser kann genau ebenso wie die maximal kontrahierten Bänder unverletzter Muskelfasern vollständig hyalin erscheinen und erhält sein wachsartiges Ansehen, wie es scheint, durch die oben erwähnten Beugungs- und

Interferenzerscheinungen, welche von den infolge ihrer Vershmälerung und dichten Aneinanderdrängung jenseits der Grenzen der Sichtbarkeit liegenden Querstreifen hervorgerufen werden. In manchen Fällen bemerkt man jedoch an den maximal kontrahierten Wülsten eine Streifung, welche den umgebogenen Primitivfibrillen entspricht (Textfig. 2h, 3l, 4o). Selten ist es dagegen, daß die eigentliche Querstreifung sichtbar wird. Dies scheint nur vorzukommen, wenn die Kontraktion der Wülste keine vollkommen maximale ist. Dagegen zeigt sich zuweilen eine feine Querwulstung (Textfig. 4n), die bei schwächeren Vergrößerungen mit einer Querstreifung verwechselt werden kann. Diese Querwulstung aber entsteht, wenn während der maximalen Kontraktion feine Querspalten in dem Sarkolemm-inhalte auftreten. Möglicherweise kommt sie häufiger vor, wenn während des Versuches die Froschzunge mit $1\frac{1}{2}\%$ Kochsalzlösung irrigiert wird; sie ist jedoch auch bei Anwendung der hier zumeist benützten $\frac{3}{4}\%$ Kochsalzlösung zu beobachten. Im Laufe von mehreren Stunden endlich können an den glänzenden Ringwülsten sekundär körnige Trübungen auftreten, die einer weitergehenden Zerklüftung der wachsähnlichen Massen ihre Entstehung zu verdanken scheinen. Bei solchen länger dauernden Versuchen empfiehlt es sich indessen aus nahe-liegenden Gründen, sowie die Blutung in der Zungenwunde steht, die Irrigation zu unterbrechen und den Substanzverlust mit einem Deckglase zu bedecken.

In seltenen Fällen bleiben, wie früher erwähnt, die wachs-ähnlich glänzenden Wülste dicht nebeneinander liegen. Die idiomuskuläre Selbstzerreißung des Sarkolemm-inhaltes ist dann entweder keine vollständige (Textfig. 5r), oder es fehlen die Zugkräfte, welche die maximal kontrahierten Wülste in zwei entgegengesetzten Richtungen voneinander zu entfernen imstande sind. In der Regel jedoch weichen die maximal kontrahierten Wülste eine Strecke weit auseinander. Da das Sarkolemm hierbei, wenn es unverletzt ist, keine Verschiebung in der Längsrichtung erfährt, und wenn es durchtrennt ist, sich nur sehr wenig retrahiert, muß man schließen, daß es die Spannung des Sarkolemm-inhaltes ist, welche die Ortsveränderung der wachsartigen, maximal kontrahierten Wülste herbeiführt. Dabei

wird zugleich eine vollständige Ablösung dieser Wülste von dem Sarkolemm bemerkbar. Diese Ablösung kann stellenweise bereits bei der ersten Bildung dieser Wülste mikroskopisch nachgewiesen werden. Fraglich bleibt es jedoch, ob die Sarkolemmablösung nicht bereits vor der Bildung der sich maximal kontrahierenden Wülste erfolgt ist. Das zuweilen zu beobachtende starke Hin- und Herwogen des Sarkolemminalhaltes unmittelbar nach der Verletzung legt diese Frage nahe, ist jedoch nicht entscheidend. Denn es ist wahrscheinlicher, daß dabei das Sarkolemma die Bewegung des Sarkolemminalhaltes mitmacht.

Früher oder später verlangsamt sich die oben erwähnte

Ortsveränderung der maximal kontrahierten Wülste und schließlich bleiben dieselben unverrückt an ihrem neuen Orte liegen, der zuweilen, aber keineswegs immer, sehr weit von der Läsionsstelle entfernt ist. Um die gleiche Zeit etwa treten weitere Veränderungen auf, die ihrer äußeren Erscheinung nach erheblich von der Wulstbildung verschieden zu sein scheinen. Zunächst bemerkt man in den an die maximal kontrahierten Wülste angrenzenden

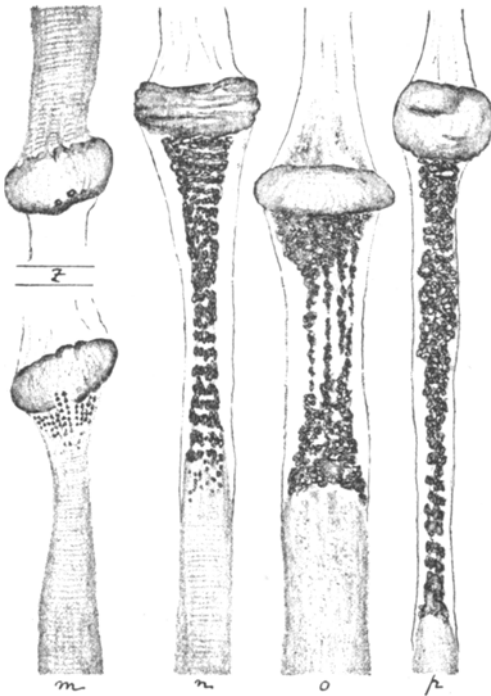


Fig. 4. Wachsartige Wulstbildung und discoider Zerfall in den quergestreiften Muskelfasern der Zunge des lebenden Frosches, nach Verletzung mit einer Nadelspitze. Die Verletzungsstelle liegt für die Fasern n, o und p oberhalb der oberen Grenze der Zeichnung, für die Faser m dagegen in dem auf der Zeichnung sehr stark verkürzten Zwischenraume z. Vergr. 200fach.

Teilen der kontraktile Substanz das Auftreten glänzender Körner (Textfig. 4m). Zu den Körnungen gesellen sich sodann kleine Spalten und diese nehmen ziemlich rasch an Zahl zu, indem sich die kontraktile Substanz zugleich verjüngt und von der Sarkolemmascheide löst (Textfigur 4n). Die nunmehr entstandenen körnigen Massen erscheinen in der Regel, wenngleich nicht immer in Querscheiben geordnet, zwischen denen Querspaltan sichtbar sind. Es ist damit eine Veränderung gegeben, welche in Übereinstimmung mit Weihl als diskoider Zerfall bezeichnet werden kann.

Der diskoide Zerfall pflegt 5 bis 20 Sekunden nach der Verletzung zu beginnen, geht aber dann in verlangsamt Tempo eine Zeitlang, zuweilen stundenlang weiter, wobei unter Umständen sehr lange Strecken der Muskelfaser in Mitleidenschaft gezogen werden (Textfigur 4p, 5q, man beachte die geringe Vergrößerung der Faser q). Dabei geht, wie alle Muskelfasern der Textfig. 4 und 5 zeigen, die Ablösung des Sarkolemmis der diskoiden Zerklüftung des Sarkolemm-inhaltes voran, indem zugleich zwischen dem Sarkolemm und den diskoiden Massen eine klare Flüssigkeit auftritt, in welcher indessen ausnahmsweise stark gequollene, schwach lichtbrechende Eiweißmassen bemerkbar werden. Schließ-



Fig. 5. Wachsartige Umwandlung und körnige, diskoide Zerklüftung der quergestreiften Muskelfasern der Zunge des lebenden Frosches. Spätere Stadien. Muskelfaser q: weitreichende diskoide Zerklüftung, entstanden im Laufe von zwei Stunden. β maximal kontrahierter Wulst, von der Läsionsstelle hierher verschoben. Vergr. 70fach. Muskelfaser r: wachsartige Wülste ohne vollständige Kontinuitätstrennung des Sarkolemm-inhalts, körnig-diskoide Zerklüftung der angrenzenden Teile des letzteren. α Läsionsstelle. Vergr. 200fach.

lich pflegt es zu einer Zerreißung der körnigen, diskoiden Massen zu kommen (Textfig. 4o, 5q). Nach dieser Zerreißung schreitet aber wenigstens in einem Teile der Fälle die diskoider Zerklüftung weiter, wobei wie zuvor die körnig werdenden Teile der Muskelfaser erheblich an Querdurchmesser abnehmen. Die körnigen, diskoiden Massen verlieren jedoch nunmehr in vielen Fällen ihre geradlinige, gestreckte Anordnung und stellen sich dann als schmale, körnige, zumeist diskoid zerklüftete Cylinder dar, deren geschlängelter Verlauf die eingetretene Entspannung anzeigt und deutlich absticht gegen die sie umgebende, gerade gestreckte Sarkolemmseide. Die Muskelfaser r (Textfig. 5) zeigt zugleich, daß die diskoider Zerklüftung auch eintreten kann, wenn infolge unvollständiger Kontinuitätstrennung des Sarkolemm-inhaltes die maximal kontrahierten Wülste ihren Ort nicht ändern.

Der Verlauf der diskoiden Zerklüftung des Sarkolemm-inhaltes bietet zuweilen einige Abweichungen. In einem Falle hatte die verletzende Nadelspitze zunächst ein ungewöhnlich starkes Hin- und Herwogen des Sarkolemm-inhaltes in der Längsrichtung der Muskelfaser veranlaßt. Dann entstanden sehr rasch ein Paar maximal kontrahierter Wülste, die sich noch nicht vollständig voneinander gelöst hatten, als plötzlich in beinahe explosionsartiger Weise eine diskoider Zerklüftung des angrenzenden, bis dahin anscheinend unveränderten Teiles des Sarkolemm-inhaltes eintrat, und zwar in einer Längsausdehnung, die auf jeder Seite der Läsionsstelle etwa dem Sechsfachen des queren Durchmessers der Muskelfaser gleich kam. Die dabei gebildeten Bruchstücke zeichneten sich durch denselben Glanz aus, welcher den maximal kontrahierten Wülsten zukommt, ließen jedoch da und dort leichte Körnungen erkennen. Leider war es infolge zufälliger Störungen nicht möglich, längere Zeit zu beobachten und zu prüfen, ob nachträglich die geringe Körnung dieser diskoiden Bruchstücke eine stärkere wurde. Sicher aber ist, daß diese diskoiden Scheiben größere Ähnlichkeit besaßen mit sehr kleinen, maximal kontrahierten Wülsten als mit den körnigen, bisher beschriebenen diskoiden Massen.

Die gleiche Ähnlichkeit tritt zuweilen auch bei langsamem Verlaufe des diskoiden Zerfalles auf und wird nicht selten

sogar sehr auffallend (Textfig. 6), indem hinter dem erst entstandenen maximal kontrahierten Wulste allmählich eine Reihe kleinerer Querwülste abgespalten wird, welche sämtlich die Form und den Glanz von maximal kontrahierten Wülsten aufweisen. Dabei ist der zuerst entstandene maximal kontrahierte Wulst in der Regel die größte und besteht zuweilen aus einer Mehrzahl von enge verbundenen Ringwülsten. Die später entstehenden Ringwülste pflegen dagegen jeweils etwas kleiner auszufallen als die zuvor gebildeten, so daß sie eine mehr oder weniger regelmäßige Reihe bilden. Je kleiner die Ringwülste werden, desto

deutlicher tritt aber bei ihnen eine körnige Beschaffenheit hervor. Schließlich erscheinen die kleinsten Ringwülste mehr und mehr in der Form körniger, diskoider Massen. Endlich ereignet es sich in manchen Fällen (Textfigur 7), daß die Bildung maximal kontrahierter Ringwülste und diskoider Zerklüftungen regelmäßig abwechselt. Dies wird namentlich an Muskelfasern beobachtet, welche bei Anlegung des Substanzverlustes am Grunde der Zungenwunde durchschnitten und dabei wohl auch meistens ziemlich stark gezerzt wurden.

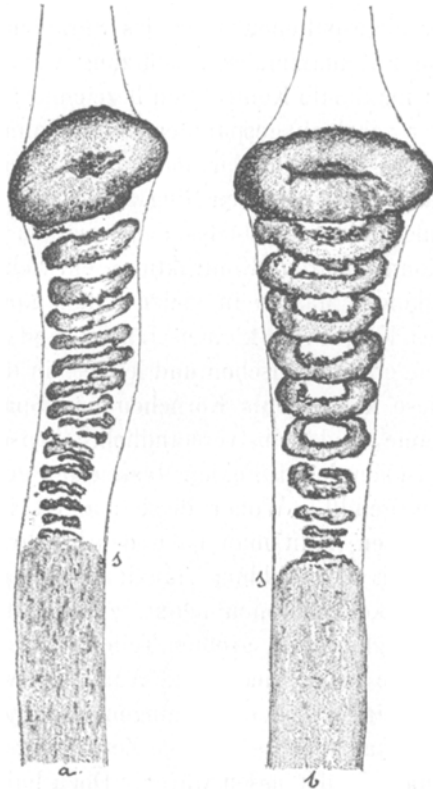


Fig. 6. Weniger häufige Form der discoiden Zerklüftung der quergestreiften Muskelfasern der Froschzunge. s kuppenförmiges Ende des wenig veränderten Teiles des Sarkolemminalhaltes.
Vergr. 120fach.

Diese Erfahrungen berechtigen zu der Annahme, daß die diskoidale Zerklüftung im wesentlichen eine Wiederholung der Vorgänge darstellt, welche sich bei der Bildung der maximal kontrahierten Wülste abspielten. Die maximale Kontraktion, welche die glänzenden Ringwülste erzeugt, ruft zugleich, wie oben beschrieben, kleine Querspalten in dem bis dahin noch nicht stärker veränderten Teile des Sarkolemminalhaltes hervor. Wie es scheint, ergeben dann diese Spalten den Reiz, welcher die angrenzenden Teile des Sarkolemminalhaltes zur Kontraktion anregt. Diese Kontraktion führt, weil die Spalten zugleich den Sarkolemminalhalt entspannen, zu einer maximalen Verkürzung der abgespaltenen Teile des Sarkolemminalhaltes. Die Kontraktion mit maximaler Verkürzung wird aber hier immer einfach als maximale Kontraktion bezeichnet; sie kann bei entspanntem oder schwach gespanntem Sarkolemminalhalt unzweifelhaft auch infolge geringfügiger lokaler Reize eintreten. Die später entstandenen, diskoiden Ringwülste aber sind kleiner, weil sie sich außerhalb des Gebietes der von dem Trauma direkt angeregten idiomuskulären Kontraktion entwickeln. Wenn sodann die diskoiden Massen in vielen Fällen körnig erscheinen, so dürfte dies Folge von kleinen Längs- und Querspalten sein, welche sich erstere zwischen und letztere in den Primitivfibrillen bilden. Diese kleinen, als Körnchen und Spalten erscheinenden Hohlräume sind selbstverständlich, ebenso wie die Zwischenräume zwischen den diskoiden Massen und dem Sarkolemm mit Flüssigkeit gefüllt. Woher diese stammt ist nicht direkt zu sehen. Indessen kann man nach den Erfahrungen, welche Exner bezüglich der Bildung maximal kontrahierter Bänder, die er Dauerkontraktionen nennt, gesammelt hat, vermuten, daß die Flüssigkeit zum größten Teile wenigstens aus dem Sarkolemminalhalte abgeschieden ist. Außerdem wäre es immerhin möglich, daß ein Teil der Körnungen der diskoiden Massen als feste oder halbflüssige, körnige Zersetzungsprodukte des Sarkolemminalhaltes aufzufassen wären. Doch habe ich vorläufig noch keine Anhaltspunkte für eine solche Annahme. Dieselben Körnungen und Spaltungen wie in den diskoiden Massen kommen aber zuweilen früher oder später in den typischen, großen, maximal kontrahierten Wülsten vor.

Diese Anschauungen über das Wesen der wachsartigen Umwandlung und des diskoiden Zerfalles finden eine Stütze in der Tatsache, daß das Weiterschreiten des diskoiden Zerfalles immer an eine vielleicht sehr beschränkte Sarkolemmablösung geknüpft ist, die wohl auch bei der Bildung der ersten maximal kontrahierten Wülste beteiligt sein dürfte. Untersucht man Muskelfasern, welche am Boden eines Substanzverlustes der Froschzunge durchschnitten wurden, so ereignet es sich in seltenen Fällen, daß nach Ausbildung eines vielleicht nicht ganz vollkommen maximal kontrahierten Wulstes die diskoide



Fig. 7.
Wechselweise
Bildung maximalkon-
trahierter und dis-
koider Zerklüftungen
in einer durchschnit-
tenen Muskelfaser.
Vergr. 100fach.

Zerklüftung völlig ausbleibt. Dies scheint namentlich dann einzutreten, wenn bei der Verletzung das Sarkolemm eine Strecke weit von dem Bindegewebe der Umgebung gelöst wurde. Das Sarkolemm folgt dann willig der Retraktion seines Inhaltes und demgemäß fehlt jede Kraft, welche imstande wäre, beide voneinander zu trennen. Die in Textfig. 8 gezeichnete Muskelfaser verhartete, so

lange die Beobachtung fortgeführt werden konnte, mehrere Stunden lang in dem hier gezeichneten Zustande ohne eine Spur diskoider Zerklüftung zu zeigen. Ganz ohne Veränderung ist indessen auch in diesem Falle der an den Wulst grenzende Teil des Sarkolemminaltes nicht geblieben. Vielleicht ist die bei der Durchschneidung unvermeidliche Zerrung für die Trübung des Sarkolemm-

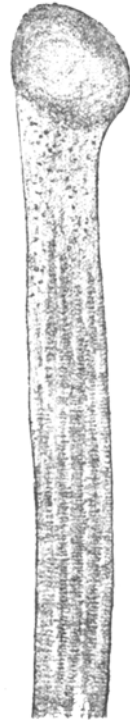


Fig. 8. Unvollkommen maximal kontrahierter Wulst an dem Schnittende einer Muskelfaser, 40 Minuten nach der Verletzung. Vergr. 166fach.

inhaltes in der Nähe des Wulstes verantwortlich zu machen. In anderen Fällen, in denen solche Zerrungen auszuschließen sind, entstehen ähnliche Trübungen, und zwar vermutlich dann, wenn die zentral in der Muskelfaser liegenden Primitivfibrillen sich bei der Bildung der Delle des maximal kontrahierten Wulstes ungewöhnlich stark zurückziehen.

Etwas häufiger ereignet es sich, daß nach der Bildung der maximal kontrahierten Wülste ein diskoider Zerfall zwar eintritt, jedoch nur eine sehr geringe Ausdehnung gewinnt. Der bis dahin unveränderte Teil des Sarkolemmminhaltes trennt sich sodann von den diskoiden Massen und zieht sich eine kurze Strecke weit zurück, ohne sich indessen von der Sarkolemmascheide zu lösen. Letztere hat nunmehr, soweit sie flüssigen Inhalt umschließt, allein die volle Längsspannung der Muskelfaser zu tragen. Sie erfährt daher eine starke, mit Verkleinerung des Querdurchmessers ihrer Lichtung verbundene Längsdehnung, welche am stärksten hervortritt an der Stelle, an welcher der Zug am kräftigsten wirkt. Es ist dies der Punkt, an welchem der Sarkolemmminhalt an der Sarkolemmascheide haftet. Oberhalb und unterhalb dieser Stelle nimmt infolge der Verbindungen der Sarkolemmascheide mit dem Bindegewebe einerseits und mit dem Sarkolemmminhalt andererseits der von dem ringförmigen Querschnitte der Sarkolemmascheide zu tragende Zug um so mehr ab, je weiter man sich von der Anheftungsstelle des Sarkolemmminhaltes entfernt. In Textfig. 9 sind bei verschiedenen Vergrößerungen zwei Muskelfasern gezeichnet, welche einige Minuten nach der Verletzung mit der Nadelspitze den abgebildeten Befund darboten. Trotz wiederholter Zuckungen der Zungenmuskulatur änderte sich dieser Befund in der Folge nicht in wesentlicher Weise, obwohl die Faser a während 7 Stunden und die Faser b während 6 Stunden und 47 Minuten auf das Genaueste in ihrem Verhalten überwacht wurde.

Die Besonderheiten dieses Verhaltens erklären sich zunächst durch den Umstand, daß die Sarkolemmablösung sich hier auf die unmittelbare Nachbarschaft der maximal kontrahierten Wülste beschränkte. Der relativ wenig veränderte Teil des Sarkolemmminhaltes erweist sich hier gegen den verjüngten,

leer erscheinenden, nur mit Flüssigkeit gefüllten Teil des Sarkolemmaschlauches durch konkave Menisken begrenzt, welche deutlich die Adhäsion des Sarkolemminaltes an seine Scheide bezeugen. Ähnliche Menisken bilden sich in kapillaren Röhren, in denen eine der Wand adhärierende Flüssigkeit aufsteigt, und zwar so lange steigt, bis die Spannung der gekrümmten Meniskenfläche dem von dem Gewichte der gehobenen Flüssigkeitssäule erzeugten Zuge entspricht. Menisken¹⁾ von so kurzen Krümmungsradien, wie sie hier vorliegen, sind imstande den Zug von Flüssigkeitssäulen zu tragen, die mehrere Meter hoch sind. Demgemäß kann es auch nicht auffallen, wenn die Menisken, ungeachtet der Zuckungen der

- 1) Der eine der Menisken in Textfig. 9 weist eine etwas unregelmäßige Form auf und sitzt zugleich nicht an der engsten Stelle des Sarkolemmaschlauches. Beide Störungen dürften verursacht sein durch eine geringe Kontraktion des an den Meniskus grenzenden Teiles des Sarkolemminaltes.

Fig. 9. Zwei Muskelfasern mit sehr beschränkter Ablösung des Sarkolemminaltes. w maximal kontrahierter Wulst. k schmale Zonen körnig-discoider Zerklüftung, m meniskenförmige Begrenzung des wenig veränderten Teiles des Sarkolemminaltes, B bauchförmige Verdickung des letzteren. Faser a: Vergr. 166fach, Faser b: Vergr. 80fach.

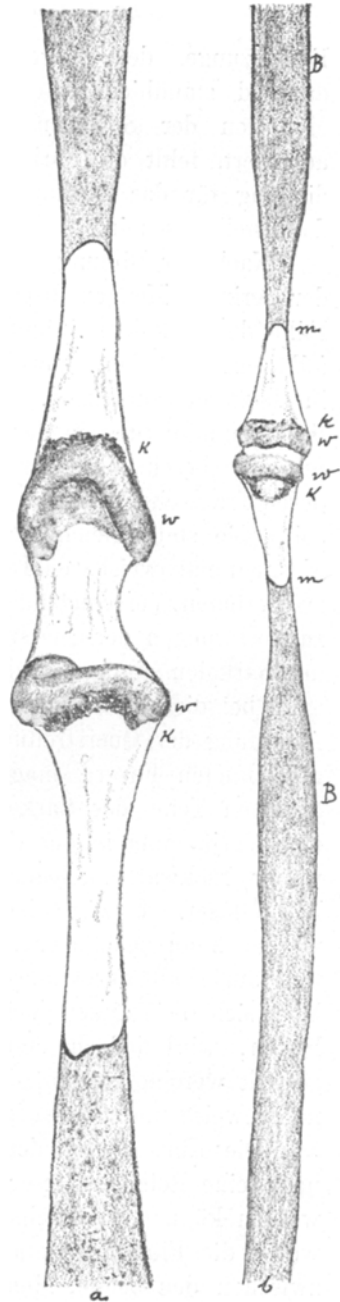


Fig. 9.

Froschzunge, dem Zuge des gespannten Sarkolemmminhaltes dauernd standhielten. So lange jedoch an der Stelle der Menisken der Sarkolemmminhalt an der Sarkolemmascheide adhäriert, fehlt die Sarkolemmablösung, welche die erste Bedingung für das Zustandekommen der diskoiden Zerklüftung darzustellen scheint.

Nach der Bildung der maximal kontrahierten Wülste und der geringen Mengen discoid zerklüfteter Massen war in diesem Falle der Sarkolemmminhalt dauernd an der Sarkolemmascheide adhärent geblieben, obwohl er sich eine geringe Strecke weit in letzterer zurückzog. Es ist diese Verschiebbarkeit des Sarkolemmminhaltes in der Sarkolemmascheide, auch wenn sie nur eine beschränkte ist, eine sehr bemerkenswerte Tatsache, deren Tragweite indessen vorläufig nicht weiter verfolgt werden soll. Sie steht gleichberechtigt neben der an allen lebenden Muskeln nachweisbaren Tatsache, daß auch die Primitivfibrillen zu geringen Verschiebungen unter sich befähigt sind, welche zu Abstufungen der Querstreifung und zu anderen Verzerrungen des Sarkolemmminhaltes führen. Solche Verzerrungen kommen auch bei diesen Versuchen vor und sind am sichersten an der Abstufung der Querstreifung zu erkennen. In den beiden hier gezeichneten Fasern machten sie sich an dem wenig veränderten Teile des Sarkolemmminhaltes nur bemerkbar durch eine Verjüngung in der Gegend der Menisken und durch eine weiter rückwärts gelegene, bauchförmige Anschwellung der Muskelfaser. Letztere ist auf Textfig. 9b gut zu sehen; sie war auch an der Faser a vorhanden, lag jedoch hier größtenteils außerhalb der Grenzen der stark vergrößerten Abbildung. Wie sich bei diesen Verzerrungen die Primitivfibrillen verhalten, wird jedoch erst in der folgenden Mitteilung klar gestellt werden können, da sie am lebenden Objekte nur ausnahmsweise und undeutlich sichtbar sind.

Die Einzelheiten der beschriebenen Vorgänge enthalten noch eine Reihe weiterer Fragen, die hier nicht übergangen werden können. Zunächst wäre es wünschenswert zu wissen, woher die Flüssigkeit stammt, welche die Sarkolemmascheide zwischen den beiden Menisken füllt. Um dieser Frage etwas näher zu treten, muß man zunächst die Menge der gebildeten

Flüssigkeit etwas genauer prüfen. Wenn man annäherungsweise annimmt, daß der Querschnitt des zwischen den beiden Menisken gelegenen Teiles des Sarkolemmaschlauches überall kreisförmig sei, findet man durch Schätzung oder besser und genauer durch Ausmessung unter Benützung der Simpsonschen Formel, daß der Kubikinhalte dieses Teiles des Sarkolemmaschlauches annähernd gleich kommt dem Kubikinhalte eines gleich langen Stückes unveränderter Muskelfaser. Da nun auch der mit kontraktilem, wenig verändertem Inhalte gefüllte Teil des Sarkolemmaschlauches im Bereiche der Verjüngung und der bauchförmigen Anschwellung zusammengekommen annähernd dem Volum eines gleich langen Stückes normaler Muskelfaser entspricht, so kann zunächst eine erhebliche Flüssigkeitszufuhr von außen her ausgeschlossen werden. Der ganze Vorgang, der auf Textfig. 9 abgebildet ist, vollzieht sich ohne eine erhebliche Änderung des Gesamtvolums des Sarkolemmminhaltes.

Es ist daher anzunehmen, daß die in der Sarkolemmascheide aufgetretene freie Flüssigkeit aus dem Sarkolemmminhalte stammt. Daß bei der Bildung der maximal kontrahierten Wülste reichlich Flüssigkeit frei werden kann, ergibt sich aus den oben erwähnten Versuchen von Exner. Die Menge der frei werdenden Flüssigkeit ist jedoch eine sehr beträchtliche. Man muß daher zugleich mit der Möglichkeit rechnen, daß aus dem anscheinend unveränderten, jenseits der Menisken gelegenen Teile des Sarkolemmminhaltes Flüssigkeit in den von beiden Menisken begrenzten Raum austreten kann. Endlich hat man zu beachten, daß die mit Hilfe der Camera lucida vorgenommene Ausmessung solcher kleiner Gebilde mit relativ großen Fehlern behaftet ist. Man ist daher nicht in der Lage, den Übergang relativ geringer Mengen von Flüssigkeit aus dem Sarkolemmaschlauche in das umgebende Bindegewebe und umgekehrt aus dem umgebenden Bindegewebe in den Sarkolemmaschlauch auszuschließen. Vielmehr muß man annehmen, daß die in der Sarkolemmascheide frei gewordene Flüssigkeit auf dem Wege der Diffusion mit der Umgebung der Muskelfaser in Austausch tritt. Dieser Austausch dürfte sich jedoch schwerlich so rasch vollziehen, daß er die in wenigen Sekunden erfolgende Ansammlung der relativ großen Flüssigkeitsmengen

zwischen den Menisken wesentlich zu beeinflussen imstande wäre. Beobachtet man jedoch mehrere Stunden lang, so kann man unter Umständen mit Hilfe der Camera lucida geringe Änderungen des Volums des zwischen den Menisken eingeschlossenen Raumes finden, welche wohl außerhalb der Fehlergrenzen liegen. Wenigstens glaubte ich mehrere Male eine Verkleinerung dieses Raumes nachweisen zu können. Möglicherweise ist jedoch letztere nur dadurch bedingt, daß der Salzgehalt der Irrigationsflüssigkeit etwas höher war als der Salzgehalt der zwischen den Menisken eingeschlossenen Flüssigkeit, so daß letztere auf dem Wege der Diffusion an Volum einbüßen mußte. Ich habe daher vorläufig die Sache nicht weiter verfolgt. Im allgemeinen aber ergibt sich eine gewichtige Bestätigung der bereits früher auf Grund der Untersuchungen von Exner geäußerten Ansicht, daß die in der Sarkolemma-scheide auftretende Flüssigkeit im wesentlichen von dem kontraktilen Sarkolemm Inhalte abgegeben werde. Die Flüssigkeitsabgabe scheint nach den Untersuchungen von Merkel, Engelmann, Exner und Rollett¹⁾ jede Muskelkontraktion zu begleiten, wenn sie in der Regel auch nicht direkt sichtbar ist. Bei der Bildung der maximal kontrahierten Bänder konnte sie jedoch von Exner durch besondere Hilfsmittel direkt sichtbar gemacht werden; bei der Bildung der maximal kontrahierten Wülste und bei der dieser prinzipiell nahe stehenden discoiden Zerklüftung drängt sie sich der Beobachtung unmittelbar auf.

Es ist jedoch an dieser Stelle darauf hinzuweisen, daß die Menisken nicht immer in der geschilderten Weise ungestört bestehen bleiben. Bei der Volumsabnahme der zwischen den Menisken eingeschlossenen Flüssigkeit nähern sich die Menisken zuweilen um ein Geringes den maximal kontrahierten Wülsten. In anderen Fällen schreitet an der tiefsten Stelle des Meniskus die Zerklüftung noch etwas weiter. Man bemerkt dann zunächst an der genannten Stelle eine auffällige Körnung und bei sorgfältiger Handhabung der Stellschraube des Mikroskopes erkennt

¹⁾ Merkel, Arch. f. mikr. Anat., Bd. 8, 1872. Bd. 9, 1873. Bd. 19, 1881.

Engelmann, Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 7, 1873. Bd. 18, 1878. Bd. 23, 1880. Bd. 25, 1881. Bd. 26, 1891.

Exner und Rollett a. a. O.

man, daß sich vom Meniskus her eine von buchtigen Wandungen begrenzte Höhle in der Achse der Muskelfaser gebildet hat. In dem Falle der Textfigur 10a war an dem Schnittende einer Muskelfaser ein maximal kontrahierter Ringwulst aufgetreten, an den sich, wie gewöhnlich, eine diskoidale Zerklüftung anschloß. Sodann bildete sich im Anschlusse an letztere ein zweiter maximal kontrahierter Wulst, der auf der Zeichnung wiedergegeben und als sekundärer Ringwulst bezeichnet ist. Ihm folgte wiederum etwas diskoidale Zerklüftung, worauf ein zunächst regelmäßig gestalteter Meniskus auftrat. In den angrenzenden Teilen der kontraktile Substanz machte sich jedoch eine grobe Körnung bemerkbar, welche die gezeichnete zentrale Höhlenbildung einleitete. Letztere drang später noch etwas weiter in der Achse

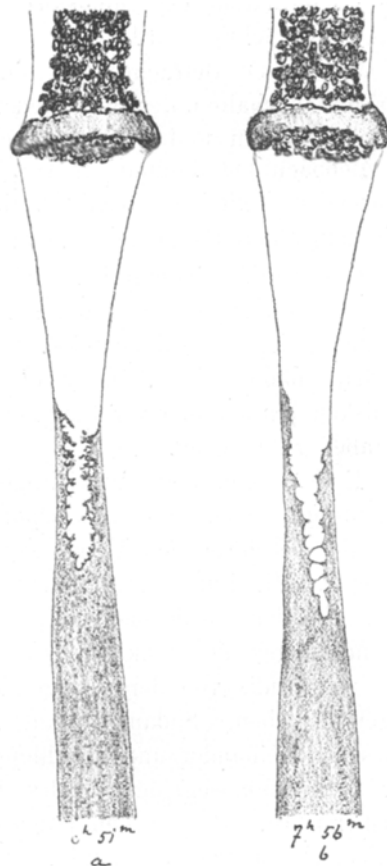


Fig. 10. Nachträgliche Umgestaltung eines Meniskus. Oben in der Figur ein sekundärer, maximal kontrahierter Ringwulst nebst discoiden Zerklüftungen. Der primäre Ringwulst lag etwas oberhalb der oberen Grenze der Abbildung. Vergr. 166fach.

der Muskelfaser vor (Textfig. 10b), um dann vom Ende der fünften bis zum Ende der achten Stunde unverändert zu bleiben. Wie sich bei solchen Vorgängen die Primitivfibrillen verhalten, wird in der folgenden Mitteilung nachgewiesen werden können. Für den Augenblick aber mag festgestellt werden, daß durch

diese Deformation des Meniskus die Tragfähigkeit desselben nicht beeinträchtigt wird.

Mit diesen Betrachtungen sind jedoch die Erfahrungen über das Verhalten der Menisken noch nicht völlig erschöpft. In den früheren und häufiger noch in den späteren Stunden der Beobachtung kommt es vor, daß die an den Meniskus grenzenden Teile des wenig veränderten Sarkolemminalhaltes sich kontrahieren und dabei mehr oder weniger glänzend und homogen werden, indem sie zugleich den Meniskus deformieren, wie dies bereits an dem unteren Meniskus der Textfig. 9a andeutungsweise bemerklich wird. Genauere Nachweise hierüber werden später folgen. Über die endgültigen Schicksale der Menisken bin ich aber vorläufig noch nicht imstande, bestimmte Angaben zu machen.

Eine zweite, nicht unwichtige Frage bezieht sich auf die Bedeutung, welche der Längsspannung der Muskelfasern bei den hier beschriebenen Vorgängen zukommt. Sie wird in der folgenden Mitteilung einer genaueren Prüfung zu unterziehen sein. In den vorliegenden Versuchen erzeugt sie die Ortsveränderungen der maximal kontrahierten Wülste, ehe diese sich vollständig von dem übrigen Teile des Sarkolemminalhaltes abgelöst haben. Sodann trennt sie die diskoid zerklüfteten Massen voneinander und verschleppt diese in der Längsrichtung der Sarkolemmascheide. Beides fehlt in völlig entspannten Muskelfasern. Bei starken Längsspannungen dagegen können die Verschiebungen der maximal kontrahierten Wülste und der discoiden Massen sehr beträchtliche werden. Dabei verschiebt sich auch der bis dahin wenig veränderte Teil des Sarkolemminalhaltes weit aus seiner ursprünglichen Lage in der Scheide. Diese weitgehenden Verschiebungen dürften die Verbindungen zwischen dem anscheinend unveränderten oder wenig veränderten Sarkolemminalhalte und seiner Scheide in dem Grade stören, daß in der Folge die Sarkolemmablösung und der discoide Zerfall sich auf sehr weite Entfernungen erstreckt.

Zahlreiche Wahrnehmungen haben mir diese Bedeutung der Längsspannung der Muskelfasern wahrscheinlich gemacht. Als Beispiel kann der folgende Versuch dienen, bei dem die gewählte Irrigationsflüssigkeit einige Einzelheiten deutlicher

hervortreten ließ. Die Zunge eines curaresierten Frosches wurde mit $1\frac{1}{2}$ % Kochsalzlösung irrigiert, ein Substanzverlust in der rauen Zungenschleimhaut erzeugt und eine Muskelfaser mit der Nadelspitze berührt. Es erfolgte darauf in gewöhnlicher Weise die Ausbildung eines Paares maximal kontrahierter Wülste, von denen sich der in Textfig. 11 wiedergegebene in wenigen Minuten um $290\ \mu$ von der Läsionsstelle entfernte, um hier liegen zu bleiben. Der starke Kochsalzgehalt der Irrigationsflüssigkeit ruft jedoch nicht nur auffallende und dauernde Hyperämien der Zunge hervor, sondern beeinflusst auch in erheblicher Weise die amöboiden Bewegungen der Leukocyten, wie ich seinerzeit genauer nachgewiesen habe.¹⁾ Auch der Verlauf der hier in Frage stehenden Muskelveränderungen erleidet durch die $1\frac{1}{2}$ % Kochsalzlösung wenigstens graduelle Abweichungen. Oben wurde bereits das bei Benützung der stärkeren Kochsalzlösung häufigere Vorkommen von feinen Querwulstungen in den maximal kontrahierten Wülsten erwähnt. Sie hatten sich, wie die Abbildung zeigt, auch in diesem Falle ausgebildet. Außerdem traten homogene, vermutlich aus Eiweiß bestehende Massen auf, deren Herkunft indessen nicht genauer beobachtet wurde. Die homogenen, sehr schwach lichtbrechenden Massen, die übrigens gelegentlich auch bei Irrigationen mit $\frac{3}{4}$ % Kochsalzlösung vorkommen, füllten allmählich (Textfig. 11a, c) den Zwischenraum zwischen den Wülsten und den frühzeitig abgelösten, körnig zerklüfteten Massen aus, wobei einige rundliche, vasculenähnliche Lücken übrig blieben.

Sieben Minuten nach der Läsion war die diskoidale Zerklüftung (Textfig. 11a) noch wenig weit vorgeschritten. Jedoch zeigten die benachbarten Teile des unzerklüfteten Sarkolemm-inhaltes in einer Länge von $514\ \mu$ eine matte, körnige Trübung. Sie reicht in Textfig. 11b bis zu der Stelle x. In ungleich geringerem Grade kommen solche Trübungen auch bei Irrigationen mit $\frac{3}{4}$ % Kochsalzlösung vor. Wahrscheinlich sind sie der Ausdruck von Verwerfungen oder Verzerrungen des Sarkolemm-inhaltes; unzweifelhaft aber bezeichnen sie eine Störung der Struktur des Sarkolemm-inhaltes, welche in Beziehung

¹⁾ Thoma, Die Überwanderung farbloser Blutkörper usw. Habilitationsschrift, Heidelberg 1873. Dieses Archiv Bd. 62, 1874.

steht zu der Spannung und Retraktion des letzteren. In vorliegendem Falle kann es daher nicht auffallen, daß diese Störung so weit zurückreicht, da die Retraktion des maximal kontrahierten Wulstes $290\ \mu$, also beinahe den dritten Teil eines Millimeters betrug. Später schritt die körnig-discoide Zerklüftung weiter und erreichte 80 Minuten nach der Verletzung die in Textfig. 10c und d gezeichnete Stelle, um schließlich 112 Minuten nach der Verletzung sich noch etwas weiter als bis an die Stelle x auf Textfig. 11b zu erstrecken. Ebenso weit war zur gleichen Zeit auch die durch Flüssigkeitsabscheidung manifest gewordene Ablösung des Sarkolemmis nachweisbar. Leider mußte der Versuch hier infolge eingetretener, durch Extravasate bedingter Trübungen abgebrochen werden. Er beleuchtet jedoch meines Erachtens in anschaulicher Weise eine der Bedingungen, welche die Weiterverbreitung der discoiden Zerklüftung bestimmen.

Während des Vorschreitens der discoiden Zerklüftung zeigt, sowie die ersten Mengen von freier Flüssigkeit hinter den maximal kontrahierten Wülsten aufgetreten sind, der bis dahin unveränderte oder wenig veränderte Teil des Sarkolemmminhaltes ein kuppenförmiges oder abgestumpft kegelförmiges Ende (Textfig. 6, 11d). Diese Formgestaltung beweist, daß die Adhäsion des Sarkolemmminhaltes an die Scheide in gewisser Ausdehnung verloren gegangen ist. Man darf daher, wenn man von den ersten Momenten nach der Bildung der maximal kontrahierten Wülste absieht, behaupten, daß die Sarkolemmablösung immer dem Vorschreiten der diskoiden Zerklüftung wenigstens um ein geringes vorangeht. Wahrscheinlicherweise gilt dieser Satz auch für die ersten Momente nach der Bildung der maximal kontrahierten Wülste, somit für die ersten Anfänge der discoiden Zerklüftung. Doch fehlt in dieser ersten Periode noch die Flüssigkeitsabscheidung hinter den maximal kontrahierten Wülsten, welche die Sarkolemmablösung mikroskopisch wahrnehmbar macht.

Von der kugelhaubenförmigen oder abgestumpft kegelförmigen Kuppe des bis dahin wenig oder gar nicht veränderten Teiles des Sarkolemmminhaltes lösen sich in der Folge schmale, glänzend gewordene Streifen und Körner ab, welche die discoiden

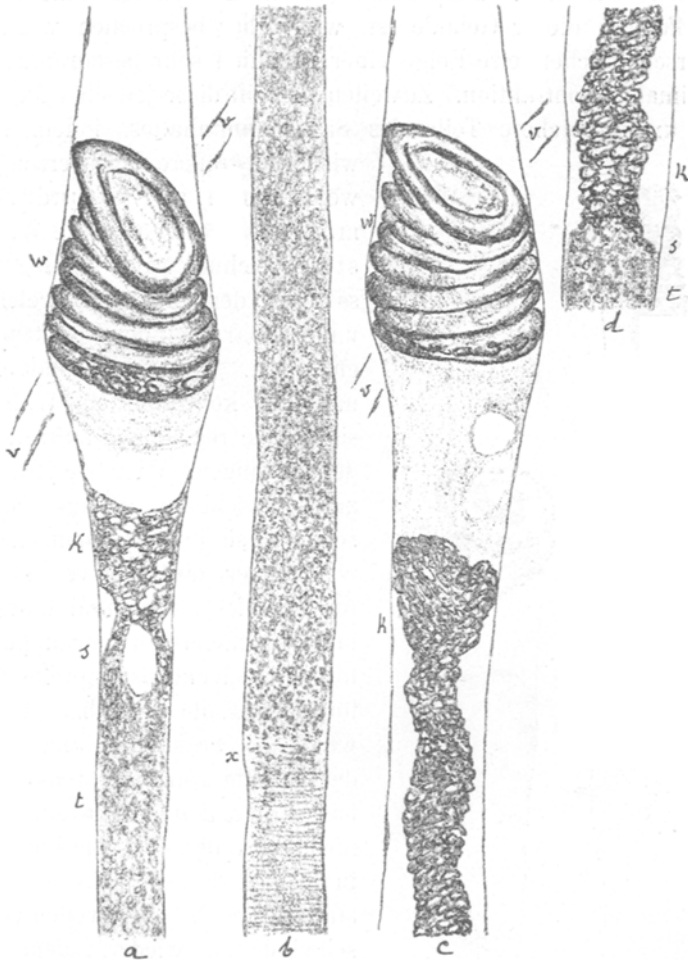


Fig. 11. Faser a, 7 Minuten nach Verletzung mit der Nadelspitze. W maximal kontrahierter, sehr weit verschobener Wulst. Unter demselben eine homogene Eiweißausscheidung. vv Ort einer zur Orientierung dienenden, außerhalb der Bildebene verlaufenden Blutkapillare. k körnig-discoide Zerklüftung. s kegelförmige, eine Lücke (Vacuole?) enthaltende Spitze des noch nicht dicht discoid zerklüfteten Teiles der Muskelfaser. t körnige Trübung, reichend bis zu der Stelle x auf Faser b. Das obere Ende der letzteren bildet die unmittelbare Fortsetzung des unteren Endes der Faser a. Faser c und ihre Fortsetzung d zeigt die Veränderungen, welche die Faser a+b nach weiteren 73 Minuten erfuhr. Gleiche Bezeichnungen. Vergr. 195fach.

Massen darstellen. Die glänzende, stark lichtbrechende Beschaffenheit dieser Gebilde ist, wie früher besprochen wurde, wahrscheinlicherweise Folge einer räumlich sehr beschränkten, maximalen Kontraktion. Zuweilen ergreift diese jedoch wesentlich umfangreichere Teile des Sarkolemmminhaltes, indem sie

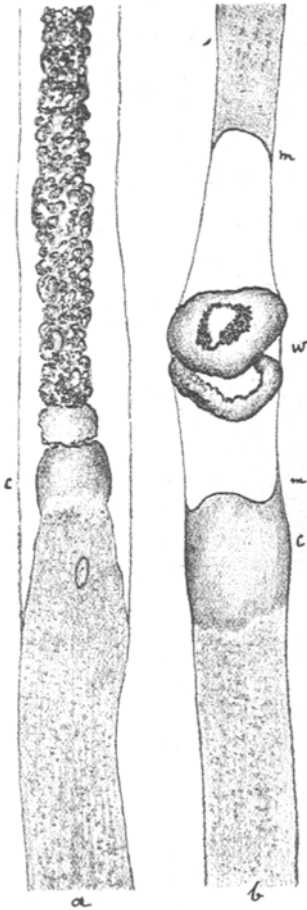


Fig. 12. Wulstbildungen höherer Ordnung in den späteren Perioden. w primäre, maximal kontrahierte Wülste. m, m Menisken, c, c sekundäre, maximal kontrahierte Wülste. Faser a: Vergr. 280fach. Faser b: Vergr. 166fach.

wiederum größere Wülste erzeugt, welche man als sekundäre, maximal kontrahierte Wülste bezeichnen kann im Gegensatz zu den primären, welche unmittelbar nach der Verletzung entstehen. Diese sekundären maximal kontrahierten Wülste sind keine regelmäßig auftretenden Bildungen. Wenn sie jedoch zur Entwicklung gelangen, erscheinen sie immer in dem noch wenig oder gar nicht veränderten Teile des Sarkolemmminhaltes, und zwar zumeist an dem kuppenförmigen oder abgestumpft kegelförmigen Ende desselben, oder wenn der Sarkolemmminhalt an der Scheide adhäriert, unmittelbar hinter den konkaven Menisken (Textfig. 12). Sie können in beiden Fällen längere Zeit stationär bleiben. Zuweilen verschwinden sie wieder, indem die Kontraktion, der sie ihre Entstehung verdanken, nachläßt. Auch kommt es, wenn der Sarkolemmminhalt der Wand nicht adhäriert, vor, daß kleine discoide Massen von der Oberfläche der sekundären Wülste abblättern, oder daß letztere in ihrer Masse einem körnigen, undeutlich dis-

koiden Zerfalle unterliegen. In manchen Fällen aber tritt hinter diesen sekundären Wülsten von neuem der discoide Zerfall auf. Dann kann der Vorgang der Wulstbildung sich wiederholen, so daß maximal kontrahierte Wülste dritter, vierter und höherer Ordnung entstehen.

Bei den vorliegenden Versuchen würden solche multiple Wulstbildungen höherer Ordnung, welche in der ersten Zeit nach der Verletzung entstanden waren, bereits früher erwähnt und abgebildet (Textfigur 7). Sie kommen nicht allzuselten vor, und zwar hauptsächlich an Muskelfasern, welche bei Anlegung des Substanzverlustes der Froschzunge durchschnitten und dabei wohl auch gezerrt wurden. Hier handelt es sich indessen um Bildungen einer um mehrere Stunden späteren Periode. Unter diesen sind die auf Textfig. 12 gezeichneten Formen kleiner sekundärer Wülste sehr häufig. Sie treten, wie es scheint, auf, wenn der discoide Zerfall seinen Abschluß gefunden hat oder

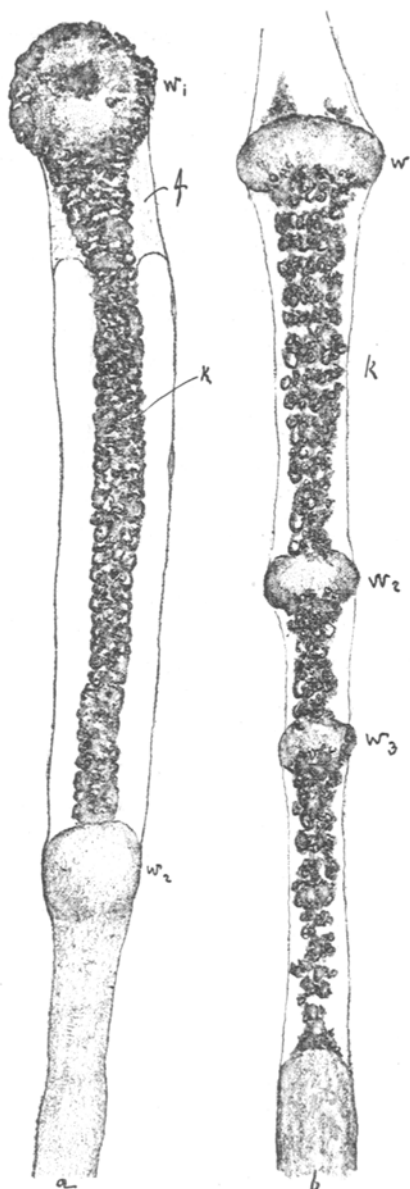


Fig. 13. Größere, maximal kontrahierte Wülste verschiedener Ordnung. w_1 primärer, w_2 sekundärer, w_3 tertiärer Wulst, k körnige, discoide Zerklüftung, f homogene Eiweißmassen von geringer Lichtbrechung. Vergr. 200 fach.

sich diesem Abschlusse nähert. Größere secundäre und tertiäre Wulstbildungen der späteren Periode (Textfig. 13) stellen dagegen seltene Befunde dar. Ihnen aber kommt ein besonderes Interesse zu.

Weihl hat die Vorgänge der wachsartigen Umwandlung, welche er in der Froschzunge beobachtet hatte, der wachsartigen Degeneration der Typhusmuskeln gleichgestellt. Dem kann ich nicht ganz folgen. Allerdings besteht zweifellos eine generelle Ähnlichkeit und bei den Muskelfasern mit größeren sekundären und tertiären Wulstbildungen, wie sie in Textfig. 13 gezeichnet sind, ist die Ähnlichkeit vielleicht eine etwas weiter gehende, da auch in den Typhusmuskeln maximal kontrahierte Wülste und diskoidale Zerklüftungen in der einzelnen Faser abwechseln. Doch besteht keine volle Übereinstimmung. In den verletzten Muskelfasern der Froschzunge sind die primären Kontraktionswülste verhältnismäßig klein und die sekundären und tertiären zumeist noch viel kleiner als die primären. Sodann will es mir scheinen, daß die sekundären und tertiären maximal kontrahierten Wülste der Froschzunge in der Regel ziemlich rasch in körnige diskoidale Massen übergehen, während die primär entstandenen sich allerdings viel länger erhalten. In den Typhusmuskeln dagegen findet man sehr häufig in den einzelnen Fasern zwischen den diskoidalen Massen ganze Ketten maximal kontrahierter Wülste von annähernd gleicher Größenordnung, die mir in verletzten Froschmuskeln niemals begegnet sind. Außerdem erscheinen die wachsartigen Wülste der Typhusmuskeln relativ groß, auch wenn man das verschiedene Kaliber der Muskelfasern in Rechnung zieht. Die Bedingungen aber, unter denen man die Typhusmuskeln untersucht, machen in Verbindung mit dem anatomischen Befunde einen längeren Bestand der typhösen, wachsartigen Schollen wahrscheinlich, wenn sich dieser vielleicht auch nicht über viele Tage erstrecken dürfte.

Es bleibt indessen noch die Möglichkeit geboten, die Veränderungen des Typhusmuskels auf mehrfache Kontinuitätsstrennungen von Muskelfasern zurückzuführen, bei denen Ketten maximal kontrahierter Wülste gleicher Größenordnung in den einzelnen Muskelfasern auftreten können. Bei

mehrfachen Verletzungen einer und derselben Muskelfaser entwickeln sich mehrere Paare von hyalinen Wülsten, an welche sich dann wie gewöhnlich die diskoide Zerklüftung anschließt. Letztere aber verschont unter Umständen einen Teil der intermediären, zwischen beiden Verletzungen gelegenen Strecke der Muskelfaser. In diesem Falle verkürzt sich die intermediäre Strecke erheblich, indem sie dicker und kürzer wird; sie zeigt eine, wie es scheint mit Kontraktion verbundene Retraktion, indem sie zugleich eine undeutlich wachsartige Beschaffenheit annimmt.

Die in Textfigur 14 wiedergegebene Muskelfaser war um 4^h 30^m abends am Boden eines Substanzverlustes der Froschzunge an einer, im Bilde etwa 186 mm oberhalb der oberen Grenze der Figur gelegenen Stelle durchschnitten worden, als der Versuch gemacht wurde, den Substanzverlust zu vergrößern. Der hierauf entstandene wachsartige Wulst verschob sich im Laufe von 70 Minuten im Bilde etwa 200 mm weit bis zu der gezeichneten Stelle. Es ist dieses eine ungewöhnlich große Verschiebung, welche in Wirklichkeit nahezu 1 mm beträgt. Zugleich trat wie gewöhnlich eine körnige, discoide Zerklüftung auf. Es wurde jedoch außerdem um 5 Uhr an einer Stelle, welche im Bilde etwa 70 mm unterhalb des unteren Randes der Figur lag, die Muskelfaser ein zweites Mal, und zwar mit der Nadelspitze verletzt. Hier bildete sich sodann ein Paar primärer, maximal kontrahierter Wülste, von denen die discoide Zerklüftung ausging, welche in dem unteren Teile der Figur sichtbar ist. Gleichzeitig verkürzte sich das intermediäre Stück y der



Fig. 14. Mehrfache Läsion einer Muskelfaser. y stark verkürzte, wachsähnlich umgewandelte, intermediäre Strecke. Befund um 5 Uhr 40 Min. Vergr. 200fach.

Muskelfaser und gewann annähernd die hyaline Beschaffenheit und den wachsartigen Glanz, welcher maximal oder annähernd maximal kontrahierte Muskelfaserabschnitte kennzeichnet.

Hier ist somit noch ein anderer Weg gegeben zu der Bildung wachsähnlicher Massen im Sarkolemminalhalte, und diese wachsähnlichen Massen besitzen zugleich eine beträchtliche Größe. Sie dürften indessen wie die sekundären und tertiären Wulstbildungen, welche gleichfalls in der Regel nicht vollkommen, sondern nur annähernd maximal kontrahiert zu sein scheinen, zumeist nur einen kurzen Bestand haben, indem sie im Laufe weniger Stunden der diskoiden Zerklüftung anheim fallen können. In anderen Fällen bleiben sie allerdings während der wenigen Stunden der Beobachtung erhalten. Man hat daher nach mehrfachen Kontinuitätstrennungen der Muskelfasern hauptsächlich mit zwei Befunden zu rechnen, welche in Textfig. 15 schematischerweise und übersichtlich zum Ausdrucke gebracht sind. Beide haben manche Ähnlichkeiten mit den Befunden bei der wachsartigen Umwandlung der Typhusmuskeln. Doch ergeben sich auch gewichtige Verschiedenheiten. Die fünf wachsartigen Massen der Faser t sind von sehr verschiedener Größe und Gestalt, und in Faser t sowohl wie in Faser u zeigen die rundlichen, maximal kontrahierten Ringwülste eine typische Lagerung zu den discoid zerklüfteten Massen, wie sie in den Typhusmuskeln im allgemeinen fehlt. Demgemäß sind auch multiple Kontinuitätstrennungen der Muskelfasern nicht imstande, eine befriedigende Deutung der wachsartig degenerierten Typhusmuskeln zu liefern. Wie diese zustande kommen, kann erst die folgende Mitteilung nachweisen. Diese aber wird zugleich auch die besonderen Bedingungen, unter denen diese Versuche vorgenommen wurden, die starke Längsspannung der Muskelfasern und die immerhin störende Einwirkung der Kochsalzlösung zu prüfen haben und das spätere Schicksal der verstümmelten Muskelfasern verfolgen.

Die vorliegenden Untersuchungen aber zeigen, daß die im Gefolge von Traumen auftretenden, wachsartigen Umwandlungen der Muskelfasern und allem Anscheine nach die begleitenden

discoiden Zerklüftungen derselben als lokal beschränkte, mit Kontinuitätstrennungen verbundene, maximale Kontraktionen zu deuten sind. Der eigenartige, wachsähnliche Glanz der maximal kontrahierten Wülste und Zerklüftungsprodukte aber dürfte Folge des Umstandes sein, daß bei der maximalen Kontraktion die Querstreifungen so dicht aneinander-rücken, daß sie mit unseren optischen Hilfsmitteln nicht mehr zu erkennen sind. Was uns als wachsähnlicher Glanz sich darstellt, scheint hauptsächlich Folge von Beugungen und Interferenzen der Lichtstrahlen zwischen den sehr dicht gestellten Muskelquerstreifen zu sein. Ein Beispiel aus bekannten Gebieten dürfte die Sachlage klären. Betrachtet man die Schale einer *Pleurosigma angulatum* mit einem Objektiv von geringer numerischer Apertur, so erscheint sie braun, zeigt jedoch keine Spur ihrer Felderungen. Benützt man dagegen starke Objektive von großem Öffnungswinkel, so schwindet die braune Farbe, die allgemein als Interferenzfarbe gedeutet wird, während die sechseckigen Felderungen der *Pleurosigma angulatum* hervortreten. In ähnlicher Weise scheint das Zusammenrücken der Muskelquerstreifen, sowie diese für unsere Objektive unkenntlich werden, eine Interferenzfärbung der durchgehenden Lichtstrahlen zu erzeugen, welche man als Silberweiß bezeichnen kann. Gleichzeitig aber bedingt die bei der Muskelkontraktion von Engelmann und von vielen anderen berufenen Mikroskopikern nachgewiesene relative Breitenzunahme der anisotropen



Fig. 15. Wachsartige Umwandlung und discoide Zerklüftung zweier Muskelfasern nach mehrfacher Verletzung. α und β Verletzungsstellen, γ intermediäre Strecke, welche in Faser t wachsartig umgewandelt und in Faser und discoid zerklüftet ist. Schema.

Vergr. 70 fach.

Streifen in Verbindung mit dem Flüssigkeitsaustritt aus der kontraktile Substanz jene auffällige Zunahme der Lichtbrechung, welche zuerst von Exner an den maximal kontrahierten Bändern der Muskelfasern in klarer und einfacher Weise bewiesen wurde. Sie tritt auch bei den hier besprochenen Veränderungen, bei denen der Flüssigkeitsaustritt so sehr in die Augen fällt, deutlich genug hervor in dem starken Glanze der maximal kontrahierten Wülste und discoiden Massen.

V.

Cystitis caseosa.

(Aus dem böhmischen Pathologisch-anatomischen Institute in Prag.)

Von

Prof. Dr. Rudolf Kimla.

I.

Wenn wir die Literatur der Harnblasentuberkulose durchgehen, so kommen wir bald zu der Erkenntnis, daß seit jener Zeit, da Virchow in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts im 2. Bande seiner Onkologie diese Affektion beschrieben und ihre Entstehung und Entwicklung scharf charakterisiert hat, die Lehre von den tuberkulösen Veränderungen der Harnblase keine wesentlichen Fortschritte gemacht hat.

Damit will ich aber nicht gesagt haben, daß dieser Krankheit nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt wurde; man muß im Gegenteil konstatieren, daß die Literatur seit jener Zeit um eine ganze Serie von Arbeiten bereichert wurde. Die Ursache einer gewissen Stagnation in der Entwicklung dieser Lehre beruht hauptsächlich in folgenden Umständen: Vor allem stammt die unverhältnismäßig größere Zahl der Publikationen aus der Feder von Chirurgen und behandelt naturgemäß mehr die klinische Seite dieser Affektion, indem sie vorwiegend das makroskopische Aussehen und die Beziehungen der Veränderungen in der Harnblase selbst zu tuberkulösen Veränderungen im übrigen Urogenitalapparat berücksichtigt und die therapeutischen Resultate würdigt. Eine genaue mikroskopische Untersuchung fehlt gewöhnlich oder beruht auf der probatorischen