

(Aus der Medizinischen Universitätspoliklinik Leipzig
[Direktor: Prof. Dr. R. Schoen].)

Untersuchungen über „elektrische Strommarken“ im Vergleich zu experimentell erzeugten Wärmeverletzungen der Haut.

I. Mitteilung.

Das makroskopische und mikroskopische Bild elektrischer Strommarken.

Von

S. Koeppen und H. Gerstner.

Mit 9 Abbildungen im Text.

(Eingegangen am 8. August 1935.)

Bei der Untersuchung elektrischer Unfälle spielen die elektrischen „Strommarken“ eine besondere Rolle und ermöglichen oft bei unklaren äußeren Bedingungen oder scheinbar negativem Sektionsbefund weitgehende Aufklärung. Sie entstehen bei der elektrischen Stromeinwirkung an den Kontaktflächen, weil hier der Strom durch einen relativ geringen Querschnitt fließen muß, die Stromdichte also am stärksten ist.

Nach *Schriddé* beruhen diese Strommarken lediglich auf Wärmewirkungen, weshalb er den Begriff einer spezifischen Strommarke ablehnt. Zu diesen Ergebnissen ist *Schriddé* durch vergleichende Untersuchungen von „Strommarken“, die bei elektrischen Unfällen entstanden waren und Wärmeverletzungen der Haut, die durch glühenden Platinendraht erzeugt wurden, gekommen. *Jellinek* dagegen und sein Schüler *Kawamura* halten an dem Begriff der spezifischen Strommarke fest; *Kawamura* sagt in seiner Arbeit¹: „Die Kenntnis der spezifisch elektrischen Hautveränderungen ist im Institut für gerichtliche Medizin in Wien derart begründet, daß die Todesursache schon nach dem makroskopischen Befunde allein sichergestellt wird.“ *Schrader* hält ebenfalls den Begriff der spezifischen Strommarke aufrecht, jedoch lehnt er die Spezifität der Veränderungen am Epithel ab; er beschreibt Lichtungsbezirke im Bindegewebe als Gebiete besonders starker Wirkungsentfaltung des elektrischen Stromes und Veränderungen an den Haarwurzeln und ihren Scheiden.

Dieser kurze Überblick läßt erkennen, daß wir zu einer Klärung dieser Fragen noch nicht gelangt sind, daß im Gegenteil noch immer Meinung gegen Meinung steht. Wenn wir über das Zustandekommen einer elektrischen Verletzung Erörterungen anstellen, müssen wir uns

¹ *Kawamura*: l. c. S. 572.

fragen: Was für ein Geschehnis läuft an den Kontaktstellen ab? Das Stratum corneum der Epidermis wirkt wie eine Isolierschicht mit hohem Widerstand, d. h. die zwei Faktoren, die neben der Zeit die Größe der Umwandlung der elektrischen Energie in eine andere Form, d. i. Wärme, bestimmen (*Joulesches Gesetz*), haben an den Kontaktflächen ihren maximalen Wert; wir müssen deshalb hier die größte Wirkung

erwarten. Durch diese Auffassung wird uns aber auch verständlich, daß die Strommarken keine notwendige Bedingung sein können, denn unter besonderen Umständen ist es möglich, daß die beiden Faktoren, die ihr Zustandekommen verursachen, nicht die zu einer Gewebsschädigung erforderliche Größe erreichen. Die Kontaktfläche kann ausnahmsweise relativ groß sein, die Stromdichte ist also entsprechend klein. Der Hautwiderstand kann durch Feuchtigkeit abnorm niedrige Werte annehmen. Diese Verhältnisse wären z.B. dann gegeben, wenn der Verunglückte im Wasser gestanden hätte. Tatsächlich wurden bereits eine Reihe von elektrischen Unfällen beobachtet, bei denen keine sichtbaren Hautveränderungen



Abb. 1. Elektrische Strommarken: grauweißlich, derbe pergamentähnliche Hautpartien, ohne entzündliche Reaktion, schmerzlos. Unfall Dr. H. (Panse) linke Hand.

gen zu finden waren. In den Fällen aber, wo wir Strommarken sehen, sind sie uns ein wichtiges Hilfsmittel zur Erklärung der Unfallszusammenhänge, und Aufgabe dieser Arbeit soll es sein, festzustellen, ob sie spezifisch oder mit Wärmeverletzungen identisch sind.

Das makroskopische Bild der Strommarken.

Bei der Betrachtung der makroskopischen Bilder können wir unterscheiden zwischen den oberflächlichen, nur auf die Epidermis sich erstreckenden Hautverletzungen und den tiefergreifenden, die Lederhaut, das Unterhautbindegewebe und teilweise sogar die Muskulatur zerstörenden Stromverletzungen. Die ersten, die oft leicht übersehen werden können, sind von grauweißlicher Farbe, pergamentartiger, derber

Beschaffenheit, ragen oft nicht über das Niveau der Haut hervor, sind reaktionslos und verursachen keine Schmerzen. Ihre Größe ist sehr verschieden, wir beobachteten kleinste, fast stecknadelkopfgroße, aber auch größere, bis pfennigstückgroße, oft längere, schmale bis zu 2—3 cm. Ihre Form ist mannigfach, je nach der berührten Kontaktstelle, punktförmig, rund, oval, sternförmig und strichähnlich; sie heilen in relativ kurzer Zeit ab, ohne Reaktionserscheinungen und ohne Narben zu hinterlassen. Wir sehen sie in Abb. 1, die von folgendem Unfall herrührt:

Unfallhergang (Dr. H.):



Abb. 2. Elektrische Strommarken: grauweißliche, derbe, über das Hautniveau ragende, blasenähnliche bei → 2 und 3 mit hyperämischer Randzone und schmerhaft. Unfall Dr. H. (*Panse*) rechte Hand.

Berührung einer Anlage von 6000 V Drehstrom, Spannung gegen Erde: 3460 V; Frequenz: 50 Hertz. Einwirkungsdauer: Bruchteil einer Sekunde. Stand auf geerdeten Eisenteilen; Schuhe und Strümpfe und eiserne Teile des Bodens völlig trocken. Linke Hand an geerdeter metallener Schutzkappe. Berührung der rechten Hand mit einem unter Spannung stehenden Kontakt. Wahrnehmung eines kleinen Aufleuchtens (Funkentritt und Knistern), dumpfer Schlag durch den ganzen Körper, dumpfer Gehörseindruck wie ein Glockenschlag. Wurde sofort vom Kontakt geschleudert.

Strommarken: An der linken Handinnenfläche zahlreiche kleine und einige größere, grauweißliche, derbe, unelastische, die verschiedensten Formen zeigende Hautpartien, die im Niveau der Haut liegen; sie sind frei von Entzündungerscheinungen. Von etwas anderer Beschaffenheit sind die an der rechten Hand bei Dr. H. aufgetretenen Hautverletzungen, sie könnten auch für Brandblasen gehalten werden. Diese Verletzungen, die beim Berühren des Kontaktes an der rechten Hand (Abb. 2)¹ entstanden sind, sind bedeutend größer, teilweise etwas das Hautniveau, besonders

¹ Abb. 1 und 2 sind mir in freundlicher Weise von Herrn Oberarzt *Panse* zur Verfügung gestellt worden.

am Rand überragend, teilweise Blasen bildend; einige von ihnen haben eine deutliche hyperämische Randzone. Sehr eindrucksvoll sagt Dr. H.: „Während die Strommarken an der linken Hand unempfindlich sind, sind die Marken an den Fingern der rechten Hand wie Brandwunden schmerhaft.“

Diese zuletzt beschriebenen elektrischen Hautverletzungen sind den Brandblasen völlig gleich und müssen als durch Wärmewirkung entstanden gedeutet werden. Bei den erstenen, die auch in ihrer Form sich etwas von den letzteren unterscheiden, sehen wir keine Schmerhaftigkeit, keine entzündliche Reaktion, und sie treten bei ganz kurze

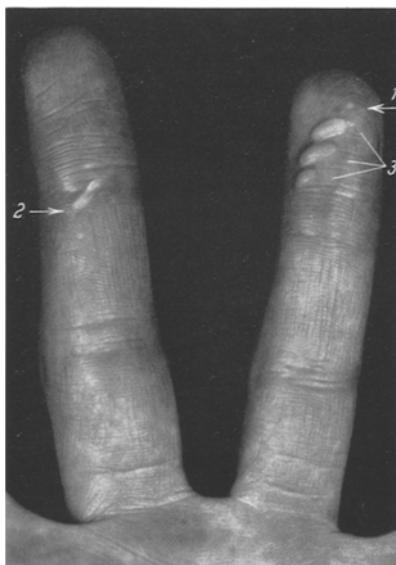


Abb. 3. Durch Wärme erzeugte Hautverletzungen (Selbstversuch). → 1 und 2: grauweißliche, derbe Hautpartien, schmerzlos, ohne Entzündungserscheinungen. → 3 grauweißliche, blasenähnliche Hautverletzungen, schmerhaft, mit entzündlicher Randzone.

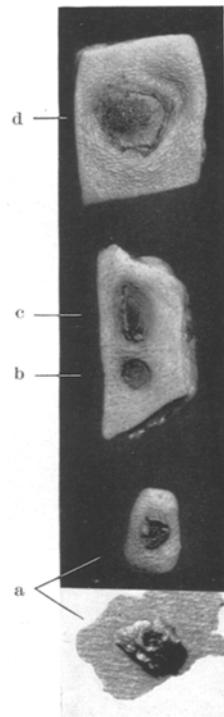


Abb. 4. Strommarken Unfall R.: a warzenähnliche Strommarken, b und c mit geringen Brandspuren, d ausgedehntere Hautverletzung mit deutlichen Zeichen der Verbrennung.

Zeit dauernden Stromeinwirkungen auf. Ähnliche Strommarken bildet *Jellinek* in seinem Buch „Elektrische Verletzungen“ unter dem Kapitel: „Die elektrische Strommarke“ als spezifische elektrische Hautverletzungen ab und bringt S. 11 eine ähnliche Photographie mit „Elektrischen Strommarken und Brandblasen“.

Nach unseren theoretischen Überlegungen müssen wir aber doch die Frage aufwerfen: Sind diese reaktions- und schmerzlosen Hautverletzungen als spezifisch elektrische Hautschäden aufzufassen, oder sind auch sie auf Wärmewirkungen zurückzuführen?

Wenn wir die Hände eines Schmiedes betrachten, so sehen wir oft sehr viele kleinste, pergamentartige, weißliche Verdickungen der Haut, die sich in nichts von den oben beschriebenen Strommarken unterscheiden; sie sind schmerzlos und entstehen durch glühende und umherfliegende Eisenteilchen beim Bearbeiten von heißem Eisen; in der Regel finden wir diese an der schwieligen Handinnenfläche. Vor allem können wir sie auch experimentell erzeugen. Abb. 3 zeigt uns bei 1 → und 2 → eine derartige Hautverletzung durch ganz kurze Berührung eines Drahtes von 150°: grauweißlich, derb, nicht über das Niveau der Haut hervorragend, schmerzlos; sie ist in ihrer ganzen Beschaffenheit völlig gleich den oben beschriebenen Strommarken. Etwas sehr Ähnliches im Vergleich zu Abb. 2 sehen wir nun auch bei → 3. Diese Hautverletzungen ragen etwas über das Niveau der Haut hervor, sind fast blasenartig, von grauweißlicher Farbe, umgeben von einem schmalen Entzündungswall und brennen ziemlich stark. Sie sind völlig gleich den bei dem Unfall Dr. H. beschriebenen; sie heilen ab, ohne eine Spur zu hinterlassen. Hieraus müssen wir schließen, daß aus dem makroskopischen Bild allein eine spezifische elektrische Hautschädigung nicht festgestellt werden kann.

Ähnlich verhält es sich auch bei den tiefer greifenden Strommarken. Abb. 4, die von einem Unfall R. stammt: Suicid durch Berühren der Oberleitung einer elektrischen Eisenbahn mittels Drahtschlingen, zeigt uns warzenartige Strommarken, die sehr oft bei elektrischen Unfällen zu beobachten sind:

a: Linsengroße Hautverletzung, derb, von einem wallartigen Rand umgeben, in der Mitte eingesunken, rundlich, graurötlich, mit etwas bräunlicher Farbe untermischt; bei b, c und d teilweise schwärzlich verfärbt, besonders in den Randpartien. Diese warzenähnlichen Strommarken können von einem entzündlichen Reaktionsherd umgeben sein, brauchen es aber nicht, ein Teil von ihnen ist von grauweißlicher



Abb. 5. Experimentell erzeugte Hautverletzungen.
 A. Elektrizität: 50° 180 mA, 58° 300 mA, 65° 350 mA,
 70° 350 mA, 75° 400 mA, 80° 450 mA, 80°, 115°.
 B. Wärme: 55°, 70°, 90°, 115°, 123°, 150°, 200°.

Farbe, andere sind mit kleinsten Blutpunkten, oder auch bräunlichen Brandflecken versehen. Diese Strommarken können auch künstlich an der Leichenhaut bzw. Tierhaut erzeugt werden.

Für uns war es von besonderem Interesse, ob durch Wärmeeinwirkungen ähnliche Bilder hervorgerufen werden können. Wir haben zu diesem Zweck 2 Versuchsreihen (s. u.) ausgeführt, die aus folgender Tabelle hervorgehen:

Tabelle 1.

B. Hautverletzung durch Wärme, 30 Sek.	A. Elektrische Strommarken, 30 Sek.
55°: Weißliche Verdickung der Epidermis, rund, der Form der Berührungsstelle entsprechend, eingesunken, ähnliche den in Abb. 1 gezeigten elektrischen Strommarken	180 mA bis 50° aufsteigend: Rundliche, hellbräunliche Verfärbung der Haut, etwas eingesunken, keine Brandspuren
70°: Sehr ähnlich wie bei 55°, etwas mehr eingesunken, derb weißlich verfärbt, mit einem wallartigen Rand umgeben	300 mA bis 58°: Etwas bräunlich gefärbt, etwa der Wärmeverletzung von 115° entsprechend
90°: Hellbräunlich, verfärbt, etwas eingesunken, derb	350 mA bis 65°: Wie vorhergehende Strommarke, die ersten erkennbaren Brandspuren zeigend
115°: Die bräunliche Färbung ist schon etwas dunkler geworden, im übrigen die gleiche Beschaffenheit wie bei 90°	350 mA bis 70° } Deutliche Brandspuren 400 mA bis 75° } zeigend, braun verfärbt, eingesunken, etwa der Wärmemarke bei 150° entsprechend
125°: Abermals um eine Nuance brauner, z. T. vereinzelte schwärzlich verfärbte Hautstellen	450 mA 80° } Braun verfärbt, Brand- 450 mA 80° } spuren deutlich ausgebildet, etwa der Wärmemarke von 200° entsprechend
150°: Braun, mit reichlichen schwärzlich, z. T. punktförmigen, verfärbten Stellen	600 mA 115°: Dunkelbraun, tief eingesunken, deutliche Verbrennung
200°: Dunkelbraun verfärbt, im Zentrum etwas heller, eingesunken	

Bemerkung: Infolge der Abkühlung durch die Haut liegen die einwirkenden Temperaturen in Wirklichkeit etwas niedriger.

Bemerkung: Wegen der Trägheit der Instrumente sind die auf das Gewebe eingewirkt habenden Temperaturen höher gewesen als angegeben.

Aus dieser Tabelle und der Abb. 5 geht hervor, daß bei der makroskopischen Beurteilung der Strommarken und Wärmeverletzungen, sowohl in bezug auf die Form als auch auf das Aussehen, irgendwelche Unterschiede nicht festzustellen sind. Auch im Heilungsverlauf sind die gleichen klinischen Erscheinungen zu verzeichnen.

Das makroskopische Bild der elektrischen Hautverletzung ist in der Hauptsache von *Jellinek* bearbeitet worden. Wie bereits oben erwähnt, unterscheidet *Jellinek* noch heute streng zwischen elektrischen Strom-

marken, elektrischen Verbrennungen und elektrischen Mischformen und glaubt, schon durch das Ansehen eine Differentialdiagnose stellen zu können. Allerdings sind bisher noch nicht Versuche mit niedrigen Wärmemengen durchgeführt worden. Die von *Schridde* vorgenommenen Hautschädigungen durch glühenden Platindraht weisen weit höhere Wärmegrade auf, so daß sie ohne Widerspruch die typischen Bilder von Wärmeschäden höheren Grades zeigen. Unsere Untersuchungen sind mit ganz niedrigen Wärmemengen durchgeführt worden und ergeben makroskopisch völlig gleiches Aussehen bei Wärme wie bei Elektrizitäts-einwirkungen. Deshalb müssen wir es ablehnen, *allein aus makroskopischen Untersuchungen spezifische elektrische Stromschäden zu erkennen*.

Mikroskopische Untersuchungen.

Wie schon erwähnt, ist es ein großer Nachteil der bisherigen Vergleichsmethoden gewesen, daß die Wärmeschädigungen mit glühenden Drähten gesetzt worden sind, d. h. mit Temperaturen, die keineswegs den Verhältnissen, wie wir sie beim Stromdurchgang mit *gutem Kontakt* vorfinden, entsprechen. Dadurch sind Hautverbrennungen und Verkohlungen, Blasenbildung und Kontinuitätstrennungen unvermeidlich gewesen, Erscheinungen, deren Fehlen *Jellinek* gerade als ein wichtiges Symptom der reinen Strommarken ansieht.

In unserer ersten Versuchsreihe haben wir deshalb genaue Messungen der Temperaturen vorgenommen, die an den Kontaktstellen der Haut während der Elektrisierung entstanden sind.

Technische Vorbemerkungen.

Die Versuche wurden einerseits an 15 Meerschweinchen in tiefer Äthernarkose ausgeführt, und um selbst oberflächliche Verletzungen der Epidermis zu vermeiden, wurde darauf verzichtet, vorher die Haare zu entfernen, andererseits an frischer menschlicher Haut vorgenommen, die uns freundlicherweise die hiesige chirurgische Klinik sofort nach der Operation zur Verfügung stellte. Außerdem verwandten wir Sektionsmaterial von elektrisch Verunglückten. Sofort nach der elektrischen bzw. thermischen Schädigung wurden die betreffenden Hautstücke excidiert, in 10% Formalin fixiert und nach den üblichen histologischen Methoden weiterbehandelt. Wir haben davon abgesehen, die Versuchsreihen ausführlich zu beschreiben und haben das Ergebnis schematisch in Tabellen zusammengefaßt.

Erste Versuchsreihe.

Wir beschränken uns bei unseren Versuchen auf 50periodischen Wechselstrom, da dieser die heute am meisten angewandte Stromart ist und deshalb unfallwissenschaftlich die größte Rolle spielt. Außerdem haben *Schrader*, *Schridde* und *Koeppen* gefunden, daß zwischen ihm und dem Gleichstrom unter den gegebenen Verhältnissen kein prinzipieller Unterschied in der Wirkung besteht. Als Stromquelle haben wir das Stadtnetz mit 220 V Spannung benutzt und zu den Versuchen eine Potentiometerschaltung verwandt. Auf diese Weise können wir im Arbeitsstromkreis jede gewünschte Spannung von 0—220 V mühelos erzielen. Um keinen unnötig hohen Widerstand zu bekommen, ist als indifferente Elektrode eine breite

Bleiplatte verwandt worden, die gut angefeuchtet unter den Rücken des Versuchstieres bzw. unter das subcutane Gewebe der chirurgischen Hautpräparate gelegt worden ist. Die andere Elektrode dagegen bestand aus einem Eisenstab von 25 qmm Querschnitt, der, um eine scharf definierte Kontaktfläche zu haben, trocken auf die

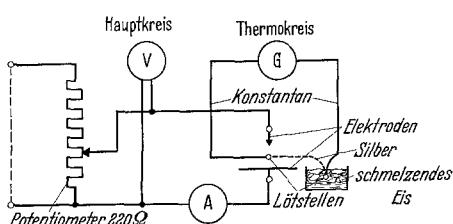


Abb. 6. Schaltungsskizze zur 1. Versuchsreihe.

Tier- oder Menschenhaut gedrückt worden ist. Zwischen Elektrode und Oberfläche haben wir die flachgehämmerte Lötperle eines Silber-Konstantan-Thermoelements gelegt, in dessen Stromkreis ein empfindliches Galvanometer geschaltet worden ist. An diesem können wir nun die an der Stromübergangsstelle durch die Erwärmung entstehende Potentialdifferenz ablesen und durch Eichung die tatsächliche Temperatur daraus errechnen.

In einer Reihe von Vorversuchen haben wir ferner den Einfluß der Zeit auf die Hautveränderungen geprüft. Nachdem sich dabei ergeben hat, daß eine längere Versuchsdauer keinen prinzipiellen Einfluß auf die Gewebsschädigung hat, wählen wir im allgemeinen bis 30 bzw. bis 60 Sek., da dadurch eine exakte Ablesung aller Instrumente möglich ist.

T a b e l l e 2.

Nr.	Spannung V	Strom- stärke mA	Zeit Sek.	Gramm- Calorien pro Sek.	Tem- peratur an der Kon- tak- telle	Histologischer Befund	
						Epithel	Corium
1	50	26	1	0,31	41	Kernschrumpfung, Durchsiebung	o. B. (Abb. 8)
2	100	130	1	3,12	48	Kernausziehung, Kernausrichtung	Beginnende Homo- genisierung in einem kleinen auf dem Schnitt dreieckigen Bezirk, bläuliche Verfärbung des Epi- thels, Fasern ver- quollen (Abb. 7)
3	50	80	60	0,96	50	Kernausziehung, Kernausrichtung	Das Dreieck durch- setzt das ganze Corium. Hitzewaben
4	100	270	60	6,48	84	Stark verschmälert, Kerne ausgezogen	Stark verschmälert, vollständige Homo- genisierung. Hitz- ewaben (Abb. 6)
5	100	300	60	7,2	103	Nur noch dunkler Strich ohne erkenn- bare Einzelheiten	Auf die Hälfte ver- schmälert, die Homogenisierung reicht bis in die Mus- kulatur. Größere Hitzewaben

Ergebnis.

Tabelle 2, die nach steigender Temperatur an der Kontaktstelle schematisch zusammengestellt wurde, zeigt, daß die histologischen Veränderungen sich mit steigender Wärme ändern. Die Temperatur wird in unseren Fällen bestimmt durch die Stromwärme und die Zeit, während welcher diese entwickelt wird. Halten wir die Zeit konstant, so nehmen die histologischen Veränderungen mit steigender Stromstärke an Größe zu. Dieses Verhältnis verschiebt sich, wenn wir die Zeit ändern, da dann die Wärmeabstrahlung eine große Rolle spielt, was bei der Betrachtung der Tabelle zu berücksichtigen ist.

26 mA pro 25 qmm (0,31 cal.) ist die geringste Stromstärke, bei der wir eine histologische Veränderung an der Meerschweinchenhaut einwandfrei nachweisen können (s. Tabelle 2). Diese betrifft zunächst nur das Epithel. Seine normalerweise großen, blasigen Kerne zeigen eine deutliche Schrumpfung, wodurch auffallende Vakuolen an den Stellen entstehen, die früher die Kerne einnahmen. Es sind genau dieselben Erscheinungen, die schon Schridde als „Durchsiebung“ beschrieben und als Wärmewirkung erkannt hat. Steigt nun die Stromstärke, so verdichten sich die Kerne immer mehr, und eine feine Struktur ist an ihnen nicht mehr zu erkennen. Dabei nimmt ihre Färbbarkeit stark zu, und schließlich sehen wir am Ende dieser Entwicklungsreihe an Stelle der normalen runden Kerne nur noch langgezogene dunkle Gebilde, die alle bestimmte Richtung zeigen. Gerade diese Erscheinungen der Kernausziehung und Kernausrichtung ergeben an der menschlichen Haut viel eindrucksvollere Bilder als an der Meerschweinchenhaut.

Bei ungefähr 0,5 cal. pro Sekunde beginnen nun die Veränderungen auf das Corium überzugreifen. In Form eines Kegels, dessen Grundfläche der Kontaktstelle entspricht und dessen Spitze nach der Tiefe des Gewebes zu zeigt, schreiten sie mit steigender Joulescher Wärme nach den tieferen Gewebspartien fort. Das geschädigte Gewebe imponiert bei der gewöhnlichen Hämatoxylin-Eosinfärbung sofort durch seine intensiv blaue Farbe, die sich scharf gegen das Rot des normalen abhebt. Im Gegensatz zum Epithel treten aber jetzt nicht die Veränderungen an den Kernen in den Vordergrund, sondern die an den Bindegewebsfasern. Diese sind stark gequollen, und die locker gewebte Struktur des Coriums geht allmählich verloren. Schließlich sind die einzelnen Fasern überhaupt nicht mehr zu erkennen und wir sehen eine homogene Masse, die nur teilweise die Reste der früheren Kerne als dunkle Punkte erkennen läßt. Besonders am Rande des veränderten Gebietes sind die normalen Gewebsspalten zu großen runden Hohlräumen aufgetrieben, nämlich den Hitzewaben. Werden mehr als ungefähr 5 Grammcalorien in einer Sekunde auf 25 qmm entwickelt, so ergreift der Homogenisierungsprozeß auch die Muskulatur. Die einzelnen Fasern werden zusammengepreßt und verlieren ihre feinere Struktur. Nur die Haarwurzelscheiden

zeigen von den tieferen Gewebelementen Kernausrichtung, sie verhalten sich also genau wie das Epithel. In dem geschädigten Gebiete ist das Corium gegen seine normale Dicke stark verschmälert. Die Vorgänge an der Lederhaut des Menschen gleichen vollständig denjenigen beim Meerschweinchen.

Untersuchungen elektrischer Hautschäden bei tödlich Verunglückten.

Eine ziemlich ausgedehnte elektrische Hautverletzung zeigt uns die Abb. 7, sie entspricht etwa der künstlich erzeugten in Tabelle 2, Nr. 4.

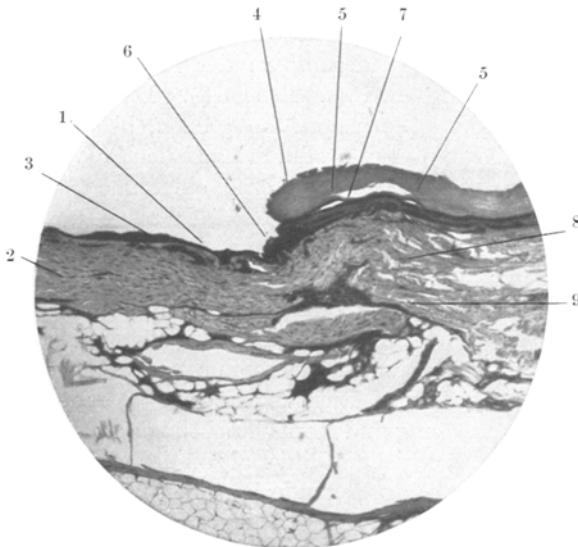


Abb. 7. Elektrische Strommarke, Unfall A. (Beschriftung s. Text). Ausgedehnte Hautverletzung.

Sie stammt von einem Unfall A † 15. 5. 34, Umspannwerk B, wobei A beim Berühren einer abgeschalteten, aber von einer 100-kV-Leitung induzierten Leitung ums Leben kam. Sofort tot. Wiederbelebungsversuche 2 Stunden, ohne Erfolg.

Das Epithel ist nur noch teilweise vorhanden und besteht aus einem äußerst schmalen Saum, der dunkelblau ¹ verfärbt ist. Das Unterhautzellgewebe ist ² homogenisiert, die Capillaren sind noch erkennbar ³ und prall mit Blut gefüllt. Am Rande der Strommarke ist die Hornhaut ⁴ abgerundet, es hat den Anschein, als ob sie durch die Wärme kolbenartig zusammengeschmolzen sei, Hitzewaben ⁵ deutlich erkennbar. Das Epithel ist ebenfalls zu einer strukturlosen Masse ⁶ zusammengesintert; nach dem gesunden Gewebe zu sind die Epithelzellen deutlich ⁷ langgezogen und längsgerichtet, bei starker Vergrößerung sind die Kerne geschrumpft und kleinste Vakuolen

sind erkennbar. Das darunterliegende Bindegewebe ⁸→ ist homogenisiert, die Bindegewebszellen sind erkennbar. Auch die Zellen der längsgetroffenen ⁹→ Gefäße und Haarbälge sind langgezogen und längsgerichtet, die Gefäße sind mit Blut prall gefüllt.

Eine in ihrer Ausdehnung geringgradige Strommarke zeigt uns die nächste Abb. 8. An einer schmalen Stelle ist das Epithel ¹→ durchbrochen und das darunterliegende Bindegewebe ²→ homogenisiert. Bei stärkerer Vergrößerung sehen wir, daß das von seinem Verband getrennte Epithel ³→ dunkelblau verfärbt ist, die einzelnen Zellen eben noch erkennbar und langgezogen sind. In dem übrigen darunterliegenden Epithelrest ⁴→ sind nur noch Kerntrümmer nachweisbar. Auch in diesem Präparat kann die Kernausziehung und -ausrichtung beobachtet werden, die Vakuolenbildung ist ebenfalls erkennbar. Dieses Bild entspricht etwa dem in Tabelle 2, Nr. 2 experimentell erzeugten.

Noch geringer sind die Veränderungen in der Abb. 9, makroskopisch war nur eine etwa stecknadelkopfgroße, etwas bräunlich erscheinende Oberflächenzerstörung erkennbar, die dicht neben einer größeren Strommarke lag. Hier ist nur die ¹→ Hornhaut durchschlagen; die darunterliegenden ²→ Epithelzellen

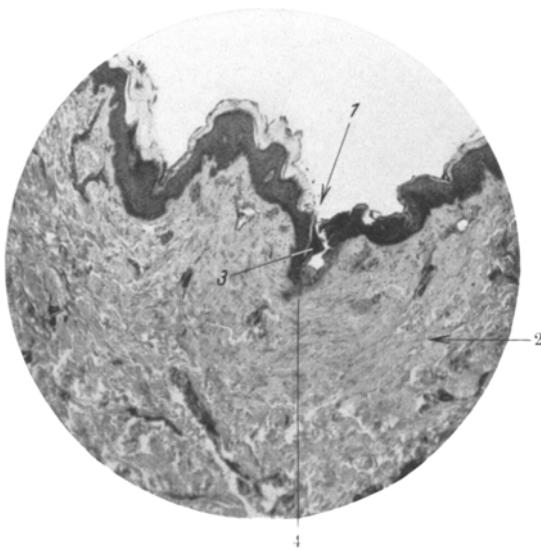


Abb. 8. Elektrische Strommarke, Durchschlag (→ 1) mit geringer Homogenisierung (→ 2) (s. Text).

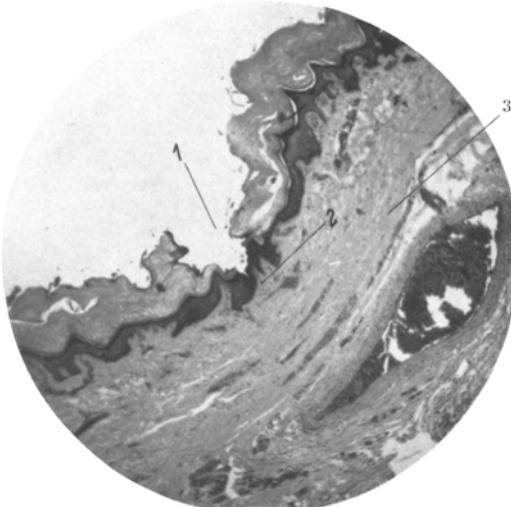


Abb. 9. Elektrische Hautverletzung → 1 Durchschlag ohne Epithelerstörung (s. Text).

sind längsgerichtet, ganz vereinzelte zeigen angedeutet Vakuolenbildung und Kernschrumpfung. Das Bindegewebe $\xrightarrow{3}$ ist verquollen, wobei aber die Bindegewebs- und Gefäßzellen unverändert geblieben sind. Diese geringgradigen elektrischen Hautschäden sind experimentell bei niedrigen Stromdichten (Stromstärke auf Quadratzentimeter) und davon abhängig niedrigen Wärmemengen in unserer Versuchsreihe 1 beobachtet worden. Abgesehen von der beginnenden Homogenisierung, die zu der nächsten Strommarke (Tabelle 2, Nr. 2) überleitet, entspricht die Epithelveränderung etwa dem Bilde der Tabelle 2, Nr. 1. Auf spezifisch elektrische Hautschädigungen gehen wir in der folgenden Arbeit ein.

Zusammenfassung.

Makroskopisch werden Bilder von Strommarken und Wärmemarken untereinander verglichen mit dem Ergebnis, daß zwischen beiden ein prinzipieller Unterschied nicht nachzuweisen ist.

Es werden Strommarken von Unfällen herrührend und experimentell erzeugte Strommarken, bei denen Spannung, Stromstärke und Joulesche Wärme exakt gemessen wird, beschrieben. (Verweisung auf die II. Mitteilung.)

Schrifttum siehe II. Mitteilung.
