

cilium-sheath through which runs a spiral fibril of $25\text{ m}\mu$ clock-wise. The cilium sheath continues into the ectoplasm as a cilium-root. The cilium breaks through a pellicle aperture into the plasm and shows 8—10 radiate tonofibrils. It should be observed that the structure of the cilia agrees in principle with that of the flagella and the spermium tail.

3. The "Silberlinien" of KLEIN as $65\text{ m}\mu$ thick fibrils which unite the cilia bases could be verified electron-optically.

The "Nebenkorn" of the cilia and the "Trichocystenkorner" of the trichocysts (as a ring) were also found. Expelled as well as non expelled trichocysts are described.

4. The structure of the ciliate plasm is explained on different detail pictures. Next to the delicate network consisting of $40\text{ m}\mu$ thick threads, there are coarse plasm inclusions up to $1\text{ }\mu$. The ecto- and endoplasm of *Opalina* are described, also the relatively uniform basic structure of the macronucleus. Thanks to the small thickness of the sections and the higher magnification (against the light-microscope with a factor 10—20) this structural analysis extends over a territory from $25\text{ m}\mu$ up to several microns.

Literatur

Bretschneider L. H., Proc. Ned. Kon. Akad. Wet. Amsterdam, **52** (1949). — Derselbe, Proc. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam, **52** (1949). — Derselbe, Mikroskopie **5** (1950). — *Brown H. P.*, Ohio J. **45** (1945). — *Callan H. G.*, Nature **163** (1949). — *Gelei J. v.*, Arch. Protok. **82** (1934). — *Jakus M. A.*, J. exper. Zool. **100** (1945). — *Kedrowski B.*, Z. Zellf. **12** (1931), **13** (1931). — *Klein B. M.*, Arch. Protok. **88** (1937). Hierin weitere Literatur. — *Lehmann F. E.* und *Biss R.*, Revue Suisse de Zool. **56** (1949). — *Monné L.*, Experientia. **2** (1946). — *Piekarski G.*, Biol. Zentralbl. **61** (1941). — *Rees C. W.* Univ. Calif. Publ. Zool. **20**, 1922.

HISTOGRAPHIK UND BIOTISCHE ASPEKTE DES ELEKTRISCHEN STROMES

Von STEFAN JELLINEK, Oxford

Mit 7 Abbildungen

Die Mikroskopie des durch ein elektrisches Trauma alterierten und veränderten Gewebes liefert Bilder, die in der klassischen Histopathologie teilweise unbekannt sind. Es zeigen sich Verformungen von Zellen und sonstigen Gewebselementen, die mehr Verwandtschaft mit geometrischen Figuren als mit pathologischen Zellalterationen aufweisen. Andere metamorphotische Umbauvorgänge, wie weiße und schwarze Strommarken der Haut, Verlust der Elastizität der Gewebe usw., sind lauter Befunde, die schon für sich allein etwas über die eigenartigen, bisher unbekannt gebliebenen Wirkungsmechanismen des elektrischen Stromes aussagen.

a) Kriterien der Elektrogenese

Wenn solche ungewöhnliche histologische Bilder als Spuren, als direkte Effekte des elektrischen Stromes zu betrachten sind, ist es naheliegend, die Natur der elektrischen Aktion und — da die physikalische Ursache des Phänomens „Strom“ einstweilen noch dunkel ist — wenigstens die Wirkungsmechanismen des Stromes aus den ebenso eigenartigen wie charakteristischen Veränderungen der lebenden Substanz zu erkunden.

Anhaltspunkte und Wegweiser für diese Aufgabe finden sich in morphologischen Auffälligkeiten. So sind z. B. sphärische und spindelige Zellen oder Zellkerne in geradlinige, stab- bzw. nadelförmige Gebilde oder aber in krummlinige, korkzieherartige Körper umgestaltet und fallen weiter dadurch auf, daß sie von Zeichen einer Hitzewirkung verschont bleiben. Derartige Umformungen treten als rhythmische,

bandartige Spiralen insbesondere im Bereiche der Muskulatur deutlich zutage. Diese Gewebsalterationen sind ein Beweis des elektrischen Energieflusses und Zeichen der Elektrogenese.

Eine weitere Analyse derartiger Zellverformungen vermag nichts anderes als die Einwirkung einer „mechanischen Kraft“ als „causa movens“ anzunehmen, was durch Faradays Lehre und dessen experimentellen Nachweis der dem elektrischen Strome eigenen „mechanical force“ bestätigt wird.

b) »Mechanische Kraft« des elektrischen Stromes und deren Variante

Die mechanische Kraft kommt in diesen Zellverformungen bald als Zug, als Druck oder auch als Verdrehung zum Ausdruck, Ergebnisse, die auch mit den Vorstellungen der klassischen Mechanik im Einklang stehen. Doch gibt es ebenso unter den mikroskopischen Phänomenen, ähnlich wie unter den makroskopischen, z. B. durch Blitzschlag verursachten Spuren, nicht gar so selten Verformungen, die offenkundig durch mechanische Kräfte zustande kommen. So wird beispielsweise der Muskelzellkern in einer Gefäßmedia in viele gleichartige, büschelförmige Einzelglieder zerlegt (Abb. 1).



Abb. 1. Arterienwand, Niere (Kaninchenexperiment, homogene Immersion).

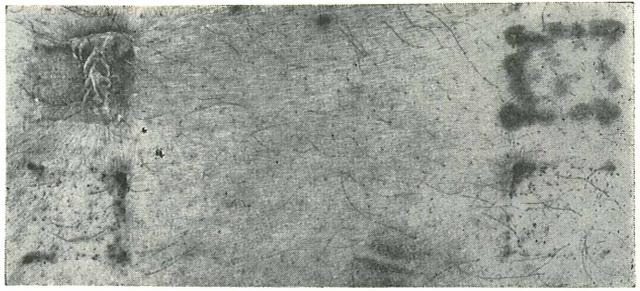
Büschelförmig zerlegte Kerne von Muskelzellen in der Gefäßmedia.

Um in dieses Problem der Kräftewirkung Einblick zu gewinnen, schien es angezeigt, Untersuchungen mit positiven und negativen Elektroden durchzuführen, um so die entsprechenden mechanischen Einflüsse gesondert zu prüfen.

c) Polardifferente Effekte

Diese Versuche ergaben überraschende Resultate, welche nicht nur Erkenntnisse über die Natur der mechanischen Kräfte lieferten, sondern auch zeigten, daß diese Kräfte, gleich den chemischen, bipolare Effekte hervorbringen. Demnach er-

Abb. 2. Obere Marken:
 Links +Elektrode: Gleich-
 mäßiger brauner Fleck.
 Rechts—Elektrode: Mäßig
 verfärbte diskontinuierliche
 punktförmige Stichelung.
 Beide untere Marken:
 Gleichstrom rechts, dis-
 kontinuierlich, punktför-
 mig.



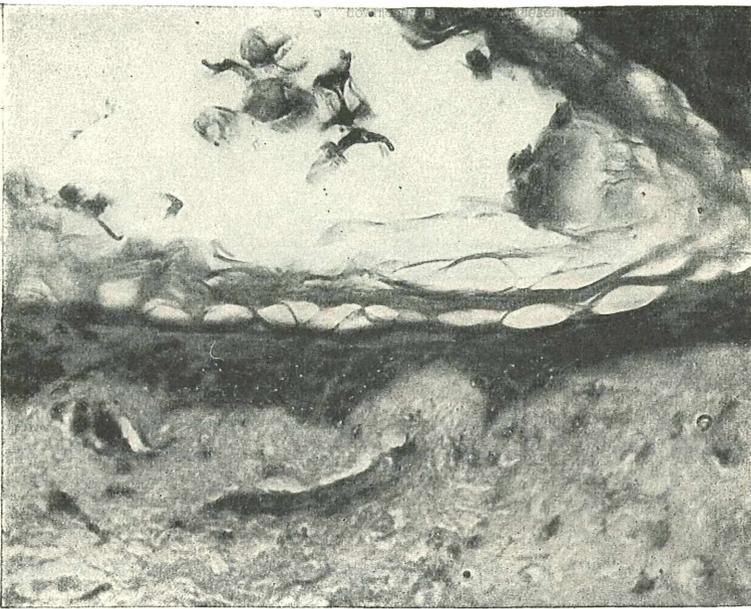
folgt unter der positiven Elektrode eine Verdichtung, unter der negativen eine Auflockerung des Gewebes.

Die Verdichtung zeitigt als Strommarke einen homogenen, graubraunen Hautfleck an der Kontaktstelle mit dem positiven Pol, dagegen eine wie mit Nadeln erzeugte Stichelung an der Kontaktstelle mit dem negativen Pol (Vgl. JELLINEK, Klinik und Histopathologie der elektrischen Verletzungen, 1932, und Abb. 2). Experimente an der Leiche mit viereckigen Metallelektroden und Gleichstrom von 110 V erbrachten an der Haut des Oberschenkels nach Einschaltung des Stromes durch wenige Sekunden dasselbe Resultat.

Das Phänomen der verdichteten Kontinuitätswirkung der positiven Elektrode und das der auflockernden Diskontinuitätswirkung der negativen Elektrode wird auch durch die Unfallspraxis bewiesen. So ist z. B. die Verdichtung in der Zusammenpressung der Hautschichten (Abb. 3), die Auflockerung in einer Lückenbildung, vor allem in der Kutis, zu sehen (Abb. 4). Die Auflockerung organischer Substanz ist bei der Durchlochung eines Baumwollhemdes eines durch Funkenentladung (10.000 V) im Rücken getroffenen Monteurs nachweisbar, wo die Baumwollfasern weder versengt noch verbrannt, wohl aber in zahllose allerfeinste Fäserchen zerlegt wurden.

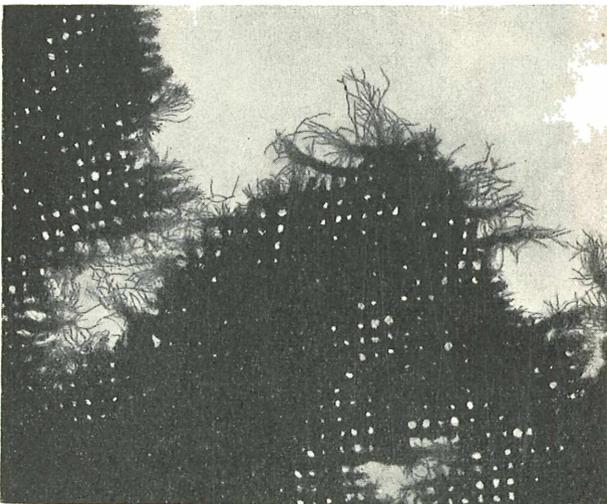


Abb. 3. Haut.
 Verdichtungsphänomen, rechts, äußert sich in Verdunklung der Cutis. Links normale Cutis.



*Abb. 4. Auflockerung und multiple Lückenbildungen vorzugsweise in der Basalzellschicht der Haut unter der negativen Elektrode (Kavitation wie bei Ultraschall).
Strommarken, Leichenhaut, Gleichstrom 110 V, oben. Wechselstrom 110 V unten, Lichtleitung.*

Diese bis an die äußerste Grenze der Wahrnehmbarkeit gehende axiale Aufspaltung und Zerteilung der Baumwollfasern offenbart die bisher unbekannt mechanische Krafteinwirkung auf organische Substrate und erinnert an die Büschelentladungen des Blitzes. In unmittelbarer Nachbarschaft derartiger bis ins feinste aufgesplitteter Baumwollfasern finden sich aber auch solche, die genau das Gegenteil zeigen und wie durch ein Werkzeug, etwa durch eine Schere oder eine Presse, scharf durchtrennt und zusammengedrückt erscheinen, ohne daß Hitzewirkungen zu erkennen wären (Abb. 5).



*Abb. 5. Baumwollhemd, durch Funkenentladung (10.000 V) verändert.
Scharfe Durchtrennung (links) durch Kompression am +Pol. Mächtige Auffaserung am -Pol.*

Der Sinn dieses empirisch und experimentell geprüften Befundes kann geklärt werden, wenn diese Untersuchungen mit den Faradayschen Grundlehren nicht in Widerspruch stehen. Wenn in Faradays Theorem 1503 zu lesen ist „... die Überwucht kann herrühren Teilchen der Luft und des Stickstoffs darin der negative Teil darin ist vielleicht mehr zusammengedrückt, der positive mehr ausgedehnt oder umgekehrt.“, so darf es wohl nach unseren Versuchsergebnissen heißen: Leichenhaut erweist sich unter der positiven Elektrode „mehr zusammengedrückt“ (Phänomen der Verdichtung), unter der negativen Elektrode „mehr ausgedehnt“ (Phänomen der Auflockerung). Im Theorem 1465 lautet es „... bei der Büschelentladung in der Luft an der positiven und negativen Fläche zeigt sich ein sehr auffallender Unterschied, dessen volles Verständnis zweifellos von größter Wichtigkeit für die Elektrizitätslehre sein würde.“

d) Gewebsspezifische Polarisationen bzw. Reaktionen

Die mikroskopische Untersuchung einer Strommarke bzw. einer Blitzfigur der Haut zeigt einerseits die Deformierung der Epithelien des Rete Malpighii der Epidermis in geradlinige Stäbe und nadelartige Gebilde, andererseits die Umwandlung der glatten Muskelzellkerne, wie etwa die der Arrectores pillorum, zu krummlinigen korkzieherartig gewundenen Bildungen. Diese gegensätzlichen Alterationen fußen auf der mechanischen Wirkung desselben Stromes und verdanken ihre Entstehung einem „Zwangszustand“, einem „Polarisationszustand“ nach Faraday, der verschiedene Gestaltungsformen zeitigt.

Diese unterschiedliche strombedingte Morphologie, diese „Polarisation“, die Epithel- und Muskelzellen gesetzmäßig zeigen, spricht für eine an die verschiedenen Gewebsarten gebundene Polarisationsform von geradezu spezifischer Prägung. Diese Erkenntnis steht mit der Feststellung Faradays im Einklang, daß „die Polarisationsweise wahrscheinlich in verschiedenen Körpern variiert.“

e) Chemische Farbteste

So wie mit den polaren Folgen der mechanischen Kräfte, verhält es sich auch mit den chemischen Auswirkungen des elektrischen Stromes. Wird z. B. ein 15 cm langes Arterienstück eines frisch geschlachteten Kalbes (Aorta, Arteria carotis) an seinen Enden mit der blanken Messingelektrode eines Lichtstromes von 110 V beschickt und der Strom wenige Sekunden durchgeleitet, so entsteht an der positiven Elektrode eine grüne, an der negativen eine rote Strommarke. Bei einem ebenso behandelten Stück des Nervus vagus vom gleichen Tier ist die positive Strommarke zwar auch eine grüne, doch bleibt eine Farbreaktion unter der negativen Elektrode aus. Diese Phänomene sind anschauliche Belege nicht nur für die offenkundig chemische Verschiedenheit der polaren Gewebsreaktionen, sondern auch für den von den einzelnen Geweben abhängigen andersartigen Ausfall dieser chemischen Auswirkungen.

1) Elektrogene Auflockerung und Lückenbildung im Gewebe

Hier handelt es sich um eine besondere Art von Veränderungen, die sich von den mechanisch und chemisch bedingten Alterationen unterscheiden. Daß es sich um Hitzefolgen handeln könnte, ist wenig wahrscheinlich, da Zeichen von Hitzeeinwirkung und einschlägige Verfärbungen fehlen. Diese Veränderungen gehen mit Gewebsauflockerungen und -aufhellungen einher und gipfeln in Kavitationerscheinungen wie bei Ultraschallwirkung im Gewebe. Sie äußern sich nicht nur in



Abb. 6. ■ Hautschnitt einer elektrischen Strommarke des Oberlides (Margo supraorbitalis) bei einem durch Berührung einer elektrischen Lampe (220 V Wechselstrom) getöteten Mann.

Perinukleäre Vakuolen in verschiedenen Zellen der Epidermis.

perinukleären Vakuolen (Abb. 6), die wie „Lichthöfe“ die Kerne umgeben und sie verdrängen, sondern auch in interstitiellen Lückenbildungen verschiedenster Art und Form. Hier muß an die Entstehung von Gasblasen (CO_2 ?) im Gewebe wie beim Ultraschall gedacht werden oder durch lokale Funkenentladung zustande kommende Hohlraumbildung erwogen werden, die auch durch elektrische Divergenz- und Bauchungserscheinungen (Faraday) verursacht sein könnte.

Diese Alterationen finden sich sowohl in der Haut als auch in den inneren Organen und können bei gehäuftem Auftreten, beispielsweise in Gefäßwänden, zu allerlei bedrohlichen Komplikationen führen: Thrombosen mit Fernembolien, Blutungen usw. (Abb. 7).

Derartige Auflockerungen und Lückenbildungen führen auch im Gehirn zu den eindrucksvollsten morphologischen Elektroschäden. In diesem Zusammenhang sei zum Schlusse an eine Begutachtung von Gehirnschnitten des Wiener Neurohistologen OBERSTEINER aus dem Jahre 1921 verwiesen. Diese Schnitte stammten von einer durch Berührung einer elektrischen Lampe von 220 V Wechselstrom



Abb. 7. Vakuolenbildung Gefäßendothelien.

plötzlich verschiedenen Frau. Der Wortlaut des Gutachtens (Virch. Arch. **231** [1921]) lautete im wesentlichen wie folgt:

„Die privaskulären Lymphräume sind erweitert, auch sonst ist das Gewebe von Lücken durchsetzt; stellenweise sieht man geronnene, in Hämalaun-Eosin schwach rosa gefärbte Massen. Einzelne Achsenzylinder, besonders in der Umgebung des stärker lückigen Gewebes, erscheinen verbreitert.

Die Ganglienzellen sind stellenweise vollständig normal, sowohl in bezug auf den Kern als auf die Tigroidsubstanz; stellenweise ist jedoch der erstere homogen geschrumpft, die Tigroide in eine feinkörnige Masse umgewandelt; letzteres zeigt sich an den großen Zellen der Medulla oblongata.

Die Oliva inferior zeigt solche Veränderungen am ausgesprochensten, besonders bezüglich des Kernes, den man vielfach randständig, die Zellwand vorbauchend, findet.“

Diese damals nicht deutbaren Veränderungen sind für uns heute schon weitaus verständlicher und durch ein ausgiebiges eigenes Vergleichsmaterial als gesetzmäßig erkannt worden. Interessant und bemerkenswert ist, daß der elektrische Strom und der Ultraschall ähnliche Kavitationserscheinungen und Dislazerationsphänome im Gewebe hervorrufen. Auf derartige Kavitationserscheinungen haben erst kürzlich SCHWAB und WYT bei der Ultraschalltagung in Rom (14. bis 18. Juni 1950) hingewiesen. Die beiden Forscher konnten zeigen, daß im Anschluß an durch Ultraschalleinwirkung in der Kaninchenkornea auftretende Trübungen Kavitationen sich einstellen, die durchaus denen gleichen, die durch elektrischen Strom verursacht werden. Auffallend ist ferner, daß diese Trübungen der Hornhaut schon bei makroskopischer Betrachtung an Blitzfiguren erinnern. SCHWAB und WYT glauben, daß diese Eigentümlichkeit durch die Ausbreitung des Ultraschalles entlang der Kornealnervenverzweigungen zustande kommt. Tatsächlich finden sich die Trübungen und Kavitationen an der Hinterfläche der Kornea, dort wo die Nerven einstrahlen. Merkwürdigerweise entstehen in Analogie hiezu die Kavitationen durch Starkstromeinwirkung vorzugsweise in der Basalschicht der Epidermis. Vielleicht werden sich in nächster Zukunft noch andere Übereinstimmungen zwischen der Wirkungsweise des elektrischen Stromes und des Ultraschalles auf Gewebe des tierischen und menschlichen Körpers aufdecken lassen.

Zusammenfassung

1. Kurzer Überblick über die „spezifische Relation von elektrischen Kräften und den Teilchen der Materie“ (Faraday), die eine „richtige Vorstellung von dem großen Naturprinzip der elektrischen Wirkung“ (Faraday) geben. Es werden die mechanischen und chemischen Stromeinflüsse, insbesondere auch bezüglich der Polaritätswirkung, aufgezeigt.

2. Hinweis auf die eigentümlichen elektrogenen Auflockerungserscheinungen im Gewebe. Dabei wird die Ähnlichkeit der Kavitations- und Dislazerationsphänome von elektrischer und Ultraschallwirkung hervorgehoben.

Summary

1. A short survey of the “specific relation of electrical forces and particles of matter” (Faraday) which “supply the most advantageous road to a true and intimate understanding of the nature of electric forces” (Faraday § 1618). The mechanical and chemical effects of the electric current are described, particularly with reference to polarity.

2. The peculiar electrogenous rarefactions in tissues are stressed, and the similarity of the cavitation and dislaceration phenomena in electrical and ultra-sonic effects emphasized.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mikroskopie - Zentralblatt für Mikroskopische Forschung und Methodik](#)

Jahr/Year: 1950

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Jellinek Stefan

Artikel/Article: [Histographik und biotische Aspekte des elektrischen Stromes. 269-275](#)