

Vorträge der NGZ

29. Oktober 1962: Prof. Dr. KARL THEILER, Zürich

Die Steuerung der Skelettentwicklung

Ausgehend vom trajektorialen Bau der Spongiosa wird zunächst die Beanspruchung des Knochens als Steuerungsprinzip für seine Strukturentwicklung untersucht. Den ersten statischen Berechnungen von Culmann und Meyer in Zürich folgten die Arbeiten von W. Roux und in neuerer Zeit diejenigen von Pauwels, Kummer und Knese. Pauwels fasste die Reaktionsweise des Knochens im «Umbaugesetz» zusammen. Es gibt die Richtung des Knochenumbaus in Abhängigkeit der Spannungsgrösse wieder. Dadurch wirken Spannung und Umbau als eine Art Reglersystem für die Knochenmasse. Durch spannungsoptische Modelle werden die Beanspruchungen überprüft. Der Bau der Spongiosa kann nach Pauwels durch das Umbaugesetz erklärt werden. Die Compacta besitzt nicht den funktionellen Bau der Spongiosa. Sie ist eine Wachstumsstruktur, eventuell durch den Gefässverlauf geprägt. Bei Belastung gebogener Röhrenknochen entsteht keine Achsenstreckung, sondern nur eine Verdickung auf der konkaven Seite.

Neu angebaute Osteone besitzen noch nicht den vollen Kalkgehalt. Dieser kann neuerdings durch Mikroradiografie überprüft werden. Die Einlagerung von neuen Kalksalzen kann durch Autoradiografie mit Ca^{45} nachgewiesen werden. Das in die Blutbahn injizierte Ca^{45} schlägt sich in Anbauzonen nieder, in der Spongiosa wie in der Compacta.

Die hormonale Regulierung des Knochenbaues wird am Beispiel des Parathormons erwähnt. Die Sekretion der Hormone wird wieder durch Rückkoppelung gesteuert. Neben der allgemeinen Wirkung auf Eiweiss- und Mineralstoffwechsel kann auch eine spezifisch lokale Wirkung festgestellt werden. Das Hormon Testosteron bewirkt zum Beispiel geschlechtsspezifische Umbau- und Anbauprozesse am Becken. Sie beruhen wahrscheinlich auf einer genetisch festgelegten Reaktionsweise bestimmter Skelettpartien, ähnlich wie die Ausbildung anderer sekundärer Geschlechtsmerkmale.

Eine mehr direkte genetische Steuerung der Skelettentwicklung ist bei einigen Erbkrankheiten zu beobachten, wie der Chondrodystrophie des Menschen oder dem Syndrom grey-lethal der Hausmaus. Neben diesen allgemeinen Störungen werden immer mehr lokalisierte Störungen bekannt, die auf Erbfaktoren zurückgeführt werden können. Sie wirken meist in recht frühen Entwicklungsphasen, entweder direkt oder über die Störung von Induktionsprozessen. Als Beispiel für diese embryonale Phase der Skelettentwicklung wird der Faktor «truncate» der Hausmaus angeführt, der frühzeitig die Entwicklung der distalen Chorda stört und so eine Sacralagenesie erzeugt. (Autoreferat)

12. November 1962: PD Dr. med. WALTER HITZIG, Zürich

Beiträge der immunologischen Forschung zur Genetik

Aus dem im Titel umschriebenen Gebiet werden zwei Teilprobleme herausgegriffen: 1. Einflüsse von Erbfaktoren bei immunologischen Phänomenen im allgemeinen und 2. die heutige Bedeutung immunochemischer Techniken bei der Abklärung vererbter Serumeigenschaften.

1. Immunologische Massnahmen schützen den gesunden Körper gegen Einwirkungen aus der Aussenwelt. Das Versagen derselben wurde von Klinikern als «Antikörpermangel-Syndrom» be-

schrieben. Die zwei vererbten Formen des Antikörpermangelsyndroms, die plasmozytäre Dysgenese (Agammaglobulinämie) und die lymphoplasmozytäre Dysgenese (Agammaglobulinämie + Alympozytose), unterscheiden sich in wesentlichen klinischen, hämatologischen, eiweisschemischen, pathologisch-anatomischen und genetischen Kriterien. Zusammen mit neueren Tierversuchen (Thymektomie kurz nach der Geburt) ergeben sich interessante Zusammenhänge: der kleine Lymphozyt scheint die Transportform der immunbiologisch aktiven Zelle darzustellen. In der perinatalen Periode wandert er aus dem Thymus aus und bevölkert das übrige lymphatische Gewebe. Analoge Vorgänge sind bei der Transplantation von lymphatischem Gewebe oder von Knochenmark im Tierversuch und beim Menschen bekannt. Ihr weiteres intensives Studium ist für die gefahrlose Durchführung von Organ-Transplantationen beim Menschen unbedingt notwendig.

2. Die Anwendung immunologischer Techniken hat sich vor allem bei der Differenzierung feiner vererbter Struktur-Unterschiede der Serumproteine hervorragend bewährt. Bei jedem Menschen kann schon heute ein ganzes Mosaik von Serumprotein-Eigenschaften bestimmt werden. Man steht hier am Anfang einer Entwicklung, die zur Zeit vor allem Genetiker, Anthropologen und Gerichtsmediziner für die Klärung von Abstammungsfragen interessiert. Immunologische Techniken haben ferner bei der Untersuchung einer Gruppe seltener Erbkrankheiten, die als Defekt-Pathoproteinämien zusammengefasst werden, eine bedeutende Rolle gespielt. Darunter versteht man das ständige Fehlen einer grösseren Proteinfraktion des Serums. Die Analbuminämie, die A-Beta-Lipoproteinämie, die Atransferrinämie und die Afibrinogenämie werden besprochen, die Wilsonsche Krankheit (Fehlen des Coeruloplasmins) kurz erwähnt. Die Patienten werden als homozygot erkrankt angesehen. Teilweise gelingt auch der Nachweis der heterozygoten Genträger mit Hilfe besonders empfindlicher immunochemischer Untersuchungsmethoden. Auch exakte Messungen des Stoffwechsels spezifischer Proteinfraktionen, wie zum Beispiel des Fibrinogens, sind so möglich. — Diese «Naturexperimente» tragen zum Verständnis von Protein-Stoffwechselstörungen wesentlich bei. Ihr intensives Studium ist auch für die praktische Medizin wichtig, weil auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse unter Umständen die Behandlung erbbiologisch gesunder Menschen verbessert werden kann.

(Autoreferat)

26. November 1962: Prof. Dr. HEINZ KERN, Zürich

Probleme der Pathogenese pflanzlicher Infektionskrankheiten

Parasitische Pilze und Bakterien schädigen ihre Wirtspflanzen in vielen Fällen durch giftige Stoffwechselprodukte, die an der Infektionsstelle zur Wirkung gelangen oder im Transpirationsstrom der Pflanzen über weite Strecken transportiert werden. Parasitogene Enzyme zerstören das Zellgefüge (zum Beispiel durch Auflösung der Mittellamellen) und können ändern Wirkstoffen die Ausbreitung und den Eintritt ins Plasma erleichtern. Schleimige Polysaccharide blockieren die Leitungsbahnen und bringen die Pflanzen zum Welken. Niedermolekulare Toxine verschiedener Typen (peptidartige Verbindungen, Pyridinderivate, aromatische Ringverbindungen u. a.) wurden bei zahlreichen Parasiten *in vitro* und zum Teil *in vivo* nachgewiesen; sie greifen entsprechend ihrer chemischen Struktur in den Wirtsstoffwechsel ein (kompetitive Hemmung von Enzymreaktionen, Komplexbildung mit Schwermetallen u. a.) und können selbst chemisch umgewandelt und dabei zum Teil entgiftet werden.

Die Lebensäusserungen der Parasiten und die toxischen Stoffwechselprodukte im besonderen lösen in der Wirtspflanze mannigfaltige Störungen aus, die zunächst verschiedene Zellfunktionen erfassen und schliesslich zu sichtbaren Schädigungen führen. Zu Beginn der Inkubationsperiode ist die physiologische Aktivität der infizierten Gewebe häufig erhöht; an der Infektionsstelle und zum Teil auch an entfernten Stellen der Pflanze steigt die Atmungsintensität vorübergehend an und sinkt mit fortschreitender Erkrankung langsamer oder rascher wieder ab. Gleichzeitig können qualitative Veränderungen in den Atmungsmechanismen eintreten. Der Wasserhaushalt der Pflanzen wird vor allem bei Welkekrankheiten in auffälliger Weise beeinflusst. Permeabilitätsstörungen in der Zelle führen auf verschiedenen Wegen schliesslich zum Austritt von Wasser und gelösten Stoffen aus dem Plasma, zur Koagulation und zum Zelltod. Der Wasserumsatz infizierter Pflanzen kann am Anfang der Erkrankung ansteigen; mit zunehmender Schädigung geht er mehr und mehr zurück. Parasitogene Toxine verursachen an abgeschnittenen Sprossen charakteristische Störungen der Wasserbilanz.

Eine andere Gruppe von Parasiten reizt die Wirtsgewebe zu übermässigem, weitgehend unregelmäßigem Wachstum. Einzelne dieser Erreger scheiden Wuchsstoffe in die Wirtsgewebe aus; andere bringen den Wuchsstoffhaushalt der Wirtspflanzen durch eine Hemmung der Auxinoxidasen aus dem Gleichgewicht. (Autoreferat)

10. Dezember 1962: Prof. Dr. HANS GÜNTHARD, Zürich

Schnelle chemische Reaktionen

Chemische Reaktionen zwischen Teilchen mit einer mittleren Lebensdauer von weniger als 1 ms erfordern eine spezielle Untersuchungsmethodik. Die heutigen Methoden lassen sich in drei Hauptgruppen einteilen:

1. Schnelle Änderungen eines Parameters von Gleichgewichtssystemen.
2. Herstellung des Ausgangszustandes durch physikalische Operationen, welche kurzlebige Teilchen erzeugen.
3. Herstellung von chemisch-stationären Zuständen mittels schneller Strömungen.

Zunächst werden einige Ergebnisse diskutiert, die mittels der Verfahren 1 über schnelle Reaktionen zwischen Ionen in Lösungen gewonnen worden sind. Zahlreiche Reaktionen zwischen Ionen galten lange Zeit als unmessbar schnell. Wird ein äusserer Parameter (elektrische Feldstärke, Druck, Temperatur) eines Ionengleichgewichts in Zeiträumen von μs geändert und lassen sich die momentanen Konzentrationen einer Ionensorte messen, so lässt sich die Herstellung des Gleichgewichtszustandes verfolgen und lassen sich die Geschwindigkeitskonstanten des Systems bestimmen. In einigen dieser Fälle verläuft die Rekombinationsreaktion der Ionen zu neutralen Molekeln mit der maximal möglichen Geschwindigkeit, indem jede Begegnung auf gewisse Distanz zur Reaktion führt. Speziell bei der Neutralisationsreaktion zwischen Proton und Hydroxylion brauchen sich die Teilchen nur auf einen Durchmesser von ca. 3 Wassermolekeln zu nähern, worauf dann durch Benützung der Wasserstoffbrücke die Bildung der Wassermolekel erfolgt. Die Geschwindigkeit dieser Reaktion ist sonst im wesentlichen durch die Brownsche Bewegung bestimmt.

Mittels der Methode 2 (Pulsmethoden) wurden hauptsächlich Erkenntnisse über die Eigenschaften und Reaktionen (zufolge Lichtabsorption oder Elektronenstoss) energiereicher Molekeln gewonnen. Mit der Photoflash-Anregung wurde festgestellt, dass die Lebensdauer photochemisch angeregter Singletzustände drastisch durch gewisse (Quencher-) Molekeln beeinflusst werden kann, obwohl sie meist $< 1 \mu\text{s}$ beträgt. Einige Mechanismen dieser schnellen Prozesse werden diskutiert. Angeregte Triplet- und Singlet-Zustände können ihre Energie unter gewissen Bedingungen auf andere Molekeln übertragen, meist durch schnelle chemische Reaktion. Dieser Energie-Transfer scheint eine ganz allgemeine Erscheinung zu sein und dürfte eine Rolle bei der Signalfortpflanzung in Organismen spielen, da er auch in Festkörpern oft eintritt. Am Beispiel der Radiolyse von Benzol werden schnelle Reaktionen von kurzlebigen Teilchen diskutiert, welche durch einen Puls schneller Elektronen gebildet werden. Viele dieser Reaktionen sind diffusionskontrolliert und ihre Geschwindigkeit hängt u. a. ab von der Viskosität des Lösungsmittels, insbesondere aber auch von den Kraftfeldern zwischen den Teilchen. (Autoreferat)

14. Januar 1963: Prof. Dr. MARKUS FIERZ, Zürich

Quantentheorie und Relativitätstheorie (Zusammenfassung)

Die Quantentheorie und die Relativitätstheorie sind fast gleichzeitig entstanden; und beide wurden entdeckt beim Studium elektromagnetischer Erscheinungen: Planck studierte die Gesetze der Wärmestrahlung, also das Glühlicht, das heisse Körper aussenden. Einstein studierte die Elektrodynamik bewegter Körper, die eben weil sie sich bewegen, auch Licht ausstrahlen. Die Lichtquanten hat Einstein als «heuzistischen Gesichtspunkt» eingeführt, um den photo-elektrischen Effekt zu

erklären, und die Formel, welche die Energie des Lichtquants mit seiner Frequenz verknüpft: $E = h \nu$, ist eine relativistisch-invariante Formel.

Später hat sich jedoch die Quantentheorie unabhängig von der Relativitätstheorie entwickelt, und führte zu einer mathematisch vollständigen Beschreibung der Eigenschaften der Atome und Moleküle — so weit war man um 1930. Nun stellte sich die Aufgabe, auch die Elektrodynamik quantentheoretisch zu formulieren, und dies ist nur in relativistischem Rahmen möglich. Dirac, Pauli, Jordan und Heisenberg haben als erste eine Quantenelektrodynamik entwickelt, die jedoch sogleich zu ernststen mathematischen Schwierigkeiten führte. Heute wissen wir, wie diese umgangen, nicht aber, wie sie gelöst werden können: wir haben Regeln, mit deren Hilfe elektromagnetische Erscheinungen mit grosser Genauigkeit und in bester Übereinstimmung mit der Erfahrung berechnet werden können. Der mathematische Sinn dieser Regeln ist aber immer noch recht unklar.

Darum hat man sich in neuester Zeit darum bemüht, eine allgemeine mathematische Quantenfeldtheorie zu entwickeln, die sich auf möglichst wenig, dafür aber möglichst zwingende, physikalische Annahmen stützt. Diese Theorie soll schliesslich zu einem wohldefinierten Rahmen führen, in welchem auch die Quantenelektrodynamik ihren Platz findet. Es scheint heute nicht allzu kühn, wenn wir hoffen, dass dieses Ziel erreicht werden kann. Schon heute liegen wichtige Ergebnisse vor:

man versteht, dass die Elektronen dem Pauli-Prinzip genügen, weil ihr Spin den Wert $\frac{h}{4\pi}$ besitzt — dasselbe gilt für Nukleonen. Man weiss, dass zu jedem geladenen Teilchen ein spiegelbildlich gleiches, mit entgegengesetzter Ladung gehört. Es war möglich, sog. Dispersionsrelationen streng zu beweisen. Schliesslich begreifen wir auch viel besser, warum eine Theorie der Kernkräfte notwendig ungeheuer kompliziert und unübersichtlich sein muss.

Ganz unverstanden sind dagegen die sog. schwachen Wechselwirkungen, die die Umwandlung der Elementarteilchen ineinander regeln — z. B. die β -Zerfalls-Wechselwirkung. (Autoreferat)

29. Januar 1963: Prof. Dr. HANS BOESCH, Zürich

Neuere morphologische Untersuchungen im schweizerischen Mittelland

Form, Verbandsverhältnisse und Material sind die wichtigsten Kriterien beim morphologischen Arbeiten. In den letzten Jahren wurde vor allem einer verbesserten Untersuchung des Materiales vermehrte Beachtung geschenkt, was unter anderem in ausgedehntem Masse die Anwendung von Laboratoriumsarbeiten notwendig machte. Es handelt sich dabei nicht um eine Art «Modeströmung» in der Morphologie; vielmehr zeigte es sich immer deutlicher, dass gewisse Fragen mit den traditionellen Untersuchungsmethoden nicht überzeugend gelöst werden konnten. Diese Entwicklung und eine Auswahl von Resultaten wurden im Referat behandelt, soweit sie die am Geographischen Institut der Universität Zürich ausgeführten Arbeiten betreffen.

Mit der Bedeutung der sedimentologischen Methoden für die Morphologie setzte sich H. Zimmermann kritisch auseinander (Dipl.-Arbeit, 1959); später wandte er sie mit Erfolg bei der Analyse der eiszeitlichen Ablagerungen im westlichen zentralen Mittelland an (Diss., 1962). Im Greifenseegebiet vermochte G. Jung (Dipl.-Arbeit, 1961) durch Miteinbeziehen der Pollenanalyse die spät- und postglaziale Absenkung des Seespiegels zu rekonstruieren, im toten Tal von Littenheid bei Wil SG kombinierte H. Andresen (Dipl.-Arbeit, 1957) die verschiedenen Methoden zu einer Analyse der morphologischen Entwicklung und zu einer schärferen Fassung der sog. morphologischen Aktivität. E. Bugmann (Diss., 1956) und A. Leemann (Diss., 1958) untersuchten die würmglazialen Schotterkomplexe im Aaretal und Rheintal oberhalb Koblenz. Während sie auf Grund der Schotteruntersuchungen keine weitere Gliederung der Würmeiszeit vornehmen konnten (im Gegensatz zu Alb. Heim und J. Hug), gelang es dann G. H. Gouda (Diss., 1962) durch eine sorgfältige Untersuchung nordschweizerischer Lössvorkommen eine Gliederung aufzustellen, welche vorzüglich mit den neueren Resultaten in Österreich usw. übereinstimmt. Schliesslich hat im Rahmen einer regional-morphologischen Arbeit H. Andresen (Diss., 1962) durch einen Vergleich von Töss- und Thurgebiet wertvolle Belege zur glazialerosiven Entstehung von Gehängeterrassen beigebracht, die geeignet erscheinen, auch das Problem der Zürichseeterrassen neu in Angriff zu nehmen.

Vor allem die früheren Untersuchungen, wie jene von E. Bugmann und A. Leemann zeigten, wie notwendig in vielen Fällen eine feinere Materialuntersuchung ist. Aus diesem Grunde wurde seit etwa 1955 systematisch der Ausbau eines morphologischen Laboratoriums am Geographischen Institut an die Hand genommen, damit alle Studierenden in der Anwendung der Methoden geschult werden können und um für die Doktoranden bessere Untersuchungsbedingungen zu schaffen. Es handelte sich darum, eine zweckmässige Kombination von Untersuchungseinrichtungen zu erreichen, welche für sich und als Ganzes den besonderen Bedürfnissen der Morphologie entsprechen. Besonderes Augenmerk ist dabei zu schenken: der Trennung von Lockermaterialien nach ihrer Grösse, der Bestimmung des Gehaltes an Kalk und Dolomit sowie an organischem Material, der morphometrischen Untersuchung von Geröllen, Pollen- und Schweremineralanalysen. Im weiteren müssen die notwendigen Instrumente zur Verfügung stehen zur optischen Untersuchung von Gesteinen und für die wichtigsten chemischen Analysen.

Besonders wertvoll erscheint auch, dass im Zuge dieser Entwicklung eine engere Zusammenarbeit mit benachbarten Instituten (Geologie, Geobotanik usw.) gefunden wurde. (Autoreferat)

11. Februar 1963: Prof. Th. ECKARDT, Berlin-Dahlem

Männigfaltigkeit und Einheit bei den Blütenpflanzen

Die Blütenpflanzen im eigentlichen, engeren Sinne, die Angiospermen, zeichnen sich durch eine schier unerschöpfliche Männigfaltigkeit der Gestaltung in fast allen Merkmalsbereichen aus. Trotz dieser Formenfülle galten sie den Taxonomen und Morphologen bisher als eine Einheit, als eine so geschlossen einheitliche Gruppe, dass man sich auch ihre Herkunft, ihren Ursprung nur monogen oder, wie meist gesagt wird, nur monophyletisch vorstellen konnte. In jüngster Zeit wird aber immer wieder versucht, an der inneren Einheitlichkeit der Angiospermen zu rütteln und aus ihren Merkmalen auf eine Pleiophylie, mindestens auf eine Biphylie, zu schliessen. Bei diesen Versuchen spielt der Blütenbau eine entscheidende Rolle, insbesondere die Morphologie der Karpelle und die Placentation, aber auch das Androeceum. Vorangestellt wird eine Betrachtung jener Merkmale, die die Angiospermen besonders auszeichnen und als Einheit prägen, weil sie ausnahmslos gelten: ihre Angiospermie, die Narbenbildung, die Fruchtbildung, der stete Besitz von Karpellen, der Bau ihres Embryosacks, die doppelte Befruchtung, der Bau ihrer Stamina und die Eigenart ihrer Blüten. Auf der Grundlage der klassischen Blütenauffassung, der Euanthien- oder Strobilartheorie der Blüte, wird gezeigt, dass das Studium des Gestaltwandels in bestimmten Verwandtschaftskreisen eine Spannweite der Abwandlungen umfasst, die von grosser Primitivität bis zu äusserster Reduktion reicht, ja bis hin zur Pseudanthienbildung. Dies wird dargelegt an den Beispielen *Drimys-Liriodendron-Calycanthus-Euptelea-Cercidiphyllum*. Dass schon bei relativ ursprünglichen Familien das Gynoeceum auf höchst komplexe Weise reduziert sein kann, wird am Beispiel der Berberidaceen dargetan, die sich doch als pseudomonomer erwiesen haben. Es ist von den Prinzipien die Rede, die der Merkmalsanalyse zugrunde liegen, wobei die zentrale Bedeutung des Homologiebegriffes hervorgehoben wird. Das Bekenntnis zur Typologie bedeutet, dass die Homologien nach klaren Kriterien festgestellt werden müssen, dass die Merkmalsanalyse soweit ausgreifen muss wie möglich, und dass sie zunächst rein empirisch von dem vorliegenden Material ausgeht, ohne es mit phyletischen Vorstellungen von vorneherein zu belasten. Es wird auf das Verhältnis der Typologie zu der sogenannten «numerischen Taxonomie» (Sokal u. a.) eingegangen und auf gewisse Gemeinsamkeiten des Vorgehens bei der Ähnlichkeitsbewertung und Abgrenzung natürlicher Taxa hingewiesen. Am Beispiel des erst vor kurzem entdeckten Mooses *Takakia lepidozoides* wird die Frage erörtert, ob alle Merkmale grundsätzlich gleich bewertet werden können, wie es in der numerischen Taxonomie, allerdings nur unter Verwendung einer möglichst grossen Zahl von Merkmalen, geschieht, oder ob die Merkmale verschiedenes Gewicht haben. Im Falle der *Takakia* hat der Nachweis eines Archegons — die Pflanze war in der Originaldiagnose zunächst nur in sterillem Zustand beschrieben worden — mit einem Schlag die nähere Verwandtschaft gesichert. Die noch unbekannteren Kapseln würden ohne Zweifel weiter führen als alles, was man bisher über die systematische Stellung weiss.

Bei der Erörterung der Einheitlichkeit der Angiospermenblüte spielen die Samenanlagen insofern eine besondere Rolle, als ihnen in neueren Hypothesen ein teils blattbürtiger, teils achsenbürtiger

Ursprung zugeschrieben wird (Lam u. a. schon früher). Dies sollen auch die histogenetischen Studien von Pankow bestätigen, zu denen auf Grund eigener Untersuchungen an *Boussingaultia* und gewissen *Helobiae* kritisch Stellung genommen wird, mit dem Ergebnis, dass die Beteiligung bestimmter Lagen des Vegetationspunktes am Aufbau von Organen kein absoluter Massstab für ihren morphologischen Wert sein kann. Die neue Blüthen Theorie von Melville, die vom Leitbündelverlauf der Karpelle rezenter Typen ausgeht, und Metatopien von Blütenständen auf die Blätter, wie bei den *Dichapetalaceae* (*Chailloteaceae*), in Verbindung mit telomatischen Gedankengängen und Verwertung von Glossopteris-Fruktifikationen zu einer Gonophyll-Hypothese gestaltet, wird im Lichte der klassischen Karpellmorphologie gewürdigt, nach der den Leitbündeln durchaus kein Achsencharakter zugeschrieben werden muss. Das Fossilmaterial reicht unseres Erachtens ebenfalls nicht zur Aufstellung so kühner Hypothesen über die Herleitung der Angiospermen aus. (Autoreferat)

25. Februar 1963: Prof. Dr. OSCAR A. M. WYSS, Zürich (Physiologisches Institut der Universität)

Über Nutzen und Schaden in der Wirkung elektrischer Ströme am Menschen

Die todbringende Wirkung elektrischer Ströme beruht, sofern sie nicht massiver Wärmeentwicklung zuschreiben ist, auf deren Reizwirkung. Elektrotonisch bedingte Lähmungseffekte sind nicht in Abrede zu stellen, aber schwer nachzuweisen. Als eigentliche Todesursache kommen nur Herzstillstand und eventuell Atmungsstillstand in Frage; ein primärer Kreislaufkollaps infolge zentraler Vasomotorenlähmung wäre ebenfalls denkbar, ist aber noch schwieriger nachzuweisen. Die Herzwirkung steht zweifellos im Vordergrund. Sie kann als reflektorischer Herzstillstand in Diastole (Erschlaffung) oder als direkte Herzlähmung erfolgen, meist aber als systolischer Stillstand in Form des Kammerflimmerns. Die elektrotonischen Effekte und die eigentlichen Reizwirkungen kommen dem Gleichstrom und dem niederfrequenten Wechselstrom zu. Dabei ist der technische Wechselstrom (50 Hz) insofern besonders «gefährlich», als einerseits die Reizwirkung der Strombeziehungsweise Spannungsschwankung zuschreiben ist, die dem $2\sqrt{2}$ -fachen Wert der effektiven Stromstärke beziehungsweise Spannung entspricht, und andererseits die Frequenz von 50 Hz sowohl für die Erregung vegetativer Nerven als auch für die Reizung des Herzmuskels die Optimalfrequenz darstellt. Nur schon aus Sicherheitsgründen muss daher dem Wechselstrom gemessen in Effektivwert etwa die dreifache Reizwirkung des unterbrochenen Gleichstroms zuerkannt werden. Die Nichtbeachtung dieser reizphysiologisch grundsätzlichen Fragen hat noch zur Zeit des Ersten Weltkrieges zu zahlreichen elektrotherapeutisch bedingten Todesfällen geführt und dem sinusförmigen Wechselstrom den Stempel der besonderen Gefährlichkeit, der im Grunde genommen der ungenügenden Sachkenntnis hätte gelten sollen, aufgedrückt.

Die Verwendung des elektrischen Stromes zur absichtlichen Tötung («Elektrokution») ist abzulehnen; denn bei Einwirkung auf das Herz ist die unmittelbare Wirksamkeit nicht vorauszusehen, während bei Einwirkung auf das Gehirn wohl Bewusstseinsverlust eintritt, die lebenswichtigen Zentren im verlängerten Mark aber mit noch geringerer Wahrscheinlichkeit sofort und wirksam betroffen werden.

Die nutzbringende Wirkung elektrischer Ströme ist in Elektrodiagnostik und Elektrotherapie unbestritten, obschon alte sowohl wie neue Erkenntnisse noch bei weitem nicht ausgewertet sind. Von besonderer Aktualität ist die Verwendung elektrischer Impulse als Schrittmacher für die Herzaktion (sog. «Pace-maker»), was nicht nur während Herzoperationen in Frage kommt, sondern was auch in Form von chronisch «implantierten» transistorisierten Reizgeräten Verwendung findet, und zwar speziell dort, wo die spontane Impulsgebung des Herzens zu langsam erfolgt oder überhaupt in Frage gestellt ist. Der nächste Schritt wird sein, bei der meistens noch vorhandenen Vorhofaktion (Sinusrhythmus) den die Kammern treibenden künstlichen Schrittmacher vom Vorhofaktionsstrom aus zu steuern. Starke elektrische Stromstöße kurzer Dauer können am kammerflimmernden Herzen zur «Defibrillierung», das heisst zum plötzlichen schockartigen Aufhören des Flimmerns und Einsetzen geregelter Herzrhythmus verwendet werden. Diese Technik des «Elektroschocks am Herzen» ist heute bei Herzoperationen ein unentbehrliches Hilfsmittel für die Erhaltung beziehungsweise Wiederherstellung der Herzaktion.

Die elektrische Reizung des Gehirns wird in einem ganz anderen Sinne als «Schocktherapie» verwendet, sei es in Form des Elektroschocks oder der länger dauernden Elektronarkose. Dabei handelt es sich um brutale Massnahmen undifferenzierter elektrischer Reizung und elektrotonischer Beeinflussung höherer Zentren mit dem Erfolg einer unmittelbaren elektrischen Betäubung, welche aber bei richtiger Indikation und sachkundiger Durchführung dem Psychiater in gewissen Fällen ein wertvolles und wirksames therapeutisches Hilfsmittel sein können. Unvergleichlich viel feiner und differenzierter ist die aus den Hirnreizversuchen von W. R. Hess hervorgegangene lokalisierte Reizung tiefliegender Hirnabschnitte, wie sie heute als Testmethode bei den sogenannten stereotaktischen Eingriffen vorgängig der lokalisierten Ausschaltung mittels Hochfrequenzstrom (siehe unten) verwendet wird. Noch neueren Datums sind Beobachtungen, die darauf hinweisen, dass eine länger dauernde Beeinflussung höherer Zentren durch äusserst schwache, dem Gehirn in bestimmter Richtung diffus zugeleitete Gleichströme Effekte zur Folge haben, welche in der psychiatrischen Therapie von Bedeutung sein und später vielleicht sogar mit den psychopharmakologischen Behandlungsmethoden in Konkurrenz treten können. Die neurophysiologische Grundlagenforschung wird hier aber zunächst noch die nötige Vorarbeit leisten müssen.

Besonders aktuell ist seit einiger Zeit auch die Verwendung von Hochfrequenzstrom zur lokalisieren, reizlosen Ausschaltung bestimmter Stellen im Gehirn zwecks Behebung des Schütteltremors bei Parkinson-Kranken. Auch hier hat die experimentelle Neurophysiologie die nötigen Grundlagen geschaffen und eine quantitative Methode der Hochfrequenz-Koagulation von Arealen bestimmter im voraus zu bestimmender Grösse geschaffen. Sinusreiner Hochfrequenzstrom von etwa 500 000 Hz garantiert hierbei absolute Reizlosigkeit einerseits, genügend genaue Messung der wärmeerzeugenden Stromstärke andererseits.

An zunehmender praktischer Bedeutung gewinnt nach und nach auch die sogenannte «Mittelfrequenzreizung», das heisst die Reizung mit Wechselströmen so hoher Frequenzen (1000 bis 100 000 Hz), dass im Gefolge der raschen Wechsel die einzelne Stromschwankung nicht mehr als Reiz wirken kann. Diese Art der Reizung beruht nicht mehr auf dem für Gleichstrom und niederfrequente Wechselströme (bis zu etwa 1000 Hz) geltenden Polaritätsprinzip, sondern vermutlich auf einer direkten Membranwirkung. Sie führt bei der Muskelreizung am Menschen zur sogenannten «Depolarisationskontraktur», welche kombiniert mit einer desensibilisierenden Wirkung solcher Ströme auf Nerven und Nervenendigungen, speziell in der Haut, diese Applikationsart in der Elektrotherapie zu einer subjektiv angenehm, das heisst nicht empfundenen «Elektrisierung» macht. Es handelt sich hier um ein fundamental neues Prinzip der elektrischen Reizung, dessen intimer Mechanismus aber erst noch experimentell abgeklärt und in unvoreingenommener Weise den allzu geläufigen Vorstellungen von der Reizwirkung elektrischer Ströme gegenüber verfochten werden muss. (Autoreferat)

27. Mai 1963: Prof. Dr. H. AUTRUM, München

Die sinnesphysiologischen Grundlagen des Farbsehens

Die Gesetzmässigkeiten des Farbensehens des Menschen haben zu zahlreichen Annahmen über die physiologischen Mechanismen geführt, die dem Farbensehen zugrunde liegen könnten. Unter den Theorien des Farbensehens haben vor allem zwei eine weite Anerkennung gefunden, weil sie — jede für sich — eine grosse Zahl von Gesetzmässigkeiten des Farbensehens erklären können: die von Young, Helmholtz und anderen begründete Dreikomponententheorie und die Gegenfarbentheorie von Ewald Hering.

Die Dreikomponententheorie fordert drei Sorten von Sehzellen mit verschiedener spektraler Empfindlichkeit; sie geht vor allem von den Phänomenen der Mischung spektraler Lichter, insbesondere von der Tatsache aus, dass sich alle Farben durch Mischung dreier, geeignet gewählter Grundfarben herstellen lassen. Sie kann die beim Menschen beobachteten Farbfehlsichtigkeiten zwanglos durch Ausfall einer der drei Komponenten erklären.

Im Gegensatz dazu geht die Gegenfarbentheorie von der psychophysischen Tatsache aus, dass sich nicht drei, sondern vier reine Hauptfarben in der Empfindung unterscheiden lassen: Rot, Gelb, Grün und Blau; und dass ausserdem Weiss und Schwarz eigene Qualitäten sind; dass sich ferner Rot und Grün einerseits, Gelb und Blau andererseits in der Empfindung gegenseitig ausschliessen.

Die physiologischen Elementarvorgänge beim Farbensehen können nur durch Untersuchung der einzelnen Stationen des Sehprozesses von den Sehzellen bis zu den höchsten zentralnervösen Gebieten geklärt werden. Voraussetzung für derartige Untersuchungen ist eine möglichst genaue Kenntnis des Farbensinnes derjenigen Tiere, bei denen solche Analysen der Einzelelemente und ihres Zusammenwirkens gemacht werden; das ist der Fall bei Bienen, Fischen und höheren Affen.

Messungen der spektralen Empfindlichkeit einzelner Sehzellen selbst sind bislang nur bei Insekten, insbesondere Bienen, gelungen. Bei Bienen, deren Farbtüchtigkeit bekannt und in den Grundzügen mit der des Menschen vergleichbar ist, sind drei verschiedene Sorten von Sehzellen mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit vorhanden; die Maxima liegen bei 340, 440 und 530 nm. Drohnen haben nur zwei Sorten von Sehzellen mit den Maxima bei 340 und 440 nm. Der Verlauf der Empfindlichkeitskurven der einzelnen Sehzellen bei den Bienenarbeiterinnen stimmt aufs beste zu den Leistungen des Farbensinnes bei den Bienen. Damit ist für das Eingangelement des visuellen Apparates der Biene die Richtigkeit der Dreikomponententheorie unmittelbar bewiesen. — Bei Wirbeltieren sind entsprechende Messungen bislang nicht geglückt.

Die an die Sehzellen anschliessenden Ganglienzellen der Retina — diese Versuche sind an Fischen und Affen gemacht, die nachweislich farbtüchtig sind — verarbeiten jedoch die von den Sehzellen kommenden Informationen zumindest teilweise nach einem Schlüssel, der dem Schema entspricht, das die Gegenfarbentheorie fordert: In höheren, zentralnervösen Stationen (zu denen bereits die retinalen Ganglienzellen gehören) spielen sich 1. Vorgänge ab, die reine Helligkeitsempfindungen vermitteln; 2. Vorgänge, die für Rot und Grün (bzw. Gelb und Blau) entgegengesetzten Sinn haben (Rot wirkt erregend, Grün hemmend; analoges gilt für Gelb und Blau); diese Vorgänge spiegeln die Gegensätzlichkeit bestimmter Farben (Rot-Grün, Gelb-Blau) sowie die Erscheinungen des simultanen und sukzessiven Farbkontrastes in physiologischen Prozessen wider. 3. Daneben gibt es bei Affen auch im Zentralnervensystem (im Zwischenhirn) Vorgänge, die auf enge spektrale Bereiche beschränkt sind und dem Helmholtzschen Schema folgen, allerdings hier mit einer grösseren Zahl (zum Beispiel fünf) spektraler Empfindlichkeitskurven.

Demnach gilt — durch Experimente nunmehr beweisbar — für die primäre Station der Sehzellen die Dreikomponententheorie; die primären Vorgänge in den Sehzellen werden jedoch alsbald von den anschliessenden Ganglienzellen transformiert. Dabei entstehen Informationen, die dem Schema der Gegenfarbentheorie entsprechen, und (zumindest bei Affen) ausserdem Informationen, die einer Komponententheorie folgen.

(Autoreferat)