

(Aus dem gerichtlich-medizinischen Institut der kgl. ungar. Tisza István-Universität in Debrecen — Vorstand: Prof. Dr. *L. Jakovich.*)

Über das Verhalten des kollagenen Bindegewebes und des quergestreiften Muskelgewebes im polarisierten Lichte bei verschiedenen prä- und postmortalen Wunden.

Von
Prof. **Sándor Ökrös.**

Mit 10 Textabbildungen (27 Einzelbildern).

Bisher wurde die Polarisationsmethode zur Untersuchung von verletzten Geweben nicht verwendet, obwohl sie in anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen, so auch in der normalen und pathologischen Histologie eine seit langem angewandte Methode darstellt. Nachdem die grundlegenden Untersuchungen von *Orsós* die vitalen Veränderungen der verletzten Gewebe und Zellen erschlossen haben, fand ich recht lohnend, sie im polarisierten Lichte zu studieren, da die färberischen und Imprägnationsmethoden, die bisher dazu verwendet wurden, meist nur morphologische Veränderungen zutage förderten. Die Polarisationsmethode erscheint dagegen geeignet, die Lehre der vitalen Reaktionen von anderer Seite zu beleuchten.

Die von mir befolgte Methodik ist die folgende: Wenn man im Polarisationsmikroskop die Achsen der Nicole senkrecht zueinander stellt, wird das Gesichtsfeld dunkel. Dreht man nun das eine Nicol um 360° , so ändert sich das Gesichtsfeld 4mal, wird allmählich hell oder dunkel. Unter Doppelbrechung versteht man das Aufleuchten der Objekte im dunklen Gesichtsfeld. Dieses Verhalten bezeichnet man als positiv oder aktiv, das Gegenteil davon als negativ oder inaktiv. Bei der Beurteilung der Polarisationsfähigkeit muß man auch die Lagerung des Untersuchungsobjektes auf dem Objektisch berücksichtigen. Besonders wichtig ist das bei der Untersuchung von menschlichen Fasern, die im allgemeinen doppelbrechend sind; dreht man den Objektisch, so verblässen die Fasern allmählich, bei 45° werden sie ganz dunkel, um bei 90° wieder hell zu werden. Diese Erscheinung nennt man Anisotropie, ihr Gegenteil also das Gleichbleiben des Lichtes: Isotropie. Die menschlichen oder tierischen Fasern bestehen, wie man heutzutage allgemein annimmt, aus unsichtbaren (submikroskopischen) doppelbrechenden, krystallartigen Gebilden, *Micellae* nach *Naegeli*. *Ambrohn* und seine Mitarbeiter untersuchten die verschiedensten organischen Substanzen mit dem Polarisationsverfahren und fanden, daß das Verhalten der im Gel-Zustand befindlichen Kolloide von zwei

Faktoren bestimmt wird: von der Eigendoppelbrechung, die auf der Micellstruktur beruht, und von der Formdoppelbrechung, die in solchen Medien auftritt, in denen die einzelnen Teilchen durch Substanzen von verschiedenem Brechungsindex getrennt sind, die also Mischkörper darstellen. Ob die einzelnen Micellen (Submikrone) an sich doppelbrechend sind, ferner ob sie eine regelmäßige Anordnung aufweisen, kann mit Hilfe der Röntgenspektrographie festgestellt werden, mit der die Krystallstruktur der Submikrone in Sehnen-, Muskel- und Cellulosefasern nachgewiesen werden kann. Auf Grund der Micellstruktur kann man auf die Form der das Medium bildenden Teilchen schließen. *Wiener* wies nach, daß wenn ein Medium aus parallel gestellten Stäbchen besteht, deren optische Achse parallel der Richtungsachse verläuft, dann im Medium eine positive einachsige Eigenbrechung entsteht. Besteht es aber aus parallel liegenden Plättchen, deren optische Achse senkrecht zu der Richtungsachse steht, so kommt eine Formdoppelbrechung zustande. Aus diesem Verhalten eines Mediums kann man Rückschlüsse auf seinen strukturellen Aufbau ziehen. Einschlägige Untersuchungen zeigten, daß in einem fädigen oder faserigen Gebilde die Achse der Micellen der optischen Achse parallel, mit ihr gleichgerichtet verläuft.

Bei der Beurteilung histologischer Befunde wird man darauf achten müssen, in welche Substanz das Präparat eingeschlossen ist (*Ambrohn*). Ist es mit einer solchen Flüssigkeit durchtränkt, deren Brechungsindex ähnlich dem des untersuchten Objektes ist, so verschwindet die Doppelbrechung. Stimmt aber der Brechungsindex nicht überein, so bleibt je nach der Größe der Abweichung ein größerer oder kleinerer Rest der Doppelbrechung zurück (Restdoppelbrechung).

Ebner verglich das Verhalten organischer Substanzen im polarisierten Licht mit dem gewisser Krystalle und fand, daß sonst isotrope organische Substanzen zufolge von Kraffteinwirkung inhomogen werden. *Schmidt* wies nach, daß die Dichte der Micellen eines organischen Körpers infolge Quellung und überhaupt jeglicher Volumsänderung eine Änderung erfahren kann, die ihrerseits von Einfluß auf die Doppelbrechung ist.

Die Doppelbrechung organischer Substanzen wurde also durch ihre Micellstruktur erklärt. Bei Bewertung histologischer Befunde wurde der gerade Verlauf der Fasergebilde und ihre senkrechte Stellung zu der optischen Achse in Betracht gezogen. Untersucht man nämlich eine Faser in dieser Lage, d. h. von der Oberfläche her, so ist die Doppelbrechung in ihrer ganzen Länge vorhanden, ist aber die Längsachse der Faser der optischen Achse gleichgerichtet, d. h. untersucht man einen Querschnitt, so verhält sich die Faser inaktiv.

Infolge verschiedenster Verletzungen erfahren die Fasern kaum merkliche Krümmung oder sehr wohl sichtbare Knickung, oft liegen

die zerrissenen Fasern durcheinander im Präparat und geben daher im Polarisationsmikroskop ein recht buntes Bild. Es kommt noch hinzu, daß infolge der Verletzung auch die physikalischen Eigenschaften der Fasern sich verändern, häufige Erscheinung ist die Homogenisation oder der lockere Zerfall u. a. m.

Ich habe meine Untersuchungen mit menschlichem und tierischem Material an dünnen ungefärbten Gefrierschnitten vorgenommen. Zur Untersuchung des kollagenen Bindegewebes der Haut habe ich aus der verletzten, vorher gespannten und mehrere Tage hindurch in 10% Formalin fixierten Hautpartie Schnitte der Fläche nach hergestellt, aus verletztem, quergestreiftem Muskelgewebe, da es sich nicht vollständig ausspannen läßt, ihre Fasern sich also nicht vollkommen strecken lassen, dagegen Längsschnitte. Bevor ich die einzelnen Befunde bespreche, muß ich bemerken, daß eine wellig verlaufende Faser (Bindegewebe, Muskel), wie sie in Wunden auf Schritt und Tritt zu finden ist, im polarisierten Lichte ein sehr mannigfaltiges Bild liefert,

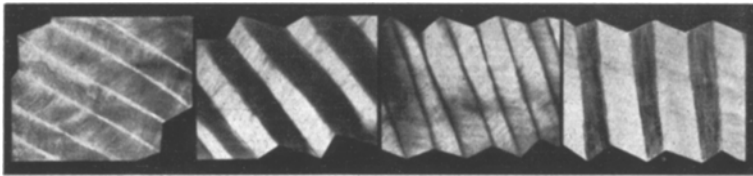


Abb. 1. Vier Aufnahmen von derselben Stelle einer wellig gewundenen Muskelfaser, während allmählichen Umdrehens des Objektisches um $22,5^\circ$.

je nachdem in welchem Winkel ihre Längsachse die Ebene des polarisierten Lichtes trifft. Wenn man nämlich eine wellig verlaufende Faser am Objektisch um 90° dreht, so sieht man, daß helle und dunkle Streifen abwechselnd ihren Platz ändern; das Bild der Faser durchläuft während dessen 4 mal ganz deutliche Änderungen (Abb. 1). Die einzelnen Phasen treten bei jeder Drehung um $22,5^\circ$ ein. Bei der ersten Drehung um $22,5^\circ$ ist in der Mitte des Wellenberges und des Wellentales ein dünner, heller (aktiver), quer verlaufender Streifen sichtbar. Beim weiteren Drehen um $22,5^\circ$ wird die linke Seite des Wellenberges hell (aktiv), die rechte dunkel (inaktiv). Nun erscheint in der Mitte des Wellenberges bzw. -tales beim weiteren Drehen ein dunkler Querstreifen, dafür werden aber die Seiten breit hell, danach wird die rechte Seite hell, die linke dunkel. Bei 90° entsteht dasselbe Bild wie im Anfang, und beim weiteren Drehen wechseln sich die geschilderten Erscheinungen in der angegebenen Reihenfolge ab.

Der Polarisationsbefund des kollagenen Bindegewebes in Hautwunden.

Kasuistik: 1. Fall. Schußwunde. 26jähriger Mann A. L. schoß sich mit einer 7,65 mm Frommer-Pistole ins Herz. Der Tod erfolgte infolge Verblutung binnen

wenigen Minuten. Die Einschußöffnung ist als eine kreisrunde Wunde von 6 mm Durchmesser an der Brusthaut, die Ausschußöffnung als eine etwas größere sternförmige Kontinuitätstrennung an der Rückenhaut zu sehen.

Die gespannt fixierte, gestreckt verlaufende kollagene Faser ist im polarisierten Lichte doppelbrechend: bei gewisser Stellung des Objektisches hell, homogen. Wo sich mehrere Fasern kreuzen, erscheinen einzelne Faserabschnitte entsprechend ihrer Projektion dunkel.

In der Wand der Einschußöffnung verhalten sich die kollagenen Fasern im Bereiche eines ungefähr 4 mm breiten Ringes abweichend von dem oben Geschilderten (Abb. 2). In der inneren Schicht I, die einen ungefähr 0,5 mm breiten Ring bildet, sind die kollagenen Fasern gequollen, homogenisiert, ihre Stümpfe

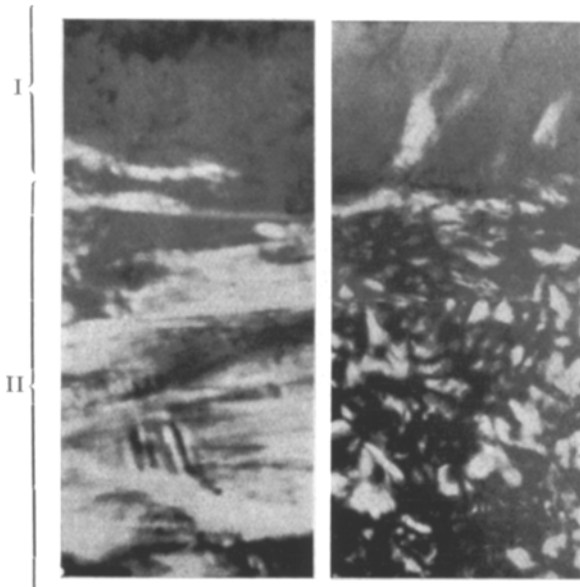


Abb. 2. Flachschnitt der Brusthaut, vom Rande der Einschußöffnung. I = inaktive, homogenisierte kollagene Fibrillen in der inneren Wundschichte; II = regellos gewundene Kollagenfasern mit dunklen und hellen Streifen.

keulenförmig verdickt; diese Faserabschnitte verhalten sich im polarisierten Licht inaktiv. Beim Drehen des Objektisches um 90° bleiben sie ständig dunkel. Diese Faserabschnitte haben also der Verletzung zufolge ihre Doppelbrechung eingebüßt. — Die äußere Schicht II ist viel breiter, in ihr sind die kollagenen Fasern unregelmäßig gekrümmt, zerzaust, zerrissen, ihre charakteristische netzförmige Anordnung ist verlorengegangen, weshalb sie im polarisierten Licht verschieden breite, unregelmäßig dunkle und helle Querstreifen aufweisen. Diese zweite Schicht ist gegen das gesunde Bindegewebe ziemlich scharf abgesetzt.

Im allgemeinen trifft man an dem Fasersystem der Ausschußöffnung ähnliche Erscheinungen an. In der Mitte, wo das Projektil die Gewebe streifte, sind beide Schichten vorhanden. In der innersten Schicht erfolgte die Homogenisierung der kollagenen Fasern, in den sternförmigen Ausläufern fehlte sie, so daß hier die Wunde von der II. Schicht

ausgekleidet war. Hier bildete die zweite Schicht einen viel breiteren Ring, was durch den Mechanismus der Schußverletzung vollkommen erklärt wird. In der Ausschußöffnung kommt die Überdehnung, die Zerrung der Haut nämlich viel mehr zur Geltung wegen Fehlens jeglicher Unterlage. Dagegen wird die Haut in der Einschußöffnung durch Gewebe und Organe gestützt, wodurch die Zerrung kleiner ist.

2. *Fall.* 17jähriger Mann M. L., Herzschuß mit 7,65 mm Frommer-Pistole.

3. *Fall.* 38jähriger Mann N. L., Rumpfschuß aus Militärgewehr.

Die Polarisationsbefunde waren in diesen Fällen sowohl in den Ein- wie Ausschußöffnungen die gleichen wie im 1. Fall.

Auf Grund dieser 3 Fälle kann man feststellen, daß in Schußwunden 2 Schichten unterschieden werden können, eine innere (I) mit homogenisierten, sich inaktiv verhaltenden Fasern und eine äußere (II) breitere, in denen die Fasern infolge Verkrümmung abwechselnd aktive und inaktive Querstreifen erkennen lassen.

Handgranatenverletzung. 30jähriger Mann D. M., starb sofort. Neben zahlreichen Hautverlusten an der Brust mehrere linsengroße Wunden mit ausgefranzten Rändern (Splitterwirkung), in denen mit Hilfe der Polarisation die zwei bei den Schußwunden beschriebenen Schichten deutlich sichtbar waren.

Stichwunde. 25jähriger Mann Cs. L. An der Brusthaut eine 1 cm lange mit Taschenmesser versetzte Stichwunde. An Flachschnitten sind die Fasern im Bereiche eines 3 mm breiten Streifens zerzaust, unregelmäßig verkrümmt, dem entsprechend zeigen sie im Polarisationsmikroskop die früher als für die II. Schicht charakteristisch bezeichnete Querstreifung.

Den gleichen Befund erhoben wir an Flachschnitten der Brusthaut eines 43jährigen Mannes V. S., der sich das Taschenmesser ins Herz stieß und sofort starb.

In beiden Fällen fehlte in den oberflächlichen Wundschichten die Homogenisierung der kollagenen Fasern, d. h. das inaktive Verhalten der I. Schicht.

Postmortale Verletzungen. An der Brusthaut einer 63 Jahre alten männlichen Leiche K. G. habe ich 12 Stunden nach dem Tod mit Taschenmesser eine Stichwunde erzeugt. In Flachschnitten sahen wir, daß im Bereiche einer 1 mm breiten Zone die Stümpfe der kollagenen Fasern geringe Krümmung und demzufolge verschieden breite dunkle Streifung zeigen.

Schnittwunden ergaben in demselben Fall ganz gleiche Befunde; Schußwunden aus 6,35 mm Frommer-Pistole wiesen dagegen sowohl in der Ein- wie Ausschußöffnung insofern eine Abweichung auf, daß die Breite der veränderten kollagenen Faserschicht 2 mm betrug. Da die Homogenisierung (Koagulationszone) ausblieb, fehlte auch der der I. Schicht entsprechende inaktive Streifen.

Zusammenfassung.

Auf Grund der histologischen Befunde kann man feststellen, daß die vital geschädigten kollagenen Fasern im allgemeinen zweierlei Verhalten aufweisen:

1. Erfährt die kollagene Faser infolge der Koagulation eine radikale Änderung, so verliert sie ihre doppelbrechende Eigenschaft und verhält sich inaktiv.

2. Erfährt aber die kollagene Faser nur eine Formveränderung ohne innere Strukturänderung, dann weist sie im polarisierten Licht nur insofern ein anderes Verhalten auf, als infolge Krümmung und Knickung an den übrigen doppelbrechenden Fasern in der beschriebenen Reihenfolge dunkle und helle Streifen sich abwechseln.

Das Verhalten des geschädigten quergestreiften Muskelgewebes im polarisierten Licht.

Es wurde menschliches und tierisches Material untersucht. Um Wiederholungen zu vermeiden, möchte ich meine Beobachtungen nur an je einem Falle demonstrieren.

Vitale Muskelverletzungen: 1. Fall. 38jähriger Mann. Den Rumpf durchdringende Schußverletzung aus ungefähr 100 m Entfernung (Militärgewehr). In der Rückenmuskulatur betrug der Durchmesser des Schußkanalabschnittes 6 cm. Die Muskelfasern sind stark retrahiert, trüb und keulenförmig verdickt, die Wandung der Wunde zeigt feinkörnliches Aussehen und ist viel dunkler rot als die Umgebung. Aus der Wand des Schußkanals habe ich den Muskelfasern parallel verlaufende Schnitte hergestellt, und zwar auf solche Weise, daß sie auch die Insertion der Fasern an einer Fascie enthielten, wodurch man die Veränderungen an der Stelle der Einwirkung und der Gegenwirkung in einem Schnitt studieren konnte.

Polarisationsbefund. Bemerkenswerte Veränderungen sind in einer 1 cm breiten Zone der Wundfläche zu sehen. An der Innenfläche des Schußkanals sind die Muskelfasern homogenisiert, leuchten im dunklen Gesichtsfeld gleichmäßig, ihre Querstreifung ist verschwunden. Die Muskelfaser verläuft aber nicht gerade, sondern weist die geringste Krümmung oder Knickung auf, der zufolge ihre Längsachse die optische Achse nicht senkrecht, sondern schräg schneidet; es bleibt auch dieser Abschnitt dunkel. Dreht man das Präparat samt dem Objektisch um 360° um, so verdunkelt oder erhellt sich der helle Abschnitt viermal abwechselnd. Dasselbe gilt auch für die dunklen Abschnitte. — Die scheibenförmig zerfallenen Muskelfasern zeigen dem polarisierten Lichte gegenüber zweierlei Verhalten: entweder sie bleiben beim Umdrehen des Objektisches vollkommen dunkel, d. h. inaktiv, oder sie sind an manchen Stellen doppelbrechend. In den tieferen Wundschichten ändert sich das Bild plötzlich, indem an einigen Muskelfasern rhomboide dunkle und helle Stellen in harmonikaartiger Anordnung abwechseln. Bei näherer Betrachtung und Umdrehen des Objektisches stellt es sich aber heraus, daß diese optische Erscheinung unbeständig ist, das Bild ändert sich nämlich beim Umdrehen um 90° viermal, d. h. bei jedem $22,5^\circ$ in der erwähnten Weise (s. Abb. 1). Ich möchte betonen, daß an diesen harmonikaartig gewundenen Muskelfaserabschnitten die der normalen Querstreifung entsprechenden isotropen und anisotropen Streifen regelmäßig erhalten sind, d. h. es handelt sich um sonst normale Muskelfasern. In noch tieferen, 2—3 cm tief liegenden Schichten

sind die erwähnten Veränderungen noch geringer und spärlicher, die Muskelfasern sind nämlich nur wenig gekrümmt (Abb. 3 und 4).

In den inneren Schichten der Wundfläche ist außer der harmonikaartigen Windung der Muskelfasern auch noch eine stärkere Zerknit-

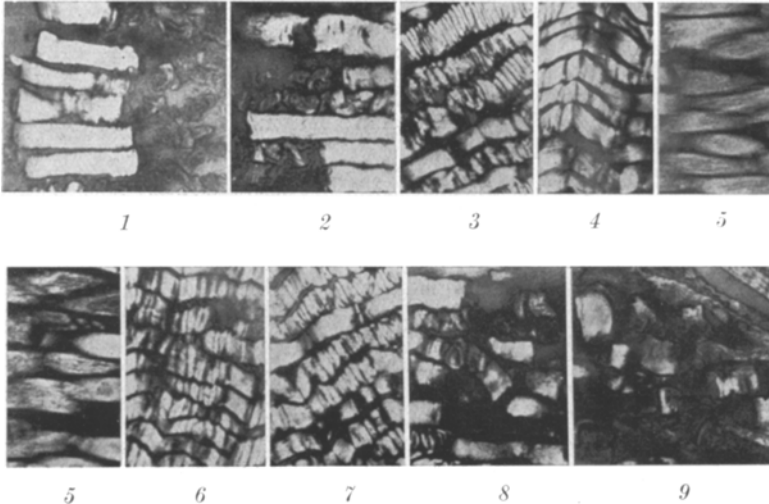


Abb. 3. Reihenaufnahmen von der Schußkanalwand des menschlichen Rückenmuskels von der Stelle der Einwirkung bis zur Stelle der Gegenwirkung. 1-2 = sich positiv verhaltende helle Fasern, zwischen ihnen negative, schwarze Muskelfasertrümmer; 3 = kleinwellige; 4 = großwellige Windungen; 5 = unversehrte Muskelfasern aus dem Gebiet zwischen Ein- und Gegenwirkung; 6 = großwellige; 7 = kleinwellige Windungen; 8-9 = positiv und negativ sich verhaltende Muskelfasertrümmer an der Insertionsstelle.

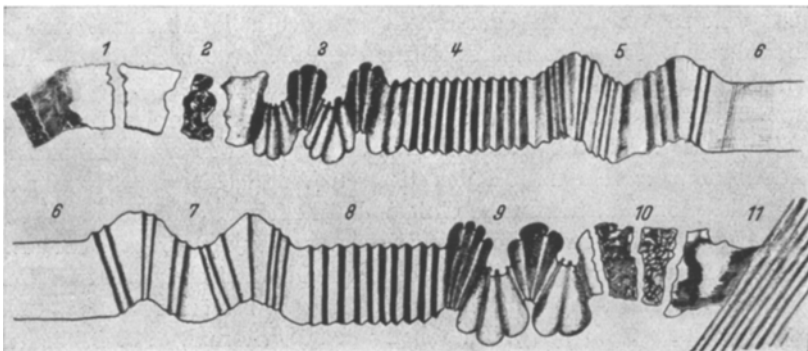


Abb. 4. Skizze. Veränderungen einer Muskelfaser bei Schußverletzung (Miltärgewehr). 1 = zergliedertes, sich positiv und negativ verhaltender, koagulierter Muskelfaserabschnitt von der Innenfläche des Schußkanals; 2 = dunkle Muskeltrümmer, die ihre Doppelbrechung verloren; 3 = muschelartig zusammengedrückte Muskelfasern; 4 = kleinwellige; 5 = großwellige Windungen; 6 = unversehrte Muskelfaser im Gebiet zwischen Ein- und Gegenwirkung; 7 = großwellige; 8 = kleinwellige; 9 = muschelartige Zeichnung aufweisende Windungen; 10 = dunkle Muskeltrümmer, die ihre Doppelbrechung verloren; 11 = Insertionsstelle.

rung sichtbar, wo nämlich die Fasern nicht nur senkrecht zu ihrer Längsrichtung wellenförmig zusammengedrückt, sondern auch in seitlicher Richtung halbkreisförmig gebogen sind. Diese Faserabschnitte erinnern an in dreifacher Schicht aufeinander liegende Muscheln.

Die geringsten Veränderungen trifft man in der Nachbarschaft der gesunden Muskulatur an, d. h. 3—4 cm tief in der Wunde, wo nur ab und zu ein dunkler Querstreifen der Faserwindung entsprechend vorkommt. — Außer den genannten Veränderungen sind an den Muskelfasern noch einige andere Erscheinungen zu sehen, wie unregelmäßige Längsstreifung und dunkle, ringförmige Zeichnung als Folgen einer Überdehnung bzw. einer regellosen Krümmung.

An der Stelle der Gegenwirkung sind alle eben genannten Veränderungen vorzufinden mit dem Unterschied, daß sie ihrer Lokalisation nach das Spiegelbild der in der Wundfläche angetroffenen bilden.

Postmortale Schußverletzung. Polarisationsbefund von 15 Minuten nach dem Tod mit 6,35 mm Frommer-Pistole durchschossenem Katzenmuskel. Im ganzen glich er sowohl an der Stelle der Einwirkung wie auch der Gegenwirkung dem Polarisationsbefund des prä mortal durchschossenen menschlichen Muskels, mit dem Unterschied, daß die in der Innenschicht der Wundfläche koagulierten, doppelbrechenden und locker zerfallenen Muskelfaserveränderungen von viel kleinerem Ausmaße waren. Die harmonikaartige Windung war auch hier deutlich, wich von den vitalen Verletzungen kaum ab, muschelartige Windung fehlte jedoch.

Prä mortale Stichwunde. In Dialnarkose wurde einer Katze der Beinmuskel quer durchstoßen, die Wunde klaffte 1 cm breit. An den Muskelbündeln waren krampfartige Kontraktionen und Quellung der Wundflächen sichtbar. Demzufolge verwandelte sich die Oberfläche der Wunde in eine homogene, dichte Platte um, die wegen der krampfhaften Kontraktion der Muskulatur in toto gezerzt wurde und die Wunde klaffend machte. In den oberen Wundschichten sind die einzelnen Muskelfasern keulenförmig verdickt und gequollen.

Polarisationsbefund. In der oberen Schicht der Wundfläche sind zweierlei Formveränderungen sichtbar. Erstens sieht man hochgradige Quellung langer Faserabschnitte samt Homogenisierung, mit kaum wahrnehmbarer Querwindung. Die normale Querstreifung ist an diesen Abschnitten vollkommen verschwunden, sie leuchten in dunklem Gesichtsfeld auf, verhalten sich doppelbrechend. Die zweite Veränderung kommt durch Verdünnung und Überdehnung (Elongatio) der Fasern zustande. Diese Fasern stützen sich mit ihren keulenförmig verdickten Enden auf die Stümpfe der nachbarlichen gequollenen Muskelfasern, so daß die überdehnten Faserabschnitte zwischen den gequollenen Fasern zu liegen kommen. Auch diese Fasern büßten ihre Querstreifung ein und verhalten sich ihrer ganzen Länge nach

doppelbrechend, ihr Anfang ist homogen versteift, in ihrem weiteren Verlauf lassen sie feine Querwindung, ja wellenförmige Krümmung erkennen, bleiben daher an manchen Stellen dunkel. Diese Veränderungen sieht man in der zu gleichmäßiger Platte homogenisierten oberen Wundschichte. In der folgenden Schichte sind infolge Überdehnung entstandene Verdünnung der Fasern, Schwund der Querstreifung, mancherorts Spuren von leichter Windung, in der nachbarlichen Schichte dichtgewellte Zerknitterung und in der folgenden Zone grobwellige Zerknitterung zu erkennen, diese geht allmählich in die gesunden Muskelfasern über (Abb. 5).

An der Stelle der Gegenwirkung entspricht der Polarisationsbefund dem Spiegelbild der eben genannten Abweichungen.

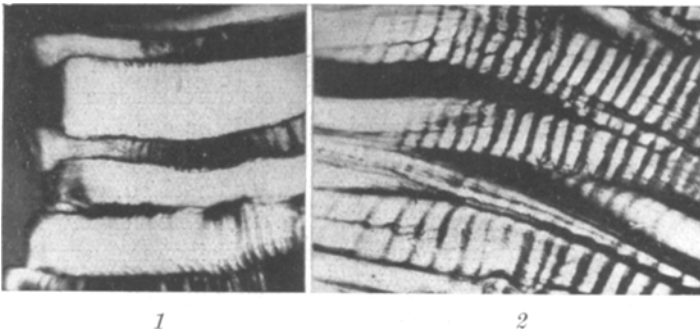


Abb. 5. Prämortale Stichwunde. Katzenmuskel. 1 = zwischen gequollenen, hellen Fasern eingelagerte, elongierte, an den Enden keulenförmig verdickte Fasern mit Querstreifen; 2 = Kontraktionswellen in den tieferen Wundschichten.

Postmortale Stichwunde. Die 15 Sekunden nach dem Tode an der Leiche erzeugte Stichwunde zeigt den gleichen Befund, nur sind die koagulierten Faserabschnitte kürzer, sogar stellt sich die Koagulation an den meisten Fasern gar nicht ein, auch die Quellung ist geringer, an den Faserstümpfen sind häufig Querwindungen sichtbar; der deutlichste Unterschied besteht aber in dem fast völligen Fehlen der Elongationszone, Verdünnung ist höchstens nur an einzelnen, ganz kurzen Faserabschnitten vorhanden (Abb. 6). Bezüglich der Zone der klein- und großwelligen Windungen ist aber kein Unterschied zu vermerken. Zwischen prä- und postmortalen Stichwunden zeigt sich also der Hauptunterschied im Verhalten der Innenschicht der Wundfläche. — Prä- und postmortale Schnittwunden verhielten sich ganz ähnlich.

Prämortale Stromverletzungen. Leitet man vor dem Tode 5 Sekunden hindurch Gleichstrom von 220 V in die Beinmuskulatur der Katze, so versteift sich die Beinmuskulatur in Extension, sie gerät in einen tonischen Krampfzustand, der nach Stromausschaltung aufhört. Im Zustand der Todesstarre fixierte und geschnittene Beinmuskelpartien

zeigten, daß entsprechend der Stromeinwirkung im Bereiche einer 1 mm breiten, von einem gegen die unversehrte Muskulatur unscharf begrenzten, trüben Hofe umgebenen Zone das Muskelgewebe durchscheinend geworden ist. In dieser durchscheinenden Partie sind die Muskelfasern von geradem Verlauf, steif, etwas verdünnt, ihre Querstreifung ist eben nur angedeutet, ihre Doppelbrechung ist stark vermindert, im dunklen Gesichtsfeld leuchten sie nicht, bleiben selbst dunkel. Abseits von der Stromeinwirkung sind die Muskelfasern gequollen, ihre Querstreifung ist verschwunden und die sonst aufleuchtenden Fasern weisen an ihrer Oberfläche kleinere oder größere dunkle Flecke auf, erscheinen mithin gescheckt. Dieser Faserabschnitt geht mit ziemlich scharfer Grenze

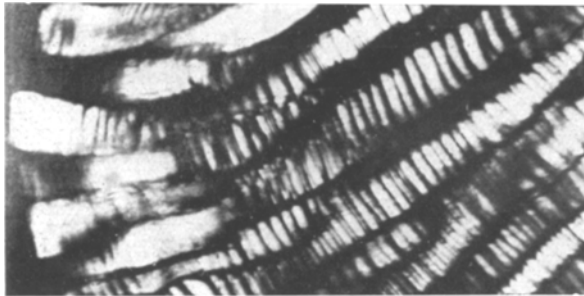


Abb. 6. Wandpartie einer 15 Min. nach dem Tode gesetzten Stichwunde. Die Muskelfasern sind auf einer kurzen Strecke homogenisiert und gehen ohne Übergang in die gewellte Kontraktionszone über.

in den nächsten über, wo die Fasern plötzlich keulenförmig verdickt sind, stellenweise die vorderen steifen Faserabschnitte umscheiden, dann eine stielartige Verdünnung zeigen; hier sind die Fasern homogen, ohne Querstreifung, doppelbrechend. Diesem folgt nun ein Abschnitt mit spitzenartiger Zeichnung, indem auf dunklem Grund zahlreiche quere gerade oder bogenförmige schräge Streifen dichtangeordnet nebeneinander sitzen. Darauf folgt ein zuerst dichter, nachher schütterer, wellenförmige Windungen zeigender Abschnitt, der nach 2 cm langer Strecke in die unversehrte Muskulatur übergeht. Aber selbst hier sind nicht alle Muskelfasern vom geraden Verlauf, sondern manche zeigen kaum wahrnehmbare feine Querschraffierung. An der Stelle der Gegenwirkung sind Quellung, Spaltung und spitzenartige Zeichnung, ferner die Zonen der klein- und grobwelligen Windungen sichtbar. Versteifung und Scheckung der Fasern werden aber vermißt (Abb. 7 u. 8). Es scheint, daß sie nur an der Stelle der Stromeinwirkung zustande kommen.

Bei starker Vergrößerung ist festzustellen, daß an der Grenze der unversehrten Fasern die Querstreifung stellenweise in Form von Fleck-

chen und Streifen erhalten blieb. An den dazwischenliegenden Stellen aber alternieren miteinander ebenfalls fleck- und streifenweise, der normalen Querstreifung entsprechend, jedoch zwei-dreimal so breite dunkle und helle Streifen. Wahrscheinlich kommen diese optischen

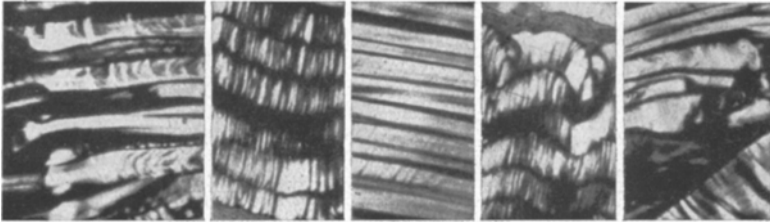


Abb. 7. Zeichen der prämortalen Stromverletzung am Beinmuskel der Katze, Reihenaufnahmen von der Stelle der Einwirkung bis zu der der Gegenwirkung.

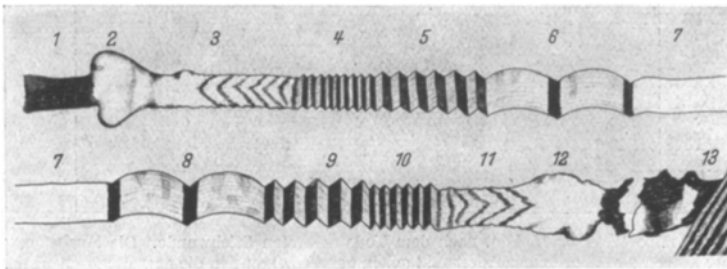


Abb. 8. Skizze. Prämortale Stromeinwirkung an einer einzigen Muskelfaser. 1 = dunkler, etwas elongierter, koagulierter Faserabschnitt von der Stelle der Einwirkung; 2 = keulenförmige Verdickung; 3 = spitzenförmige Zeichnung; 4 = kleinwellige; 5-6 = großwellige Windungen mit dunkler und heller Streifung; 7 = unversehrte Faserpartie; 8-13 = Insertionsstelle. Die Veränderungen sind Spiegelbilder der vorigen.

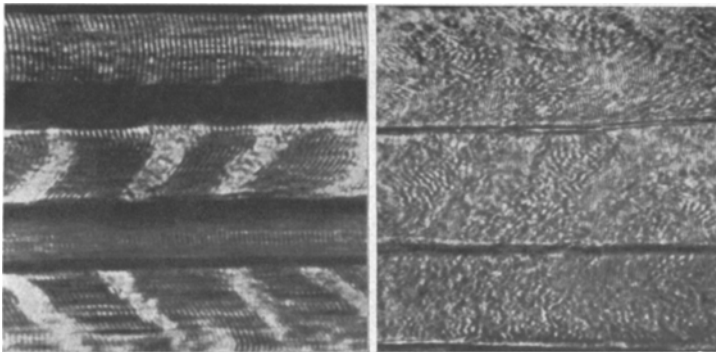


Abb. 9. Polarisationsaufnahmen. Störungen der Querstreifung. 1 = aus tieferen Schichten einer 15 Min. nach dem Tode gesetzten Stichwunde (Katzenmuskel). Zwischen unversehrten Muskelfasern, breit-, hell-, schräggestreifte Fasern; 2 = Querstreifungsverzerrung infolge elektrischer Stromeinwirkung 15 Min. nach dem Tode.

Erscheinungen dadurch zustande, daß an der Oberfläche der Muskelfasern verstreut feine Eindellungen der Stromwirkung zufolge auftreten (Abb. 9).

Die in der 15. Sekunde des intermediären Lebens gesetzte Stromverletzung entsprach sowohl makro- wie auch mikroskopisch der vitalen Verletzung, nur waren die Veränderungen von geringerem Ausmaß.

Experimentelle Verletzungen an todesstarrten Muskeln. Das quere Durchschneiden der Beinmuskulatur eines Mannes 48 Stunden nach dem Tode war von keiner Kontraktion gefolgt, die Wundränder sind scharf, glatt, nicht klaffend gewesen. Im polarisierten Licht sah man an einzelnen Muskelstümpfen geringe, unregelmäßige Windungen in Form von dunklen Streifen. Sonst war die Struktur der Fasern erhalten geblieben, Quellung nicht vorhanden. An der Stelle der Gegenwirkung zeigten die Fasern keine Veränderungen.

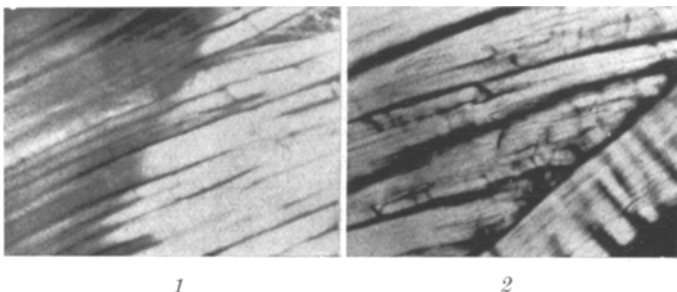


Abb. 10. Stromeinwirkung (1) und Gegenwirkung (2) am todesstarrten Katzenmuskel. An der Stelle der Stromeinwirkung sind die Muskelfasern unter ziemlich scharfer Begrenzung dunkel. An der Stelle der Gegenwirkung einige Windungen.

Bei querer Durchtrennung der Fasern wirkte zum Teil die Kante, zum Teil die Seite des Messers auf die Faserstümpfe ein und verursachte nur an ihren Endstücken geringe Verkrümmung.

Stichwunde. Die 48 Stunden nach dem Tode am Katzenmuskel erzeugte Stichwunde ergab das gleiche Resultat mit dem Unterschied jedoch, daß an den Muskelfasern der Wundflächen unregelmäßige Windungen an längeren Strecken zu sehen waren, wahrscheinlich deshalb, weil das Messer beim Einstechen größeren Seitendruck auf die Wundränder ausübt.

Der Befund bei Quetsch- und Schußwunden ist der gleiche. In den Wundflächen sind dichtgedrängte, regellose Knickungen der Muskelfasern in Form von dunklen und hellen Querstreifen zu erkennen. Manche Fasern sind quer eingerissen, was durch einen dunklen Streifen markiert wird, oder sie zeigen unregelmäßige, oft stufenförmige, quere Zergliederung. Die normale Querstreifung ist aber auch an diesen Stellen erhalten. — An der Stelle der Gegenwirkung zeigen manche

Fasern einzelne Querwindungen. Die todesstarrten Muskelfasern setzen demnach stumpfen Gewalteinwirkungen keinen Widerstand entgegen, verhalten sich also passiv.

Gleichstrom von 220 V erzeugte an todesstarrten Muskeln im Bereiche einer 1 mm breiten Zone an der Ein- und Austrittsstelle Homogenisierung, so daß der Muskel durchscheinend wurde. In polarisiertem Lichte blieben diese Partien in dunklem Gesichtsfeld dunkel, die Fasern sind gegen die normalen Fasern scharf abgesetzt, etwas verdünnt. An den normalen Fasern sind hier und da einige feine Querwindungen sichtbar (Abb. 10).

Zusammenfassung.

Das verletzte, quergestreifte Muskelgewebe gibt in polarisiertem Lichte verschiedene Bilder. An den homogenisierten Faserabschnitten verschwindet die Querstreifung, sie werden gleichförmig doppelbrechend. Wenn die Fasern die geringste Krümmung oder Windung aufweisen, so ist das an dunklen Querstreifen zu erkennen.

Die scheibenförmig zerfallenen, locker gefügten Muskelfaserpartien verhalten sich dagegen inaktiv; mithin haben sie eine innere Strukturänderung erfahren. Solche Faserabschnitte findet man in Schuß- und Quetschwunden selbst noch in den tieferen Schichten versprengt.

An den überdehnten Muskelfasern (Elongation) ist der Polarisationsbefund nicht einheitlich; die normale Querstreifung verschwindet im allgemeinen, oft begegnet man gleichmäßiger Doppelbrechung und stellenweisen Querstreifen.

An fein- und grobgewellten Faserabschnitten ist die normale Querstreifung im allgemeinen erhalten, den welligen Windungen zufolge tritt aber häufig Formdoppelbrechung auf, die beim Umdrehen um 90° laut Abb. 1 viermal ihre Stelle ändert.

An Strecken, die zwischen der Einwirkung und Gegenwirkung liegen, sind Veränderungen nur spärlich in Form kleinerer Windungen anzutreffen.

An der Insertionsstelle der verletzten Muskelfasern, d. h. an der Stelle der Gegenwirkung sind die Befunde eigentlich dieselben, wie an der Stelle der Einwirkung, nur das Spiegelbild davon.

Nach Art der Verletzung lassen sich manche Abweichungen erkennen: was Schwere und Ausmaß betrifft, sind elektrische Stromverletzungen gleich den Schußverletzungen, weichen jedoch insofern ab, daß an der Stelle der Einwirkung die versteiften Muskelfasern eine dunkle Scheckung zeigen infolge kleiner Grübchenbildung an den Fasern. Die Grübchen sind im polarisiertem Licht dunkel, liegen dicht nebeneinander, die dazwischenliegenden Faserabschnitte sind homogen, doppelbrechend. Wahrscheinlich verdankt diese Veränderung ihre Entstehung einer Wärmewirkung.

Obwohl auch scharfkantige Geräte ziemlich ausgebreitete Muskelveränderungen hervorrufen, treten sie in den oberflächlichen Wundschichten den durch Schuß- oder dumpfe Gewalteinwirkung erzeugten gegenüber stark zurück.

Analysiert man die deutlichen Verletzungsveränderungen des Muskelgewebes in polarisiertem Lichte, so kann man behaupten, daß besonders bei vitalen Läsionen die Fasern in den oberflächlichen Wundschichten ihre äußere, zum Teil innere Struktur einer Homogenisierung und scheibenförmigen Zerfalls zufolge einbüßen. Diese Abschnitte sind der Kontraktion unfähig und verhalten sich vom Augenblicke der Verletzung an passiv. Demgegenüber bleibt die Faserstruktur in den tieferen Wundschichten erhalten; klein und grobwellige Windungen sind die Folge der krampfhaften Kontraktion der Muskelfasern. Diese Faserabschnitte kontrahieren sich nämlich im Momente der Verletzung aktiv, zerren an der oberflächlich homogenisierten Wundfläche, und es ist nicht ausgeschlossen, daß sie dadurch an dem scheibenförmigen Zerfall der Fasern beteiligt sind.

Man kann also mit Hilfe dieser Methode in *Wunden der quergestreiften Muskulatur* eine *passive* und *aktive Schichte* nachweisen, die sowohl an der Stelle der *Einwirkung* wie der *Gegenwirkung* anzutreffen ist.

Die Polarisationsmethode ist zur Untersuchung von verletzten Geweben sehr geeignet, ergänzt die an gefärbten Präparaten erhobenen Befunde, erlaubt sogar in mancher Beziehung einen tieferen Einblick in die Geschehnisse, da sie auch solche Zeichen ans Tageslicht fördert, die bei gefärbten Präparaten verborgen bleiben.

Literaturverzeichnis.

Ambrohn, Anleit. z. Benutzung d. Polarisationsmikroskopes usw. Leipzig. 1892. — *Ebner*, Untersuchungen über die Ursachen d. Anisotropie organischer Substanzen Leipzig 1882. — *Naegeli*, Das Mikroskop. Leipzig 1877. — *Orsós*, Z. f. d. ges. gerichtl. Med. **25**, 177 (1935); **26**, 212 (1936). — *Schmidt*, *Wiener*, cit. bei Möllendorff Handbuch usw. I., 37 (1924).
