Deutsche Medizinische Wochenschrift

Begründet von Dr. Paul Börner

HERAUSGEBER:

Geh. San.-Rat Prof. Dr. Schwalbe

Berlin-Charlottenburg, Schlüterstraße 53

VERLAG:

GEORG THIEME / LEIPZIG

Antonstraße 15

Nummer 50

Donnerstag, den 15. Dezember 1921

47. Jahrgang

Zur Lehre vom Aktionsstrom.

Von F. Kraus und S. G. Zondek.

Bei der Muskeltätigkeit unterscheidet man zweierlei Stromstöße, den Aktionsstrom im engeren Sinn und einen Strom, den einige Forscher „Tonusstrom“ genannt haben. Der letztere, welcher aus phasischen Teilen und längerdauernden Deformationen der Saite besteht, wird bereits ebenfalls zur klinischen Analyse der Muskelfunktion verwertet, besitzt also ein praktisches Interesse.

Für unsere Untersuchungen dienten hauptsächlich der isolierte quergestreifte Froschmuskel und das Straubsche Präparat (Froschherz). Einige Experimente machten wir auch bei erhaltener Zirkulation an Fröschen und Kaninchen. Versuchsweise ist (in einzelnen Fällen) endlich auch der Mensch herangezogen worden.

Neben dem Kondensatorverfahren benützten wir bei Registrierung der Aktionsströme ein Verfahren der vollständigen Kompensation aller Bestandströme, es wurde an das Versuchsobjekt ein Strom angelegt, der durch einen entgegengesetzt gerichteten eben aufgehoben wurde. Dabei schlug das Herz, der quergestreifte Muskel wurde (direkt oder indirekt) in Zuckung versetzt.

Genaueres in betreff der Methode und die vollständige Wiedergabe der Kurven behalten wir einer ausführlichen Publikation vor.

Wir arbeiteten zunächst mit dem Straubschen Präparat. Außer dem Elektrokardiogramm (Kondensatorverfahren) verzeichneten wir gleichzeitig die mechanische Kurve und dehnten womöglich die Beobachtung aus bis zur eingetretenen Akinese. Dabei kommt es auf systolischen oder diastolischen Stillstand hinaus. Gewisse Schlüsse sind danach auf den Tonus immerhin möglich. Weiter legten wir besonders großes Gewicht auf die Absorption von Wasser im Präparat. Zum beiläufigen Nachweis der letzteren dient die Bestimmung des Leitungswiderstandes der Speisungsflüssigkeit des Herzens vorher und nach längerem Schlagen desselben bis zum eingetretenen Stillstand.

Von der Annahme, daß ein Medium, in welchem gewisse lebhaft chemische Reaktionen (Stoffwechsel) vor sich gehen, gegen ein solches ohne derartige Reaktionen Ströme erzeugt (Alterationstheorie), sind wir nicht ausgegangen. Uns schwebten die Beutnerschen und ähnliche Modelle vor bzw. die Frage, wie solche Modelle im lebenden (überlebenden) Organ funktionell entstehen und vergehen (reversibel sind) und welche von diesen Modellen die Vorgänge im Organismus wiedergeben? Angeregt durch die einschlägigen Arbeiten von Cremer, Haber, Freundlich, Girard, Mac Donald, J. Loeb und Beutner, Höber, strebten wir mit unserem Versuchsverfahren an, etwas beizutragen zum Verständnis der bioelektrischen Kräfte, soweit dieselben zustandekommen durch Schichten wasserunmischbarer Substanzen zwischen wäßrigen Lösungen in bei reversibler spezifischer Adsorption aus der Lösung veränderten Membranen und soweit (konvektive) Flüssigkeitsbewegungen von Einfluß sind auf die Kraft der Membrankette. Wir fanden, daß osmotische Einwirkungen ausgeschaltet sind und daß vermutlich die in den Grenzschichten sich abspielenden elektrolitischen Vorgänge große Veränderungen der Grenzflächenspannung bedingen.

Indem wir die funktionellen Beeinflussungen als Folgen von Grenzschichtalterationen auffaßten, haben wir zunächst die physiologischen Wirkungen einzelner Elektrolyte auf das Straubsche Präparat geprüft. Treiber des Straubschen Herzens sind nach unsern Ermittlungen gewisse Ionen. Aus dem durch die Stanniusligatur bewirkten Stillstand bringt OH die Kammer zu längerem regelmäßigen Schlagen, während z. B. mechanische Reizung der Kammer nur Einzelschläge bewirkt. Reizung durch OH ist auch schon früher für die Gefäße, den Darm, die Entwicklung des Eies angenommen worden. Praktisch indifferent bzw. hemmend ist H. Dies ist — physikalisch-chemisch begreifbar — leichter nachzuweisen mit HCl als mit H₂SO₄. Auch Na schwächt eher. Li und NH₄Cl sind indifferent. Zuckerlösung verhält sich wie Wasser. Ein Antagonismus ist für das schlagende Herz nachweisbar zwischen OH, Ca einer- und H, K, La andererseits. Der osmotische Druck ist ohne Einfluß; erhöht man den Druck einer verdünnten Ringerlösung durch Zucker zur normalen Höhe, wirkt die Speisungsflüssigkeit nach wie vor. Besonders instruktiv ist das Verhalten von KOH, welches eine verhältnismäßig günstige Kombination darstellt. Aber nur die Elek-

trolytkombination Ringer läßt das Straubsche Präparat lange Zeit mit normaler Frequenz und regelmäßigem Rhythmus schlagen. Jede Abweichung führt einerseits zu abnormer Absorption bzw. zu abnormer Verschiebung von Wasser, andererseits zu bald eintretender Akinese in Systole oder Diastole, beides je nach den verwendeten Elektrolyten in gesetzmäßig verschiedener Weise. Systolischen Stillstand macht (Okularinspektion, mechanische Registrierung) in bekannter Weise Ca, und zwar schematisch, nach den Kurven etwa so

wiedergegeben: , Wasser, verdünnte Ringer-, Zucker-

lösung, Basen, Säuren rufen Stillstand in dieser Weise hervor:

K, La bewirken diastolischen Stillstand: . Bei Anwendung von Ca, K, La ist eine stärkere Wasserabsorption des Präparates oder das Gegenteil nach Maßgabe der Leitungswiderstandsbestimmung (vgl. oben) nicht sicher nachweisbar, bei Verwendung von Wasser usw. verrät sich die hochgradige Imbibition schon dem Auge. In betreff der Wasserverschiebung informiert besser das Verhalten des Muskels bei Kompensation (vgl. unten). Elektrophysikalisch bekundet sich Wassereffekt durch die bis zuletzt vorhandene, sehr steile J (R) und besonders durch die tiefe Jp (S). (Vgl. Fig. 1.) Es ist dabei ein sehr großes Mißverhältnis zwischen den Ordinaten der elektrischen und der mechanischen Kurve festzustellen. Wir stehen nicht an zu behaupten, daß auch in klinischen Fällen (menschliches Herz) die erwähnte Abweichung der Initialzacken-Gruppe einen ähnlichen Sinn hat, was für die praktische funktionelle Herzdiagnostik von Bedeutung ist. Oberflächenaktive Farbstoffe beeinflussen gleichfalls das Elektrokardiogramm in seiner Ordinatenhöhe.

Die Grenzflächen (Membranen) betrachten wir nicht als bloß oberflächliche Plasmahaut, die Struktur des Protoplasten ist ein ungeheueres System von Oberflächen, welche nicht bloß materielle Grenzen, sondern auch der Sitz von Potentialsprüngen (mechanische, elektrische) sind. Im Einfluß der Elektrolyte auf die Grenzflächenspannung zwischen Wasser und festen Stoffen treten die elektrischen Eigenschaften der Ionen in Beziehung zu den nach Größe und Richtung veränderlichen elektrischen Potentialen an diesen Grenzflächen (Überlagerung der mechanischen durch elektrostatische Adsorption). Deshalb werden Stoffe, wie die starken anorganischen Elektrolyte, welche die Oberflächenspannung des Wassers gegen Luft kaum beeinflussen, an bestimmten Stoffen stark adsorbiert, wobei mechanische und elektrostatische Adsorption unabhängig voneinander bestehen. Sobald die Grenzflächen „gesättigt“ sind, kann der Verlauf der Adsorption abnorm werden. Wenn wir im Vorstehenden die Ladung der festen Stoffe vor allem auf Adsorption beziehen (Adsorptionspotentiale), so kommen doch auch noch andere Grenzpotentiale in Betracht, z. B. Verteilungs- (Absorptions-) Potentiale. Das antagonistische Verhalten des Vagus und Sympathikus (im Herzen), das, wie die Untersuchungen von S. G. Zondek zeigen, ebenfalls auf den Gegensatz von K und Ca zurückzuführen ist, macht es wahrscheinlich, daß, für beide Nerven ein nicht spezifisches Leistungsvermögen angenommen, im Gewebe der Muskeln Membranen von ungleicher spezifischer Adsorption angelegt sind bzw. beim Funktionieren mit der letzteren hergestellt werden. Bei starker Ca-Konzentration ist dessen Oberflächenaktivität genügend groß, in alle Grenzflächen zu gehen. Bei Adsorption mehrerer Elektrolyte verdrängt ein Stoff einen andern zum Teil aus der Oberfläche. Wir haben Anhaltspunkte dafür, daß auch bei unserer Ver-

suchsanordnung ein Stoff, wie z. B. K, einen andern um so mehr verdrängt, je oberflächenaktiver er ist. Daß die Basen und Säuren überhaupt eine größere Tendenz haben, in die Oberfläche zu gehen, erklärt vielleicht die Rolle der OH als Treiber des Straub'schen Präparats.

Die Erscheinungen an den Grenzflächen bestehen, abgesehen von der Adsorption, noch besonders in Änderungen der Oberflächenspannung. Eine Erscheinung, welche aufs engste mit der Adsorption zusammenhängt, ist die sog. Oberflächenzähigkeit oder Festigkeit. Wenn das Ca-Herz zusammengezogen, das K-Herz schlaff ist, bedeutet dies, daß das Ca stärker adsorbiert und die größere Grenzflächenfestigkeit hervorbringt, eben im Verhältnis zur Grenzflächenkonzentration. Die Oberflächenspannung ist überhaupt das Maßgebende bei jedem (wenigstens für den Augenblick fixierten) Formgleichgewicht (beispiel: Muskellänge) im tierischen Organismus. Auf scheinbar so einfache Verhältnisse wird wohl das Tonusproblem hinauslaufen. Eine normale Elektrolytkombination und eine gute Permeabilität für Wasser ist dem Tonus nötig, aber keine abnorm starke, mit der Funktion wachsende und irreversible Imbibition.

In dem oben erwähnten Kompensationsverfahren sahen wir die Möglichkeit einer besseren experimentellen Beherrschung der Bedingungen des früher an zweiter Stelle genannten Stromstoßes. Letzterer wird denn (auch bei erhaltener Zirkulation) in allen Versuchsfällen typisch erhalten, mag man mit dem quergestreiften Muskel oder mit dem Straub'schen Präparat arbeiten. Bei Anwendung des Kondensators wird er nur in gewissen Fällen erkennbar.

Das Straub'sche Herz zeigt unter diesen Bedingungen in jedem einzelnen Elektrogramm je nach den verschiedenen Füllungen verschiedene, für jede Art der Speisung charakteristische Kurven, in denen die Elemente (Zackengruppen) des gewöhnlichen Elektrokardiogramms stecken. Die Kurven sind gerade so schön und gleichförmig, wie die bekannten Aktionsstromkurven. Dazu kommt noch eine anhaltende, wiederum mit der verwendeten Elektrolytkombination wechselnde Deformation der Saite (Ausweichen nach oben oder unten). Manchmal ist eine stärkere Dämpfung des Galvanometers vorteilhaft. (Vgl. Fig. 2.)

Fig. 2.

Der zweite Stromstoß ist unbedingt gebunden an die Vorgänge, welche den Aktionsstrom bewirken. Das gilt für den quergestreiften Muskel wie für das Straub'sche Herz. Auch beim sog. psychogalvanischen Reflex, wenn er so ausgelöst ist, daß ein direkter Reiz auf die Haut (Stich, Wärmereiz) angewendet wird, folgt der zweite Ausschlag der Saite (Kompensationsverfahren) stets einer vorausgehenden Negativitätsschwankung. Da also immer ein innerer Prozeß, die Muskel- (Hautdrüsen-) Erregung, maßgebend ist, sinkt schon die Wahrscheinlichkeit, daß im zweiten Stromstoß einfach periodische Widerstandsschwankungen infolge zeitweise gesteigerter Permeabilität einer peripherischen Plasmahaut zum Ausdruck kommen. Osmotische Veränderungen, etwa Freiwerden von Elektrolyt, kommen ebenfalls nicht in Betracht, weil der Leitungswiderstand des Muskels gar nicht in direktem Verhältnis steht zu dem, was man seinen osmotischen Druck nennt. Viel näher liegt es, das System der Membranen, welche die Struktur des Protoplasten bilden, also wiederum Grenzflächenerscheinungen in Betracht zu ziehen.

Wir finden nämlich bei Anwendung des Kompensationsverfahrens ganz analoge Antagonismen der Elektrolytkombinationen wie bei Benutzung des Kondensators. Ca z. B. lenkt die Saite nach unten, K, La flachen die Einzelkurve gegenüber Ringer sehr charakteristisch ab, und die Form der Kurven bei OH und Ca ist typisch im Vergleich zu derjenigen mit H, K, La bzw. mit Ringer (vgl. Fig. 2). Dies alles spricht, zusammengehalten mit dem Früheren, dafür, daß Membranen in Betracht kommen, und zwar solche, in die außer Wasser auch gewisse Elektrolyten eindringen können. Die Gewebe gleichen Diapragmen mit Wänden, die eine Ladung (durch Adsorption) haben. Die von uns beobachteten Unterschiede der Ionen treten uns in analoger Weise bei allen biologischen Membranvorgängen entgegen. Die Quellbarkeit der Membranen könnte bloß für Speisungen mit H und OH wesentlich in Betracht kommen. Unsere Beobachtungen sprechen aber dafür, daß in unserem Falle normal wenig quellbare Membranen anzunehmen sind. Wir werden darum anzunehmen haben, daß bei unserem Kompensationsverfahren eine Elektroendosmose des Wassers wie bei einer von außen angelegten Potentialdifferenz im zweiten Stromstoß sich ausdrückt. Auch was man bei Anwendung des Kondensators als Tonusstrom bezeichnet hat, dürfte auf kapillarelektrischem Wege zu erklären sein. In betreff der Zugehörigkeit des sog. Tonusstroms zum Tonus vergleiche man die früher gemachten Andeutungen.