

(Aus dem Museum für Elektropathologie der Universität in Wien.
Direktor: Prof. Dr. St. Jellinek.)

Experimentelle histologische Veränderungen in den inneren Organen infolge unmittelbarer Stromwirkung.

Von

Dr. Julius Incze,

Mitglied des Collegium Hungaricum in Wien.

Mit 5 Textabbildungen.

Die Wirkung der Elektrizität auf den menschlichen wie tierischen Körper wurde schon in zahlreichen Arbeiten behandelt. Naturgemäß beziehen sich die meisten Untersuchungen auf die Veränderungen der äußeren Hülle, die wir als Strommarken kennen, deren Spezifität von vielen Seiten bestritten wurde. Daneben betrifft eine große Anzahl von pathologisch-anatomischen Beobachtungen und Tierversuchen die Veränderungen des Gefäß-, Knochen- und Nervensystems, jedoch ohne etwas für Stromwirkung Kennzeichnendes erwiesen zu haben. Lediglich in der Muskulatur fand *Jellinek* auffallende geometrische Formationen, denen wir eine große Bedeutung nicht nur in der Elektropathologie, sondern auch in der Spurenkunde der Elektrizität zuschreiben müssen. Zu wenig wissen wir über die Elektropathologie der parenchymatösen Organe. Eine auch makroskopisch sichtbare Stromspur in der Leber, Niere, Lunge usw., die uns einen Ausgangspunkt für die histologische Bearbeitung bieten könnte, ist ein recht seltener Befund, gar eine systematisch histotopographische Bearbeitung der großen menschlichen parenchymatösen Organe ist technisch kaum durchzuführen.

Diejenigen Tierversuche, bei denen der Strom dem Tier durch zwei an verschiedenen Körperstellen angelegte Elektroden zugeführt wurde, ergaben in histopathologischer Hinsicht nichts Nennenswertes. Verhältnismäßig mehr erbrachten jene Versuche am lebenden narkotisierten Tier wie am Leichenmaterial, wo der Strom den Einzelorganen durch unmittelbar auf ihre Oberfläche aufgelegte Elektroden zugeleitet wurde. Diese direkte Elektrisierung der Innenorgane scheint uns — trotz scheinbarer Zwecklosigkeit — aus zwei Gründen wichtig zu sein. Einerseits bietet sie den einzigen richtigen Ausgangspunkt für die histotopographische Bearbeitung, denn die vollständige Bearbeitung der verhältnismäßig kleinen tierischen Organe macht keine besonderen technischen Schwierigkeiten, und andererseits ermöglichen sie auch, der Elektropathologie der menschlichen Organe näher zu kommen. Der andere Vorteil der direkten Elektrisierung ist der, daß wir imstande

sind, das Verhalten verschiedenster Gewebselemente, wie des Deck- und Parenchymepithels, weiter der Gefäße, Nerven, Drüsen und des Stützgewebes einheitlich an ein und demselben Schnittpräparat zu beobachten. Schließlich ist es auch nicht weniger wichtig, daß manches der parenchymatösen Organe, vor allem die Niere mit ihrem feinen tubulären Aufbau wie durch ihr kompliziertes Röhrensystem, besonders geeignet ist, die Wege der Elektrizität verfolgen und zugleich das hier Gewonnene mit den Beobachtungen aus der Elektrophysik vergleichen zu lassen. Aus diesen zwei Gründen untersuchten wir die unmittelbare Einwirkung des elektrischen Stromes auf die einzelnen Organe eines kleineren Tieres, nämlich des Kaninchens.

Diesbezügliche Angaben der Literatur können wir in 3 Gruppen sondern. 1. In erster Linie erwähnen wir die histologischen Beobachtungen am menschlichen Material aus Unfällen und Todesfällen, 2. die Angaben über jene Tierversuche, bei denen die Elektroden an zwei verschiedenen Körperstellen angelegt wurden (indirekte Stromwirkung) und schließlich zitieren wir jene Experimente, bei denen der Strom den Einzelorganen durch unmittelbar auf ihre Oberfläche applizierte Elektroden zugeführt wurde (direkte Stromwirkung). In dieser Zeitschrift ist es keineswegs notwendig, das Schrifttum über Haut-, Gefäß-, Nervensystem- und Muskelveränderungen eingehend zu besprechen, wir beschränken uns hier auf eine kurze Schilderung jener pathologisch-anatomischen Beobachtungen und Versuchsergebnisse, welche Anlaß geben, daß die verschiedenen Forscher in der Streitfrage über die Spezifität der Strommarke einen bejahenden oder verneinenden Standpunkt einnehmen. Vor allem geben wir eine kurze Zusammenfassung jener Versuche, bei denen manche Autoren durch Verbrühung, Kochen, Verbrennungen oder Berührung mit glühenden Drähten den Strommarken sehr ähnliche Veränderungen an der Haut- bzw. Organoberfläche gewonnen haben und deshalb die Spezifität der elektrischen Strommarke kategorisch verneinen.

So vertreten *Jellinek*, *Kawamura* und *Riehl* die elektromechanische Auffassung, wogegen *Schridde*, *Schrader*, *Jaffe*, *Weimann*, *Beekmann* sämtliche Veränderungen an der Stromein- und austrittsstelle auf eine einfache Hitzewirkung, bzw. auf Wirkung der Jouleschen Wärme zurückführen.

Im Gegensatz zu diesen scharf entgegengesetzten Auffassungen aber dürfte z. B. nach *Pietrusky* bei direkter Elektrisierung der Nerven eine elektrolytische Wirkung nicht auszuschließen sein. — Auch *Schridde* selber erklärt die Tinktionsverschiedenheiten des Gewebes am positiven und negativen Pol mit einer Elektrolyse. Auch *Strassmann* gelang es durch Kochen und Verbrühung eine den Strommarken ähnliche Veränderung in den inneren Organen zu erzeugen, jedoch sagt er „die Strommarken *Jellineks* werden nach ihrem makroskopischen Befund und ihrem mikroskopischen Aussehen als das beste und am leichtesten erkennbare, oft einzige Merkmal des Stromüberganges ihre Bedeutung für die Diagnose des elektrischen Todes behalten, da ihre Entstehung auf andere Weise . . . praktisch

fast immer ausgeschlossen werden kann,“ oder wenn wir *Weimann* zitieren: „immerhin ist aber das Aussehen der Strommarken und ihr klinischer Verlauf (Schmerzlosigkeit, glatte Heilung ohne Eiterung) so charakteristisch, daß praktisch wohl nur selten differentialdiagnostische Schwierigkeiten entstehen werden.“

1. Die aus dem menschlichen Material erhobenen Befunde zeigen — mit Ausnahme derjenigen in der Haut und der *Jellinekschen* Muskelspiralen — recht wenig Kennzeichnendes. In den inneren Organen zeigen sich nur starke Blutfüllung und wechselnd stark ausgedehnte Blutungen (*Jellinek*, *Kawamura*, *Pietrusky* usw.), weiters eine Homogenisation, Chromolyse, Chromatindichtung der Ganglienzellen (*Jellinek*, *Kawamura*), beginnende Neuronophagie, anämische Flecke, Ödem im Gehirn (*Jellinek*) usw. Die ältere Literatur der Hirnbefunde, mitgeteilt von *Corrado*, *Spitzka*, *Mott-Schuster*, *Grange* usw. ist bei *Kawamura* zitiert. In den Nieren beobachtete *Schmidt* Hämoglobinzylinder, wogegen *Chiari* bei Hämoglobinurie keine Nierenveränderung finden konnte. (Die Anführung aller Einzelarbeiten würde zu weit führen; die Gefäßveränderungen sind bei *Jellinek*, *Jaffe*, *Schrader*, die Knochenveränderungen bei *Jellinek*, *Schridde* zu finden.)

2. *Kawamura* applizierte die Elektroden am Rachen und After des Kaninchens (Wechselstrom 105 Volt Spannung, 48 Perioden). Das Tier war momentan tot. Histologisch wurden in den Lungen Gefäßwandzerreißung, interstitielle, wie alveoläre Blutungen, akute Lungenblähung und Zerreißen der Alveolarwände vorgefunden. Im Herzfleisch, in der Leber, wie auch im Gehirn fanden sich gleichfalls Gewebszerreißen und Blutungen, von denen die letzteren in den Nebennieren von infiltrierendem Charakter waren. In der Milz und Niere wurde außer starker Blutfüllung nichts beobachtet. *Pietrusky* fand nach experimenteller Elektrisierung mit Gleichstrom (220 Volt Spannung, Elektroden im Rachen und am After) den *Jellinekschen* Strommarken ähnliche Veränderungen an der Herzspitze des Kaninchens, ebenso fand er beim Menschen wie auch beim Kaninchen eine „elektrische Koagulationsnekrose so wie eine Gewebszerreißung und Blutungen im Herzfleisch“.

3. Bei direkter Elektrisierung der Einzelorgane von narkotisierten Kaninchen (Gleichstrom 220 Volt Spannung) fand *Pietrusky* die Nervenzellen des N. femoralis zu einer homogenen Masse verschmolzen, die Kerne zusammengefloßen. An der Niere waren die Schnittflächen im Bereiche beider Pole getrübt, mikroskopisch waren an dieser Stelle die Epithelzellen schlechter färbbar, die Haargefäße waren stark erweitert, in den Glomeruli fanden sich Blutungen. All diese Veränderungen (mit Ausnahme der Nervenzellenhomogenisation, siehe oben) führt *Pietrusky* auf die Wirkung der Jouleschen Wärme zurück. Die anderen Organe boten nichts Nennenswertes. *G. Strassmann* fand an der Leber (sowohl am positiven wie am negativen Pol) eine Verkohlung, Wabenbildung, ausgezogene Parenchymzellen, eine Pressung des Lebergewebes, weiters größere serumerfüllte Hohlräume im Herzfleisch. Die Veränderungen am negativen Pol waren immer leichteren Grades. *Jellinek* applizierte den positiven Pol eines schwachen Akkumulatorenstromes auf die Serosa der Magenwand eines Hundes. Es waren keine Hitzeerscheinungen zu finden, jedoch prolabierte die Magenwand genau an der Stelle wo die Elektroden angelegt worden waren. Histologisch wurde eine Stratifizierung, Pressung der Magenwand beobachtet, welche letztere auch makroskopisch deutlich zum Vorschein kam. Beide Muskellagen waren zu einer Einheit verschmolzen, die Submucosa und Muscularis mucosae zerfasert, zersplittert, teils homogenisiert, die Gefäße stark erweitert, die Endothelzellkerne pyknotisch. Im gleichen Versuch fand er eine Homogenisierung der Tubuli in den Nieren, manche um ihre Längsachse gedreht, die Wände dissoziiert und flach spiralförmig gestaltet.

Nun kommen wir zu jenen Versuchen, bei denen man durch Berührung mit glühenden Nadeln, durch Verbrühung und Kochen den Strommarken vielfach ähnliche Veränderungen an der Haut und in den Innenorganen gefunden hat. So fand *Beekmann* durch Berührung und Stich mit glühenden Platin- und Stahl-drähten eine Verkohlung an der Oberfläche der Leber, Brandblasen, ausgezogene, dicht aneinanderliegende Leberzellen mit einer stärkeren Färbung des Lebergewebes durch Hämatoxylin. Die anderen Organe, wie Milz und Nieren, boten im allgemeinen denselben Befund. *G. Strassmann* — wie schon erwähnt — konnte ebenfalls durch Verbrühung und Kochen Brandblasen und gezogene Zellen, auch eine Pressung des Lebergewebes nachweisen. Die gezogenen Epithelzellen bei Hitzewirkung sind aus den Mitteilungen von *Unna*, *Touton*, *Bisiadecki* und *Leers* seit langem bekannt. *Weimann* berichtet gleichfalls über schwere — aber diffuse — Verbrennungserscheinungen in den inneren Organen eines Verbrannten (Verkohlung, Brandblasen, Hitzewaben, Hitzespalten usw.), daneben über gezogene Epithelzellen in den Nieren usw. *Foerster* fand bei Verbrannten die Epithelzellen der feinsten Luftwege stark gezogen, welche Erscheinung er auf die Wirkung eingetmeter heißer Luft zurückführt und deshalb für eine vitale Reaktion hält.

Wir sehen also, daß die elektrischen Strommarken einerseits und einfache Verbrennungserscheinungen andererseits histologisch viel Ähnlichkeiten zeigen. Trotzdem sind wir keineswegs berechtigt, jede histologische Veränderung einer Strommarke mit Hitzewirkung bzw. mit Wirkung der Jouleschen Wärme allein zu erklären. Zitieren wir nur die Worte *Jellineks*: „Da Joulesche Wärme immer und überall vorhanden ist, wo Elektrizität fließt, so geschieht es nicht selten, daß die rein mechanische, d. i. elektroenergetische Wirkung des Stromes vom Schleier der Jouleschen Wärme verdeckt wird und daß es nicht bloß Mischformen, sondern auch solche gibt, bei denen die Hitzewirkung dominiert und jede andere Wirkung der Elektrizität zum Schwinden bringt.“ Leider finden wir eben bei jenen Kontrollversuchen, auf deren Grundlage man die elektromechanische Komponente beim Zustandekommen der Strommarke in Zweifel zieht, mehrere Fehlerquellen der Versuchsanordnung, die Anlaß für eine bedeutende Wärmebildung geben; die auf diese Weise gewonnenen Strukturläsionen, die Mischformen oder elektrische Verbrennungen darstellen, können keineswegs als Gegenargumente gelten. Die nachfolgenden Untersuchungen hatten wir auch zwecks Erforschung dieser Fehlerquellen durchgeführt:

Kaninchen wurden durch Schlag aufs Occiput getötet. Durch den momentanen Tod wollten wir den störenden Einfluß des Blutdruckes und der vitalen Muskelkontraktionen auf das histologische Bild vermeiden. Die noch warmen Eingeweide haben wir aus der Brust- und Bauchhöhle herausgeräumt und dem isolierten Einzelorgan einen Gleichstrom von 220, bzw. 440 Volt Spannung zugeleitet. Beide Pole der Kupferelektroden von 3 mm Durchmesser wurden in einer Distanz von 3—5 cm flach an der Oberfläche des Organs aufgelegt und mit leichtem und gleichmäßigem Handdruck niedergehalten. Die Elektrisierung dauerte 10—15—20 Sekunden; Funkenübergang gab es nur, wenn die Elektroden bloß mit ihrer eigenen Schwere der Oberfläche anlagen und wenn deshalb der Kontakt schlecht war. Es wurden Leber, Nieren und Lungen elektrisiert. Nach jedem Versuch wurden die Elektroden sorgfältig gesäubert.

Die *Leber* zeigte am positiven Pol eine etwa 1—1,5 mm tiefe, der Länge und Breite der Elektroden entsprechende Vertiefung von hellgrüner Farbe, der an der Schnittfläche eine etwa 2 mm tiefreichende, eingedellte, graubräunliche, von der Umgebung scharf abgegrenzte Zone entsprach. Diese Strommarke reichte in der *Niere* tiefer, in der *Lunge* war sie viel oberflächlicher. Die grüne Verfärbung war immer am positiven Pole zu finden, am negativen Pole war nur eine eben merkliche Vertiefung und eine undeutliche rotbraune Verfärbung zu sehen.

Beim *schlechten* Kontakt mit Funkenüberspringen sahen wir immer Brandblasen mit Hitzewabenhof. Die Erscheinungen waren bei Elektrisierung mit Gleichstrom von 220 Volt Spannung deutlich geringgradigere. Auch hier erhielten wir bei schlechtem Kontakt immer Brandspuren.

Die Gewebstückchen wurden in Formol fixiert, mit Alkohol nachgehärtet, in Paraffin eingebettet, in Serien geschnitten und mit Hämatoxylin-Eosin gefärbt. Nachfolgend eine kurze Beschreibung der erhobenen histologischen Befunde:

Leber (440 Volt Spannung, Elektrisierung 15 Sekunden): + Pol: Etwa 2 mm tiefreichende, dellenförmige Einsenkung an der Berührungsstelle. Die Kapsel ist vielfach aufgefasert, hilarot verfärbt, fleckenweise homogen und dunkler, sie zeigt keine Verkohlungen, keine Brandblasen, die Kapselzellen sind stellenweise kleiner, deutlich geschrumpft. Die Leberzellen sind dicht unter der Oberfläche — wie normal — rundlichoval, darunter aber sind die Zellen in bogenförmigen Zellreihen angeordnet, dicht aneinandergedrückt, parallel mit der Oberfläche ausgezogen, die Kerne sind gleichfalls gepreßt und gezogen, dunkler gefärbt. Der Zelleib rings um die Kerne erscheint manchmal sogar leer; Plasmasubstanz finden wir eher am Rande und mit Eosin etwas stärker gefärbt. Diese eigentümliche Anordnung des Plasmas (Durchschiebung: *Schrader*, *Schridde*) gibt mit dem homogenen, roten Inhalt der intercellulären Capillaren dem ganzen Gebiet ein merkwürdig netzförmiges Aussehen, scharf abgegrenzt von der Umgebung. An den Bindegewebsbündeln, die von der Oberfläche in die Tiefe ziehen, sehen wir eine wechselnd starke Auffaserung, dunkelblaue Verfärbung, die Zellen sind parallel zur Verlaufsrichtung ausgezogen, stellenweise sind die einzelnen Fasern dicht aneinandergepreßt, stellenweise vollkommen homogenisiert; hier und da ist auch ein deutlich spiralförmiger oder zickzackförmiger Verlauf oder eine Drehung wahrzunehmen. In Abb. 1 ist deutlich zu sehen, wie das von der Oberfläche in die Tiefe ziehende tiefblau (im Bilde schwarz) gefärbte Bündel in eine Vene mündet, deren gegen die Oberfläche hinziehende Hälfte ebenso intensiv gefärbt erscheint. Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man eine deutliche Pressung, Schichtung der Zellen, eine Auffaserung der Gefäßwand mit weit ausgezogenen Zellen, wogegen an der anderen tiefergelegenen Hälfte eine Änderung, weder in Struktur, noch in Färbung, nachweisbar ist, was allerdings auch aus dem Übersichtsbild herauszulesen ist. (Das Abheben der Gefäßwand „gegen 5 Uhr“ ist wohl auf das Präparieren zurückzuführen.) Im Übersichtsbilde sehen wir, daß die netzförmige Anordnung der Leberzellen unterhalb der Berührungsstelle sich scharf von der unterliegenden Umgebung abgrenzt. Die Bindegewebsbündel oben links zeigen eine normale Färbung, obwohl sie der Stromeintrittsstelle ebenso nah lagen wie die dichtgefärbte Gefäßwand. In unmittelbarer Nachbarschaft der Gefäßwand und des dunkel gefärbten Bindegewebsbündels zeigt das Leberparenchym keine Spur von Veränderung bezüglich Form oder Tinktionsvermögen; die Kerne sind überall rundlich oval. Manchmal finden wir breitere Bindegewebsbündel ganz normal gefärbt, ohne jegliche Spur einer Homogenisation, jedoch sind hier die Zellen, wie die Zellen des Gallencapillarendothels, streng in der Verlaufsrichtung des Bündels ausgezogen. Die Pressung des Leberparenchyms an der Oberfläche ist deutlich zu sehen. Am *negativen Pol* zeigt das Gewebe eine *Aufhellung*, deut-

liche Zellkonturen, wie man solche bei Fixierung mit Sublimatessigsäure zu sehen pflegt. Hier zeigen die Zellen keine Formveränderung, sie sind rundlich oval, gut gefärbt, keine Verkohlung, Blasenbildung an der Oberfläche, nur eine Auf-faserung der Kapsel mit lilaroter Färbung, scharfe Abgrenzung gegen das um-gebende Parenchym.

An den Gewebstückchen, an welchen der Kontakt *schlecht* war, sehen wir verschiedene Grade der Hitzewirkung, sogar bis zur Verkohlung an der Ober-fläche.

Niere (440 Volt Spannung, Elektrisierung 15 Sekunden). \pm -*Pol*: An der Berührungsstelle mit der Elektrode gibt das etwa 2 mm tief eingesunkene Gewebe eine stärkere Färbung mit Eosin und scharfe Abgrenzung gegen die Umgebung zu erkennen. Die Kapsel zeigt eine lilarote bis gelblichbraune Verfärbung, hier

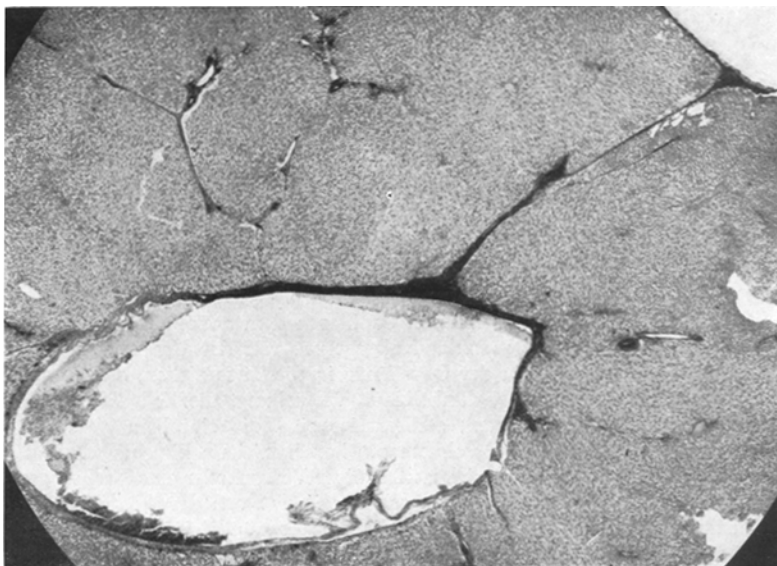


Abb. 1.

und da mit deutlicher Auffaserung und kleinen Gewebsverlusten. Keine Ver-kohlung, keine Brandblasen an der Oberfläche. Die Kapselzellen sind klein, ge-schrumpft, dunkel. Die gewundenen Kanälchen erscheinen uns wie vollkommen homogenisierte Eiweißschläuche, ohne Lichtung und Zellgrenzen. Die einzelnen Röhrcchen färben sich am Rande mit Eosin etwas stärker, wodurch das Parenchym auch hier — wie in der Leber — ein eigentümlich netzförmiges Aussehen hat. Die Kerne dicht unter der Oberfläche sind geschrumpft, teils körnig zerfallen, in der Tiefe radiär ausgezogen, wodurch die Querschnitte der gewundenen Kanälchen einer Uhrplatte ähneln. Die ausgezogenen Zellen der in Längsrichtung getroffenen Kanälchen dicht unter der Oberfläche weisen eine *geometrische Anordnung* auf, indem die in der Mitte der dellenförmigen Einsenkung gelegenen Zellen vertikal, dagegen die seitwärts gelegenen immer mehr schräg gegen die Oberfläche zu gerichtet sind. — Am $-$ -*Pol* ist die Einsenkung des Gewebes kaum merkbar, wir können hier nur eine leichte Streckung der Epithelzellen in der vertikalen

Richtung ovale oder spitzig ovale Zellen wahrnehmen. Die Gewebsstruktur scheint mehr oder minder *aufgehellt* zu sein. Kein Zeichen einer Verbrennung. Die Schnitte von Stellen *schlechten Kontakts* zeigen wechselnd starke Verbrennungen.

Die *Lungenpräparate* ergeben eine starke Pressung des oberflächlichen Gewebes, weiters eine schichtförmige Anordnung der gezogenen, stark aneinandergepreßten Zellen. Hier und da sehen wir dunkler gefärbte, zerrissene Alveolarsepten. Eine Aufhellung des Gewebes am — Pol haben wir hier nicht sehen können.

Die Veränderungen bei Elektrisierung mit 220 Volt Spannung waren wohl weniger ausgeprägt, jedoch im allgemeinen dieselben wie bei 440 Volt Spannung. In einem Versuch, wo die Elektrisierung nur um einige Sekunden länger als $\frac{1}{2}$ Minute dauerte, fanden wir — trotz des guten Kontakts und Fehlens von Funken — starke Verbrennung der Nierenoberfläche, sogar Verkohlung.

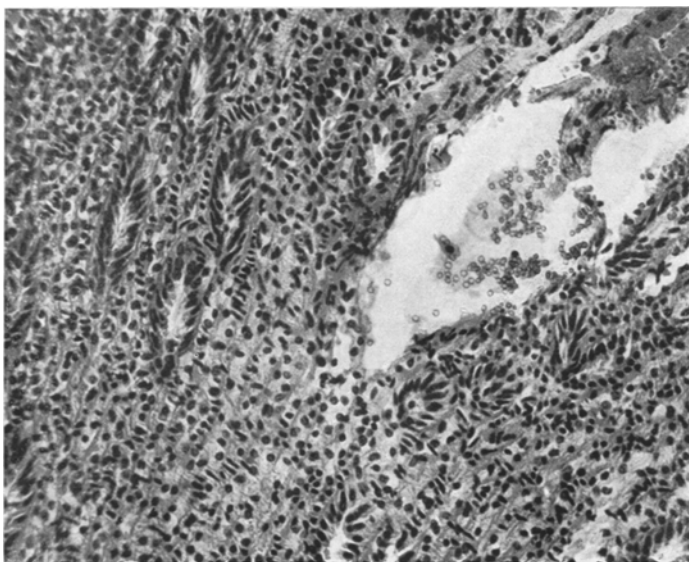


Abb. 2.

In den Nieren fanden sich außer den schon erwähnten noch 2 interessante Befunde:

In der Tiefe des Nierengewebes, und zwar im Bereiche des Nierenbeckens, etwa 1 cm weit von der Stromeintrittsstelle dort, wo das umgebende Parenchym eine tadellose Struktur aufweist und jegliche Spur von Tinktions- oder Formveränderung vermissen läßt, finden wir einzelne Harnkanälchen mit merkwürdig regelmäßig ausgezogenen Epithelzellen. Auch diese Zellen selber färben sich normal, zeigen keine Homogenisierung, keine Schrumpfung, die Zellgrenzen sind deutlich zu erkennen, selbst mit Immersionsvergrößerung sieht man keine Änderung der Plasma- oder Kernstruktur; die einzige Abweichung von der Norm ist die Ausziehung der Epithelzellen und ihrer Kerne, die in Abb. 2 unterhalb des Gefäßes in einem Harnkanälchenquerschnitte sogar stereoskopisch auffällt (wegen der großen Distanz von der Oberfläche bis zu diesen Kanälchen war es unmöglich, beide Befunde auf einem und demselben Bilde zu bringen. In schwächerer oder bei bloßer Lupenvergrößerung kommt die feinere Zellstruktur nicht zum Ausdruck).

Noch eine andere auffallende Erscheinung sehen wir in der Niere (Abb. 3). Zwischen den eben erwähnten Harnkanälchen und zwischen weiter oben im Parenchym liegenden homogenisierten, dunkelblau gefärbten Bindegewebszügen finden wir in höchstens 2—3 Reihen angeordnete Epithelzellen in einer streng bestimmten Richtung ausgezogen (im Bilde von oben rechts nach unten links). In Serienschnitten kann man gut beobachten, daß diese Zellen von der Spitze des im Bilde oben rechts abgebildeten Bindegewebsbündels abgehen; im Bilde sehen wir nur die unteren $\frac{2}{3}$ dieser „Verbindungslinie“. Die weiter unten liegenden Harnkanälchen mit ausgezogenen Epithelzellen konnten wegen der großen Distanz nicht mitphotographiert werden. (Mit Lupenvergrößerung ist diese äußerst feine Strukturveränderung überhaupt nicht zur Darstellung zu bringen.)

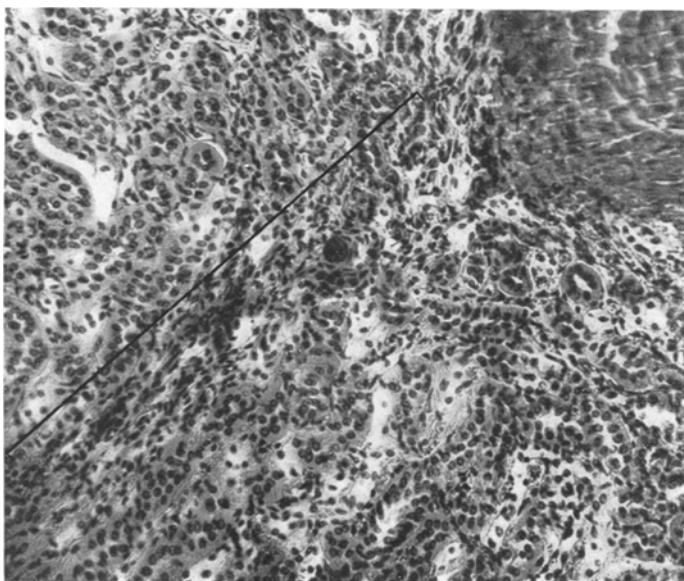


Abb. 3.

Durch Berührung mit erwärmtem (nicht mit geglühtem!) Draht konnten wir in der Leber usw. eine Verkohlung, Brandblasenbildung, Gewebszerreißung, Hitzespalten, Schrumpfung, Dehnung, büschelförmige Anordnung der Zellen usw. (siehe Abb. 4, Niere), also im allgemeinen solche Veränderungen erzeugen, wie sie schon aus der Literatur bekannt sind. Eine scharfe Abgrenzung gegen das unversehrte Gewebe — wie bei den Strommarken — haben wir aber niemals beobachten können, aber auch keine Fernwirkung im strengeren Sinne des Wortes. Trotzdem wir den Draht nur erwärmt und nicht geglüht hatten, erhielten wir immer derart schwere Verbrennungen an der Organoberfläche, wie wir solche bei der Elektrisierung niemals gesehen haben. Abb. 4 zeigt uns eine interessante Formveränderung der Epithelzellen eines Tubulus rectus, die wir im gewissen Grade zwecks Unterscheidung einer einfachen Hitzewirkung (Verbrennung) von der Wirkung durch Joulesche Wärme in Anspruch nehmen können (siehe später).

All diese aufgezählten Veränderungen sind in doppelter Hinsicht der Beachtung würdig: Einerseits deuten sie auf jene Fehlerquellen

resp. Möglichkeiten hin, die bei der Elektrisierung der Haut oder Einzelorgane Anlaß zu einer bedeutenden Wärmebildung geben und eben deshalb nur zu „Mischformen“ führen können. Eine dieser häufigen Fehlerquellen ist der schlechte Kontakt, welcher zu einer Funkenbildung führt. Deshalb ist das bloße, einfache Auflegen der Elektroden auf die Haut- oder eine Organoberfläche zu beanstanden, weil die Elektroden nicht schwer genug sind, um einen zuverlässigen, innigen Kontakt zu verbürgen. Auch in der Unfallpraxis handelt es sich immer um einen verschieden abgestuften Druck, z. B. beim Anfassen eines Drahtes oder beim Stoßen gegen eine spannungsführende Leitung. Deshalb ist es

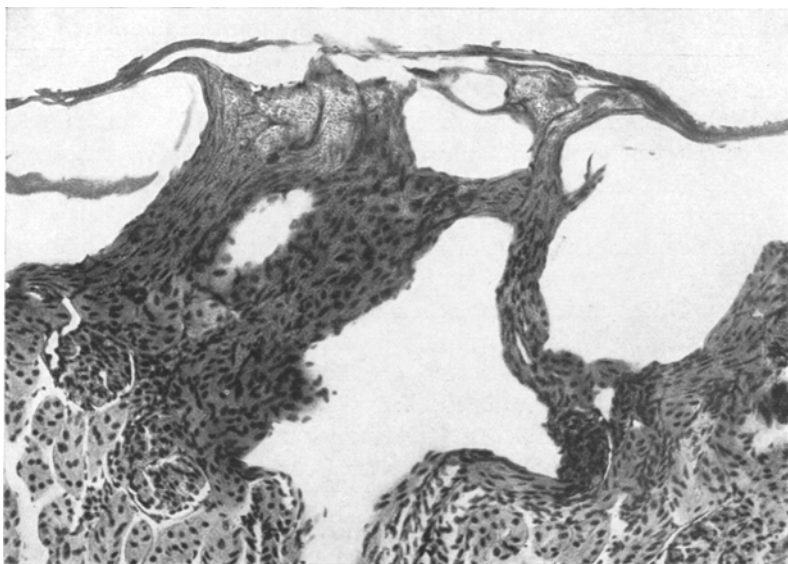


Abb. 4.

zweckmäßiger bei Experimenten, die Elektroden mit leichtem und gleichmäßigem Handdruck an die Organoberfläche anzulegen, weil sonst Funken überspringen. Der Einwurf, der Druck der Hand könnte das histologische Bild beeinflussen und zwar eine der „elektromechanischen Pressung“ ähnliche Gewebekompression bewirken, ist nach unseren Versuchen unbegründet; nicht einmal durch einen ziemlich starken Druck waren wir imstande, mit den stromlosen Elektroden etwaige mikroskopische Veränderungen an der Organoberfläche zu erzeugen. Durch besonders kräftigen Druck kam es natürlich zu einer Gewebszerreißung, jedoch niemals zu einer „Pressung mit gezogenen Zellen“; dagegen ist die „Pressung“ durch das leichte Auflegen spannungsführender Elektroden zu erzeugen.

Eine andere Fehlerquelle liegt in *der zu langen Dauer der Elektrisierung*, die z. B. in den Versuchen von *Schridde* eine ganze Minute beträgt. Es handelt sich in der Unfallpraxis gewöhnlich um Kontakt von einigen Sekunden, oder gar um Bruchteile einer Sekunde. (Die reinen Strommarken *Jellineks* stammen meistens von solchen Fällen.) Bei anderen Unfällen handelt es sich um länger dauernde Elektrisierung, wobei mit einer beträchtlichen Zunahme der Jouleschen Wärme zu rechnen ist und wobei außerdem auch die Erwärmung der Elektrode selber nicht außer Betracht zu lassen ist. Bei der experimentellen Erzeugung von Strommarken ist es vollkommen überflüssig, die Drähte bis zur Rotglut glühen zu lassen, wie dies alle Autoren zu machen pflegen; glühende Elektroden gibt es in der Unfallpraxis überhaupt nicht und die Lichtbogenwirkung kann mit der Wirkung eines glühenden Drahtes auch sonst nicht verglichen werden; auch deshalb können die durch glühende Drähte experimentell erzeugten Verbrennungserscheinungen mit jenen durch Stromwirkung bzw. Joulesche Wärme erzeugten nicht in Parallele gezogen werden. Es sei hier nochmals wiederholt, daß der $+$ - und $-$ -Pol sowohl histologisch als makroskopisch gut zu unterscheiden sind, weshalb wir auch die diesbezüglichen Abbildungen weglassen. Dagegen mögen noch einige Befunde, die uns eine Handhabe zur Unterscheidung zwischen reiner Strommarke und einfacher Hitzewirkung zu bieten vermögen, besprochen werden; als solche sind 1. die Veränderungen in der Tiefe des Nierengewebes, 2. das Verhalten des Bindegewebes zu erwähnen. Wir sehen in Abb. 2, daß die Veränderungen der Harnkanälchen (die Ausziehung der Epithelzellen) sich nur auf eine ganz kleine, auch mikroskopisch winzige Stelle beschränkt, die weit entfernt von der Stromeintrittsstelle liegt; sie ist frei von jeglicher Spur einer Hitzewirkung; auch die Zellen des umgebenden Parenchyms haben ihre Gestalt, ihr Tinktionsvermögen unverändert erhalten; die einzige Abweichung von der Norm ist die, daß in einer regelrechten geometrischen Gesetzmäßigkeit die Ausziehung, die Ausdehnung der Epithelzellen erfolgt. Wir kennen leider noch nicht die ganz initialen, allerfeinsten Merkmale der Hitzewirkung an einer Zelle, wir sind also nicht imstande zu entscheiden, ob eine Zelle von einer Hitzewirkung allergeringsten Grades befallen war oder nicht; nur wenn wir an ihrer Struktur die schon gut bekannten Hitzespuren, wie Schrumpfung, Hitzewaben, Koagulation sehen, erkennen wir die Wirkung der Hitze; und so müßten wir sagen: Das einzige Merkmal, welches an diesen Harnkanälchen auf einen Wärmeeffekt hinzudeuten vermöchte, das ist die Ausdehnung, die Streckung der Epithelzellen. Jedoch wir haben schon gesehen, daß die bei den Kontrollversuchen und Verbrennungstodesfällen gefundenen ausgezogenen Zellen immer von deutlichen Hitzespuren — wie Koagulation, Schrumpfung, Verkohlungen usw. —

begleitet, daß sie in einem von Hitzewaben, großen Brandblasen durchsetzten Gewebe vorkommen, wo also von einer Beschränkung auf eine *einzig*e und allerfeinste *Formveränderung* und zwar mikroskopisch kleiner Gewebsteile keine Rede ist. Um so mehr müssen wir also hier an den elektromechanischen Effekt denken, als die Ursache dieser reinen und auch singulär auftretenden Gestaltsveränderung. Nun hat *Foerster*, wie schon erwähnt, auch beim Verbrennungstode ausgezogene Epithelzellen in den feinsten Luftwegen gefunden, deren Zustandekommen er auf Wirkung eingeatmeter heißer Luft zurückführt;

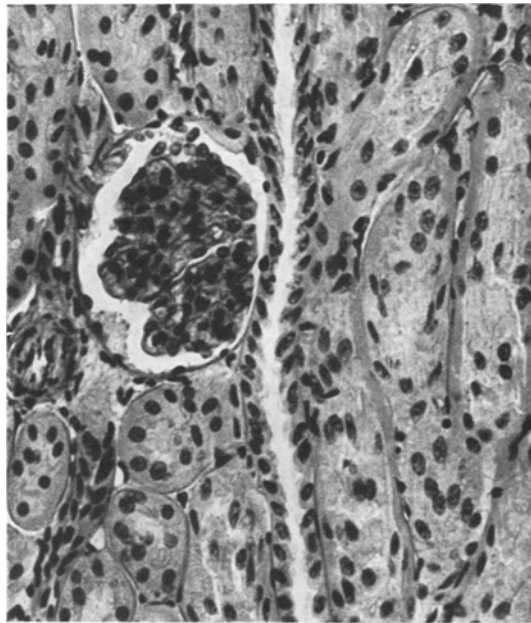


Abb. 5.

es wäre jedoch kaum vorstellbar, daß bei Verbrennung der Nierenoberfläche die Hitze so weit in die Tiefe hätte eindringen und dort die geschilderten allerfeinsten Formveränderungen hätte bewirken können, ohne dabei auch die zwischenliegenden, auch mikroskopisch kleinen Gewebsteile, geschädigt zu haben. Nun könnte jemand einwenden, daß die Hitze ja auch durch die Nierenkanälchen in die Tiefe einzudringen vermöchte: das ist aber so gut wie ausgeschlossen. Auch für das Eindringen von heißer Luft in die feinsten Luftwege der Lungen ist nach *Foerster* eine vitale Tätigkeit, die Atmung nötig, eine Saugwirkung also, von welcher bei den Nieren nicht die Rede sein kann; ganz abgesehen davon, daß für das Eindringen und Fortschreiten der Hitze in

dem komplizierten Röhrensystem der Niere die Verhältnisse viel ungünstiger sind als in den Lungen. Wird trotzdem diese theoretische Möglichkeit — *ut omnibus satisfaciatur* — doch vor Auge gehalten, so können wir sie ohne weiteres ablehnen, wenn wir einen Blick auf die Abb. 5 werfen: das Bild stammt aus einer Niere, deren Oberfläche wir mit einem erwärmten Draht berührt haben. Die Epithelzellen des abgebildeten Tubulus rectus sind dicht unter der Berührungsstelle ausgezogen, aber nur bis zu einer gewissen Tiefe des Kanälchens hinein. Die obersten, der Berührungsstelle näher liegenden Kerne sind scharf spitzig ausgezogen, dagegen die weiter tiefer liegenden nur spitzig oval, bald — je tiefer, um so mehr — oval, rundlicher, schließlich, wie normal schön rundlich. Die Abnahme der Intensität der in das Kanälchen eindringenden Hitze ist aus der Formveränderung der Epithelzellenkerne geradezu in Temperaturgraden abzulesen. Im Übersichtsbild können wir sehen, daß die Ausziehung, bzw. Formveränderung der nebeneinander gelegenen senkrechten Tubuli recti in ziemlich gleichem Niveau aufhört; das Verwaschene der Zellstruktur ist auch auf der Abbildung zu sehen. Zellveränderungen in den tieferen Schichten haben wir nicht gesehen. Es ist also kaum möglich, daß eine von der Oberfläche durch das tubuläre System der Niere in die Tiefe eindringende Hitze vollkommen isolierte Formveränderungen hätte bewirken können. Ist also die Formveränderung des Harnkanälchenepithels in Abb. 3 doch auf eine Hitzewirkung zurückzuführen, so muß dieser Wärmeeffekt *hier in loco* entstanden sein, Joulesche Wärme, d. h. als Folge des durch das präformierte Röhrensystem der Niere hierzu weitergeleiteten elektrischen Stromes; letzten Endes ist also die Ausziehung der Harnkanälchenepithelzellen doch auf eine *Stromwirkung* zurückzuführen. Die streng lineare Anordnung der ausgezogenen Zellen in Abb. 3 vermag auch für eine elektromechanische Wirkung zu sprechen, um so mehr, da die ganze Veränderung sich nur auf 2—3 Zellreihen beschränkt und inmitten eines vollkommen intakten Parenchyms befindet. Hier müssen wir selbst die Wirkung der Jouleschen Wärme in Frage stellen, denn eine so streng lineare Anordnung der Zellen — die gleichfalls nur in einer ganz bestimmten Richtung gezogen sind — ist mit der nach allen Richtungen strahlenden Wirkung von Joulescher Wärme kaum vereinbar. Auf Grund der früheren Ausführungen können wir übrigens diese Veränderung auch dann für stromspezifisch halten, wenn die Möglichkeit von Joulescher Wärme in Kombination gezogen wird.

Auch das *elektive Verhalten des interstitiellen Bindegewebes* ist uns aufgefallen. In Abb. 1 ist es deutlich zu sehen, wie sich die Stromwirkung von dem Bindegewebsbündel auf die Gefäßwand ausbreitet und sie verändert, wogegen das umgebende Leberparenchym vollkommen

unversehrt geblieben ist, insbesondere frei bleibt von jeglichen Hitzespuren. Für das elektive Verhalten spricht auch der manchmal den *Jellinekschen* Muskelspiralen ähnliche spiralförmige Verlauf, wie auch die von *Schridde* beschriebene „Harmonikaschrumpfung“, weiters die manchmal äußerst feine Auffaserung der einzelnen Bindegewebsbündel. Diese Gestaltsveränderungen sind nicht nur dicht unter der Stromein- oder -austrittsstelle, sondern auch weit in der Tiefe, inmitten intakten Parenchyms, auffindbar.

Wie aus unseren Versuchen hervorgeht, fanden sich in den inneren Organen spezifische Strukturveränderungen sowohl des Parenchyms als auch des Stützgewebes, die als Folge einer reinen Stromwirkung anzusehen sind und sich von den in Kontrollversuchen erzeugten gewöhnlichen Verbrennungserscheinungen genau unterscheiden ließen.

Literaturverzeichnis.

- Beckmann*, Klin. Wschr. **1923**, 743. — *Foerster*, Dtsch. Z. gerichtl. Med. **19**, 293. — *Jaffe*, Arch. of Path. **1929**, H. 7, 244; **1928**, H. 5, 837. — *Jellinek*, Elektrische Verletzungen, Klinik und Histopathologie. Leipzig: Joh. Ambrosius Barth 1932. — *Kawamura*, Virchows Arch. **231**, 571. — *Mieremet*, Klin. Wschr. **1923**, 1362. — *Pietrusky*, Dtsch. Z. gerichtl. Med. **6**, 535. — *Riehl*, Münch. med. Wschr. **1923**. — *Schrader*, Experimentelle Untersuchungen zur Histopathologie elektrischer Hautschädigungen. Jena: Gustav Fischer 1932 — Veröff. Gewerbe- u. Konstit.-path. **33**, H. 8, 1—72. — *Schridde*, Klin. Wschr. **1922** — Handbuch der gesamten Unfallheilkunde. **1**, 116. — *Schridde-Beckmann*, Virchows Arch. **252**, 744. — *Strassmann*, G., Dtsch. Z. gerichtl. Med. **9**, 699. — *Weimann*, Dtsch. Z. gerichtl. Med. **9**, 587 — Virchows Arch. **264**.