

Die biologischen Gesetze der Nervenerregung im zentrifugalen und zentripetalen Nerven.

Von

Dr. Eduard Richter (Hamburg).

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 4. März 1919.)

Die Physiologie hat uns auf dem Gebiete der Nervenerregung zwei fundamentale Gesetze gegeben, welche uns seit langem schon bekannt sind und doch nicht so normativ waren, daß sie seit ihrer Bekanntgabe unser wissenschaftliches Erkennen und unser therapeutisches Handeln auf dem Gebiete der Nervenheilkunde in geradezu legislativer Weise beeinflussen konnten. Im Gegenteil, gerade auf dem Gebiete der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie herrscht eine große Ungewißheit, aus der eigentlich nur zwei Tatsachen objektiv hervorragen, nämlich die sogenannte Entartungsreaktion und die Anwendung des Induktionsstromes. Eine Klärung der genannten unübersichtlichen Verhältnisse kann nur dann eintreten, wenn es uns möglich ist, ganz klare Gesetze über „die Nervenerregung der Sinnesnerven und motorischen Nerven oder allgemeiner der zentripetalen und zentrifugalen Nerven“ zu gewinnen. Solche Gesetze lassen sich klar und deutlich finden und geben uns nicht nur Aufschluß über die Nervenerregung überhaupt, sondern auch über Nacherregung, Erholung und über unser therapeutisches Handeln.

Die beiden obengenannten bekannten Gesetze der Nervenerregung betreffen elektrische Nervenerregung und sind das Pflügersche und Du-Bois-Raymondsche Gesetz. Ersteres lautet: „Der Nerv zerfällt durch den konstanten elektrischen (polarisierenden) Strom in eine Strecke erhöhter und eine Strecke verminderter Erregbarkeit, erstere zu beiden Seiten der Kathode, letztere zu beiden Seiten der Anode. Diese Veränderung nennt man Katelektrotonus und Anelektrotonus. — Nach der Öffnung hinterläßt für kurze Zeit der Katelektrotonus verminderte, der Anelektrotonus erhöhte Erregbarkeit.“ Zu diesem ersten gesellt sich das zweite Gesetz von Du Bois, welches er als allgemeines Gesetz der elektrischen Nervenerregung aufstellte: „Nicht der absolute Wert der Stromdichtigkeit in jedem Augenblick ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zucken des zugehörigen Muskels

antwortet, sondern die Veränderung dieses Wertes von einem Augenblick zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.“

Diesen beiden Gesetzen haften zwei Bedenken an: 1. daß sie nur am motorischen Nerven aufgestellt sind und 2. daß sie an herausgeschnittenen Tiernerven studiert worden sind. — Wenn man das Pflügersche Gesetz der polaren Erregung als Zuckungsgesetz aussprechen will, so heißt es folgendermaßen: „Bei Schließung und Öffnung eines konstanten Stromes am motorischen Nerven (Frosch) zeigen die am Muskel auftretenden Zuckungen — je nach der Richtung und Stärke der Ströme — Verschiedenheiten. 1. Sehr schwache Ströme bewirken sowohl bei absteigendem als auch bei aufsteigendem Strome nur Schließungszuckung. Das Verschwinden des Anelektrotonus ist ein so schwacher Reiz, daß der Nerv noch nicht darauf reagiert. 2. Mittelstarke Ströme bewirken aufsteigend oder absteigend sowohl Schließungs- als auch Öffnungszuckung. 3. Sehr starke Ströme zeigen absteigend nur Schließungszuckung; die Öffnungszuckung fehlt, weil im Elektrotonus bei sehr starken Strömen fast die ganze intrapolare Strecke leitungsunfähig geworden ist. — Aufsteigende Ströme haben nur Öffnungszuckung zur Folge aus demselben Grunde. Von einer gewissen Stärke des Stromes an bleibt der Muskel während des Geschlossenseins in Kontraktion (Schließungstetanus).

Wenn nun die Physiologie behauptet, dies Gesetz der polaren Erregung gelte für alle Arten der Nerven, so kann ich das, begründet durch meine Versuche, bestreiten und widerlegen. Ganz bestimmte Gesetze der Nervenregung und Nacherregung mit restlos befriedigender physiologischer, teleologischer und therapeutischer Deutung fand ich durch meine folgenden Versuchsanordnungen: Ich ließ mir nach meinen Angaben vier Elektroden anfertigen, 1. eine Augenelektrode, 2. eine Rachenelektrode, 3. eine Ohrenelektrode und 4. eine Analektrode. Die 1. besteht aus einem tellerförmigen Metallaufsatz für den Bulbus mit dazu senkrechter isolierter Stromzuführung, die 2. ist nach Art des Ohrentubenkatheters gebaut, d. h. hat dessen Krümmung und endigt vorn schwach knopfförmig; in ihrem Verlauf ist sie isoliert und wird durch die Nase nach dem Rachen geführt. Die 3. Ohrenelektrode ist ein kegelförmiger massiver Metallkörper, der in den äußeren Gehörgang geschoben wird. Die 4. endlich, die Analektrode, ist ein konisch abgestumpfter Metallstab von ca. 5 cm Länge, mit isolierter Stromzuführung. Alle diese Elektroden können bei Siemens & Halske bezogen werden. Durch Anlegen der tellerförmigen Augenelektrode auf den Bulbus bzw. auf die ge-

geschlossenen Augenlider und durch Einführen der Rachenelektrode durch die Nase hindurch bis an das Rachendach kann man das Auge bzw. den N. opticus gleichsam in seiner Längsrichtung der Wirkung elektrischer Ströme unterwerfen, und zwar prüfte ich mit den Elektroden konstante Ströme (und faradische und sinusoidale Wechselströme).

Mittels des konstanten Stromes fand sich ein feststehendes Gesetz der Erregung der Sinnesnerven bzw. des N. opticus. Bringt man die Anode auf den einen Bulbus, sei es auf den blanken Bulbus, sei es auf die geschlossenen Lider und setzt die Kathode hinter dem Auge am Rachendach an, so sieht man im dunklen Zimmer, wie der N. opticus auf diesen einsteigenden Strom mit Lichtreizung so lange antwortet, bis der Reiz wieder wegfällt. Es glimmt dann sichtbar im Auge die Nervenpapille in bläulich-weißem Licht, bis der Strom wegfällt. Alsdann tritt tiefe Dunkelheit ein. — Anders verhält sich der N. opticus, wenn man nun die Kathode auf den Bulbus bringt und die Anode hinter das Auge. Alsdann sieht man, bei Wirkungseintritt des jetzt aussteigenden Stromes, daß die Retina das Bild tiefster Dunkelheit zeigt, bis beim Öffnen des aussteigenden Stromes unter einem nochmaligen Lichtblitz der Stromreiz optisch aufhört. Während aber bei der ersten Versuchsanordnung keine Nacherregung sichtbar wurde, zeigt sich bei der zweiten Versuchsanordnung ein ganz bestimmtes Nacherregungsgesetz, nämlich, es tritt als Nacherregung die Papille leuchtend in Erscheinung. Es gleicht diese Papillensichtbarkeit dem Befund der I. einsteigenden Stromversuchsanordnung, bei welcher ja auch die Papille leuchtend zu sehen war. Da wir nun nicht annehmen können, daß bei einsteigenden Strömen keine Nacherregung da ist, so ist eben die absolute, nachher eintretende Dunkelheit das Gesetz der Nacherregung und Erholung, wogegen bei aussteigenden Strömen das Sichtbarwerden der Sehnervenpapille als Nacherregungsgesetz bzw. Ausgleichsgesetz hinzustellen ist. Die Stromstärke der hier in Frage kommenden Strömung ist ca. 1—2 Milliampere, um die Hälfte weniger jedoch, wenn man auf dem blanken Bulbus experimentiert.

Besonders deutlich zeigen sich dieselben Gesetze, wenn man die Anode auf dem Bulbus ansetzt, die Kathode anal verlegt, wobei eine Stromstärke von ca. 1—2 Milliampere in Frage kommt. Auch hier findet man als Ausdruck der N. opticus-Reizung das oben geschilderte Gesetz einsteigender konstanter galvanischer Ströme. Nimmt man die umgekehrte Versuchsanordnung, so sieht man das geschilderte Bild der aussteigenden Stromwirkung. Im ersteren Falle also findet sich Lichtreizung während der ganzen Reizzeit, im letzteren Falle Dunkelheit während der ganzen Reizzeit, nur daß diese Dunkelheit eingerahmt ist von zwei kurzen Lichterscheinungen bei

Eintreten und Austreten des aussteigenden Stromes. Nun läßt sich bei beiden Stromrichtungen außerdem feststellen, daß die Reizwirkung keineswegs davon abhängt, ob man mit der Anode schließt oder öffnet oder mit der Kathode schließt oder öffnet oder daß sie vom An- oder Katelektrotonus abhängt, sondern das oben geschilderte, immer wiederkehrende stereotype Opticusgesetz zeigt als Gesetz der Erregung eines Sinnesnerven, daß dieser Sinnesnerv nur abhängig ist von der Reizleitung, d. h. also von einsteigenden oder aussteigenden Strömen beeinflusst wird, daß er ferner auf einsteigende Ströme während der ganzen Reizdauer sinngemäß mit einer normalen Lichterscheinung antwortet, daß er aber hingegen auf aussteigende Ströme nicht antwortet, außer bei ihrem Eintritt und Austritt. Diese letzteren Ströme können wir also als perverse oder antiphysiologische bezeichnen, wogegen die einsteigenden als die physiologisch homonomen gedeutet werden müssen. Denn was ist der natürliche optische Lichtreiz anders als ein von außen aus der Raumwelt in unsere Sinneswelt eintretender Wellenreiz, dessen Wellen den elektrischen in Art und Beschaffenheit ziemlich nahekommen.

Um einen zweiten Sinnesnerven einer diesbezüglichen Untersuchung zu unterziehen, wurde die Anode in Gestalt der Rachensonde auf das hintere Drittel der Zunge gebracht, während die Kathode anal angesetzt wurde. Dabei zeigte sich bei Dauer des einsteigenden Stromes saurer Geschmack auf der Zunge. Schaltete man den Strom um, so hatte man auf der Zunge nur sensible Empfindung.

Brachte man die Rachenelektrode in die Höhe der oberen Muschel als Anode und setzte die Kathode wieder anal an, so hatte man eine Geruchsempfindung von metallisch säuerlicher Art; die umgekehrte Versuchsordnung zeigte nur anale Sensibilität. Von den genannten Sinnesnerven ist der N. olfactorius am schwersten zu treffen und zu beurteilen.

Nachdem N. olfactorius, N. opticus und N. glossopharyngeus geprüft waren, blieb noch übrig, den N. acusticus einer Prüfung zu unterziehen. Es zeigte sich nun, daß der ganze N. VIII überhaupt nicht einer galvanischen Reizung unterstellbar ist, wenigstens nicht beim Normalen, sondern höchstens sein N. vestibularis-Teil. Zwar habe ich im gleichen Sinne wie beim N. opticus das innere Ohr mittels Rachenelektrode und mittels ins Ohr geschobener kegelförmiger Ohrelektrode treffen wollen, jedoch sind die dabei auftretenden Körperschwankungen bei 2—5 Milliampere nicht so klassisch auslösbar, wie auf die nachfolgend noch zu schildernde Analmethode. Am besten sind die Gesetze gestörten statischen Gleichgewichts noch ablesbar, wenn man die eine Elektrode auf dem einen Auge anbringt und die andere Elektrode auf dem gekreuzten Ohr. Bei dieser Gelegenheit

kann man mit genügend starkem Strom das Opticusetz zusammen mit Gleichgewichtsstörungen — hervorgebracht durch den elektrischen Strom — studieren. Beim Normalen werden, wie gesagt, diese Gesetze nicht genügend zum Ausdruck kommen; ich werde gleich erklären, warum. Um eine Störung des Gleichgewichts herbeizurufen, bedarf man des ganzen statischen Organs, soweit es in dem Rumpf- und Halsrückenmark enthalten ist. Folglich kann eine Reizung vom Auge zum Ohr nicht jenen Effekt hervorbringen, wie es geschieht, wenn man eine Elektrode in aufrechter Haltung anal einsetzt, die andere in das zu prüfende Ohr. Die zu diesen Versuchen nötige Stromstärke ist ca. 5—7 Milliampere. Unter dieser Voraussetzung zeigen sich folgende Gesetze:

1. Ist die Anode anal eingesetzt, die Kathode im linken Ohr, so empfindet man außer einer kräftigen Trigeminessensation am Ohr und geringerer Sensation am After einen Schwankungsdrall nach vorn und etwas seitlich außen.

2. Die Anode im linken Ohr, Kathode im Anus, zeigt stärkere Sensation im Anus, starke Reaktion im vestibularen Apparat, links; diese Reaktion besteht in einer kreisförmig von außen nach innen verlaufenden Schwankung, also in einer rotierenden Neigung nach vorn.

3. Die Anode im Ohr rechts und die Kathode im Anus zeigt wieder stärkere Sensation anal und starkes vestibuläres Schwanken kreisförmig von innen nach außen-vorn rotatorischen Charakters.

4. Die Kathode im Ohr rechts, die Anode im Anus zeigt wieder starke Trigeminessensation und leichtes Schwanken nach vorn.

Macht man dieselben Versuche in horizontal liegender Stellung, so ergeben sich wenig charakteristische Befunde; legt man sich dagegen von senkrecht sitzender Stellung aus 45° geneigt nach hinten, so findet sich folgendes:

1. Anode anal eingesetzt und Kathode im Ohr links zieht nach hinten und gibt Trigeminessensation am Ohr.

2. Anode im linken Ohr, Kathode im Anus zieht rotierend nach links und zwar von links nach rechts.

3. Die Anode im Ohr rechts und die Kathode im Anus zieht rotierend nach hinten rechts.

4. Kathode im Ohr rechts, Anode anal, zieht nach hinten und zeigt wieder starke Trigeminessensation.

Bei all diesen vestibularen Gesetzen sind die Gesetze 2 und 3 am allerklarsten, d. h. also durchströmt der Strom einsteigend vom Ohr das Zentralorgan und das Rückenmark, so wird der Vestibularapparat und die statischen funktionellen Apparate oder Organe am kräftigsten beeinflusst. Bei allen diesen Prüfungen ist es nötig, den Effekt erst

abzuwarten, da er erst nach einigen Sekunden der galvanischen Reizung offensichtlich wird. Während der Versuch 3 eine ausgesprochene rotatorische Neigung nach rechts zeigt, zeigen die anderen drei Versuche mehr ein Schwanken nach links, und zwar wie gesagt 1 und 4 schwächer, 2 und 3 dagegen stärker. Wenn diese Gesetze bei allen Rechtshändern stimmen, so würde damit ein Zusammenhang zwischen Rechtshändigkeit und der Gewohnheit, meist links zu drehen, vielleicht konstatierbar sein, zumal Versuch 2 eine kreisförmige Bewegung von außen nach innen und Versuch 3 eine kreisförmige Bewegung von innen nach außen zeigt. Auch hier also würde sich wieder zeigen, daß einsteigende Ströme vom Ohr zum Rückenmark die meiste physiologische Wirkung haben.

Stellt man mit Hilfe eines feuchten Wattestöpsels eine Verbindung her zwischen dem Trommelfell und der zuführenden Ohrelektrode, so werden die Erscheinungen nicht wesentlich kräftiger oder charakteristischer. Durchfeuchtet man den Wattestöpsel mit 1proz. Schwefelsäure oder 1proz. Natronlauge, so ist letztere noch die entschieden wirksamste Substanz. Sinn der ganzen Zuführung des Stromes zwecks Prüfung des statischen Apparates kann aber nur jenen Versuchen zuerkannt werden, die, wie oben geschildert, das ganze statische System von den Füßen bis zum Ohr oder anal bis zum Ohr einschalten. Jede Art der Galvanisierung von anderen Stellen aus, z. B. von Schläfe zu Schläfe usw. ist geradezu widersinnig, entspricht nicht einmal den notwendigsten Vorbedingungen elektrischer Reizung, nämlich der Einschaltung des zu prüfenden Nervensystemteils soweit als möglich in seine axiale Längsrichtung.

Aber noch eins geht aus den Prüfungen vom Rachen zum Ohr oder anal zum Ohr hervor. Nicht ein einziges Mal antwortete der N. acusticus, auch nicht einmal bei feuchter Zuleitung bis aufs Trommelfell mit einem Klang, sondern nur der Vestibularapparat ist imstande, auf den elektrischen Reiz zu antworten. Unter normalen Verhältnissen ist also der galvanische Strom kein Reizmittel und keine Vorbedingung für die Auslösung eines Effektes am N. cochlearis. Der galvanische Strom ist kein adäquater Reiz zur Auslösung einer Tonempfindung, dazu gehören ganz spezifische Klangwellen und nicht elektrische Wellen, welche zwar imstande sind, den Opticus zu erregen wegen ihrer Verwandtschaft zu Lichtwellen, aber nicht den N. acusticus.

Einigermaßen von weiterem Interesse war es für mich, zu untersuchen, ob der Gyrus postcentralis vom Rückenmark aus erregt werden könnte. Setzte man die eine Elektrode anal an, die andere auf den Scheitel ungefähr entsprechend dem Gyrus postcentralis, z. B. Anode auf dem Scheitel, Kathode im Anus, so zeigte sich das Opticusgesetz (hier aber in seiner Umdrehung) Dunkelheit auf Erregung, Licht-

empfindung als Nacherregung — also als wenn die Kathode direkt auf dem Bulbus stünde, aber keine motorische Auslösung an Armen oder Beinen. Ebenso reaktionslos auf die motorischen Zentren war der umgekehrte Strom.

Von vielen anderen Versuchen will ich alle jene übergehen, die keine charakteristischen Gesetze zum Vorschein bringen oder infolge nicht direkter Einschaltung das Opticusgesetz zur Umkehr bringen. Wer meine Vorversuche darüber nachlesen will, findet darüber Bescheid in der Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. **19**, Heft 3 u. 4, 10 u. 12; Archiv f. Augenheilk. **43**, Heft 1; Monatsschr. f. Ohrenheilk. 1900, Heft 12.

Des weiteren gehe ich über, jene Gesetze zu schildern, welche den motorischen Nerven betreffen. Wenn ich also rekapituliere und vom Sinnesnerven feststelle, daß er durch einsteigende Ströme während des ganzen Zeitverlaufes gereizt wird, wogegen er durch aussteigende Ströme nur im Anfang Reizung zeigt, dann eine Untererregung zeigt durch absolute Nichtbeantwortung des Reizes und bei Aufhören des Reizes in eine positive Nacherregung übergeht, so sehen wir beim motorischen Nerven gerade das Umgekehrte.

Bringt man die Anode in den Anus und setzt die Kathode in den Handteller etwas ulnarwärts verschoben, oder noch besser unterhalb des Epicondylus medialis auf den Kopf des Musculus flexor carpi ulnaris, so sieht man, wie bei 12—15 Milliampere der Muskel von Anfang an in eine Dauerkontraktion gerät und mit dem Aufhören des Stromes seine Kontraktion aufhört. Man kann also letzteren Strom als den normalen Arbeitsstrom bezeichnen. Da das Rückenmark aber sein Zentralorgan darstellt, so setzt in diesem Falle die Anode zentral, die Kathode peripher an und es zeigt sich also das Gesetz der Dauerreizung des motorischen Nerven bei aussteigendem Strom im Gegensatz zum Sinnesnerven, dessen Dauerreizung nur durch einsteigende Ströme bewirkt wird.

Macht man den Versuch umgekehrt, d. h. die Kathode anal angesetzt, die Anode auf dem M. flexor ulnaris, so wird dieser Strom bei 12—15 Milliampere an und für sich schon schwächer empfunden, zeigt aber beim Eintritt seines Reizes eine leichte Zuckung und ebenso beim Aufhören des Reizes. Also die sog. Schließungs- und Öffnungszuckung. Dieser Strom entspricht also den einsteigenden Strömen, welche beim Sinnesnerv Dauerreizung hervorbringen, hier aber sich am Muskel nur durch Anfangs- und Schlußzuckung kundgeben, eine Erscheinung, wie wir sie beim Sinnesnerven des N. opticus als Anfangs- und Schlußlichtreizung beim aussteigenden Strom kennen. Bei allen diesen motorischen Versuchsanordnungen ist natürlich alles das abzurechnen, was man an sich als sensible Reizung empfindet.

Zwei große Kategorien von Nervengesetzen stehen sich also hier diametral gegenüber, und zwar finden wir bei unseren Versuchsanordnungen 1. daß das Zentralorgan des Gehirns oder Rückenmarks nur als Reizleiter an den Gesetzen teilnimmt, daß aber die Austragung des Reizes selbst den teleologischen Endorganen der Sinnesnerven oder motorischen Nerven vorbehalten ist. 2. Der Sinnesnerv kann durch Stromrichtungen, welche den physiologischen Reizrichtungen entsprechen, zu Dauererregungen angeregt werden, also hier einsteigenden Strömen. 2. Gerade umgekehrt verhalten sich die motorischen Nerven, welche nur durch aussteigende Ströme „entsprechend der Willensrichtung“ bzw. der Richtung des motorischen Reizes zu Dauerwirkung und Dauerarbeitsleistung angeregt werden können. Es besteht also zwischen diesen beiden Gesetzen ein diametraler Gegensatz, welchen man aber nicht am Körper anderer studieren soll, sondern zunächst an seinem eigenen. Der diametrale Gegensatz beider Gesetze bezieht sich nicht nur auf die normal physiologisch wirkenden Reize, sondern auch auf die im umgekehrten Sinne, also pervers verlaufenden antiphysiologischen Reize. Was des Sinnesnerven physiologisches Dauererregungsgesetz ist, ist für den motorischen Nerven das gegensinnige Gesetz und was für den motorischen Nerven das physiologische Dauererregungsgesetz ist, ist für den Sinnesnerven das gegensinnige Gesetz. Diesen Erscheinungen läßt sich auch bei der später erfolgenden Erklärung dieser Gegensätze Rechnung tragen.

Vorerst möchte ich aber noch der Reizgesetze der sensiblen Nerven erwähnen. Setzt man die Anode anal an und die Kathode auf die laterale untere Fläche des Oberschenkels handbreit oberhalb der Patella und schaltet jetzt den Strom ein, so erregt man die Rami cutanei anteriores des N. femoralis bzw. den N. saphenus. Zur Reizung dieser Hautnerven empfiehlt sich eine erbsenkopfgroße Elektrodensonde. Unter den gegebenen Bedingungen bei ca. 12 Milliampere fühlt man, wenn die Kathode auf dem sensiblen Nerven sitzt, und die Anode anal, strahlende Sensation fingerförmig nach unten gehend. Letztere klingt aber während der Stromesdauer ab und geht an der Kathode in einen dauernden Stichschmerz über. Sitzt dagegen die Anode auf dem sensiblen Nerven, die Kathode anal, so fühlt man — nach Stromwenden — kurzes leichtes Stechen am Oberschenkel, dann Aufhören des Schmerzes, welcher erst wieder beim Öffnen leicht stechend wird. Hingegen tritt unter dieser Versuchsanordnung bei ca. 10—12 Milliampere anale Sensation stark auf. Hat man die Anode auf dem Auge und die Kathode auf dem besagten Platz, so antwortet der N. opticus mit dem Dauererregungsgesetz und die Rami cutanei N. femoralis mit starker strahlender Sensation, also gleich dem Versuch 1 am sensiblen Nerven. Die Umkehrung verhält sich dann ähnlich dem Ver-

sich 2. Jedoch sind die Gesetze am sensiblen Nerven immerhin schwerer aufzustellen, weil ja überall sensible Nervenendigungen das Bild nicht ganz übersichtlich gestalten. Jedoch kann man wohl sagen, daß der sensible Nerv sich den Gesetzen der Sinnesnerven ungefähr anschließt, nur daß seine Erregungskurve keine Dauererregung zuzulassen scheint, sondern einen schräglinigen Abfall seiner Erregungshöhe herbeizuführen sucht. Zweifellos sind die Gesetze der Sensibilitätsreizung am schwersten deswegen aufzustellen, weil wir überall am Körper, wo wir Anode und Kathode auch aufsetzen, sensible Endorgane haben und man könnte geneigt sein, die sensiblen Nerven als die schließende Verbindungsstrecke aufzufassen, welche uns im „physiologischen“ Stromkreis Sinnesnerv — motorischer Nerv noch fehlt.

Die drei Kurven, welche bei der Reizung des Sinnesnerven und des motorischen sowie des sensiblen Nerven in physiologischer und antiphysiologischer Anordnung zur Geltung kommen, werden ungefähr so aussehen:

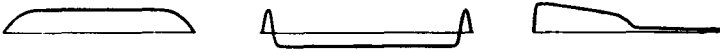


Abb. 1—3.

D. h. also wir finden eine Kurve der Dauererregung, eine Kurve mit Anfangs- und Enderregung und dazwischen liegender Untererregung und die Kurve der sensiblen Nervenreizung.

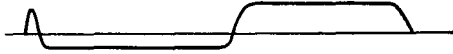


Abb. 4. Nacherregungskurve des Sinnesnerven.

Betrachtet man den N. opticus, nachdem man ihn einer Erregung mit antiphysiologischen Strömen unterzogen hat, so sieht man, wie er in eine physiologische Nacherregung gerät, d. h. auf das Bild tiefster Dunkelheit, welche der antiphysiologische Strom auslöste, erscheint mit Aufhören des aussteigenden Stromes eine Nacherregung in Gestalt der bläulich hell aufleuchtenden Nervenpapille. Dieses Bild erhält sich einige Sekunden und klingt dann ab. Hat man auf diese Weise den N. opticus mit 5 Sekunden Strom beschickt, so ist die Zeit der Nacherregung ungefähr auch 5 Sekunden. Zeitlich längere Reize von 10 Sekunden und 60 Sekunden geben bei 1—5 Milliampere keine wesentliche Verlängerung der Nacherregungszeit, so daß die Nacherregung im großen ganzen für kürzere und längere Reizzeit zeitlich ungefähr gleich abklingt. Dagegen ist die Nacherregung von der Reizstärke abhängig. Je stärker ich den Strom in den N. opticus einsende, desto stärker und kräftiger ist seine Nacherregung. Ich betone nochmals, daß man diese physiologische Nacherregung nur sieht nach antiphysiologischen Strömen, während die Nacherregung des N. opticus auf

normale einsteigende Ströme ein absolutes Dunkel darstellt, d. h. eine Zeit vollkommener Erholung. Kurz zusammengefaßt, ist also die Nacherregung im Sinnesnerven proportional der Reizstärke, dagegen weniger abhängig von der Reizzeit. Es zeigt sich aber beziehentlich der Nacherregung noch ein anderes sehr merkwürdiges Gesetz. Hat man die Kathode auf dem Auge einer Seite angebracht, die Anode aber auf dem Rachendach, und läßt den aussteigenden Strom wirken, so stellt sich, wie beschrieben, nach Unterbrechung des Stromes die „Nacherregung“ ein. Bringt man jetzt aber die Kathode auf das andere Auge, so erlischt in demselben Moment die Nacherregung des erst gereizten Auges. Hat man das eine Auge unter aussteigenden Strom gesetzt — und setzt jetzt schnell das andere unter einsteigenden, so verschwindet die Nacherregung im ersten und die Erregung des zweiten zeigt sich erhöht. — Setzt man das eine Auge unter einsteigenden Strom und darauf das zweite unter aussteigenden, so zeigt sich im zweiten kurze positive Nacherregung im Sinne des einsteigenden Stromes. — Es zeigt sich also, daß die Nacherregung völlig untergeordnet ist einem neu eintretenden Reiz; die Nacherregung verschwindet, wenn ein neuer Reiz ein anderes benachbartes Organ in Reizzustand versetzt. Die Nacherregung wird also durch ein benachbartes, in Reizzustand versetztes Organ abgelenkt. Da nun der erst gereizte Nerv weiterhin keinen Wiedereintritt seiner Nacherregung zeigt, im Gegenteil in das Bild tiefster Ruhe und Dunkelheit getreten ist, so müssen sich die Ermüdungsstoffe in dem gereizten Nerven ansammeln und jetzt in der völligen Ruhe — also seiner Erholungszeit — eliminiert werden, ganz gleich, ob sie auf Grund physiologischer oder antiphysiologischer Reizarten sich gebildet haben.

Fasse ich die Gesetze der Nacherregung zusammen, so ergeben sich folgende wichtige Gesetze:

1. Der in Reizzustand erregte Nerv gerät nach Aufhören des Reizes in eine Nacherregung, und zwar ist die Nacherregung für im physiologischen Sinne sich abwickelnde Reize das Gesetz der Erholung.

2. Für Reize, welche sich im antiphysiologischen Sinne abwickeln, gerät der Nerv in eine Nacherregung, welche erst wieder das ursprüngliche normale Reizgesetz herbeiführt und erst nach dessen Abklingen den Erholungsgesetzen unterliegt.

3. Die Nacherregung ist durchaus proportional der Reizstärke; dagegen ist sie im normalen, nicht pathologischen Nerven für schwache oder starke Reize zwar abhängig von der Zeit, aber nicht in erkennbaren längeren oder kürzeren Zeitabschnitten, welche ebenfalls proportional der Reizstärke wären.

4. Die Nacherregung wird durch einen Reiz, welcher ein Nachbar-

gebiet trifft, ausgelöscht. Inwiefern letzteres Gesetz therapeutisch verwendet werden kann, ist weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Gehen wir nunmehr den Überlegungen nach, welche Wirkung durch den elektrischen Strom am Nerven sich bei elektrischer Erregung abspielen können, so wissen wir, daß wir den galvanischen Strom, wo wir ihn auch einschalten, zunächst in den Elektrolyten unseres Körpers zur Geltung brachten. Nach den Gesetzen elektrischer Ströme scheiden sich an der Anode Sauerstoff und Säuren (Hydroxyl) ab, an der Kathode Wasserstoff bzw. Metall. Dazu kommt das Faradaysche Gesetz: die an den Elektroden ausgeschiedenen Stoffmengen ein und desselben Elektrolyten sind den durchgegangenen Elektrizitätsmengen proportional. Vergleiche ich den einsteigenden Strom am Sinnesnerven mit diesen Gesetzen, so kann ich folgern, daß die Wirkung des elektrischen Stromes in den Elektrolyten unserer Sinnesnerven ebenso zur Geltung kommt und dadurch die physiologische Wirkung hervorbringt, indem von der peripheren Säurebildung zur zentralen Alkalisplaltung die physiologische Spannungsdifferenz bzw. der Sinnesreiz sich auslöst. Umgekehrt würde sich zeigen, daß am motorischen Nerven die zentrale Säurebildung und die periphere Alkalisplaltung (letztere im Muskel) die Spannungsdifferenz herbeiführen würde. Stellt man beide Gesetze aufeinander ein, so würden sich für das Zentralorgan äußerst sinnvolle Gruppierungen ergeben, indem im Zentralorgan gerade an der Stelle, wo Sinnesnervenreiz und motorischer Nervenreiz sich miteinander verkuppeln — assoziieren, kommissionieren — zwischen Säurebildung und Basenabspaltung sofortige Bindung wiedereintreten könnte und das Zentralnervensystem unter äußerst geringe Umsatzverhältnisse gestellt wäre, die einzig und allein dahin streben, die tätigen Zellen zu ernähren, wachsen zu lassen und die geringen Umsatzprodukte ihrer Tätigkeit wieder auszuschwemmen. Letztere Anordnung des zentralen Nervensystems wäre im Zusammenhang des zentripetalen und zentrifugalen Nerven eine Zweckmäßigkeit, wie sie genialer gar nicht gedacht werden kann. Es steht nun nichts im Wege, die physiologischen Gesetze der Nervenreize ohne weiteres mit denen der galvanischen Reizung zu vergleichen, denn wir wissen, daß unser kolloidaler Körper von einem basischen Blutsystem fortwährend durchspült wird, wogegen Säuren aller Art (Harnsäure, Phosphorsäure, Salzsäure, Kohlensäure) an den Ausscheidungsorten zur Geltung kommen. Wir würden auch danach einen Rückschluß ziehen können auf die sekretorischen Nerven, welche an ihren peripherischen Punkten Säuren abspalten, z. B. die Salzsäure des Magens (Kohlensäure der Lunge; N. X.). Die Abspaltung der Salzsäure des Magens würde uns ein Beweis sein, daß der sekretorische Nerv (N. X.) ebenfalls zentripetalen Reizen (Nahrungsaufnahme) unterliegt, weil wir ja wissen, daß der

zentripetale Nerv am peripherischen Endorgan — in Vergleichstellung zur Anode — Säuren an diesen Orten bildet. Ganz ohne Zweifel ist es, daß kein anderes Reizsystem den physiologischen Reizbedingungen vergleichsweise näherkommt als der elektrische Strom. Daß nicht nur unser Muskel, sondern unser ganzer Körper ein chemo-dynamischer Organismus ist, und daß wir an Spannungsdifferenzen zwischen Säuren und Basen als Extrem und ihren Übergängen in den verschiedenen stofflichen Materien unbedingt denken können, wie wir z. B. schon in Blut und Harn eine Gegenüberstellung von Alkali und Säure haben. Als schließender Stromkreis scheint für die äußeren Organe das sensible Nervensystem, für die inneren das N. sympathicus-System zu funktionieren.

Noch ein weiterer Ausblick wird uns durch die Aufstellung des Opticus-Gesetzes geboten. Da wir sehen, daß der einsteigende Strom allein berufen ist, dauernde Lichtempfindung am Sinnesnerven unseres Sehorganes hervorzurufen und dauernd die lichtperzipierenden Organe in Erregung zu versetzen, so entspricht er den Lichtwellen des Äthers. Wir sehen aber auch ferner, daß der entgegengesetzte Strom nur im Anfang momentan eine Lichterregung hervorruft und dann in der Dauerwirkung des physiologisch entgegengesetzten Reizes mit Dunkelheit antwortet, bis die Nacherregung diese Dunkelheit beim Aufhören des Reizes wiederauslöst. D. h. also unser Auge, oder verallgemeinert unser Sinnesnervensystem, ist so auf die Raumwelt teleologisch eingestellt, daß nur Reize physiologischer Art, welche von außen kommen, es in normale Erregung versetzen können, während derselbe Reiz, wenn er z. B. auf dem Wege durch das Gehirn hindurchprojizierend die Netzhaut trafe, absolut während seiner Dauer mit Dunkelheit beantwortet werden würde. Oder mit anderen Worten, wir sind in das Lichtsystem des uns umgebenden Weltraumes direkt hineingebaut und unser Körper ist mit seinen Sinnesorganen auf die uns umgebende Raumwelt eingestellt.

Wenn ich mich noch kurz über die Verwendung elektrischer Ströme zu therapeutischen Zwecken äußere, so sind es vorläufig nur einige wenige Hinweise, deren Gültigkeit ich aber erst an pathologischen Fällen weiter prüfen möchte. Von der Überlegung ausgehend, daß zunächst ein übererregter Nerv, d. h. also durch zu starke oder zu häufige Reize in Anspruch genommener Nerv eines Gegengewichtes bedarf, so würde für diese Formen der Nervenerkrankungen eine Hemmung das richtige therapeutische Handeln bedeuten, welches wir erreichen, wenn wir die Anode axial am Zentralnervensystem ansetzen und die Kathode am peripheren Organ, weil wir dadurch den Nerven in einen Ruhezustand versetzen. Dieser zweiten Phase der ausgeschalteten Erregung würde eine physiologische Nacherregung Platz machen. Ist ein Nerv

in einen Reizzustand geraten, welcher seine normalen Erregungsgesetze umkehrt, so kann man dieses Verhältniß ausschalten, indem man ein Nachbarorgan, welches noch physiologisch reagiert, mit dem antiphiysiologischen Reiz behandelt.

Ich gebe noch an der Hand der Nervenirregungsgesetze einen Ausblick über folgende Gesichtspunkte: Wenn sich unsere Nervenirregungen im gesunden Körper durch die Spannungsdifferenzen zwischen den Elektrolytengruppen abspielen, so kann sich im kranken Körper — sagen wir zunächst vom lokalisierten Krankheitsherd (Infektionsherd) aus — durch vermehrte Säurebildung (oder Alkalibildung) an der einen Nervenendstelle telepathisch im Zentralorgan vermehrter Umsatz oder veränderter Umsatz im Sinne des veränderten Nervengefälles bilden. Wir würden bei lokalisierten Infektionsherden — nicht nur wegen der vorhandenen Infektionskeime eine fiebrige Temperaturerhöhung finden, sondern auch wegen des höheren Umsatzes im Nervengefälle. Bei jeder Infektion würde sich also der Körper nicht nur als Reagensglas oder Behälter für die Infektionskeime einstellen, sondern auch als ein lebender Organismus, dessen Zentralnervensystem von allen affizierten Nervenendstellen aus zu vermindertem, erhöhtem oder verändertem Stoffumsatz angetrieben wird und daher auch auf diesem Wege in Fieberzustand gerät.

Aber auch die Erkältung, deren Wesen uns noch rätselhaft ist, kann durch die Erkenntnis der Nervenirregungsgesetze aufgeklärt werden. Nehmen wir an, daß ein Erkältungsreiz verschiedene periphere Nervenendstellen kalorisch so ungünstig beeinflußt, daß der normale Umsatz an der Nervenendstelle unter seine Qualitätsnorm sinkt oder diese übersteigt, so würde, ganz abgesehen davon, daß der veränderte Umsatz (sei er sekretorisch — Schweiß, Sekrete — oder sonstwie) einen günstigen Invasionsboden darstellt, das veränderte Nervengefälle die Erkältung von der Angelegenheit der Lokalerscheinung zu einer Gesamtorganismusangelegenheit mit Hilfe des Zentralnervensystems machen.

Ferner könnte man schließen, daß ein Körper nur dann siegreich aus einer Krankheit hervorgeht, wenn ein großer Prozentsatz der Nervengefälle unter physiologischen Bedingungen weiterarbeiten kann.

Welche Forderung ferner bez. Aufstellung der Gesetze die Pathologie der Nerven mit ihren mannigfachen Abstufungen im genaueren verlangt, das muß an dem Bilde der einzelnen Krankheitsformen selbst studiert werden. Eine endgültige Normierung dieser Regeln kann erst danach erwachsen.

Schließlich bleibt es noch zu erwähnen übrig, daß ich versuche, mittels elektrischer Reizung die Strangsysteme im Zentralorgan experimentell im Tierversuch zu verfolgen.