Die Dehnung des Muskels über seine gewöhnliche Länge kann auch in einem solchen Augenblicke vorkommen, in welchem die Verkürzung der oberen Muskelhälfte noch nicht ganz zu Ende ist; dies entspricht der Dehnung der oberen Muskelhälfte am Anfange der Zuckung während der Zusammenziehung der unteren; wir sehen, dass am Anfange der Muskelzuckung, wenn die Reizung am unteren Muskelende geschah, der obere Zeichenhebel sinkt, bevor er zu steigen anfängt; es kann auch am Ende der Muskelzuckung der untere Zeichenhebel eine Muskelstreckung aufweisen und niedersinken, während der obere Zeichenhebel noch eine Verkürzung der oberen Muskelhälfte zeichnet.

In Hinblick auf den bedeutenden Unterschied in den Höhen der Myogramme können jene kleine Differenzen bei den Curvenanfängen und Enden verschwindend genannt werden, und ich glaube somit, dass diese Versuche als vollgültiger Beweis für die bipolare erregende Wirkung des inducirten electrischen Stromes gelten können.

Neue Versuche an den Ohrbogengängen.

Von

J. Breuer, Wien.

Dr. B. Baginsky hat 1881¹⁾ Versuche mitgetheilt und discutirt, aus denen er schloss, „dass die isolirte Verletzung der Bogengänge ohne Rückwirkung auf das Gehirn nicht möglich sei; der Zeitpunkt sei gekommen, die Lehre von dem statischen Sinne in den Bogengängen ein für allemal aufzugeben. Nichts berechtige, aus Veränderungen, die sich nach der Bogengangsläsion an Thieren zeigen, Schlüsse zu machen auf die Function der Bogengänge, nachdem er den bestimmten Nachweis geführt habe, dass eine Verletzung der Bogengänge sowohl bei Säugethieren als bei Tauben jedesmal eine Verletzung des Gehirns involvirt.“ Baginsky

1) Archiv für Physiologie 1881.

hat später¹⁾ seine Anschauung nochmals gegen Högyes vertheidigt.

Ich glaube nicht, dass ein Beobachter, der ausser den Durchschneidungen der Bogengänge die feineren Reizungsversuche ausgeführt hat, durch Baginsky's Experimente und Schlüsse überzeugt worden ist. Da diese aber im physiologischen Publicum einiges Ansehen genossen, schien es wünschenswerth, den positiven experimentellen Gegenbeweis zu führen. Die Aufgabe dabei war: An den frei präparirten, aber völlig unverletzten knöchernen Ampullen Reize anzubringen, so dass jede einzelne Ampulle isolirt gereizt würde und dadurch Kopfbewegungen in der Ebene des betreffenden Kanales hervorgerufen würden. Ich theile im folgenden die Versuche mit, bei denen dies mit grösster Präcision gelingt.

Sie betreffen Tauben, welche für diese Untersuchungen so viel treffliche Eigenschaften besitzen, dass sie wohl die Versuchsthiere par excellence für die Bogengänge bleiben werden, wie die Frösche für die allgemeine Nervenphysiologie. Die letztere durch Versuche an Warmblütern zu vervollständigen, mag wünschenswerth sein und ebenso, die Labyrinthverletzungen auch an Säugethieren zu studiren; für genauere und beweisende Versuche ist die Taube aber weitaus vorzuziehen.

Das spongiöse Knochengewebe, welches den Raum zwischen den Bogengängen und den Ampullen erfüllt, muss mit einer Pincette vollständig entfernt werden, im Bereiche der beiden vordern Quadranten des Bogengangkreuzes, so dass man die Ampullen genau sieht. Von der sagittalen Ampulle (ob. vert. Canal) ist aber nur die vordere Hälfte vollständig freizulegen, da man sonst Gefahr läuft, den aquaeductus vestibuli zu eröffnen. Im hintern obern Quadranten ist das Freipräpariren meistens überflüssig, im hintern untern Quadranten unthunlich, des grossen, ihn schief übersetzenden Venensinus halber. An diesem Quadranten kann man nur ein kleines Stückchen am Winkel des Bogengangkreuzes freilegen, so dass man zwischen hinterem Ast des horizontalen und unterem Ast des frontalen Canals eine Nadel durchstecken kann. Zum Präpariren empfehle ich ausser den Pincetten, die bekannten, beim Zahnplombiren benutzten „Excavatoren“ der Zahnärzte. Einige Uebung und die Benutzung der Loupe genügen, um

1) Archiv für Physiologie 1885.

die Ampullen vollständig freizulegen, ohne dass ein Canal, ein Gefäß oder die *cavitas mesootica* lädirt würden. Jeder Versuch, bei dem eine Blutung das Operationsfeld verunreinigt, muss aufgegeben werden. Das Einstopfen kleiner Stückchen Feuerschwamm dient trefflich, um alles rein zu halten und beim Versuch die Reizträger zu fixiren. Selbstverständliche Bedingung für das Gelingen ist, dass der Versuch, den man macht, auch wirklich der sei, den man intendirt, d. h. dass die Reize auch sicher dort angebracht werden, wo man es zu thun beabsichtigt; dies ist ebenso selbstverständlich, als es bei der Kleinheit und gegenseitigen Nähe der Ampullen genaue Achtsamkeit erfordert.

Die Thiere sind bei der Operation und bei den Reizversuchen an Beinen und Flügeln gebunden. Die zu beobachtenden Reactionen bestehen in Kopfbewegungen, da die Augenbewegungen der Nickhaut halber schwer zu beurtheilen sind. Während der Operation sind die Tauben mit Schwefeläther narcotisirt. Nach dem Erwachen befinden sie sich noch einige Zeit in einem Zustand von Stupor, in dem sie den Kopf schon gerade halten und reagiren, aber keine spontanen Bewegungen machen. In diesem Zustande, welcher sich durch einige Athemzüge Aetherdampf lange erhalten lässt, werden die Reizversuche gemacht. Manchmal stösst man auf ein Thier, das diesen Stupor nicht zeigt, sondern nur entweder tief narcotisirt ist, oder Fluchtversuche macht. Solche Tauben sind für die Versuche unbrauchbar.

Für die Beurtheilung der Richtung der Kopfbewegungen ist es oft nützlich, auf den Scheitel des Thieres mit Collodium ein Streifchen Kartenpapier, Rohr oder dgl. zu befestigen, welches im rechten Winkel geknickt ist. Der eine Schenkel geht gerade nach vorne über den Schnabel parallel der Ebene der horizontalen Canäle, der andere steht senkrecht darauf, also parallel der Durchschneidungslinie jener beiden diagonalen Verticallebenen, in welchen die Verticalgänge liegen.

Bei der Beschreibung der Versuche werde ich annehmen, dass immer auf der linken Seite des Thieres operirt wurde. Die Ebene des Horizontalganges liegt dann horizontal; bei der gewöhnlichen Kopfhaltung der Taube ist sie aber von vorne oben nach hinten unten etwas geneigt. Die Ebene des frontalen Canales ist vertical von rechts vorne nach links hinten; die des sagittalen Canales von links vorne nach rechts hinten.

Beide Verticalebenen sind bei der gewöhnlichen Kopfhaltung ebenfalls und zwar nach hinten übergeneigt.

Ich werde die horizontale Drehung des Kopfes als Kopfwendung nach rechts oder links bezeichnen, je nach der Seite, wohin sich der Schnabel bewegt; die Kopfbewegungen um eine horizontale Achse als Kopfnéigung nach der Richtung, in welcher der Scheitel sich senkt. Bei starken Reizen, bei welchen das ungefesselte Thier mit dem ganzen Körper nach einer Seite überstürzen würde, wird der Kopf nicht bloss geneigt, sondern auch in der betreffenden Richtung fortbewegt, oder vielmehr geschleudert.

A. Thermische Reize.

Man bringt mit der Pravaz'schen Spritze und feinsten Cantile auf die Kuppe der frontalen Ampulle ein Tröpfchen Eiswasser. Das Instrument muss natürlich in Eiswasser gekühlt sein und die Cantile aussen getrocknet, so dass nur das bei leichtem Druck auf den Stempel austretende Tröpfchen über die Ampulle herabrinnt. Darauf erfolgt oscillirende Néigung des Kopfes nach links hinten oder rechts vorne.

An den beiden andern Ampullen ist das Eiswasser nicht anwendbar, da es von ihnen abrinrend die andern, tiefer liegenden Ampullen reizen würde. Sie werden durch Berührung mit abgekühltem Metall gereizt. Zu diesem Zweck wird Quecksilber in einer Kältemischung gekühlt und Metallinstrumente darin durch einige Zeit eingetaucht. Man braucht diese dann nicht abzuwischen, wie man es thun müsste, wenn man sie in die Kältemischung selbst tauchen würde. Als Instrumente benutzte ich die oben genannten Excavatoren, die man in jeder passenden Gestalt und Biegung vorrätzig findet. Bringt man das kalte Metall an die Unterfläche der Horizontal-Ampulle, so wendet die Taube den Kopf horizontal nach links oder nach rechts. Thut man dasselbe an der Sagittal-Ampulle, so neigt sich der Kopf oscillirend nach links vorne, oder rechts rückwärts. Mit dem gekühlten Instrumente ist die Frontalampulle schwer isolirt zu erreichen, so dass für diese das Eiswasser als Reiz vorzuziehen ist. Man bekommt aber oft sehr schöne Kopfnéigung nach links hinten, wenn man das gekühlte Instrument an den frontalen Canal anlegt; dabei bleibt

allerdings unsicher, ob das wirkende die Abkühlung der Nervenendstelle oder eine Endolymphströmung ist. Die Kältereactionen lassen sich nicht beliebig oft wiederholen. Es ist nöthig, nach jeder Application durch Einstopfen von Schwammstückchen den Ampullen die Wiedererwärmung möglich zu machen. Manchmal reagirt auch ein Thier nicht auf diesen schwachen Reiz, weil sein Stupor zu tief ist; doch ist das im Ganzen selten.

Von jeder Ampulle aus kann also bei völlig intactem Knochengehäuse die Kopfbewegung in der Ebene des zugehörigen Canales ausgelöst werden, und zwar bald nach der operirten, bald nach der intacten Seite hin. Diese Bewegungen sind völlig unzweifelhaft und unzweideutig, Wendungen und Neigungen bis zu 45°, aber allerdings nicht so excessives Schleudern wie bei Durchschneidung der Canäle.

Solche excessive Reactionen erzeugt die Reizung der einzelnen Ampullen mit dem Galvanocauterdraht. Es ist wünschenswerth, dass dieser nicht allzu heiss sei, um nicht sogleich zu zerstören. Man kann darum den Platindraht zu einer Spitze drehen, oder entzwei schneiden und die beiden Drahtenden so mit einander verflechten, dass das eine ein Stück weit allein vorsteht. Man hat dann einen Reizträger, dessen Spitze sehr umschränkt reizt, und diese wird noch immer heiss genug für den Erfolg des Versuchs.

Die Sagittal-Ampulle ist für das Instrument leicht zugänglich. Wenn die Drahtspitze angelegt und dann nur einen Augenblick bis zum Beginn der Bewegung erhitzt wird, erfolgt intensive Kopfbewegung nach links vorne oder rechts rückwärts, in der grossen Mehrzahl der Versuche das letztere.

Die Horizontal-Ampulle muss mit dem Drahte an ihrer Unterfläche oder an ihrer freien äusseren Kante berührt werden. Um letzteres thun zu können, muss man das spongiöse Knochengewebe zwischen horizontalem Gang und Ampulle entfernt haben. Da man aber mit dem Instrumente leicht an dem Canale hängen bleibt und die Kopfbewegung damit hemmt, habe ich folgende Application des Reizes schliesslich vorgezogen. Ein (thunlichst dicker) Platindraht wird zwischen Ampulle und Canal durchgesteckt und dann so gebogen, dass seine obere Hälfte aus dem obern vordern Quadranten, sein unteres Stück aus dem vordern untern Quadranten nach aussen ragen. Die stark gekrümmte oder geknickte Mitte tangirt dann die Ampulle an ihrer Kante. In

dieser Stellung wird der Draht mit Stückchen Feuerschwamm fixirt. Man kann so den Punkt wählen, an welchem man die Ampulle reizen will, und den Draht nach Belieben der hintern oder der vordern Hälfte der Ampulle anlegen. Die beiden frei an der Seite des Kopfes hervorstehenden Enden des Platindrahtes werden nun mit den Stiften der Batterie-Leitungsschüre berührt. Diese Versuchsanordnung bietet den Vortheil, dass der Draht nicht leicht zu heiss wird, schon wegen der anliegenden feuchten Schwämmchen, und dass der Kopf der Thieres nicht fixirt ist. — So wie der Strom durch die Berührung der Drahtenden geschlossen ist, wendet sich der Kopf der Taube in horizontaler Ebene nach rechts oder nach links, und zwar meist nach rechts wenn die vordere Hälfte, nach links wenn die hintere Hälfte der Ampulle dem Draht anliegt. Doch bin ich zu einer sichern Beherrschung der Bewegungsrichtung nicht gelangt, wohl deshalb, weil das Object doch gar zu klein und geringe Verschiebung des Drahtes nicht vollständig zu verhindern ist.

Um die Frontal-Ampulle zu reizen, muss der Draht am Galvanokauter befestigt und so abgebogen sein, dass man ihn in den Raum zwischen frontaler Ampulle und aufsteigendem Ast des frontalen Canales, also nach hinten einführen kann. Beim Erhitzen erfolgt immer Kopfbewegung nach rechts vorne. Da der Draht, wenn er überhaupt die frontale Ampulle berührt, in dem sehr engen Raum ihr fest anliegt und sie stark erhitzt, ist bei diesem Versuch die Bewegung gewöhnlich excessiv, ein sehr starkes Vorschleudern, Abbiegen und Schütteln des Kopfes nach rechts vorne.

Ich muss noch bemerken, dass, wie leicht zu begreifen, die galvanokaustische Reizung einer Ampulle oft nachwirkt und spätere Reactionen an andern Ampullen beeinflusst und verunreinigt, dass es also vor Allem die ersten Versuche sind, auf welche Gewicht gelegt werden muss.

Als Versuche mit thermischer Reizung sind diese Experimente natürlich unrein, da die Erhitzung der Endolympe sicher gewaltige Ströme darin erzeugen muss. Wenn der Draht zu heiss wird, dürfte wohl auch Verdampfung eintreten. Was sie aber hier beweisen sollen, beweisen sie auch für jene, welche sehr intensive Reactionen verlangen, dass nämlich von jeder Ampulle aus die Kopfbewegung in der Ebene des betreffenden Canales ausgelöst

werden kann. Hierfür auf die Reizung des Gehirns zu recurriren wäre absurd, da es undenkbar ist, dass dabei jedesmal Punkte des Kleinhirns gereizt werden, welche nur Bewegungen des Kopfes in der bestimmten Ebene hervorrufen.

Noch ein anderes beweisen diese thermischen Reizversuche. Ich habe in einer älteren Abhandlung¹⁾ gezeigt, dass von jedem Bogengang aus Kopfbewegungen in beiden Richtungen (in der Canalebene) ausgelöst werden können, und es als wahrscheinlich bezeichnet, „dass von den Nervenendigungen jeder Ampulle ein Theil durch die Lymphbewegung in der einen Richtung, der andere durch die entgegengesetzte erregt werde“. Die oben mitgetheilten Versuche bestätigen das erstere, und zeigen, dass Reizung der vordern Hälfte der Horizontalampulle Bewegung nach der andern Kopfseite, Reizung der hintern Hälfte Wendung nach der gereizten Kopfseite hervorruft. Bei der frontalen Ampulle kann man den Draht nur der peripheren untern Hälfte der Ampulle anlegen, wenn man die horizontale vermeiden will, und bekommt daher bei den Galvanokauterversuchen nur Bewegung nach der andern Seite. Das Eiswasser aber, indem es über die Ampulle abrinnt, bringt Bewegung nach beiden Seiten hervor, je nachdem die obere oder untere Hälfte stärker gereizt wird. — An der Sagittalampulle ist meistens nur die vordere, in den Canal mündende Hälfte ganz frei zugänglich; der heisse Draht ruft meistens Bewegung nach der andern Seite hervor. Bei Berührung mit kaltem Metall sah ich bald die eine, bald die andere Bewegungsrichtung. Ich glaube daher sagen zu können, dass die beiden Hälften jeder Ampulle — (die eine dem Canal und die andere dem Utriculus nähere) — als spezifische Reactionen entgegengesetzte Bewegungen ergeben, und zwar die Canalhälfte solche nach der andern Seite, die Utriculushälfte solche nach der operirten Seite zu.

Diese letztern Reactionen, Kopfbewegungen nach der operirten und gereizten Seite zu, schliessen auch jeden Verdacht aus, dass es sich um Schmerzreactionen handle, womit sich der Kopf dem schmerzhaften Reiz entziehen wollte. Wenn man den Versuch selbst sieht, so stellt sich allerdings eine solche Vermuthung angesichts der Präcision in der Richtung der Kopfbewegung sicher nicht ein.

1) Beiträge zur Lehre vom statischen Sinne. Med. Jahrbücher 1875.

B. Electriche Reize.

Ich habe bei früherer Beschäftigung mit dem Gegenstande keine constanten Resultate erzielt, und nur mein Erstaunen darüber geäußert, dass trotz der Nachbarschaft der Ampullen auf engstem Raume die Kopfbewegungen oft verschieden waren, je nachdem der Strom im horizontalen oder im frontalen Bogengang eintrat¹⁾. Mach²⁾ hat dann als wünschenswerth bezeichnet, dass der Versuch eine einzelne Ampulle electricisch zu reizen tadellos ausgeführt werde. Spamer³⁾ hat in seiner trefflichen Arbeit electriche Reize applicirt und ebenfalls gefunden, dass seine Resultate „für eine specifische Wirkung der Reizung eine Canales sprechen“. Aber die von Mach gestellte Aufgabe der tadellosen Reizung einzelner Ampullen ist bisher nicht gelöst. — Sicher sind auch die Zweifel an ihrer Lösbarkeit berechtigt. Wenn in einem mit Flüssigkeit gefüllten Raume von einigen Kubikmillimetern 7 oder 8 Nervenendstellen sich befinden (3 cristae amp., utriculus, sacculus, lagena, Schnecke und die macula neglecta Retzius), sollte man die isolirte electriche Reizung der einzelnen davon nicht für möglich halten. Und doch gelingt sie in unzweideutiger Weise. Ich werde im folgenden die Methode darlegen, welche nach vielen vergeblichen Versuchen sichere Resultate gegeben hat.

Wenn man percutan einen galvanischen Strom quer durch den Kopf einer Taube leitet, oder eine Electrode am Bauche des Thieres anlegt, die andere an eine Seite des geschorenen Hinterhauptes, so erfolgt, wie schon lange bekannt, eine ganz bestimmte Reactionsbewegung. Das Thier neigt den Kopf nach der Anodenseite oder von der Kathode fort, und zwar ist das bei schwachen Strömen eine rein frontale Bewegung um eine durch den Kopf von vorne nach hinten gehende horizontale Achse. Steht nur eine Electrode am Kopfe, so ist die Bewegung viel stärker und erfolgt bei geringern Stromintensitäten, wenn dies die Kathode, als wenn es die Anode ist. Dasselbe geschieht natürlich, wenn der

1) Ueber die Function der Bogengänge. Med. Jahrbücher 1874.

2) Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. 1875.

3) Exp. u. krit. Beitrag zur Physiologie der halbkreisförmigen Canäle. Pflüger's Archiv XXI.

Bogengangapparat freipräparirt ist und man mit einer als Electrode dienenden Nadel denselben irgendwo berührt. Die Reaction ist sehr empfindlich. Sie erfolgte mit grösster Deutlichkeit bei einem Strom, welcher bei metallischer Schliessung, ohne Einschaltung des Thierkörpers, 0,15 Milliampères ergab. Diese Kopfneigung ist dieselbe, wie wir sie durch Hitzig¹⁾ auch beim Menschen kennen gelernt haben. Vom Menschen her wissen wir auch, dass sie der Empfindung entspricht, nach der Kathodenseite hin oder von der Anode weg zu fallen, und dass sie die Bewegung ist, mit welcher diese Scheinbewegung compensirt werden soll. Ich nenne diese Kopfneigung im folgenden die diffuse Reaction.

Eine genauere Untersuchung ergibt zunächst ein vollständig sicheres und sehr wichtiges Resultat. Schon Spamer²⁾ hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Erscheinungen bei directer Stromdurchleitung durch das blossgelegte Kleinhirn „nie annähernd so heftig sind, wie bei der Leitung der gleichen Ströme durch die Canäle mittelst um sie geschlungener Drähte“. Ich machte nun (oft wiederholt) den Versuch in folgender Weise. Im hintern obern Quadranten des Bogengangkreuzes, nach oben und hinten begrenzt durch den weiten Bogen des Sagittalcanales, wurde das spongiöse Gewebe völlig wegpräparirt, was leicht gelingt. Man sieht dann das Kleinhirn durch die dünne Knochenplatte durchscheinen. Es ist der Seitentheil des Kleinhirns hinter der Flocke. Eine breite Platten-Electrode (Anode) wird nun dem Thier am Bauche angelegt, als zweite dient eine feine, vergoldete Nähnadel. In die Stromleitung wird ein (Gärtner's) Rheostat eingeschaltet, um den Strom gut abzustufen zu können. Die Nadel wird nun 2—3 Millimeter tief durch die Knochenplatte, möglichst in der Mitte des Quadranten, ins Kleinhirn eingestochen und der Strom so abgeschwächt, dass beim Schluss desselben keine Kopfneigung mehr erfolgt. Zieht man nun die Nadel heraus und berührt damit das Kreuz der Bogengänge, so erfolgt noch die deutlichste Reaction. Man kann den Versuch auch so machen, dass von zwei ganz gleichen Nadeln mit ganz gleichen leitenden Drähten versehen, die

1) Ueber die beim Galvanisiren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation u. der Vorstellungen vom Verhalten im Raume. Du Bois Reymond's Archiv 1871.

2) l. c. p. 538.

eine ins Kleinhirn eingestochen, die andere am Bogengangapparat befestigt wird. Indem man nun die Nadeln abwechselnd in Electroden verwandelt durch Eintauchen der Enden ihrer Zuleitungsdrähte in einen mit der Batterie verbundenen Quecksilbernäpf, lässt man den Strom bald durch das Kleinhirn, bald durch die Bogengänge eintreten. Bei Benutzung des Rheostaten sieht man nun immer, dass Ströme, welche am Bogenapparat noch die deutlichste Reaction geben, am Kleinhirn vollständig wirkungslos sind. In allen Versuchen wurde nach dem Tode des Thieres constatirt, dass die Nadel wirklich ins Kleinhirn gedrungen war. (Der Einstich selbst bringt im Seitentheil des Cerebellum bei seiner geringen Tiefe durchaus keine Erscheinung hervor.)

Hiermit ist wohl direct erwiesen, dass es nicht die Stromschleifen durchs Kleinhirn sind, welche die besprochene Schwindelercheinung bedingen. Ob bei stärkeren Strömen nicht auch das Kleinhirn afficirt wird und von ihm aus Schwindel entsteht, weiss ich nicht; es mag so sein. Aber das ist sicher, dass bei schwachen Strömen die Erscheinung nicht von Stromschleifen im Cerebellum, sondern von electricischer Reizung des Vestibulums abhängt. Es scheint mir damit eine früher zwischen Prof. Hitzig und mir erörterte Differenz erledigt.

Wenden wir uns nun zu den Versuchen mit isolirter Reizung der einzelnen Ampullen.

Ich habe den unterbrochenen Strom für meine Zwecke unbrauchbar gefunden, und zwar sowohl den Extracurrent als den der secundären Spirale. Bei Stromstärken, welche schon durch Stromschleifen deutlichen Tetanus der Nackenmuskeln hervorriefen, sah ich noch keine andere Reaction als eben die von diesem Tetanus abhängige Bewegung. Ich bezweifle nicht, dass, wie Spamer beschreibt, starke faradische Ströme Dreh- und Rollbewegungen hervorrufen, konnte solche aber bei meinen Versuchen nicht verwenden. Ich gebrauchte constante Ströme mit eingeschaltetem Rheostaten. Als Electroden dienten, nachdem vieles versucht worden war und verworfen werden musste, feinste vergoldete Nadeln, welche durch eine dünne Schicht Siegellack isolirt waren. Nur 3—4 mm an der Spitze waren blank erhalten. Am Oehre waren sie leitend mit feinstem übersponnenen Kupferdraht verbunden, dessen anderes Ende in einen Quecksilbernäpf tauchte.

Es müssen beide Electroden an Ampulle und Canal stehen,

da sich die Application der einen am Körper der Taube als unbrauchbar erwies.

Die Applicationsweise ist für jede Ampulle eine verschiedene.

Um sie an der frontalen Ampulle anzulegen, muss man den Raum zwischen Horizontalampulle und horizontalem Canal vom spongiösen Knochen reinigen und dann die Nadel durch diesen hindurch nach hinten unten führen, so dass sie mit einer blanken leitenden Stelle die frontale Ampulle tangirt. Man sticht dann die Spitze etwas in den Knochen dahinter (äussere Schädelplatte) ein. Es ist für das Gelingen des Versuches, aus später zu erörternden Gründen, gut, wenn die von der Nadel berührte Stelle der Ampulle ziemlich weit nach unten und aussen nahe am Beginne des Canales liegt. Der Oehrtheil der Nadel wird im vordern, obern Quadranten mit Schwammstückchen fixirt, so dass die Nadel fest an die frontale Ampulle angedrückt ist. Die zweite Electrodenadel wird am aufsteigenden Ast des frontalen Canales fixirt, meistens zwischen diesen und den Rest der ihn bedeckenden Knochenplatte eingesteckt.

Man beginnt die Reizung mit schwächsten Strömen, um allmählich zu steigen. Kurze Dauer der Ströme ist nöthig und ebenso Pausen zwischen den Reizungen, da die Ampullen durch den Strom sehr rasch abgestumpft werden.

Schwächste Ströme ergeben nur die „diffuse Reaction“. Bei zunehmender Stromstärke tritt aber bald an deren Stelle deutliche Bewegung des Kopfes und Neigung desselben nach rechts vorne, d. i. in der Ebene des frontalen Canales, wenn die Ampullennadel Kathode ist. Liegt die Anode der Ampulle an, so sieht man bei Schluss schwacher Ströme häufig eine Bewegung, deren Richtung anzugeben sehr schwer ist, die Stromöffnung dagegen erzeugt aufs prägnanteste die Bewegung in der Canalebene. — Manchmal erfolgt die Bewegung nicht nach rechts vorne, sondern in derselben diagonalen Verticalebene nach links hinten. Selten ergibt sich beim Commutiren der Stromrichtung (während welcher das Thier natürlich ausgeschaltet ist), dass die Kathode an der Ampulle Bewegung nach rechts vorne, die Anode solche nach links hinten hervorruft.

Halten wir zunächst die eine entscheidende Thatsache fest, dass es eine Versuchsanordnung gibt, bei welcher Reizung der frontalen Ampulle die specifische Reaction derselben, Kopfbewegung in der diagonalen Verticalebene des frontalen Canales, hervor-

ruft; es ist das die Anordnung: Kathode an der Ampulle, Anode am angrenzenden Canalstticke, mittelstarke Ströme (die absolut genommen auch noch sehr schwach sind, eben an der Zunge fühlbar). Ob die Bewegung im einen oder andern Sinne erfolgt, nach rechts vorne oder links hinten, dürfte nach dem, was wir von den thermischen Reizungen her wissen, von der Lage der Electroden nadel abhängen, ob sie über der Canal- oder Utriculushälfte der Ampulle steht. Für die Sicherheit und Deutlichkeit der Reaction ist das aber nicht gleichgiltig. Liegt die Nadel der Canalhälfte an, d. h. der äusseren untern (die andere Electrode liegt noch mehr nach aussen und unten), so wird diese ganz vorwiegend gereizt, die Utriculushälfte viel schwächer, und die Bewegung, welche der Reizung der Canalhälfte entspricht, nach vorne und nach der andern Seite tritt deutlich ein. Liegt die Nadel etwas höher oben — es handelt sich dabei um minimale Verschiebungen — so werden beide in entgegengesetzter Richtung wirkende Ampullenhälften gereizt und der Effect entspricht dann nur der Differenz ihrer Reizungsintensitäten. Ich habe darum oben gerathen, die Nadel so einzulegen, dass sie noch die Ampulle tangirt, aber in ihrem periphersten, an den Canal grenzenden Antheile. Nun ist aber a priori anzunehmen und ergibt sich aus dem Effecte schwächster Ströme, dass eine absolut isolirte Durchströmung der Ampulle nicht stattfindet; es tritt immer auch die „diffuse Reaction“ auf, rein frontale Kopfeigung nach der Anode zu, von der Kathode weg. Bei der Anordnung der Electroden, wie sie bei unserem Versuch statt hat, ist die mehr central, also die an der Ampulle liegende Electrode die maassgebende für die Richtung dieser Neigung. Diese „diffuse Reaction“, wie bemerkt äusserst empfindlich, wird durch Stromschleifen hervorgerufen, welche den ganzen Vorhofsapparat durchziehen. (Ich vermute, dass sie gar nicht von Bogengängen, sondern von der Reizung der macula utriculi und sacculi abhängt.) Sie tritt bei Stromstärken auf, welche die spezifische Bewegung der Ampulle noch nicht hervorrufen und bleibt bei höhern Intensitäten natürlich bestehen. Erfolgt nun bei dieser die spezifische Reaction der Ampulle, so addiren sich die beiden Bewegungen. Liegt der Ampulle die Kathode an, so erfolgt die diffuse Reaction nach der andern Kopfseite und die spezifische bewegt den Kopf ebenfalls nach der andern Seite und vorne (wenn die Nadel so liegt, wie oben besprochen). Die letztere, die spezifische Reac-

tion der frontalen Ampulle, kann dann deutlich hervortreten. Steht aber die Anode am peripheren Theil der Ampulle, so dreht die specifische Reaction den Kopf nach rechts vorne, die „diffuse Reaction“ nach links, und es erscheinen dann jene undefinirbaren Bewegungen, bei denen man eine bestimmte Richtung nicht sicher angeben kann. Aus diesen Gründen ist die günstige Versuchsanordnung — ich erlaube mir es nochmals zu wiederholen —: Die Electrodenadel am periphersten Theil der Ampulle, als Kathode.

Ich möchte hier die Bemerkung einschieben, dass auf den oben erörterten Verhältnissen auch die relative Wirkungslosigkeit des unterbrochenen Stromes beruht. Dieser scheint viel mehr die ganze Ampulle in beiden Hälften zu reizen und dadurch fortwährend Bewegungsimpulse zu schaffen, die sich gegenseitig aufheben.

Um die Sagittal-Ampulle zu reizen, ist es gut, von dem Schädelknochen, welcher den Vestibularapparat überdacht, möglichst viel mit dem Perioste stehen zu lassen. In dieses Dach bohre ich mit der Nadel zwei Löcher senkrecht nach abwärts und führe durch diese die bis nahe an die Spitze isolirten Nadeln so ein, dass die eine der Ampulle, und zwar ihrem vordersten Antheil, die andere dem aufsteigenden Ast des sagittalen Canales anliegt. Die Nadeln werden in ihrer Lage durch Schwammstückchen fixirt, welche in den vordern obern Quadranten eingestopft werden. Ist nun die der Ampulle anliegende Nadel Kathode, so erfolgt Kopfneigung nach rechts hinten¹⁾. Selten neigt sich der Kopf nach links vorne. Noch seltener erfolgt bei geänderter Stromrichtung Wechsel des Sinnes der Kopfbewegung. Die Gründe hierfür sind dieselben, die ich oben für die Frontalampulle auseinandergesetzt habe. Es ist meist nur die vordere Hälfte der Ampulle frei präparirt, und die von oben herabgeschobene Nadel kann sich meist nur an diese Hälfte anlegen. — Auch hier also können wir bei der passenden Versuchsanordnung deutlichste Kopfbewegung in der Ebene des sagittalen Canales (rechts hinten, links vorne) durch Reizung der sagittalen Ampulle hervorrufen.

1) Ich erlaube mir hier zu wiederholen, dass ich zwar immer abwechselnd auf beiden Seiten der Thiere operirt habe, aber um die Darstellung zu erleichtern, bei der Schilderung der Versuche immer voraussetze, dass auf der linken Kopfseite gereizt werde.

Am schwierigsten gelingt es, von der Horizontalampulle aus reine horizontale Kopfwendung zu erzeugen. Es mischt sich ausserordentlich leicht frontale Neigung bei, welche eben bei diesem Versuch sehr stört. Diese dürfte auf der Contiguität der horizontalen Ampulle mit der macula recessus utriculi beruhen, auf welche Stromschleifen aus der horizontalen Ampulle viel stärker übergehen müssen, als aus den verticalen Ampullen. Als beste Anordnung habe ich folgende befunden. Nachdem ein kleines Stückchen dünnsten Kautschuks in die Höhlung des vordern obern Quadranten eingeführt und der innern Wand desselben angedrückt worden ist, um die Sagittalampulle isolirend zu schützen, werden die beiden isolirten Nadeln wie zur Reizung der Sagittalampulle durch zwei Bohrlöcher im Knochendache eingeführt; die vordere kommt mit der Spitze an die vordere Kante des horizontalen Canales, die hintere — (welcher mit Vortheil, um die Ampulle nicht zu verletzen, ein mit Siegelack fast ganz isolirter Platindraht substituirt werden kann) — auf die obere Fläche der Horizontalampulle, oder an ihre äussere Kante, beides mit Vortheil an der vordern Ampullenhälfte. Die Electroden liegen dann so wie bei Reizung der Frontalampulle an dieser. An der horizontalen aber kann man die Ampullennadel nicht als Kathode verwenden. Thut man das, so tritt immer zu starke Frontalneigung nach der andern Seite ein. Liegt aber die Anode der Ampulle an und ist der Strom sehr schwach, so erfolgt fast reine Horizontalwendung des Kopfes nach rechts. Bei diesem Versuch ist es gut, den Strom etwas länger, mehrere Secunden lang durchgehen zu lassen und dann zu öffnen. Man sieht dabei, was auch sonst deutlich ist, worauf ich aber bei diesen Versuchen nur nebenbei geachtet, dass an den Ampullen das Zuckungsgesetz gilt, wie es vom motorischen Nerven her bekannt ist: dass Anodenöffnung bei viel schwächern Strömen reizt als Anodenschliessung. — Man sieht auch oft, wenn etwas zu starke Ströme Frontalneigung hervorgerufen haben, nach der Stromunterbrechung das deutlichste und reinste horizontale Oscilliren auftreten. Manchmal bei etwas anderer Lage der Nadel erhält man horizontale Kopfwendung nach links. — Die günstige Anordnung ist also am horizontalen Canale: Nadelelectrode an der vordern Hälfte der Ampulle als Anode.

Ich bitte den Leser um Entschuldigung für die ermüdende Ausführlichkeit in der Beschreibung der Versuche. Aber diese

sind immerhin difficil und erfordern grosse Genauigkeit in der Herstellung der geeigneten Bedingungen, wie es denn viele Mühe machte, diese aufzufinden.

Mit diesen Versuchen ist nun das Postulat Mach's erfüllt, die einzelnen Ampullen electrisch zu reizen und dadurch ihre specifischen Reactionsbewegungen hervorzurufen.

Der Vorwurf, dass durch Operationen an den Bogengängen Ausströmen der Endolympe veranlasst und dadurch das Kleinhirn in nicht zu berechnender Weise gereizt würde, — dieser Vorwurf ist gegenüber den eben mitgetheilten Versuchen völlig hinfällig, denn es ist dabei der Perilymphraum eben durchaus uneröffnet geblieben. Ich habe aber schon vor längerer Zeit¹⁾ mitgetheilt, dass es oft gelinge, den Aquaeductus vestibuli direct zu eröffnen und die Endolympe ausfliessen zu lassen, ohne dass eine bestimmte auffallende Bewegung eintrete. Die ebenfalls schon ausgesprochene Befürchtung, dass eine an den häutigen Canälen gesetzte Zerrung sich als solche ins Kleinhirn fortpflanzen und dort reizen könne, entfällt auch vollkommen, da die häutigen Canäle nicht blossgelegt, geschweige gezerrt werden. Ich meine darum, dass es nach diesen Versuchen Zeit wäre, die Einrede definitiv aufzugeben, es handle sich bei den von den Bogengängen aus verursachten Bewegungserscheinungen um Reizung des Kleinhirns. Dass vom Cerebellum aus Manegegang, Rollungen u. s. f. hervorgerufen werden können, ist länger bekannt, als die Flourens'schen Phänomene und nie bezweifelt worden. Wir haben nie etwas anderes behauptet, als dass das Vestibulum einen peripheren Wahrnehmungsapparat für Bewegungen und Lage des Kopfes enthalte, dessen Centrum wahrscheinlich im Kleinhirn liegt. Dass es möglich sei, Vestibulum und Kleinhirn zugleich zu verletzen, wie Baginsky gethan, ist selbstverständlich, aber nichts beweisend. Dass es möglich ist, die Ampullen ohne Kleinhirn zu reizen, dürfte jetzt nicht mehr geleugnet werden.

Aber ich gestehe, ich hätte diese neuen Versuche nicht für nöthig gehalten, da mir ältere Experimente die Sache entschieden zu haben schienen. Ich habe diese 1875 l. c. veröffentlicht und jetzt bei Wiederholung vollständig bestätigen können. Es sind Versuche mit

1) Beitr. z. Lehre v. statischen Sinne. Med. Jahrb. 1875, S. 30.

C. Mechanischer Reizung.

Bei diesen werden die Bogengänge frei präpariert und dann durch Einstich mit einer feinen berussten Nadel eröffnet. Stellt man in die durch den abgestreiften Russ sichtbare Stichöffnung die Nadelspitze ein, so erfolgt bei jedem Canal, an dem operiert wird, die Kopfbewegung in der Canalebene. Wird der Horizontalcanal auf seiner oberen Seite durch einen Flachschnitt eröffnet und darüber ein Streifchen dickes Fliesspapier gelegt, so erfolgt bei der Berührung mit dem Papier zuerst eine Kopfwendung nach der andern Seite, während sich dasselbe mit Lymphe ansaugt aber oscillirende Kopfwendung nach der operierten Seite¹⁾. In Bezug auf das Detail der mehrfach variirten Versuche verweise ich auf die citirte Abhandlung.

Ein Experiment habe ich neuerdings abgeändert und leicht, zuverlässig und lehrreich gefunden. Ich nehme einen Gummiballon mit Kautschukröhre, sog. „Bürettentrockner“. An das Rohrende setze ich eine sehr feine gebogene Cantile, und ich kann nun durch Druck auf den Ball einen feinen Luftstrom in genau bestimmter Richtung austreten lassen. Es wird nun der horizontale Canal durch einen Flachschnitt eröffnet und durch die Cantile unter sehr spitzem Winkel ein Luftstrom auf die Oeffnung des Canales geleitet. Geht dieser von hinten nach vorne, so bewegt die Taube den Kopf horizontal nach der andern Seite, streicht er von vorne nach hinten, wendet sie den Kopf nach der operierten Seite. — Der Luftstrom drängt die Lymphe im ersten Falle vom Canal, d. i., wenn z. B. links operiert wird, von links nach rechts in die Ampulle, im letztern in der Richtung von der Ampulle in den Canal, d. i. von rechts nach links. Wie ich a. a. O. auseinandergesetzt habe, muss die reflectorische Kopfwendung immer die Richtung der Endolymphströmung haben, was in unseren Versuche vollkommen zutrifft.

1) Ich muss also im Widerspruch mit v. Cyon dabei beharren, dass Aussaugen der Lymphe aus den Canälen die spezifische Bewegungsreaction gibt. Die Differenz wird dadurch aufgeklärt, dass v. Cyon erwartet und nicht gefunden hat, „dass sich eines der Flourens'schen Phänomene unmittelbar nach dem Auslaufen der Perilymphe einstelle“. Die Bewegungen stellen sich, wie begreiflich, während des Auslaufens ein.

Anzunehmen, dass Einstellen einer Nadelspitze oder einer Borste in die Stichöffnung eines knöchernen Bogenganges, oder Berührung des häutigen Canales mit der Spitze eines Papierstreifchens, oder dass der Luftstrom, der über den eröffneten Gang streicht, — dass diese Procedures das Kleinhirn direct reizen, und zwar so, dass immer nur Bewegungen in der Ebene des betreffenden Canales erfolgen, — das anzunehmen scheint mir absurd. Ich glaube daher auch diese älteren Versuche mit mechanischer Reizung zu jenen rechnen zu dürfen, bei denen eine directe Beeinflussung des Gehirns ausgeschlossen ist, und welche darum beweisen, dass ohne solche vom Bogengangapparat allein die fraglichen Phänomene erzeugt werden.

Ich resumire also in Folgendem:

Durch mechanische, thermische und electricische Reizung können von jeder Ampulle resp. jedem Bogengang aus Kopfbewegungen in der Ebene des betreffenden Ganges ausgelöst werden. Dabei findet eine directe Reizung des Kleinhirns nicht statt. Dieses theiligt sich an den Erscheinungen wahrscheinlich als Reflexcentrum, dessen eines peripheres Sinnesorgan das Vestibulum ist.

Die Bewegungen werden bei einigen der Versuche durch Endolymphströmungen hervorgerufen, deren Richtung die Richtung der Kopfbewegungen bestimmt, in der von der Theorie geforderten Weise.

Die Erscheinungen des galvanischen Schwindels erscheinen unter Verhältnissen, welche die Theiligung von Stromschleifen im Gehirn ausschliessen lassen. Der galvanische Schwindel entsteht hauptsächlich durch Reizung des Vestibularapparates, wie das galvanische Phosphen durch Reizung der Retina.

Es kam mir hier nur darauf an, die Realität und Zuverlässigkeit der am Vestibularapparat erzeugten Phänomene zu beweisen. Ihre Discussion unterlasse ich. Diese scheint mir in der oben citirten Abhandlung in genügender Weise durchgeführt zu sein, soweit eben jetzt das thatsächliche Material reicht.

Ich kann aber eine Bemerkung nicht unterdrücken. Ich glaube, dass nachgerade genug Bogengänge durchschnitten worden sind. Den 105 Tauben, welche Baginsky diesen Versuchen geopfert, könnten noch Hekatomben nachfolgen, ohne dass unser Wissen da-

durch vermehrt würde. Diese Versuche sind ja von Flourens schon vollständig erledigt worden. Das Sinnesorgan, welches das Vestibulum ja doch jedenfalls enthält, muss schliesslich mit feinem Methoden untersucht werden, als es das immer wiederkehrende Durchschneiden, Ausbrechen oder Verbrennen der Canäle ist.

Der Donders'sche Druck und die Gasspannungen in der Pleurahöhle.

Von

W. Einthoven.

Mit Tafel II.

Der intrathoracale Druck bleibt das ganze Leben hindurch negativ, obwohl die Flüssigkeiten, mit welchen die Pleuren getränkt sind, doch mittels der Lymphe und des Blutes unablässig mit der atmosphärischen Luft in Verkehr treten. Dass von den in den Säften des Organismus absorbirten Gasen der Atmosphäre nicht jedes mit seiner partialen Pressung in der Pleurahöhle zu Tage tritt um vereint daselbst den gewöhnlichen Luftdruck hervorzubringen, ist nur deshalb möglich, weil die Spannung des Sauerstoffs durch chemische Bindung abnimmt, während die Bildung der Kohlensäure nicht in der Masse stattfindet, dass der Verlust compensirt wird.

Also bleibt die Summe der drei Gasspannungen im Pleuragewebe unter dem Luftdrucke zurück.

Ich habe versucht, die Spannungen des CO_2 , O und N im Pleuragewebe experimentell zu bestimmen. Zugleich untersuchte ich die Schnelligkeit, mit welcher ein zu hoher Partialdruck eines in die Pleurahöhle geführten Gases durch Absorption abnimmt, oder ein zu niedriger durch Absonderung aus den Pleuren und der