

(Aus dem Institut für Elektropathologie der Universität Wien.)

Spezifisch elektrische Zellveränderungen in geometrischer Gestaltung.

Von

Prof. Dr. Stefan Jellinek.

Mit 14 Abbildungen im Text.

(Eingegangen am 19. Mai 1937.)

Schon die ätiologische Betrachtungsweise führt zur Annahme, daß den durch Elektrizität verursachten Veränderungen und Verletzungen eine ganz besondere Charakteristik anhaften müsse. In der Tat haben sowohl die anatomische Beschaffenheit als auch das klinische Verhalten der durch atmosphärische und technische Elektrizität verursachten Hautveränderungen und sonstigen Traumen uns mit Bildern und Prozessen vertraut gemacht, die bisher nicht ihresgleichen in der Pathologie hatten: Die eigenartige Formenbildung einer solchen Hautveränderung, ihre scharf definierte Abgrenzung gegen das Gesunde, ihre Konsistenz, das Fehlen von Zeichen einer eigentlichen Gewebszerstörung — dazu bei überlebenden Opfern das Fehlen jeglicher Reaktion, Schmerzlosigkeit, Resistenz gegen Sekundärinfektionen, nach Latenzstadium einsetzende große Heilungstendenz usw. — sind durchaus Auffälligkeiten, welche eine besondere Klassifizierung der spezifisch-elektrischen Gewebsveränderungen als gerechtfertigt erscheinen lassen.

Die spezifisch-elektrischen Gewebsveränderungen präsentieren sich allerdings nicht immer in ihrer voll ausgebildeten *Urform*, welche den Stempel eines *mechanistischen Prozesses* verrät; nur zu oft wird die reine Primärwirkung der Elektrizität von Wärme, der wohl nicht immer feststellbaren, aber steten Begleiterin der elektrischen Energie, mitbeeinflußt, manchmal derart stark, daß der Wärmeeffekt im Vordergrund steht und das Bild beherrscht; deshalb ließen sich viele Ärzte verleiten, im calorischen Effekt das Um und Auf der elektrischen Energiewirkung zu erblicken und sprachen kurzweg nur von elektrischen Verbrennungen.

Die strenge Unterscheidung aber zwischen der *Primärwirkung* der Elektrizität, d. h. den spezifisch-elektrischen Gewebsveränderungen, einerseits, und den *Sekundärwirkungen*, d. i. den elektrischen Verbrennungen, den Mischformen und anderen auch aus der elektrochemischen Komponente hervorgegangenen Varianten andererseits, hat sich für den Forschungsgang erfolgreich erwiesen: Diese kritische Betrachtungsweise war der Ausgangspunkt für die Elektropathologie und in weiterer Folge auch maßgebend für eine neue elektrophysikalische Forschungsrichtung, für die Fundierung der Spurenkunde der Elektrizität.

Auf dieser Erkenntnis wurde auch ein *neues Heilverfahren* aufgebaut und die früher allgemein geübte Amputation von strombeschädigten Extremitäten und andere verstümmelnde Eingriffe wurden als überflüssig und schädlich erkannt.

Schon die makroskopische Betrachtung einer solchen frischen Hautverletzung (Abb. 1) zeigt eine ungewöhnliche, seltsame Veränderung der Haut, für deren Entstehung nur eine streng gesetzmäßige, mechanistische Aktion in Anspruch genommen werden kann; ist die Stelle schon auf den ersten Blick durch ihre elliptische Form und scharfe Begrenzung auffällig, so verrät sie weiter ihre Eigenart durch eine Pres-

sung wie mit einer Stanze ausgeübt. Die weiteren Einzelheiten dieser spezifisch-elektrischen Hautveränderung dieser elektrischen Strommarke zeigt eine mikroskopische Untersuchung: In Übereinstimmung mit dem makroskopischen Befund ist die Haut stark verdünnt, ihre Schichten, vom Oberhäutchen bis zur Unterhaut, eng aneinandergepreßt und gleich „geologischen Schichten“ parallel verlaufend, ihr Tinktionsvermögen wohl herabgesetzt, doch vorhanden, nur die Bindegewebskerne undeutlich geworden; die Oberhaut ist erhalten, sie ist nicht vaku-

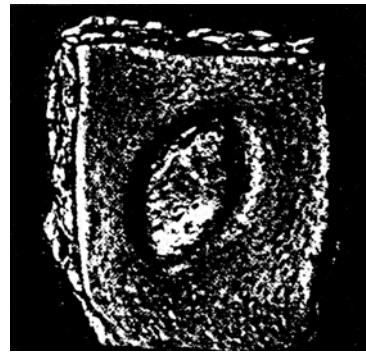


Abb. 1. Elektrische Strommarke, elliptisch gestaltet, scharf begrenzt. Rückenhaut (1 : 1).

liert und zeigt auch sonst keine Zeichen und Zerstörungen wie sie bei Hitzewirkungen vorkommen. Die Charakteristik dieser Elektrizitätsspur ist um so beachtenswerter, weil sie nicht durch Berührung mit einem ähnlich gestalteten Leiter, sondern durch Funkenüberschlag bzw. Lichtbogen (Entladung eines 10 000 Volt-Transformators gegen den Rücken des Wicklermeisters Eduard L.) zustande kam.

Unter solchen *grob-anatomischen Befunden*, welche für die Eigenart der spezifisch-elektrischen Veränderungen zu zeugen imstande sind, sollen nur noch die *Röntgenaufnahmen* von elektrisch beschädigten *Knochen* erwähnt werden: Auf solchen Bildern sucht man in der Regel vergebens nach dem Schatten des Knochencallus bei Abstoßung und Heilung auch eines ansehnlichen Knochensequesters, sei es eines Röhrenknochens oder der Schädelkapsel. Trotzdem das Regenerat im Röntgenbild nicht aufscheint, ist der Heilerfolg in der Regel als ein befriedigender zu bezeichnen.

Lieferten schon die groben pathologisch-anatomischen Feststellungen ein verlässliches Substrat für die Eigenart der elektrischen Verletzungen, so wurde diese Auffassung noch mehr vertieft durch die Ergebnisse

histologischer Untersuchungen, über welche wir zuerst in diesem Archiv¹ und dann ausführlich in unserer Monographie² zu berichten Gelegenheit hatten.

So wie die grob-anatomischen Gewebsveränderungen, die Organmorphologie, durch eine Eigenart und Vielgestaltigkeit (spezifische Polymorphie) ausgezeichnet sind, ebenso nimmt auch die *elektrische Zellmorphologie* durch *Form- und Volumenveränderungen* eine Sonderstellung ein: Es sind auffallende geometrische Formationen, regelmäßig gestaltete Spiralen und Schraubenformen, daneben auch manchmal stabförmige Gebilde, wie sich die veränderten Zellen bzw. deren Kerne darbieten; dabei ist ihr Tinktionsvermögen und sonstige Beschaffenheit der Norm entsprechend.

Der Intensitätsgrad der Zellverformung und ihre ausgesprochen geometrische Signatur (strenge „Gerade“ oder „Spirale“ von mitunter auffälliger Regelmäßigkeit) sprechen von vorneherein zugunsten der Auffassung, daß es sich um mehr als bloße Effekte der elektrischen Kontraktilität der Zelle, d. h. ihres aktiven Gewebes handelt, vielleicht etwa nur um erstarrte Kontraktionen, um extreme Kontrakturen oder aber um Wechselwirkungen zwischen elektrisch reizbarem Material und nichtkontraktilen Gewebe der Zelle: bei der Deutung dieser ganz eigenartigen Zellverformungen müssen wir auf mehr als auf den einfachen, aus der Physiologie bekannten Reiz der elektrischen Energie zurückgreifen, nämlich auf den Stoß, auf den *Schlag*, auf den nach bestimmten Kraftlinien, in Kraftfeldern erfolgenden Energiesturz, welcher die Zelle durchrast, sie fortreißt und modelt bzw. in ihr abgebremsst wird.

Die Frage der elektrischen Dynamik gehört wohl nicht zum Thema und soll deshalb hier nicht weiter erörtert werden: doch die Auffassung, daß es die elektrische Dynamik ist, von der diese eigenartige Zellmorphologie ihr Gepräge bekommt, findet ihre Stütze darin, daß *strom- und blitzgetroffene Materialien* organischer und *anorganischer Natur* auch des Makrokosmos — makroskopische Naturfunde — ganz die gleichen Verformungen von ebensolcher *geometrischer Charakteristik* und *strenger Gesetzmäßigkeit* aufweisen: Die mikroskopische Spiralenform des Zellkernes einer stromgetroffenen Gefäßwand unterscheidet sich rein morphologisch in nichts von der Spiralen- bzw. Schraubenzieherform des vom Blitz beschädigten *Kupferdrahtes* eines Blitzableiters oder von der durch Hochspannungsentladung künstlich erzeugten Blitzröhre (Fulgurit) aus *Quarzsand*!

Diese Übereinstimmung, besser gesagt, diese *Einheitlichkeit in der Erscheinung* der makroskopischen und mikroskopischen Veränderungen, d. h. ihrer *Formen*, betrifft auch noch eine andere Veränderung, nämlich

¹ Jellinek, Stefan: Virchows Arch. 170 (1902). — ² Jellinek, Stefan: Klinik und Histopathologie der elektrischen Verletzungen. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1932.

die des *Volumens* der *Organe* und der einzelnen *Zellen*. Auch hier liefert die grob-anatomische Betrachtung die Vorbilder: Einmal ist die von atmosphärischer oder technischer Elektrizität veränderte Hautstelle (vgl. Abb. 1) wohl dünner geworden und hat eine steife, pergamentartige Beschaffenheit gewonnen und ihre Innenstruktur zeigt alle *Zeichen der Verdichtung*; ein anderes Mal ist eine solche Stelle von ganz anderer Beschaffenheit, ihr Volumen hat stark zugenommen, sie wäre, grobmorphologisch betrachtet, einem Infiltrat vergleichbar, und ihre Struktur zeigt *Zeichen der Auflockerung*.

Die beiden grob-anatomischen Elektrizitätseffekte haben, wie Abb. 13 und 14 zeigen, ihr Korrelat in der Histologie. Wenn es auch durch einen einfachen Versuch an der Leiche gelingt, einer Hautstelle durch Auflegen einer blanken, ebenen, glatten und mit dem Pluspol (Gleichstrom 110 Volt Spannung) verbundenen Metallelektrode innerhalb von Sekunden das Phänomen der Verdichtung, der anderen Hautstelle dagegen, an der ein ebenso beschaffener Minuspol angelegt war, das Phänomen der Auflockerung zu verleihen, so stößt die Erklärung gerade dieser Veränderungen auf besondere Schwierigkeiten; doch hier sollte nur die Aufmerksamkeit auf die Notwendigkeit einer gesonderten Betrachtungsweise auch dieser spezifisch-elektrischen Veränderungen der Zelle und besonders ihres Kernmaterials gelenkt werden. Besonders reizvoll sind die Auflockerungen, Zerkfaserungen der Kerne in der Gefäßwand der Niere (vgl. Abb. 14), welche an Zerspannung von Holz gemahnen, dessen derbe Struktur manchmal durch Blitzschlag wohl eine scheinbar unregelmäßige, dabei aber ganz seltsame Hyperfeinstruktur bekommt.

Die nachstehenden Untersuchungen befassen sich zum Teil mit den Veränderungen in der menschlichen Haut und ihrer Gebilde, das *Hauptaugenmerk* aber wurde den *Zellveränderungen in der Gefäßwand* gewidmet. Schon in einer früheren Arbeit haben wir auf das Schraubenmotiv an stromgetroffenen Muskelfasern aufmerksam gemacht und die „*Muskelspiralen*“ als pathognomonische Elektrizitätswirkung hingestellt. Dem Dozenten Dr. P. Huber¹ ist es gelungen, im Tierversuch, und zwar durch Einwirkung von Gleichstrom (30 mA durch 1½ Min.) direkt auf das Mesenterium eines Kaninchens eine Gefäßwandveränderung zu erzeugen, welche dadurch charakterisiert war, daß die Kerne der Media wie Spiralen und Spirillen gedreht erschienen. Bei der Durchsicht sowohl alter als auch frisch angefertigter Präparate, die von elektrischen Unglücksfällen stammten, gelang es uns, ebenso gestaltete Kernveränderungen nachzuweisen. Diese spiralenförmig bzw. schraubenförmig gestalteten Kernveränderungen finden sich sowohl in Arterien wie in Venen und Präcapillaren, manchmal in der Mehrzahl nebeneinander, manchmal nur als Einzelform. Die geometrisch gestalteten Verformungen der Zellkerne der Gefäßwand sind dieselben, gleichviel ob es

¹ Huber, P.: Mitt. Grenzgeb. Med. u. Chir. 44 (1936).

sich um ein Opfer der Niederspannung oder ein solches der Hochspannung handelt. Es verdient besonders vermerkt zu werden, daß diese spezifische Zellmorphologie die gleiche ist, auch wenn sie durch Blitzschlag verursacht wurde, was durch 2 Fälle unserer Untersuchungsreihe erwiesen erscheint.

Die mikroskopischen Präparate stammen von 6 Personen, welche durch elektrischen Strom, von 2 Personen, welche durch Blitzschlag verletzt wurden. Die Blitzverletzten waren am Leben geblieben. Gewebssproben wurden in einem Fall 6 Stunden nach dem Blitzschlag, in dem anderen Falle erst 3 Jahre (!) später der Haut der Extremität zwecks Untersuchung entnommen.

Von den 6 elektrischen Unfällen sind 3 dem Trauma sofort erlegen; das Untersuchungsmaterial wurde anlässlich der Obduktion excidiert; das 4. Opfer starb 3 Tage nach dem Unfall. Beim 5. Unfallsopfer, welches das Trauma zu überleben imstande war, wurde 18 Stunden post trauma die verletzte Extremität wegen Indicatio vitalis abgetragen; zur histologischen Untersuchung wurde ein Stück aus der Arteria ulnaris, in welcher sich ein wandständiger Thrombus etabliert hatte, excidiert. Das 6. Präparat dieser Reihe stammt von einem Unfallopfer, welches das elektrische Trauma wohl zu überleben imstande war, 5 Jahre später jedoch einer Diphtherieinfektion erlag; untersucht wurde die anlässlich des Unfalls dauernd unversehrt gebliebene Haut und Unterhautzellgewebe, d. i. aus dem gesunden Bereich in unmittelbarer Nachbarschaft der Narbe der seinerzeitigen Verletzung.

Es verdient vermerkt zu werden, daß die geometrisch gestalteten Verformungen der Zellkerne der Gefäßwand bei allen diesen (6) Starkstrom- und den 2 Blitzschlagverletzungen eine auffallende Übereinstimmung, fast könnte man sagen Kongruenz, aufweisen; dies ist um so auffällender, weil es sich um ein Untersuchungsmaterial handelt aus verschiedenen Phasen des Lebens nach dem Unfall: Spiralige Verformungen der Gefäßwandkerne fanden sich nicht bloß in ganz frischen Fällen, sondern auch bei Überlebenden, denen erst Jahre nach dem Unfall Gewebsstücke zur histologischen Untersuchung entnommen wurden. Ein gewisser Unterschied scheint jedoch darin zu bestehen, daß die spiraligen Verformungen der *frischen* Fälle fast immer von einem Hof (Spatium) umrahmt sind, daß dagegen die Spiralen der *alten* Fälle einen solchen „Hof“ vermissen lassen.

Dieses von Unfällen herrührende Untersuchungsmaterial wurde ergänzt durch Präparate, die im *Tierversuch*, und zwar durch Einwirkung von Hochfrequenz gewonnen wurden: Kaninchen wurden chloroformiert, laparotomiert und thorakotomiert und dann Gewebsstücke mit *Hochfrequenzmesser* aus Lunge, Herz, Leber und Niere excidiert, in Formalin fixiert und in gewöhnlicher Weise präpariert. Untersucht wurde nicht

das im Bereiche des Schnittes liegende Gewebe, sondern das nachbarliche, vom Hochfrequenzmesser unberührt gebliebene Gewebe.

Wie die nachstehenden Untersuchungsergebnisse zeigen, befinden sich die tierexperimentellen (Hochfrequenz mit Funkenstrecke) Veränderungen in voller Übereinstimmung mit den Befunden bei Menschen. Es sei nochmals vermerkt, daß diese experimentell gewonnenen Zellveränderungen sich nicht im Bereiche der Schnittführung, deren Histologie von namhaften Elektrochirurgen bearbeitet wurde, sondern in der Nachbarschaft, und zwar innerhalb des scheinbar unversehrt gebliebenen Gewebes fanden.

Alle Präparate sind Paraffinschnitte, Hämalaun-Eosin gefärbt und dann als Mikrophotographien aufgenommen; die Vergrößerung findet sich bei jedem Bild verzeichnet. Dem Einteilungsprinzip folgend sind von dem einen oder anderen Falle Bilder in zwei verschiedenen Gruppen eingereiht.

Als Einteilungsprinzip gilt das morphologische Element, und zwar in der Weise, daß in der ersten Hauptgruppe, welche die Hauptmasse der Bilder umfaßt, die vorwiegend eine Spiralenformation aufweisenden Zellveränderungen zusammengefaßt sind.

Die *erste* Hauptgruppe ist unterteilt in 2 Abteilungen, und zwar in eine mit unicellularen *Verformungen* und in eine andere mit multicellularen Verformungen, d. i. mit solchen, wo die verformten, fast nur Linienmaß aufweisenden Zellen nicht einzeln, sondern in ganzen Haufen und Büscheln derart nach bestimmter Richtung hin orientiert und „gerichtet“ sind, daß sie die Vorstellung elektrischer Kraftfelder zu vermitteln imstande sind.

Die *zweite* Hauptgruppe betrifft nicht die Veränderung der Form, sondern die *Veränderung des Volumens* der Zelle und betrifft 2 Präparate, in denen mikroskopische Zellveränderungen in vorerwähntem Sinne von Verdichtung und Auflockerung gezeigt werden.

A. Zellverformungen in regelmäßiger, geometrischer Gestaltung. (Unicelluläre Spiralenbildung.)

Die nachfolgenden Bilder, und zwar Abb. 2—6, stammen von 6 elektrischen Unfallsopfern und von 2 Blitzverletzten und stellen — mit Ausnahme von Abb. 6 — spezifische Veränderungen der Zellen und Kerne der *Gefäßwand* (Arterien und Venen) dar. Die Veränderung besteht in allen diesen Fällen darin, daß der Zellkern eine spiralenförmige, mitunter schraubenförmige Verformung aufweist. Die Präparate entstammen dem Unterhautzellgewebe, und zwar jener Stelle, wo die Haut Strommarken oder andere echte elektrische Verletzungen aufwies; nur Abb. 4 ist ein Schnitt aus der Arteria tibialis.

Abb. 6 ist das einzige Bild dieser Reihe, welches die charakteristischen Veränderungen nicht in einer Gefäßwand, sondern in der glatten Muskulatur (Arrectores pilorum) aufweist. Abb. 7 und 8 sind experimentell (Hochfrequenzmesser) gewonnene Präparate und zeichnen sich dadurch aus, daß die Kerne der Media mit einer besonders auffälligen Spiralenbildung behaftet sind.

Abb. 2 ist ein Längsschnitt durch eine Arterie im Unterhautzellgewebe der Daumenhaut, und zwar jener Stelle, wo sich eine typische



Abb. 2. Längsschnitt einer Hautarterie unterhalb einer am Daumen befindlichen Strommarke. Ein Mediakern (mitten im Bild) spiralförmig verformt. Mikrophotogramm 765×1 .

Strommarke befand. Sie stammt von dem 15jährigen Lehrling Otto Sch., der am 18. 9. 35 durch Berührung einer

Wechselstromleitung von 220 Volt Spannung tödlich verunglückte. Beiläufig in der Mitte des Bildes, und zwar mehr nach links, sieht man ein spiralförmiges Gebilde von besonderer Deutlichkeit; es ist ein verformter Mediakern der Arterienwand.

Ähnliche Veränderungen zeigte der Durchschnitt von Venen aus dem subcutanen Gewebe der rechten Augenbraue, auf der sich durch Stromübergang

(Wechselstrom 220 Volt Spannung) eine elektromechanische Verletzung fand; sie stammte von dem 63jährigen Josef K., welcher am 2. September 1936 tödlich verunglückte.

Abb. 3 ist der Längsschnitt eines solchen Gefäßes der Augenbraue dieses tödlich verunglückten Josef K. Die im inneren Winkel der — und zwar in der Mitte des Bildes befindlichen — Gefäßkrümmung vorhandene Endothelzelle ist durch eine besonders schöne spiralförmige Drehung ausgezeichnet. Bei Betrachtung dieser Zellverformung mittels Immersion gewinnt man den Eindruck, als ob die linke und rechte Hälfte — die beiden Enden dieses schraubenförmigen Gebildes — dieser verformten Zelle aus gegenläufigen Gewinden, d. i. aus einer linksgängigen und rechtsgängigen Schraube zusammengesetzt wären. Auch diese sehr beachtenswerte regelmäßige geometrische Gestaltung hat ihre deutliche Vorbilder in großen Elektrizitätsspielen aus Natur und Technik.

Dieselbe spiralige Verformung der Gefäßwandkerne, wie sie bei den vorstehenden, durch *Niederspannung* verursachten plötzlichen Todesfällen in Erscheinung getreten war, zeigte sich auch bei einem durch *Hochspannung* hervorgerufenen plötzlichen Todesfall: Eine Arterienwand aus dem Unterhautzellgewebe der Rückenhaut, und zwar jener Stelle, die von einer Funkenentladung eines 10 000 Volt-Transformators getroffen worden war und dadurch eine elliptisch gestaltete, scharf definierte Strommarke (vgl. Abb. 1) davongetragen hatte (Wicklermeister Eduard L., gest. 17. 3. 1905, Energietransformator, 10 000 Volt Spannung), bot eine auffällige, spiralige Verformung eines Kernes der Mediawand mit angedeuteter Hofbildung dar.

Vom Standpunkte der Beurteilung des Entstehungsvorganges dieser spiraligen Verformung der Gefäßwandkerne und ihrer Zustandsbilder erscheint es von Belang, darauf hinzuweisen, daß sie sich vorfindet im Bereiche von Lokalläsio-



Abb. 3. Längsschnitt einer Hautvene unterhalb einer in der Augenbraue befindlichen elektromechanischen Verletzung: spiralig verformte Endothelzelle von besonderer Regelmäßigkeit. Vergrößertes Mikrophotogramm einer Aufnahme 900 \times 1.

nen der Opfer, die dem elektrischen Trauma sofort und plötzlich erlagen, aber auch bei Opfern, die erst später (nach 3 Tagen) starben oder am Leben blieben und zu einem operativen Eingriff (*indicatio vitalis*) — und damit auch zu einer histologischen Untersuchung — Anlaß gaben. Die Befunde bei beiden nachstehenden Unfällen sind um so beachtenswerter, weil sich die Gefäßwandveränderungen nicht im unmittelbaren Bereiche der Lokalläsionen, sondern in ansehnlicher Entfernung davon zeigten. Bei dem tödlichen Unfall (Franz D.) war die Lokalläsion (Immediatnekrose) an der Fußsohle, die Veränderung in der Arteria tibialis postica, beim überlebenden Unfall (Franz E.) war die Lokalläsion (Strommarke) in der rechten Hohlhand, die Veränderung in der Arteria ulnaris.

Abb. 4 zeigt spiralförmige Verformungen mehrerer Mediakerne der Arteria tibialis des 38jähr. Franz D., der am 1. 11. 25 durch Stromübergang aus einer 28000-Volt-Anlage (Wechselstrom) auf der rechten Fußsohle eine schwere Lokalläsion mit Immediatnekrose des Fußes und des distalen Endes des Unterschenkels davontrug. Der Tod trat erst am 4. 11. 25 ein. Die spiralenförmigen Drehungen der Mediakerne treten an



Abb. 4. Wandquerschnitt aus A. tibialis. Mehrere Mediakerne mit spiralförmiger Verformung. Mikrophotogramm 196 × 1.

vielen Stellen (namentlich am rechten unteren Anteil des Bildes) mit besonderer Deutlichkeit hervor.

Ähnliche Verformungen fanden sich in den Mediakernen der Arteria ulnaris bei dem 59jähr. Franz E., welcher am 22. 6. 25 schwer verunglückte, als er mit seiner rechten Hand an die Sammelschiene einer Wechselstromanlage von 25 000 Volt Spannung geriet; die Lokalläsion bestand in einer Strommarke der Hohlhand, keine Laesio continui! Am Hinterhaupt, welches ein eisernes Gerüst berührt und dadurch Erdschluß vermittelt hatte, befand sich die schwerere Lokalläsion als elektrische Mischform (elektromechanische Verletzung und Brandwunde). Der Mann wurde durch künstliche Atmung wiederbelebt. Einige Stunden nach dem

Ereignis befand sich der Verunglückte relativ wohl, als sich plötzlich Schüttelfrost, hohes Fieber, bedrohliche Erscheinungen seitens der lebenswichtigen Organe einstellten. Da gleichzeitig heftige Schmerzen in der rechten Hand und Unterarm auftraten und auch der Puls daselbst unfühlbar wurde, mußte die Extremität wegen *Indicatio vitalis 18 Stunden nach dem Unfall* abgetragen werden. Die *Indicatio vitalis* bestand, wie erwähnt, darin, daß sich einige Stunden nach dem Unfall Schüttelfröste mit nachfolgendem hohem Fieber, sepiabrauner Harn (Hämoglobininurie), Bewußtlosigkeit und bedrohliche Erscheinungen seitens der Herz- und Atemtätigkeit einstellten. Die äußerlich relativ schwach, und zwar nur im Handteller (Strommarke) beschädigte Extremität erschien als Quellgebiet des bedrohlichen Zustandes, der auch nach der Amputation innerhalb weniger Stunden sich restlos zurückbildete. In der Arteria radialis und ulnaris fanden sich frische, wandständige Thrombosen. Die histologische Untersuchung der Arteria ulnaris zeigte einzelne Mediakerne spiralig verformt.

Nachdauernde Gefäßwandveränderungen, in späteren Phasen des Lebens an den Opfern festgestellt.

Daß die charakteristischen Zellverformungen bei frischen Fällen auch noch Stunden und Tage nach dem Unfall unverändert bestehen bleiben, erscheint noch plausibel; daß sich aber derlei Zellveränderungen der Gefäßwand bei überlebenden Opfern noch nach Jahren, wie die nachfolgenden 2 Fälle zeigen, vorfanden, das muß vorläufig als unerwartet vermerkt werden.

Im ersten Falle handelt es sich um eine 5 Jahre alte Gefäßwandveränderung, und zwar einer *subcutanen Hautvene* aus dem unversehrt gebliebenen Gewebe in unmittelbarer Nachbarschaft einer Hautnarbe, welche sich an der Stelle einer schweren Lokalläsion des Ellbogens gebildet hatte. Das Präparat stammt vom 24jähr. Ingenieur Paul von E., welcher am 19. 11. 25 durch eine Entladung eines Energietransformators (55 000 Volt Spannung) schwer verunglückte. Das schwerbeschädigte und der Hälfte seiner Kapsel und Bänder beraubte Ellbogengelenk heilte vollständig, ohne daß es zur Ankylose und irgendwie ernsteren Beeinträchtigung der Bewegungsfähigkeit gekommen wäre. Ingenieur von E. ist 5 Jahre nach dem Unfall einer Diphtherieinfektion erlegen. Eine anlässlich der Obduktion ausgeführte Excision eines Hautstückchens aus der Umgebung der ehemaligen Wundstelle gibt die charakteristische Verformung einer Gefäßwandzelle zu erkennen.

Im zweiten Falle handelt es sich um eine 3 Jahre alte Gefäßwandveränderung nach Blitzschlag, die besonders eindrucksvoll ist (Abb. 5): Querschnitt einer Arterie aus der Wade eines 8jähr. Mädchens, welchem der mit schweren trophischen Störungen behaftete Unterschenkel amputiert wurde; die Wachstums- und Ernährungsstörungen waren seit einem

Blitzschlage, von welchem das Bein 3 Jahre vorher getroffen worden war, in Erscheinung getreten. Die geometrisch gestalteten Verformungen der Gefäßwandkerne treten mit besonderer Deutlichkeit zutage.

Es verdient Beachtung, wie schon eingangs erwähnt, daß die in diesem und im vorhergehenden Falle festgestellten Zellverformungen nicht als frische Wirkungen der technischen und atmosphärischen Elektrizität anzusehen sind, da beide Opfer das elektrische Trauma

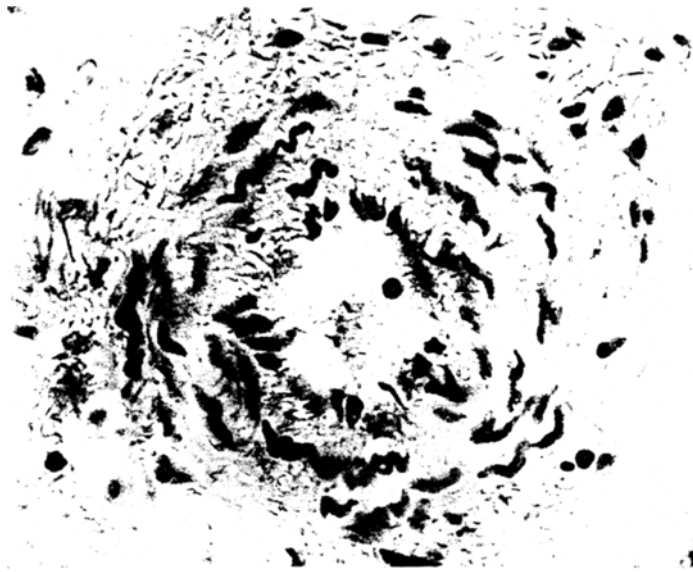


Abb. 5. Querschnitt einer Hautarterie eines nach *Blitzschlag* mit schweren trophischen Störungen behafteten Unterschenkels. Zahlreiche Mediakerne besonders auffällig deformiert. Präparat erst 3 Jahre nach dem Blitzschlag aus dem lebenden Organ gewonnen. Mikrophotogramm 765 \times 1.

schon 5 bzw. 3 Jahre früher erlitten hatten, als durch Tod bzw. operativen Eingriff Gelegenheit zur Excision und Untersuchung gegeben war. (Mikroskopische Präparate des letztgenannten Falles wurden mir von einem schwedischen Kollegen aus Stockholm in freundlicher Weise zur Verfügung gestellt; eines dieser Präparate gibt auch die elektrische Muskelspirale in besonders schön ausgeprägter Form zu erkennen.)

Abb. 6 gehört morphologisch in die erste Hauptgruppe, nur handelt es sich nicht um eine Gefäßwandveränderung, sondern um Verformungen der Kerne der glatten Muskelfasern der *Arrectores pilorum*, und zwar der Haut des Unterarmes, auf welcher sich eine Blitzfigur etabliert hatte. Die 35jähr. Frau K. R. erlitt am 28. 4. 33 in Aspern bei Wien einen Blitzschlag und trug dabei charakteristische Blitzfiguren am Gefäß und linken Unterarm davon. Unter Leitungsanästhesie wurde ein mit

Blitzfiguren behaftetes Hautstückchen excidiert und untersucht. Außer den in der Epidermis befindlichen Auflockerungen der Zellen, intracellularen Vakuolen, pyknotischen Kernen und nadelförmig veränderten Basalzellen des Rete Malpighii (ähnlich wie sie bei den Strommarken vorkommen) ist das Bild besonders dadurch charakterisiert, daß die meisten



Abb. 6. Hantschnitt aus dem Bereich einer *Blitzfigur* auf Beugeseite des Unterarmes.
Die Kerne der glatten Muskelfasern spiralig verformt und von „Hof“ umgeben.
Mikrophotogramm 225×1 .

Kerne der glatten Muskulatur in schöne, *spiralenförmige* Gebilde umgewandelt sind. Es verdient weiter Beachtung, daß viele dieser Zellverformungen den Eindruck hervorrufen, daß jede einzelne Spirale von einem *freien Raum* („Hof“) umgeben ist.

Experimentelle Befunde.

Mit Rücksicht auf die vielfache therapeutische Anwendung der Hochfrequenz im allgemeinen und des elektrischen Messers im besonderen erschien es angezeigt, aus den Innenorganen von Tieren mittels Hoch-

frequenzmessers entnommene Probestücke einer histologischen Untersuchung zu unterziehen. Die charakteristischen Zellveränderungen fanden sich nicht „im“ Hochfrequenzschnitt, sondern in dessen Nachbarschaft, in dem scheinbar unversehrt gebliebenen Gewebe.

Abb. 7 ist der Querschnitt einer kleinen Lungenarterie eines Kaninchens, welches in Chloroformnarkose mit elektrischem Hochfrequenzmesser (Apparat mit Funkenstrecke) operiert wurde; es wurde zwecks

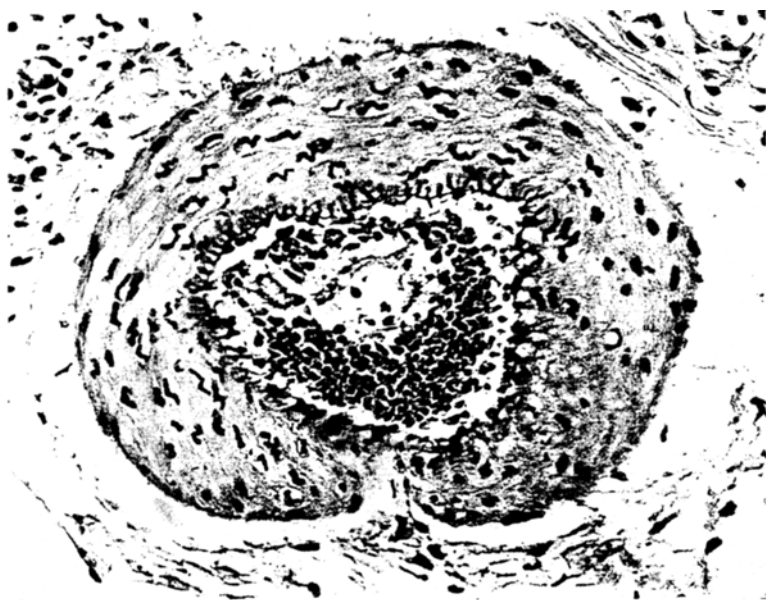


Abb. 7. Querschnitt einer Arterie in Kaninchenlunge; Mediakern spiralig verformt, rings um die Spiralen helle Spatien (Höfe). Mikrophotogramm 340×1 .

histologischer Untersuchung ein Stückchen aus der Lunge mit Hochfrequenzmesser excidiert und in gewöhnlicher Weise untersucht. Nahezu der ganze Querschnitt der Gefäßwand ist von spiralenförmig veränderten Mediakernen erfüllt. Auch in diesem, wie in früheren Fällen ist es auffällig, daß jede dieser Zellverformungen von einem lichten „Hof“ (Spatium) umgeben ist.

Abb. 8 zeigt den Längsschnitt eines Gefäßes des Herzmuskels eines Kaninchens; das Material wurde ebenfalls mittels Hochfrequenzmessers gewonnen und auf Elektrizitätsspuren *außerhalb* des „Schnittes“ geprüft; das Präparat fällt dadurch auf, daß die Zellverformungen der Gefäßwand außer der charakteristischen Drehung (Torsion) auch noch das Motiv einer Geraden zu erkennen geben. Im unteren Winkel des Gefäßlängsschnittes sind 4 bzw. 5 derartige, streng geometrisch gestaltete Verformungen der Zellen bzw. ihrer Kerne wahrnehmbar.

**B. Zellverformungen in kombinierter, geometrischer Gestaltung.
(Multicelluläre Spiralen und andere geometrische Formationen.)**

Hier werden Befunde von Zellen klassifiziert, welche nicht einzeln, sondern in großer Zahl, in Haufen die Spuren der sie gemeinsam treffenden Einwirkung der Elektrizität zu erkennen geben; die verformten



Abb. 8. Längsschnitt eines Gefäßes im Herzmuskel eines Kaninchens; + Gefäßwandkerne im unteren Winkel spiralg (korkzieherartig) gedreht. Mikrophotogramm 765 \times 1.

und aus ihrer Normallage gebrachten Zellen und Zellhaufen (Zellbüschel) bieten Bilder, welche Vorstellungen von Kraftfeldern wachrufen.

So sind z. B. die Zellen eines epithelialen Haarfollikels fast ausnahmslos geradlinig gestreckt und nach zwei entgegengesetzten Seiten „gerichtet“; es war dies im Bereiche einer elektromechanischen Verletzung einer Augenbraue (tödlicher Unfall des 63jähr. Josef K. durch Wechselstrom 220 Volt Spannung am 2. 9. 36).

Besonders instruktiv ist der Längsschnitt durch einen epithelialen Haarfollikel aus einer elektromechanischen Hautverletzung der Augen-

braue des vorgenannten Unfalles (Abb. 9): Einzelne Zellen sind unverändert geblieben, die große Mehrzahl dagegen ist verformt, in nadel-förmige Gebilde bzw. Spiralen umgewandelt und haufenweise zu Büscheln zusammengefaßt und derart nach aufwärts und abwärts gedreht, im entgegengesetzten Sinne „gerichtet“, daß deren Verbindungslinie einer S-Figur gleichkommt.



Abb. 9. Längsschnitt eines epithelialen Haarfollikels. Die verformten und erheblich „verlängerten“ Zellen in Büscheln zusammengefaßt und S-förmig „gerichtet“ (nach links oben und rechts unten). Mikrophotogramm 400 \times 1.

Das innige Ineinandergreifen 3 verschieden gerichteter, dabei zum Teil parallel geordneter Zellbüschel kommt besonders plastisch in Abb. 10 zum Ausdruck; es ist ein Querschnitt durch einen epithelialen Haarfollikel mit seinem in der Mitte befindlichen Haarschaft. Das Präparat stammt aus der Rückenhaut, und zwar aus der Subcutis der Strommarke des am 27. 3. 05 tödlich verunglückten Eduard L. (vgl. Abb. 1). Die Zellen des Haarfollikels sind stellenweise pallisadenartig, stellenweise spiralig verformt. Die derart verformten Zellkerne fallen weiter dadurch auf, daß sie an 3 verschiedenen Stellen zu Büscheln,



Abb. 10. Querschnitt eines Haarfollikels mit Haarschaft in der Mitte. Die Epithelzellen außerordentlich gestreckt („gezogen“) und in 3 nach verschiedenen Richtungen ziehenden Wirbeln zusammengefaßt. Mikrophotogramm 340×1 .



Abb. 11. Querschnitt eines Haarfollikels. Die Zellen am rechten Rande geradlinig verformt; am oberen Rande zu welligen Gebilden („gedämpfte Wellen“) zusammengefaßt, gefaltet. Mikrophotogramm 340×1 .

besser gesagt zu Bündeln einheitlich zusammengefaßt erscheinen und daß jedes dieser 3 Bündel nach entgegengesetzten Drehrichtungen orientiert ist; das Bild vermittelt den Eindruck von 3 nach verschiedenen Seiten kreisenden Wirbelbewegungen (Kraftfeldern). Das im oberen Anteil des Bildes bogenförmig von links nach rechts sich erstreckende Band besteht in Wirklichkeit aus unzähligen parallel verlaufenden Fäden, die bei einer anderen Stellung der Mikrometerschraube deutlich als solche hervortreten.

Abb. 11. Querschnitt durch einen epithelialen Haarfollikel aus der Subcutis einer Strommarke der Rückenhaut von demselben Unfall wie Abb. 10. Die epithelialen Gebilde sind teils spiralg (linke Seite des Bildes), teils geradlinig, pallisadenförmig (rechte Seite) verformt. In besonders auffälliger Weise sind die Zellen am oberen Rande in lange, fadenförmige Gebilde umgewandelt (gestreckt oder gezogen?) und derart zusammengefaßt, faltenförmig gelagert, daß die 5, bzw. 6 immer flacher werdenden Falten in ihrer Gesamtheit den Eindruck einer sogenannten „gedämpften Welle“ machen.

Experimentelle Befunde. (Kombinierte geometrische Formationen.)

Ebenso wie die stromgetroffenen Zellen verunglückter Menschen geben manchmal auch die tierexperimentellen Präparate ganz eigenartige Veränderungen in kombiniert geometrischer Gestaltung zu erkennen.

So ist z. B. das Zylinderepithel des Bronchiolus einer Kaninchenlunge in nadelförmige Gebilde verformt und „radiär gerichtet“, ähnlich wie die Skala einer Windrose; ebenso wie in den oben gezeigten Präparaten (z. B. Abb. 6 und 7) erscheinen lichte „Höfe“ rings um den verformten Gebilden.

Abb. 12. Schnitt aus einer Kaninchenleber, und zwar mit einem Gallengang im unteren Teile des Bildes. Die Zellen des Gallenganges sind nadelförmig verformt und in bestimmten Abständen — rhythmisch — derart in Büscheln zusammengefaßt und „gerichtet“, daß eine Zeichnung entsteht, die an eine solche eines *Oszillogramms* gemahnt.

Die Präparate zeigten normales Tinktionsvermögen und auch sonst kein Zeichen von Hitzewirkung: die normalerweise durch das Hochfrequenzmesser erzeugten Gewebiskoagulationen und Vakuolisierungen befanden sich nicht in nächster Umgebung dieser eigenartigen und auf rein elektromechanische Komponente hinweisenden Veränderung.

C. Veränderungen des Volumens der Zellen.

Die nachfolgenden 2 Abbildungen bzw. Präparate stammen aus der Strommarke (vgl. Abb. 1) des tödlich verunglückten Eduard L. und aus einem arteriellen Gefäße einer Kaninchenniere, welcher ein Probeschnitt mit dem Hochfrequenzmesser entnommen worden war. Die zwei Präparate erscheinen geeignet, die beiden entgegengesetzten Wirkungen der

Elektrizität — gleichviel ob die Berührungsstelle toter oder lebender Materie angehört — bezüglich der Volumenveränderungen der Zellen zu illustrieren, und zwar einmal das *Phänomen der Verdichtung*, das andere Mal das *Phänomen der Auflockerung*, d. i. der Auffaserung und Zerspannung.

Abb. 13 ist eine vergrößerte Aufnahme des Hautquerschnittes einer Strommarke (vgl. Abb. 1). Die Bindegewebsfasern sind zum größten



Abb. 12. Schnitt aus Kaninchenleber. Die Zellen des im unteren Anteil befindlichen Gallenganges „gestreckt“ und in bestimmten Abständen büschelweise zusammengefaßt; das Bild erinnert an ein „Oszillogramm“. Mikrophotogramm 160 : 1.

Teil wie homogenisiert und eng aneinandergedrückt, gleichsam „geologisch“ geschichtet. Es wäre naheliegend anzunehmen, daß die Verdichtung des Gewebes einfach auf Wärmewirkung zurückzuführen ist; mit dieser Auffassung nicht so leicht in Einklang zu bringen, ist das Vorhandensein von nicht stark in ihrer Morphologie veränderten Schweißdrüsengängen, die sich mitten in dieser Verdichtung finden; manche dieser Schweißdrüsengänge weisen sogar unveränderte Epithelauskleidung auf, manche haben ihre Epithelzellen in typischer Weise verformt, gebündelt, rhythmisch geordnet und auch entgegengesetzt „gerichtet“, ähnlich beschaffen wie in den vorher beschriebenen Präparaten.

War das vorstehende Präparat mit seinen homogenisierten und gleichsam „geologisch“ geschichteten Bindegewebsfasern eine Illustration der *Verdichtung*, so zeigt die Abb. 14 das entgegengesetzte Phänomen,



Abb. 13. Schnitt einer Strommarke (vgl. Abb. 1). Die Bindegewebsfasern eng aneinandergepreßt und gleichsam „geologisch“ geschichtet; innerhalb der homogenisierten Verdichtungszone einzelne Schweißdrüsengänge teils normal, teils mehr weniger verändert, geometrisch gestaltet. Mikrophotogramm 160×1 .



Abb. 14. Querschnitt eines Gefäßes aus Kaninchenniere. Vier dem Gefäßlumen anliegende Kerne der Gefäßwand zertusert (Mitte des Bildes). Mikrophotogramm 765×1 .

nämlich das der *Auflockerung*. Es ist der Querschnitt eines arteriellen Gefäßes aus dem Parenchym einer Kaninchenniere. Vier Kerne der Gefäßwand (Lichtung in der Mitte der Abbildung), und zwar in unmittelbarer Nachbarschaft der Gefäßlichtung, geben eine ganz auffällige Auflockerung ihrer Materie zu erkennen: die solide, kompakte Kernsubstanz erscheint in Fasern und Fäden aufgelöst und „gerichtet“. Das ganz ungewöhnliche Bild dieser „hyperfeinstrukturellen“ Auflockerung gemahnt an die *allerfeinsten Zerfaserungen* von Leder und Textilien, an die *zarteste Zerspanung von Holz* und anderen Stoffen, wie sie durch Einwirkung von Blitzschlag oder technischer Elektrizität vorzukommen pflegen.

Die hier geschilderten Zellveränderungen stellen, wie schon eingangs erwähnt, einen neuen Beitrag zur Lehre von der *Spurenkunde der Elektrizität* dar und sind geeignet, unsere Vorstellungen von der Wirkung der Elektrizität zu vertiefen. Nebst dem aber erlangen die Untersuchungsergebnisse Bedeutung für die *allgemeine Pathologie* noch dadurch, daß die Bilder uns mit Veränderungen in der Gefäßwand vertraut machen, wie sie bisher in der Gefäßpathologie nicht bekannt waren. Die histologischen *Zellveränderungen* sowohl in ihrer *Form* als auch in ihrem *Volumen* sind das erste greifbare Substrat für die Deutung und Beurteilung von Krankheitssymptomen, welche in der *elektropathologischen Klinik* sehr häufig gerade seitens des *Gefäßsystems* in Erscheinung treten: Das elektrische Ödem, plötzlich hervorbrechende, manchmal lebensbedrohliche Blutungen aus der Tiefe einer Lokalläsion, die Schwierigkeit der Blutstillung wegen Zerreißlichkeit der Gefäßwand, ferner Thrombosen, Embolien, perakuter Hydrocephalus, trophische Störungen und Gangrän als Spätfolgen usw. beherrschen nur zu oft das Krankheitsbild.

Die *Zellverformungen der Gefäßwand* weisen eine ebensolche charakteristische Morphologie auf, wie sie schon früher an histologischen Elementen der Haut und der Muskulatur und nicht zuletzt auch an makroskopischen Elektrizitätsspuren in Natur und Technik von uns festgestellt wurde.

Die Beschaffenheit der spiralig verformten Zellen und Kerne und nicht weniger auch der Zustand des nachbarlichen unveränderten Gewebes gibt keine Zeichen von Hitzwirkung zu erkennen, so daß die Annahme gerechtfertigt erscheint, diese spiraligen Zellverformungen und auch deren kombinierte geometrische Formationen auf Rechnung der elektroenergetischen, d. h. der *rein mechanistischen Aktion* der Elektrizität zu setzen.

Ob diese spezifisch-elektrischen Zellveränderungen als vorübergehende und wieder *reversible* Zustände oder aber als *irreversibel* anzusehen sind, vermag bisher nicht entschieden zu werden; 6mal handelte

es sich um frisches Untersuchungsmaterial, und zwar von 3 sofort Verstorbenen, das 4. Opfer starb 3 Tage post trauma, das 5. und 6. Opfer blieb am Leben, und 6 bzw. 18 Stunden nach Blitzschlag bzw. elektrischem Unfall wurde weiteres Untersuchungsmaterial gewonnen. In 2 Fällen handelte es sich um Untersuchungen bei Personen, welche das Blitztrauma 3 Jahre und das elektrische Trauma 5 Jahre überlebt hatten, und erst nach dieser Zeit wurde das Untersuchungsmaterial gewonnen. Daß in der Gefäßwand der beiden letztgenannten Fälle die Kernverformungen — beim Blitzschlag Abb. 5 treten sie besonders einprägsam hervor — 3 bzw. 5 Jahre unverändert erhalten geblieben sind, dies muß biologisch betrachtet, als merkwürdig bezeichnet werden.

Die spezifisch-elektrischen Gefäßwandveränderungen gewinnen durch die *Einheitlichkeit ihrer Erscheinung*, gleichviel ob Niederspannung oder Hochspannung, Gleichstrom oder Wechselstrom, Niederfrequenz oder Hochfrequenz zur Einwirkung gelangten, Bedeutung auch noch für die *Elektrotherapie* insbesondere deshalb, weil die durch Applikation des Hochfrequenzmessers, welchem bisher nur Hitze- und Sprengwirkung zugesprochen wurde, gewonnenen histologischen Präparate eine spezifisch-elektrische Charakteristik aufweisen. Dieser neuen Auffassung wäre besonders seitens der Hochfrequenztherapie um so mehr Rechnung zu tragen, als es uns gelang, durch Bestrahlung von Salamanderlarven mit *Ultrakurzwellen* auch spiralige Zellverformungen in geometrischer Gestaltung und nebstdem frei von Zeichen einer Hitzewirkung zu erzeugen. Über diese Versuche wurde anderenorts¹ berichtet.

Daß die vorstehenden histologischen Untersuchungsergebnisse nicht zuletzt auch noch auf das *Grenzgebiet von Pathologie* bzw. Biologie und *Elektrophysik* ein Licht zu werfen vermögen, dies soll noch abschließend vermerkt werden.

¹ Jellinek: C. R. de l'Académie des Sc. 1937, 1962.