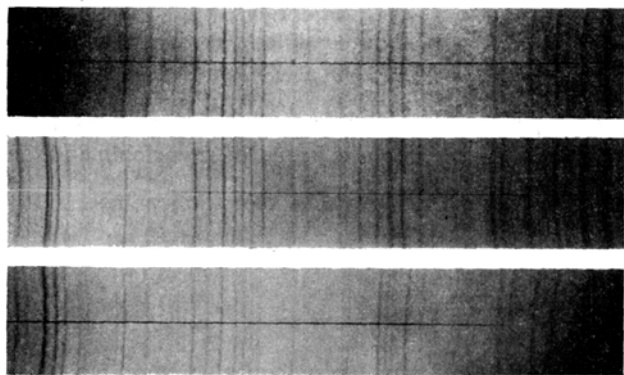


und KLEMENT vertretene, in der Folge von uns und auch von anderer Seite bestätigte Auffassung zu verlassen.

Einmütigkeit besteht wohl heute auf allen Seiten dahin, daß die anorganische Knochensubstanz zu überwiegenden Teilen eine Kristallart vom Apatittypus darstellt. Wenn diese speziell als Hydroxylapatit betrachtet wird, so aus dem Grunde, weil sich doch in verschiedenen Fällen Röntgendiagramme ergaben, welche *einwandfrei* die Unterscheidung zwischen Hydroxyl-, Karbonat- und Fluorapatit zugunsten des erstern gestattet haben, sodann weil bei einer Glühbehandlung des Knochens eine von 400° an *stetig* erfolgende Verschärfung der zunächst verwaschenen Interferenzlinien eintritt und hernach das Interferenzsystem des geglühten Knochens in *jeder* Beziehung mit demjenigen von *Hydroxylapatit* übereinstimmt, während es sich von



Von oben nach unten: Hydroxylapatit – Menschlicher Knochen, geglüht bei 800° – Staffelit (Karbonatapatit).

jenem des Karbonatapatits in charakteristischer Weise unterscheidet (entgegen der Angabe von DALLEMAGNE und BRASSEUR, wonach erst Glühen bei 900° eine Veränderung der Röntgeninterferenzen bewirke und dann die Karbonatapatitlinien erscheinen). In der Abb. sind einander noch einmal Ausschnitte aus einer Reihe diesbezüglicher Röntgendiagramme gegenübergestellt, und

zwar von Aufnahmen, welche mit Cr-K-Strahlung in einer Kamera vom Durchmesser 114,4 mm angefertigt wurden und wohl hinreichend deutlich die Übereinstimmung des Knochendiagramms mit jenem des Hydroxylapatits, wie die unverkennbaren Unterschiede zwischen den Diagrammen des Knochens und des Karbonatapatits (Staffelit von Nassau) erkennen lassen. Daß der Hydroxylapatit des Knochens nicht vollkommen reines $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ zu sein braucht, sondern in seiner Zusammensetzung zufolge einer Bildung von Mischkristallen – gewöhnlichen und anomalen – sowie von Adsorptionserscheinungen verschiedenster Art in gewissen Grenzen variieren kann, wurde von uns bereits früher ausführlich erörtert¹. Es wird dies ja auch durch Untersuchungen an *künstlichen* Ca-Phosphat-Fällungen nahegelegt², wie endlich auch DALLEMAGNE und BRASSEUR annehmen, daß die von ihnen als Knochensalz angenommene Verbindung $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ mit den Apatiten isomorph sein soll. Gerade im Hinblick darauf scheint es uns nicht angängig, daß DALLEMAGNE und BRASSEUR ihre Befunde *allzusehr* in Gegensatz zu den Ergebnissen *früherer* Untersuchungen an der anorganischen Knochensubstanz stellen und diesen gar Fehldeutungen von Röntgendiagrammen vorwerfen.

Résumé

Nous rapportant à nos recherches de ces dernières années relatives à la calcification et à la substance inorganique des os, nous rendons attentifs au fait que les arguments avancés par BRASSEUR et DALLEMAGNE ne sont pas convainquants; ils ne sont pas suffisants pour faire abandonner les vues proposées par BREDIG, KLEMENT et autres, confirmées par nous, sur la constitution de la substance inorganique des os. A notre avis, il n'y a jusqu'ici aucune raison d'abandonner ces conclusions d'après lesquelles la substance inorganique des os est constituée en plus grande partie par de l'apatite: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$.

¹ E. BRANDENBERGER und H. R. SCHINZ, Schweiz. med. Wschr. 74 (1944); Helv. medica acta, Suppl. XV zu 12 (1945).

² Siehe z.B.: G. TRÖMEL und H. MÖLLER, Z. anorg. allg. Ch. 206, 227 (1932). – P. SCHLÄPFER und R. LEHNER, Przemyslu Chemicznego 22, 462 (1938).

Konstante Stromwirkung und « funktionelle Polarität »

Von H. WINTERSTEIN¹, Istanbul

Unter dem Titel «Elektrische Betäubung und elektrische Narkose» hat F. SCHEMINZKY in dieser Zeitschrift² eine zusammenfassende Darstellung der interessanten Untersuchungen gegeben, die er und seine Mitarbeiter über die genannten Probleme angestellt

haben. Sie beobachteten, daß beim Frosch (und einigen Wassertieren) die Wirkung der Durchleitung eines konstanten Stromes von seiner Richtung abhängt. Ein *absteigender*, d.h. in kraniokaudaler Richtung das Zentralnervensystem (ZNS) durchfließender Strom erzeugt eine Lähmung (Galvanonarkose), während der entgegengesetzt gerichtete *aufsteigende* Strom Erre-

¹ Physiologisches Institut der Universität Istanbul.

² F. SCHEMINZKY, Exper. 3, 169 (1947).

gungserscheinungen und Krämpfe hervorrief. Nach SCHEMINZKY wären diese Erscheinungen nur durch die Annahme zu erklären, daß alle Zellen des ZNS, zum mindesten des Rückenmarks, einen *bestimmten Feinbau* aufweisen, infolge deren eine *bestimmte Orientierung* der vom Strom beeinflussten Nervenzellen, eine «*funktionelle Polarität*» vorhanden sei.

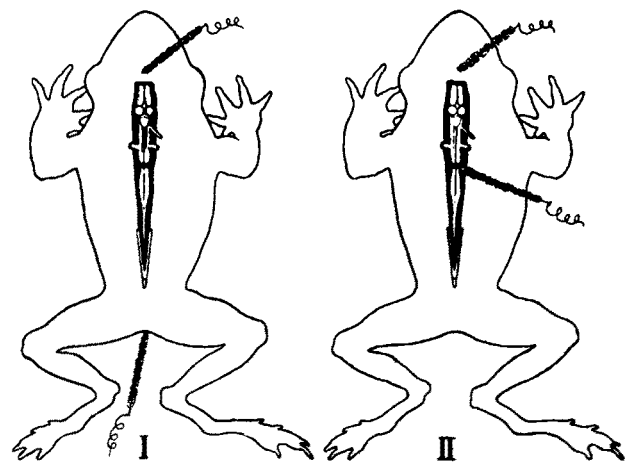
Die Annahme, daß eine Nervenzelle *ungleichwertige* Zellpole besitze, ja selbst daß normalerweise eine Potentialdifferenz zwischen dem Ursprungsanteil des Neuriten und dem gegenüberliegenden Dendritenteil der Zelle bestehe, liegt natürlich durchaus im Bereiche der Möglichkeit, und GESELL¹ hat auf eine solche Hypothese eine geistreiche Theorie der nervösen Atmungsregulation begründet. Wenn man aber bedenkt, daß im Rückenmark Milliarden von Zellen Erregungen in auf- und absteigender, ja in allen möglichen Richtungen passieren lassen, erscheint eine einsinnig gerichtete Polarität ziemlich außerhalb aller Denkbareit. In der Tat haben Untersuchungen in unserem Institut gezeigt, daß die Annahme einer «funktionellen Polarität» zur Erklärung der von SCHEMINZKY beschriebenen Erscheinungen ganz unnötig ist, daß sie sich vielmehr auf die längst bekannten, auch von SCHEMINZKY in seinem Artikel kurz gestreiften elektrotonischen Erscheinungen zurückführen lassen; ja, es läßt sich die Nichtexistenz einer solchen Polarität durch geeignete Versuchsanordnungen direkt erweisen.

Wir gingen von Versuchen aus, die wir über die Wirkung des konstanten Stroms auf die automatisch tätigen Atemzentren des Frosches angestellt haben². Bei diesen hatten wir ein Verhalten beobachtet, das zunächst eine völlige Analogie zu den Angaben SCHEMINZKYS darzustellen schienen. Wurde nämlich der positive Pol auf das Kopfmark, der negative weiter unten auf das Rückenmark angelegt, der Strom also absteigend geleitet, so ergab sich im allgemeinen eine Verlangsamung und Abschwächung der Atmungstätigkeit, während die Umkehrung eines so applizierten Stromes eine Verstärkung und Beschleunigung der Atmung hervorzurufen pflegte. Es zeigte sich aber, daß dieser Effekt durchaus nicht von der Stromrichtung, sondern von der Lage der Elektroden, d. h. von der elektrischen Aufladung des Atemzentrums abhängt. Unter der Kathode wird die Atmungstätigkeit verstärkt, unter der Anode vermindert. Dreht man die Lage der Elektroden um, so daß die eine Elektrode wie vorher auf dem Kopfmark, die andere aber nicht nach unten, sondern nach oben auf den Kopf zu liegen kommt, so ist es wieder die Kathode, die die Atmung verstärkt, und die Anode, die sie hemmt, obwohl die erste jetzt dem absteigenden, die zweite dem aufsteigenden Strom entspricht. Die gleiche polare, d. h. durch die Art der Aufladung bedingte Wirkung ist auch dann zu beobachten,

wenn die zweite Elektrode irgendwo *seitlich* auf den Körper appliziert wird, so daß der Strom nicht auf- oder absteigt, sondern von rechts nach links oder umgekehrt fließt.

Es lag nunmehr der Gedanke nahe, ob nicht auch das SCHEMINZKY-Phänomen in ganz gleicher Weise zu deuten sei.

In der Tat konnten wir in unseren Versuchen zeigen¹, daß wenn man eine Elektrode auf die Halsanschwellung oder den dorsalen Teil des Rückenmarks kräftiger Frösche anlegt und die andere *seitlich* an den Schultergürtel oder (nach Entfernung der Haut) an die Bauchwand, beim «Einschleichen» (langsamen Ansteigen) eines konstanten Stromes von 1–3 mA, die als Index der Erregung dienende untere Extremität in Krämpfe verfällt, sofern die Kathode dem Rückenmark aufliegt, während bei Einwirkung der Anode auf das Rückenmark das Bein meist völlig erschlafft und bewegungslos bleibt. Auch hier ist es also *nicht die Richtung des Stromes*, sondern die negative oder positive Aufladung, die die charakteristische Stromwirkung erzeugt. Ja, durch geeignete Kunstgriffe ließ sich auch hier eine völlige Umkehrung des SCHEMINZKY-Effektes erzielen:



Umkehr des Scheminzy-Effektes.

I. Lage der Elektroden beim normalen Effekt.

II. Lage der Elektroden zur Erzielung der Umkehr.

Wird bei Anstellung des SCHEMINZKY-Experiments das Rückenmark quer durchschnitten, so bleibt der Erfolg meist unverändert. Dies ist bei näherer Überlegung ohne weiteres verständlich. Die Durchtrennung des Rückenmarks hat keine andere Wirkung, als daß die Stromzuleitung zur unteren Rückenmarkshälfte, die jetzt allein den Zustand der unteren Extremitäten beherrscht, statt durch die äußere Elektrode, durch den oberen Abschnitt des ZNS erfolgt, der als «physiologische» Anode oder Kathode fungiert und daher auch die gleiche Wirkung herbeiführt. Das muß verhindert werden. Der Versuch wurde daher in der folgenden Weise modifiziert: Unterhalb der Halsmarkanschwellung wird

¹ R. GESELL, *Ergebn. d. Physiol.* 43, 477 (1940).

² A. SEDEFIYAN und H. WINTERSTEIN, *Rev. Faculté Sci. Univ. d'Istanbul, Sér. B*, 9, 273 (1944).

¹ H. WINTERSTEIN und A. SEDEFIYAN, *Nature* 155, 238 (1945); *Rev. Faculté Sci. Univ. d'Istanbul, Sér. B*, 10, 89 (1945).

das Rückenmark durchtrennt und ein 1–2 mm langes Stück exstirpiert. Legt man jetzt die eine Elektrode an den Kopf, die andere zwischen die Beine unter den After (Abb., I), so erfolgt der SCHEMINZKY-Versuch in der ganz gewöhnlichen Weise, die Krämpfe treten nur bei aufsteigender Richtung auf, also wenn die Kathode am Kopf liegt. Verschiebt man aber jetzt die am analen Ende liegende Elektrode nach oben, so daß sie auf die Schnittstelle der unteren Rückenmarkshälfte zu liegen kommt (Abb., II), so ist eine Fernwirkung der Kopfelektrode ausgeschaltet, denn auf den unteren Rückenmarksabschnitt kann jetzt nur die seinem oberen Ende anliegende Elektrode wirken. Und jetzt kehrt sich der SCHEMINZKY-Effekt prompt um: der *absteigende* Strom, bei welchem die Kathode auf die Schnittfläche des Rückenmarks zu liegen kommt, erzeugt *Krämpfe*, während der *aufsteigende* Strom, bei dem die Bewegungszentren der unteren Extremitäten sich unter der Anode befinden, jetzt eine *Erschlaffung* herbeiführt.

Genau so wie beim Atemzentrum ist also auch hier *nicht die Stromrichtung*, sondern die *einwirkende Elektrode*, die Zufuhr positiver oder negativer Ladung, der maßgebende Faktor. *Von einer funktionellen Polarität ist nichts zu bemerken.*

Und damit ergibt sich die Möglichkeit, die ganzen Effekte auf die in der Nerv/Muskel-Physiologie wohl-bekannten elektrotonischen Erscheinungen zurückzuführen, nämlich auf die Steigerung der Erregbarkeit an der Kathode und deren Herabsetzung an der Anode. Wenn die Elektrode, deren Wirkung auf die Rückenmarkszentren der Hinterbeine beobachtet wird, die *Kathode* ist, so kommt es zu einer *Erregung*, ist es die *Anode*, dann zu einer *Lähmung*. Die Lage der anderen Elektrode (oben, unten, seitlich) und damit *die Richtung des Stromes ist völlig gleichgültig.*

Es bleibt jetzt nur noch zu erklären, warum bei dem Originalexperiment von SCHEMINZKY bei *gleichzeitiger* Einwirkung der Anode und der Kathode auf das ZNS die Wirkung von der Richtung des Stromes abzuhängen scheint, d.h. warum bei der einen Stromrichtung der Effekt der Anode und bei der anderen der Effekt der Kathode zum Vorschein kommt. Auch zur Erklärung dieser Erscheinung genügt unseres Erachtens eine schon längst bekannte Tatsache, nämlich die Vorherrschaft der höheren (oberen) Zentren über die niederen (unteren). Wir wissen, daß zahlreiche Rückenmarkszentren normalerweise stets nur unter der Herrschaft der übergeordneten funktionieren und nach Ausschaltung derselben wenigstens zeitweise funktionsunfähig sind. So erklärt sich die erregende Wirkung des aufsteigenden Stromes bei Längsdurchströmung des ganzen ZNS durch die kathodische Erregung der übergeordneten Zentren und das Ausbleiben der Erregung oder die lähmende Wirkung des absteigenden Stromes durch die anelektrotonische Ausschaltung derselben, die auch die unteren Zentren ihrer Funktionsfähigkeit beraubt.

In ganz analoger Weise haben schon vor langer Zeit BLASIVS und SCHWEIZER¹ bei ihren Versuchen über Galvanotaxis beobachtet, daß für den Ausfall des Experiments maßgebend ist, ob der *obere* Teil des ZNS in Anelektrotonus oder Katelektrotonus gerät. Sie folgerten daraus: «Der absteigende Strom lähmt die Hirnfunktion und unterbricht die Reflexbogen, der aufsteigende Strom erhöht die Funktion des Hirns und des oberen Rückenmarks und erleichtert die Reflexübertragung.»

SCHEMINZKY'S Annahme einer «funktionellen Polarität» ist also nicht bloß irrig, wie der Versuch der Umkehr des Phänomens zeigt, sie ist für die Erklärung des Originalversuches auch völlig unnötig.

Die sinnreichen Versuche, die SCHEMINZKY und seine Schüler über Kombination chemisch und elektrisch erzeugter Erregbarkeitsänderungen angestellt haben (Stromdosisverfahren), beweisen nur — was ja wohl von vornherein zu erwarten war —, daß an demselben Organ mit verschiedenen Methoden erzeugte Erregbarkeitsänderungen sich algebraisch summieren; über die Genese der Erscheinung können sie natürlich nichts aussagen und daher weder als Argument für noch gegen eine Hypothese verwendet werden.

Summary

SCHEMINZKY found that the effect produced by passing a constant current through a frog depended on the direction of the current. While a descending current (directed from head to foot) produced paralysis, an ascending current produced convulsions. SCHEMINZKY believed that it was impossible to explain this phenomenon in any other way than by a «functional polarity», involving a special microstructure in the cells of the spinal cord. — We found that the observed effect is in no way connected with the direction of the current, and that, on the contrary, it depends exclusively upon the electrical charge applied to the upper centres. The cathode on the spinal cord produces convulsions while the anode does not. The effects remain unchanged if the second electrode is removed from the spinal cord and applied to some spot outside the central nervous system. If, following extirpation of a small segment of the spinal cord, one electrode is placed on the head and the second electrode is applied to the cut surface of the lower part of the spinal cord, a perfect reversal of the SCHEMINZKY phenomenon can be obtained.

The SCHEMINZKY phenomenon is thus reduced to the well-known stimulating effect of the cathode and the paralyzing effect of the anode. The question why a current passing in one direction (descending) should produce the anodic effect, while a current passing in the opposite direction (ascending) should produce the cathodic effect, can easily be explained by another well-known fact, i.e. the dependance of the lower spinal centres upon the higher ones. If the brain and upper centres are nearer to the anode (descending current), their anelektrotonic elimination has a paralyzing effect, while their catelektrotonic excitation with an ascending current produces convulsions.

¹ E. BLASIVS und F. SCHWEIZER, Pflügers Arch. 53, 493 (1893), cit. nach J. LOEB, Wintersteins Hb. d. Vergl. Physiol. 4, 492 (1913).