(Aus dem physiologischen Institut der Universität Freiburg i. B.)

Untersuchungen über reizlose vorübergehende Ausschaltung am Zentralnervensystem.

III. Mitteilung.

Die Extremitätenregion der Grosshirnrinde.

Von

Wilhelm Trendelenburg.

(Mit 14 Textfiguren.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Einleitung. Wert der Methode für die Grosshirnphysiologie	515
II. Die Methode im einzelnen	519
III. Ergebnisse der Rindenkühlung	526
1. Versuche am Hund und an der Katze	526
2. Versuche am Affen	530
3. Thermoelektrische Temperaturmessung am Gehirn bei Rinden- kühlung	537
IV. Allgemeine Folgerungen	543
V. Zusammenfassung	544

I. Einleitung. Wert der Methode für die Grosshirnphysiologie.

Von einer Ausschaltungsmethode, mit welcher es gelingt, die bei den üblichen Zerstörungsmethoden möglichen Nebenwirkungen zu vermeiden, sind nicht in letzter Linie für die Kenntnis der Funktionen der Grosshirnrinde Aufschlüsse zu erwarten. Vor allem ist es die grosse Flüchtigkeit vieler an die Verletzungen sich anschliessender Störungen, welche die Deutung oft recht unsicher bleiben lässt, und welche in der Tat auch zu verschiedenen Deutungen geführt hat. Wenn wir sehen, dass selbst bei chirurgischen Rindenexzisionen am Menschen die anfänglichen Lähmungen einer Besserung fähig sind, dass beim Affen mit der Zeit eine recht weitgehende

Gebrauchsfähigkeit des Armes zurückgewonnen werden kann, wenn die Armregion durch Schnitt entfernt wurde, so erhebt sich die Frage, wie weit etwa die ungewollten und bei den bisher geübten Ausschaltungsmethoden unvermeidlichen Nebenwirkungen der Zerstörung, welche in verschiedener Weise gedeutet und bezeichnet wurden, an dem Zurückgehen der anfangs stärkeren Störungen beteiligt sind. Von der Beantwortung dieser Frage, die meines Erachtens nur durch das Tierexperiment befriedigend gegeben werden kann, hängt es ab, welchen Wert wir den gefundenen Störungen für die Erkenntnis der Funktionen der normalen Hirnrinde zusprechen wollen.

Freilich können wir durch das Tierexperiment direkte Aufschlüsse für die Hirnpathologie und Hirnphysiologie des Menschen nur in den Leistungen erhalten, welche die höchststehenden Tiere in gleicher oder wenigstens sehr ähnlicher Weise vollbringen wie der Mensch. In mancher Beziehung wird die Sorgfalt und Ausdauer des Experimentators auch bei den höchsten Tieren noch vieles auf dem Wege der neuerdings wiederbelebten Dressurmethoden erreichen. In einem besonderen Gebiet der Hirnphysiologie des Menschen, in dem heutzutage die Schwierigkeiten wieder ganz bedeutende geworden zu sein scheinen, im Gebiet der Sprachinnervation, können wir hingegen aus dem Tierexperiment keine direkte Belehrung schöpfen. Und doch darf man sich auch für dieses Gebiet manche Anregung von einer Methode versprechen, durch die es gelingen würde, Funktionen von Rindenstellen ohne Nebenwirkungen aufzuheben, wenn man für andere verwickelte Leistungen der Rinde („Handlungen“) den Vergleich zwischen Affen und Mensch durchgeführt hat. Sollte es sich nachweisen lassen, dass die Befürchtungen von maassgebenden Nebenwirkungen der üblichen Zerstörungsmethoden nicht berechtigt sind, so ist ein solcher Schluss auch bei den Läsionen erlaubt, durch welche die nur dem Menschen eigentümlichen höchsten Leistungen des Gehirns aufgehoben werden. Naturgemäss darf dabei nie ausser acht gelassen werden, und das muss hier besonders betont werden, dass die in der Hirnpathologie beobachteten Zerstörungen durchaus nicht ohne weiteres mit den Zerstörungen des Tierexperimentes gleichgesetzt werden dürfen. Es wird einen grossen Unterschied ausmachen, ob man bei einem kräftigen und nicht gerade alten Affen ein Stück der Hirnrinde derart unterschneidet oder auch herauschneidet, dass das Tier schon nach dem schnell erfolgenden

Erwachen aus der Narkose nur örtliche Störungen zeigt, und dass auch bei der späteren Sektion eine vollständig nach Wunsch begrenzte Läsion gefunden wird, oder ob bei einem älteren Menschen, dessen Gehirn schon Alterszeichen aufweist, eine Blutung auftritt, die zu Verlust des Bewusstseins und anderen allgemeinen Störungen führt, die man sicher nicht auf eine unkomplizierte Ausschaltung der direkt betroffenen Teile beziehen darf. Es ist daher für die Funktionsvergleiche von grösster Wichtigkeit, dass in neuerer Zeit auch am Menschen Fälle beobachtet werden können, welche in jeder Weise auf gleicher Stufe mit den Läsionen des Tierversuches stehen, nämlich die zu Heilzwecken ausgeführten Exstirpationen der einzelnen Rindenabschnitte. Wenn z. B. in einem Falle von Horsley¹⁾ einem 14jährigen Knaben die ganze Armregion der einen Hirnseite entfernt wird und man annehmen darf, dass eine ungewollte Mitverletzung benachbarter oder in der Tiefe liegender Teile nicht stattgefunden hat, so ist in diesem und anderen ähnlichen Fällen ein ausserordentlich wertvolles Vergleichsmaterial mit den Ergebnissen der am Tier ausführbaren Gehirnoperationen gegeben. Besondere Untersuchungen werden sich beim Tier sowohl wie auch beim Menschen mit den Unterschieden zu befassen haben, welche auftreten, wenn solche Verletzungen das ganz jugendliche oder das auf der vollen Höhe der Leistung stehende, aber noch nicht gealterte Gehirn betreffen.

Hiermit dürfte zunächst zur Genüge ausgeführt sein, von welchem Standpunkt in den hier vorgelegten Untersuchungen das Problem der reizlosen Ausschaltung am Gehirn angegriffen wurde. Es soll hier weiterhin in erster Linie über Versuche berichtet werden, die an derjenigen Gegend der Grosshirnrinde ausgeführt wurden, von deren Ausschaltung man zunächst die greifbarsten und übersichtlichsten Ergebnisse erwarten durfte, nämlich der Region der Extremitäten, insbesondere des Armes.

Die Wahl der besonderen Methode braucht hier nicht nochmals eingehend begründet zu werden²⁾. Wenn man bedenkt, dass die

1) V. Horsley, The function of the so-called motor area of the brain. British medic. journ. July 1909 (Linacre lecture).

2) W. Trendelenburg, Untersuchungen über reizlose vorübergehende Ausschaltung am Zentralnervensystem. I. Mitteilung (vorläuf. Bericht). Pflüger's Arch. Bd. 133 S. 305—312. 1910. II. Mitteilung. Zur Lehre von den bulbären und spinalen Atmungs- und Gefässzentren. Pflüger's Arch. Bd. 135 S. 469—505. 1910.

plötzliche, ohne Druckänderungen vorgenommene Abkühlung auf einen lebhaften von der Narkose völlig erwachten Affen nicht den geringsten Eindruck macht, so dass man die Abkühlung an nichts anderem erkennen kann wie an den lokalen Ausfallerscheinungen, denen auch nie irgendwelche lokale Reizerscheinungen (Zuckungen) vorausgehen, so wird man sich der Ansicht nicht verschliessen können, dass diese Ausschaltungsmethode wesentliche Vorteile bietet und im strengen Sinne als reizlos bezeichnet werden darf.

Weiter darf auch für die Untersuchung der Rindenfunktionen ein Vorzug der Methode darin gesehen werden, dass die Ausschaltung zu jeder beliebigen Zeit unterbrochen werden kann; sie hört mit Aufhören der Kältewirkung ebenfalls auf. In dieser Hinsicht fanden sich sogar bei dem vorwiegend interessierenden Versuchstier, dem Affen, noch günstigere Verhältnisse, als sie früher für den Hund angegeben werden konnten. Irgendwelche Verzögerungen im Wiederauftreten der normalen Leistungen nach der Wiedererwärmung traten nach sorgfältigen Abkühlungen nicht auf. Nur wenn einfach die Kühlung abgestellt, das Gehirn aber sich selbst zur Wiedererwärmung überlassen war, konnte die Störung entsprechend der langsameren Erwärmung ein wenig länger anhalten. Zur Veranschaulichung des schnellen Vorübergehens der Wirkung bei der gewöhnlich angewendeten direkten künstlichen Wiedererwärmung der Hirnrinde sei noch folgender Versuch angeführt. Am Affen wird die Arm-region gekühlt, worauf nach 1 Minute die typischen Ausfallerscheinungen der Armlähmung auftreten; nun wird auf Erwärmung umgestellt, und 1 Minute später ist jede Spur der Funktionsstörung schon wieder verschwunden¹⁾. Dabei wird die eigentlich in Betracht kommende Zeit eher etwas kürzer sein, da immer etwas Zeit vergeht, bis nach Umstellen der Quetschhähne an den Zuleitungsschläuchen die Flüssigkeit von der gewünschten Temperatur bis zur Hirnrinde gelangt ist.

Diese Möglichkeit, ganz kurzdauernde und, wie wir sehen werden, trotzdem vollständige Ausschaltungen herstellen zu können, wird wiederum von grossem Wert für die Deutung sein. Sind die mit den bisher angewandten Methoden erzielten Ausschaltungen dauernd, oder halten sie viele Tage lang an, so können sich in dieser Zeit

1) Ähnliche Angaben für den Hund sind in dem vorläufigen Bericht enthalten. Pflüger's Arch. Bd. 133 S. 305—312. 1910. Darin S. 308.

an den tieferen Teilen, welche mit den direkt angegriffenen in funktionellen Wechselbeziehungen stehen, Veränderungen abspielen, die verhindern, dass nach dem Abklingen der etwa vorhandenen Shockwirkungen oder stärkeren Schädigungen des Allgemeinbefindens das Bild des Funktionsausfalls rein zutage tritt.

Es bliebe dann noch die schon in dem vorläufigen Bericht berührte Frage nach der Vollständigkeit der durch Abkühlung erzielten Ausschaltung und nach den Grenzen des Ausschaltungsbereiches. Auf Grund der weiteren Darstellung wird kein Zweifel sein, dass es gelingt, mit genügender Abkühlung ebenso vollständige Ausschaltungen zu erzielen wie mit der Unterschneidung der Rinde; und auch der Tiefenbereich der Abkühlung liess sich durch thermoelektrische Messungen näher feststellen.

II. Die Methode im einzelnen.

Um einen begrenzten Bereich der Rindenoberfläche des Grosshirns der Kühlung aussetzen zu können, wurde folgende Methode angewandt. Eine aus Hartgummi gedrehte Kapsel *a* (Fig. 1) ist mit feinem Gummi überspannt und wird in ein Trepanloch passender Grösse so befestigt, dass die Gummimembran der unverletzten Dura (*b*) oder nach Entfernung derselben unmittelbar der Hirnoberfläche (*c*) anliegt. Die Kapsel trägt an ihrer Decke zwei kurze eingeschraubte Rohre (*d*), an welche zur Zuleitung und Ableitung der temperierenden Flüssigkeiten Gummischläuche (*e*) angebunden werden. Zur Befestigung der Kapsel ist an der Seite derselben ein Rand angedreht, welcher dem Knochen (*f*) am Rande des Trepanloches aufliegt, und welcher in der Abbildung im Querschnitt als Vorsprung zu sehen ist. Von oben wird über die Kapsel ein etwas breiterer Ring (*g*) geschoben, der auf dem erwähnten Rande der Kapsel aufliegt und durch Schrauben (*h*) am Knochen befestigt wird¹⁾. Die dazu nötigen Löcher werden in den Knochen mit einem kleinen Hand-Drillbohrer gebohrt; wird hierauf mit einem Gewindebohrer etwas nachgedreht, so fassen die Schrauben ausgezeichnet

1) Je nach der Dicke des Knochens kann unter dem Kapselrand noch ein schmaler Ring unterlegt werden, damit die Gummimembran der Dura nur eben aufliegt. Auch ist es zweckmässig, die Schrauben durch kleine Ringe zu führen, welche zwischen Ring *G* und Knochen liegen. Sie wurden in der Zeichnung der Deutlichkeit wegen weggelassen.

und halten besonders im Knochen des Affenschädels ausserordentlich fest. Auch wenn aus irgendwelchem Grunde die Kapsel vorübergehend abgeschraubt werden muss, fassen die Schrauben in den gleichen Löchern wieder sehr gut, so dass es meist nicht nötig ist, eine Verengerung des Loches durch Einlegen einiger Wattefasern vorzunehmen. Zur Ergänzung der schematischen Fig. 1 sind einige Teile in Fig. 2 in natürlicher Grösse nach Photographie wiedergegeben. Die Grösse der Kapsel richtet sich nach dem besonderen Zweck; für die Extremitätenregion des Hundes und die Armregion des Affen (mittelgrosse Tiere) ist eine Kapsel von einem inneren Durchmesser von 2,0 cm geeignet.

Fig. 1. Schematische Darstellung der in die Schädeldecke geschraubten Fühlkapsel. *a* Kapsel, *b* Dura, *c* Gehirn, *d* Ansatzrohre, *e* Ansatzschläuche, *f* Knochen, *g* Ring, *h* Schrauben.

Die Gummimembran ist nicht allzu dünn zu wählen. Sogenannten Condomgummi fand ich (trotz seiner Vorzüge für eine gute Kältewirkung) wegen der leichten Zerreislichkeit weniger geeignet und zog schliesslich stets Gummi von der Dicke des zum Bespannen von Marey'schen Kapseln üblichen vor. Für das Stehenlassen oder Entfernen der Dura sind folgende Gesichtspunkte maassgebend. Es kommt alles darauf an, dass nicht schon durch das Anbringen der Kapsel an sich eine Funktionsstörung in der unterliegenden Rinde besonders etwa infolge Prolabierens der Hirnoberfläche verursacht wird. Bei Hunden und Katzen war es aus diesem Grunde vorteilhaft, die Dura intakt stehen zu lassen und dabei in Kauf zu nehmen, dass sich zwischen Gummimembran und

bei Katzen war auch in diesem Falle eine gewisse Schädigung der Rinde daran nachweisbar, dass der Pfotenberührungsreflex auf der Gegenseite eine Abschwächung erkennen liess. Es sind aus diesem Grunde die Versuche an diesem Tier im ganzen weniger geeignet. Am Hunde waren derartige Störungen nie vorhanden, doch wurde auch hier die verhältnismässig dünne Dura zur Vorsicht stehen gelassen. Die günstigsten Verhältnisse liegen auch in diesem Punkte wieder am Affen vor; auch an den verwendeten jungen Exemplaren von *Macacus rhesus* konnte die beim Affen verhältnismässig kräftige

Fig. 2. Kühlkapsel und Ringe zum Festschrauben, die letzteren links für den Hund, rechts unten für den Affen.

Dura entfernt werden, ohne dass sich eine Schädigung der Rinde einstellte. Bleibt die Dura erhalten, so ist man vor den an sich geringen, aber für die Kühlung störenden Blutaustritten aus den Duralgefässen sicher und hat noch einen in folgendem Umstand begründeten Vorteil. Selbst bei aseptischem Verfahren lässt sich nicht vermeiden, dass sich auf der Dura unter der Gummimembran schon nach etwa einem halben Tag ein Belag gebildet hat, welcher wiederum eine Isolierschicht darstellt und den Erfolg der Kühlung sehr wesentlich herabsetzen kann. Es ist dann zweckmässig, den Affen einer kurzdauernden leichten Äthernarkose zu unterwerfen, die Kapsel abzuschrauben und den Belag mit Watte abzuwischen. Dabei ist

natürlich der Schutz der Rinde durch die intakte Dura sehr vorteilhaft; man kann die Säuberung vornehmen, ohne das Entstehen einer Verletzung befürchten zu müssen. Die Exsudatbildung und die sich später anschliessende dicke Narbe sind übrigens auch der Grund dafür, dass sich die Beobachtungen immer nur auf eine verhältnismässig kurze Zeit (etwa bis zu 2 Tagen) nach Anbringung der Kühlvorrichtung erstrecken können.

Der eine der Ansatzschläuche wird mit einem T-Stück verbunden¹⁾, das weiter zu zwei Tubusflaschen führt, die mit körperwarmem Wasser und mit Eiswasser oder einer Kältemischung gefüllt sind. Sie werden etwa $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ m über Schädelhöhe aufgestellt; mit Hilfe von Quetschhähnen kann nach Belieben bald eine Abkühlung, bald eine Wiedererwärmung der Hirnrinde vorgenommen werden. Der Abflussschlauch wurde in den früheren Versuchen kurz genommen und mit einer Glasspitze versehen, durch die das unter einigem Druck stehende Wasser im Strahl zur Seite spritzte, wobei das Tier allerdings gelegentlich etwas nass wurde. Besonders bei Affen erwies sich dies Verfahren aber als unzweckmässig, weil die Tiere sich durch Nässe sehr belästigt fühlen. Es wurde deshalb auch am Abflussrohr der Kapsel ein längerer Schlauch angebracht und dieser nach oben aus dem Drahtkäfig herausgeleitet, in dem die Affen vorwiegend untersucht wurden. Dass die Membran der Kapsel gut der Dura oder der Gehirnofläche selbst anlag, konnte mit Sicherheit daran erkannt werden, dass am ausfliessenden Wasser ein Puls sichtbar war. Sollte, besonders am Hunde, der normale unbehinderte Gang beobachtet werden, so führte der Wärter das Tier an der Leine und trug die beiden Vorratsflaschen der Temperierflüssigkeiten in einem Gestell auf dem Rücken. Auch der Gang des Hundes über die Lattenbrücke und dergleichen konnte in dieser Weise gut untersucht werden.

Um besonders an dem nachgiebigeren Gehirn von Hund und Katze Erscheinungen plötzlicher Drucksteigerungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, den Zuflussschlauch bei Öffnen des Quetschhahnes nur ganz allmählich zu öffnen, damit sich die Kapsel nicht plötzlich füllt. Soll abgekühlt werden, so ist der Zufluss der Kühl-

1) Zweckmässig werden an die Kapsel nur zwei kurze Gummistücke fest angebunden; mit diesen werden die zu den Flaschen führenden Schläuche durch kurze Glasstücke verbunden. Man kann dann an dieser Stelle die Verbindung während der Versuchspausen unterbrechen und nachher leicht wiederherstellen.

flüssigkeit schon zu öffnen, ehe der des warmen Wassers geschlossen ist; wenn beide Vorratsflaschen auf gleicher Druckhöhe stehen, werden hierdurch Druckänderungen im Moment der Umstellung der Temperatur vollständig vermieden. Beim Affen wurden aber niemals Folgen von Druckschwankungen beobachtet; beim Hunde und der Katze bestanden sie vorwiegend in krampfhaftem Wegwenden des Kopfes zur Gegenseite.

Zur wirksamen Kühlung genügte meist einfaches Eiswasser nicht. Es wurden deshalb Eis-Kochsalzmischungen verwendet, und die Temperatur so eingestellt, dass die Kühlflüssigkeit mit etwa -3 bis -5°C. den Abflussschlauch verliess, an dessen Ende die Temperatur leicht festgestellt werden konnte. Es könnte bedenklich erscheinen, dass solche tiefen Temperaturen angewendet wurden. Wenn aber nicht schon aus dem schnellen Vorübergehen der Kühlwirkungen ihre Unschädlichkeit genügend hervorgeht, so kann noch auf die Ergebnisse der thermoelektrischen Temperaturmessung hingewiesen werden, die weiter unten ausführlich mitgeteilt werden. Folgende Feststellungen können aber schon hier hervorgehoben werden. Wurde durch eine Thermonadel die Temperatur zwischen Kapselmembran und Dura gemessen, so fand sich am Hunde bei einer Ausflusstemperatur der Salzlösung von $-3,5^{\circ}\text{C.}$ als tiefster Wert der Duratemperatur $+12,5^{\circ}\text{C.}$, und dieser Wert liegt zweifellos noch etwas niedriger als der für die Hirnoberfläche selbst gültige. Am Affen wurde bei entsprechender Anordnung mit einer Kühlflüssigkeit von sogar -7°C. eine Temperatur zwischen Kapselmembran und Dura von im Minimum $+11,5^{\circ}\text{C.}$ gefunden, meist aber nur eine Temperaturerniedrigung bloss bis auf $+13^{\circ}\text{C.}$ und höher erhalten. Dabei war am Affen noch die der Kühlseite entsprechende Karotis unterbunden worden, was auch bei den Kühlversuchen ohne thermoelektrische Messungen zum Teil geschehen war, um grössere Temperaturherabsetzungen zu erzielen. Notwendig ist diese Unterbindung übrigens nicht. Man sieht also, wie weit man infolge der reichlichen Blutversorgung des Gehirns davon entfernt ist, sogar mit beträchtlich gekühlten Lösungen selbst die oberflächlichst gelegenen Rindenstrukturen irgendwelcher Gefahr des Gefrierens auszusetzen. Man kann vielmehr sagen, dass ein besonders glücklicher Umstand darin gelegen ist, dass trotz der reichlichen Blutversorgung der Hirnrinde Abkühlungen erzielt werden können, welche zur vollständigen Rindenausschaltung genügen.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass auch sonst die Kühlungen keine sichtbare Veränderung an der Hirnrinde hervorrief, die etwa in einer Gefäßverengung hätte bestehen können. Beim narkotisierten Affen wurde die kalt-durchströmte Kapsel nach Entfernung der Dura direkt der Hirnfläche längere Zeit aufgehalten; unmittelbar nach Abheben der Kapsel war die Injektion der Gefäße die gleiche wie vor der Kühlung. Es kann also auch an der Kühlwirkung nicht etwa, wie man vermuten könnte, eine durch starke Gefäßverengung hervorgerufene Anämie beteiligt sein. Eine gewisse Verminderung der Durchblutung würde übrigens schon deshalb belanglos sein, weil ja auch das Sauerstoffbedürfnis der abgekühlten Rinde vermindert wird.

Eine schädliche Nachwirkung der Kühlung, oder wohl nur der mit ihr verbundenen besonderen Nebenumstände, habe ich nur ein einziges Mal am Hunde beobachtet. Das Tier wurde längere Zeit im Freien bei hoher Sommertemperatur in der Sonne zum Zweck photographischer Aufnahmen untersucht und wurde dabei erhitzt und ermüdet. Als die Versuche darauf im Zimmer fortgesetzt wurden, trat plötzlich ein epileptischer Anfall ein, der aber ohne Schaden überwunden wurde. Wie weit daran ausser den erwähnten Umständen vielleicht noch andere beteiligt waren, vermag ich nicht zu sagen. In den anderen Fällen und besonders auch bei den Affen sind auch die längsten Kühlungen ohne Spur solcher Nachwirkungen geblieben, so dass in dem einen üblen Zufall eben nur ein Zufall zu sehen ist, den ich aber nicht unerwähnt lassen wollte.

Es erübrigt noch, einiges über die Herstellung und Lage der Trepanöffnung und über den Wundverschluss anzugeben. Über die Trepanationsstelle geben die an anderem Ort¹⁾ gebrachten Beschreibungen und Figuren Auskunft. Beim Hunde und bei der Katze eröffnet man die Stirnhöhle in ganzer Breite und trepaniert an der dem Gyrus sigmoideus entsprechenden Stelle. Beim Trepanieren, für welches ein Handinstrument genügt, ist sehr auf Unverletztbleiben der Dura zu achten; am besten wird nur bis zur Diploë trepaniert und darauf mit Knochenzangen weiter vorgegangen. Die Knochenränder werden im Bereich der Trepanationslücke mit Wachs zu-

1) W. Trendelenburg, Das zentrale Nervensystem der warmblütigen Tiere (Methodik). Handb. d. physiol. Method. von Tigerstedt Bd. 3 H. 4 S. 1—150. 1910. Darin die Abbildungen S. 96, 97, 127, 128, 130.

gestrichen, um Ansammlung von Blut unter der Kapselmembran zu vermeiden. Beim Affen orientiert man sich an der wohl immer leicht sichtbaren Coronalnaht zwischen Stirn- und Scheitelbein und legt das Loch so an, dass es bei kleinen Affen (jungen Macacen) etwa 0,5 cm von der Mittellinie entfernt bleibt und etwa zu ein Drittel seines Durchmessers vor der genannten Naht liegt. Schon durch die Dura hindurch kann man sich über die richtige Lage der Lücke an den Furchen zurechtfinden. Völlige Sicherheit verschafft man sich dann bei Abschluss des Versuches durch elektrische Reizung

Fig. 3. Trepanations- und Kühlungsstelle der Hirnrinde (links) von Affe 1. Natürliche Grösse. (Der perspektivischen Verkürzung wegen musste die Zeichnung der Kühlfläche etwas von der Kreisform abweichen.) 1 Handgelenkstreckung, 2 Ellenbogenstreckung und Schulterbewegung, 3 Pronation des Vorderarmes, 4 Handschluss, 5 Fingerbewegung, 6 Daumenadduktion und Zeigefingerstreckung, 7 Daumenadduktion, 8 Hinterbein, 9 Facialis.

der freigelegten Hirnoberfläche in Äthernarkose des Tieres. Fig. 3 gibt das Ergebnis für einen Affen wieder. Man sieht, dass das ganze Gebiet, dessen Reizung Bewegungen an der oberen Extremität ergab, von der Kühlkapsel bedeckt war. Die gezeichnete Grenzlinie entspricht den Aussenmaassen der Kapsel, so dass das Gebiet des Beins und des Facialis nicht mehr ganz von der Kühlfläche erreicht waren. In den anderen Fällen waren die Ergebnisse ganz entsprechend, so dass ein Beispiel genügt. Der Verschluss der Hautöffnung, die etwas seitlich von der Mittellinie parallel zur Sagittalnaht angelegt wird, geschieht so, dass die Hautränder auf der Schädeldecke fest um die Basis der Kapsel zusammengezogen werden. In den meisten Versuchen wurde darauf der Kopf noch mit einem Störkeverband versehen; später aber erschien es genügend und einfacher, einige Heft-

pflasterstreifen anzulegen, um so mehr, als es doch nicht gelang, die Wunde für längere Zeit aseptisch zu halten, weil an den herausragenden Schläuchen zu leicht einmal etwas Wasser entlang fliesst. Wird unter aseptischen Kautelen operiert, und die Kapsel in Sublimatlösung, die wieder gründlich auszuspülen ist, desinfiziert, so kommt es während der begrenzten Beobachtungszeit, über die oben schon Angaben gemacht wurden, zu keinen Störungen im Wohlbefinden der Tiere.

III. Ergebnisse der Rindenkühlung.

1. Versuche am Hund und an der Katze.

Nachdem sich in Vorversuchen am Kaninchen die Durchführbarkeit der Methode im Prinzip ergeben hatte, wurde der Hauptwert auf Versuche an höheren Säugetieren gelegt. Es seien zunächst die Verhältnisse am Hunde und einige die Katze betreffende Ergänzungen besprochen ¹⁾.

Wird an dem aus der Äthernarkose völlig erwachten Hunde die Rindenkühlung vorgenommen, so ist im Stehen keine Störung zu beobachten. Auch bei dem gewöhnlichen Gehen des Tieres sind die Abweichungen vom normalen Verhalten nur gering; sie bestehen darin, dass das Vorderbein der Gegenseite bei der Vorbewegung oft mit den Zehen am Boden streift, so dass man ein kratzendes Geräusch hört. Die Füße werden aber stets in richtiger Haltung aufgesetzt. Dreht sich das Tier, um den gleichen Weg wieder zurückzugehen, scharf um, so ist gelegentlich eine Ungeschicklichkeit des Vorderbeins zu bemerken, welches auf dem Boden ausrutscht. Einer der Hunde wurde vor der Operation daran gewöhnt, über eine Lattenbrücke zu gehen, einem leiterartigen horizontal gelegten Gestell mit 28 cm Sprossenabstand. Diese Versuche konnten hernach bei Rindenkühlung, die hier stets nur einseitig ausgeführt wurde, wiederholt werden, und ergaben auch jetzt ein im ganzen recht sicheres Verhalten des Tieres. Oft jedoch wurde mit dem Vorderbein oder auch dem Hinterbein der entsprechenden Seite zu kurz getreten, das Bein trat durch die Sprossen, und das Tier hatte grosse Mühe,

1) Es kann hier und im folgenden keine streng systematische Funktionsprüfung erwartet werden. Die mannigfachen Schwierigkeiten, die mit der Anwendung der neuen Methode zunächst verbunden sind, bringen es mit sich, dass die Untersuchungen sich an die greifbarsten Störungen halten, deren Feststellung aber für unseren Zusammenhang ein ausreichendes Gesamtbild gibt.

bis der Fuss wieder seine Unterlage gefunden hatte. Wird dem Tiere absichtlich das Vorderbein, dessen entsprechende Rinde gekühlt ist, zwischen zwei Sprossen heruntergezogen, so werden ebenfalls erst einige vergebliche tastende Bewegungen ausgeführt, ehe der Fuss wieder richtig aufgesetzt werden kann. Beim Gehen auf der Brücke kommt es auch vor, dass der schon richtig aufgesetzte Fuss wieder abrutscht und nun wieder die zuerst vergeblichen Bemühungen eintreten.

Dass hierbei die Rindenkühlung sehr wirksam war und zu noch bestimmteren Ausfallerscheinungen führte, geht aus folgenden Beobachtungen hervor, die in allen Fällen gemacht werden konnten. Wenn man einem normalen Hund im Stehen den Fuss so aufzusetzen versucht, dass er mit dem Zehendorsum am Boden aufruht, so tritt sofort eine korrigierende Gegenbewegung ein; es ist ganz unmöglich, den Fuss so in diese Lage zu bringen, dass er etwa nach Loslassen der Hand darin photographiert werden könnte. Wird nun aber die Extremitätenregion der einen Hirnseite gekühlt, so gelingt dies sehr gut. Bei ausreichender Kühlwirkung, die schon nach einer halben Minute erreicht werden kann¹⁾, bleibt die Gegenbewegung des Tieres gegen die passive Umdrehung der Pfote aus, die Pfote kann in die Dorsalstellung gebracht werden, und diese bleibt auch dann bestehen, wenn das Tier sein Körpergewicht mit durch die abnorm gestellte Pfote stützt. Fig. 4 gibt eine photographische Aufnahme von einem solchen Versuch wieder. Besonders bei häufiger Wiederholung dieses Umdrehungsversuches findet man, dass der Hund sich im Stehen oder Sitzen nicht mehr recht auf das Bein stützt, an welchem die Versuche ausgeführt werden; es ist dann zweckmässig, die anderseitige, sich normal verhaltende Pfote aufzuheben, um das Tier derart zu zwingen, sich auf die der gekühlten Rinde entsprechende Extremität zu stützen; auch dabei tritt meist keine oder nur eine sehr verspätete Korrektur der abnormen Stellung ein, letzteres erst dann, wenn das Bein stark eingeknickt ist, und dadurch offenbar starke Reize auftreten, welche die Korrekturbewegung auslösen. Die gleichen Versuche führen am Hinterbein zu gleichem Ergebnis. Auch kann am Vorder- und Hinterbein der entsprechenden Seite gleichzeitig die abnorme Stellung hergestellt

1) Vgl. den vorläufigen Bericht. Pflüger's Arch. Bd. 133 S. 305—312. 1910. Darin S. 308.

werden; jedoch tritt meist nach einiger Zeit eine Korrektur ein, für die wohl die nun stärkere Belastung der dorsal gestellten Pfoten verantwortlich zu machen ist. Wird bei allen diesen Versuchen noch während der bestehenden abnormen Fussstellung wieder erwärmt, so tritt sehr prompt die Stellungsänderung ein. Von Interesse ist auch noch folgender Versuch. Bei einem in gewöhnlicher Weise mit gestreckten Vorderbeinen sitzenden Hund wird die Extremitätenregion der einen Seite gekühlt. Bald knickt das Vorderbein der Gegenseite langsam ein, und das Profil des Schulterblatts tritt nach oben deutlich hervor, ein Zeichen, dass die tonische Spannung der Muskulatur nachlässt.

Fig. 4. Hund 3. 20. Mai 1910. Rindenkühlung links. Fehlende Korrektur einer abnormen Stellung der rechten Vorderpfote.

Es wurde nun auch versucht, über die Abhängigkeit komplizierterer Bewegungen von der Hirnrinde am Hunde Aufschluss zu erhalten. Dem gleichen sehr gelehrigen Tiere, welches auch zu den Versuchen an der Lattenbrücke diente, wurde beigebracht, dem Wärter auf blosses Geheiss, also ohne jede Berührung des Tieres, die Pfote zu geben. Nach wenigen Tagen war das Tier so weit, auf Verlangen diesen Befehl in steter Wiederholung bald rechts, bald links auszuführen. Leider war aber nach der in Narkose erfolgten Operation das Tier etwas misstrauisch und unlustig, so dass der Dressurerfolg stark beeinträchtigt war und auch in der kurzen den Versuchen nach dem Aufschrauben der Kapsel zur Verfügung stehenden Zeit nicht verbessert werden konnte. Ganz sichere Aufschlüsse

konnten deshalb nicht darüber erzielt werden, ob die der gekühlten Hirnregion entsprechende Pfote auch während der Kühlung noch auf Geheiss gereicht wurde. Jedoch wurde einmal ein Ansatz zu dieser Bewegung gemacht, zu einer Zeit, zu welcher an der gleichen Pfote die Korrektur abnormer Stellungen nicht mehr auftrat. Da der Affe so leicht zu feineren Bewegungen der Arme zu veranlassen ist, liegen bei ihm für derartige Beobachtungen, wie wir sehen werden, viel günstigere Verhältnisse vor. Beim Hunde sind auch die viel stärkeren Allgemeinwirkungen der Narkose hinderlich, da man, wie schon oben erwähnt, immer an die Zeit bald nach dem operativen Eingriff gebunden ist, an die Zeit, in welcher die Hunde unter anderem nur sehr ungern Nahrung zu sich nehmen, worin sich die Affen ganz anders verhalten.

Es war weiter noch erwünscht, die Berührungsreflexe der Pfoten während der Hirnkühlung zu untersuchen. Diese Reflexe, welche in dem Auftreten einer leichten Beugung bestehen, wenn man die Pfotenkrallen oder die Haare des Fussdorsum gegen den Strich berührt, waren jedoch bei den untersuchten Hunden nicht kräftig genug, um nach der Operation zu sicheren Ergebnissen zu führen. Es wurden deshalb einige Katzen untersucht, an welchen die Reflexe zum Teil sehr lebhaft waren. Hier zeigte sich aber der grosse Übelstand, dass bei der Katze schon durch die Eröffnung des Schädels trotz erhaltener Dura der Reflex an der dieser Hirnstelle entsprechenden Pfote wohl infolge leichten Prolapses so stark abgeschwächt war, dass wiederum die Änderung bei der Abkühlung nicht mit genügender Sicherheit zu untersuchen war. Auch der Versuch, die Kühlung durch den dünn geschabten Knochen hindurch auszuführen, brachte kein befriedigendes Ergebnis.

Im übrigen konnten bei der Katze ganz entsprechende Befunde erhoben werden wie beim Hunde. Auch bei der Katze wurde die normale Korrektur von Dorsalstellungen durch die Kühlung aufgehoben, und auch noch andere Korrekturbewegungen blieben aus. Wenn man eine Katze an den Tischrand setzt und ihr das Bein über die Tischkante nach abwärts zieht, so wird es sofort wieder in die gewöhnliche Lage zurückgebracht, so vorsichtig man die passive Bewegung auch ausführt. Anders an derjenigen Pfote, welche der gekühlten Extremitätenregion entspricht. Es gelingt hier, das Bein so herabzuziehen, dass es in der neuen Stellung beharrt. (Fig. 5.) Der gleiche Versuch lässt sich auch am Hinterbein ausführen.

An den Patellarreflexen war keine Veränderung nachweisbar.

Ähnliche Beobachtungen wie am Hunde auf der Lattenbrücke lassen sich an der Katze anstellen, wenn man sie auf den Drahtmaschen eines Käfigs laufen lässt. Die der gekühlten Extremitätenregion entsprechenden Pfoten treten dabei häufig durch die Maschen, und es bestehen ähnliche Schwierigkeiten, sie wieder herauszubringen, wie sie für den Hund beschrieben wurden.

Fig. 5. Katze 3. 16. Juni 1910. Rindenkühlung links. Fehlende Korrektur einer abnormen Lagerung des rechten Vorderbeines.

Dass alle diese Funktionsstörungen stets nur die der gekühlten Rinde gekreuzte Seite betreffen, sei hier noch allgemein bemerkt; nie wird durch die Abkühlung auf der gleichen Seite irgendeine Funktionsänderung erzielt.

2. Versuche am Affen.

Mit besonderen Erwartungen durfte man an die Untersuchungen am Affen herangehen. Sind doch nur bei diesem so fein abgestufte und dem jeweiligen Zweck angepasste Bewegungen des Armes und der Finger, die Greifbewegungen, schon unter den gewöhnlichen Lebensbedingungen des Tieres zu erhalten, wie sie sonst nur noch der Mensch auszuführen vermag, und müssen wir doch annehmen,

dass diese Bewegungen in weitem Maasse von der Grosshirnrinde aus beherrscht werden.

Wir beobachten den aus der Äthernarkose völlig erwachten munteren Affen in einem genügend geräumigen Käfig sitzend; die auf die Armregion der einen Seite geschraubte Kapsel ist schon mit Zu- und Abflussschlauch versehen und hinter dem Käfig mit den Vorratsflaschen verbunden; der Affe kann sich ganz frei bewegen, da die Schläuche lang genug sind; er ist mit Halsband und Kettchen versehen, damit man ihn erreichen kann, wenn etwas in Unordnung geraten sein sollte. Durch die Kapsel strömt zunächst noch keine Flüssigkeit, so dass beide Rindenseiten vom Blutweg aus normal erwärmt sind. Reichen wir dem Tier, das vorher etwas an Menschen gewöhnt wurde, eine Frucht oder eine Semmel, so greift es mit beiden Händen, oder ebensogut mit der rechten als wie der linken, und benützt zum Fressen der nicht zu kleinen ihm gereichten Stücke stets beide Hände in der bekannten geschickten Weise. Wir nehmen ihm das Futter wieder fort und suchen es durch Ziehen an der Kette etwas zu necken. Der Affe greift mit beiden Händen zu, führt die Kette zu den Zähnen und versucht sie zu zernagen. Wenn wir uns mit einem Stöckchen oder dem Finger dem Tier nähern, so schlägt es mit der Hand danach und benutzt dazu zwar nur eine Hand, aber ebenso oft und gut die linke wie die rechte; die Wahl hängt hauptsächlich davon ab, von welcher Seite wir uns annähern. Nun lassen wir, ohne dass der Affe es sieht, den Quetschhahn des körperwarmen Wassers öffnen und dieses vorsichtig in die Kapsel einströmen; das Tier reagiert darauf in keiner Weise und führt alle die beschriebenen Bewegungen ganz unverändert aus. Jetzt wird der Schlauch der einige Grade unter Null temperierten Salzlösung geöffnet und der andere Schlauch zugeklemmt. Auch jetzt tritt nicht das mindeste Anzeichen ein, das andeutete, dass der Affe die Temperaturänderung an der Hirnrinde bemerkt oder gar durch sie belästigt würde. Wir wollen zunächst annehmen, dass die Armregion der linken Hirnseite gekühlt wird. Ist die Kühlung in der vorhin beschriebenen Weise richtig vorgenommen, so können wir aber sehr bald ganz bestimmte und regelmässig eintretende Veränderungen im Gebrauch des rechten Armes sehen, die den Funktionsausfall der linken Armregion der Rinde erkennen lassen. Reichen wir dem Tier auf der Höhe der Kühlwirkung, die, wie erwähnt, nach sehr kurzer Zeit vorhanden sein kann, eine Birne oder Rübe, so greift es

nur mit der einen Hand nach ihr, und zwar ausnahmslos mit der linken, führt sie zum Munde und benutzt auch bei grossen Stücken, die man zweckmässig wählt, um ihm das Fressen möglichst unbequem zu machen, nur die linke Hand. Gelegentlich wird zwar auch versucht, den rechten Arm zu Hilfe zu nehmen, wenn das Stück mit einer Hand schlecht gehalten werden kann; es kommt dabei aber nur zu einer Hebung des Armes und höchstens einer kraftlosen schwachen Bewegung der Hand, nicht zu der zum Ziele führenden Zugreifbewegung der Finger. Von diesen gelegentlichen schwachen Bewegungsversuchen abgesehen wird der rechte Arm in ganz charakte-

Fig. 6. Affe 1. (21. Juli 1910.) Rinden-
kühlung links. Rechter Arm beim
Fressen unbenutzt.

Fig. 7. Affe 1. (22. Juli 1910.) Rinden-
kühlung rechts. Linker Arm beim
Zerren an der Kette unbenutzt.

ristischer Stellung gehalten, die sehr an die Monoplegie-Stellung des menschlichen Armes erinnert. Der Ellenbogen ist etwas gebeugt und ebenso wie das Schultergelenk etwas steif gehalten, die Hand hängt hingegen ziemlich schlaff herunter. Greifen wir die Hand an, so tritt nicht die energische Schliessbewegung der normalen Hand ein, sondern sie bleibt vollständig unbewegt, und höchstens wird in den proximalen Gelenken eine verstärkte Beugung als Abwehrbewegung ausgeführt.

Zur Veranschaulichung des Gesagten sind in den beistehenden Abbildungen einige Photographien wiedergegeben, zunächst solche, die von dem zuerst verwendeten Affen stammen, dessen Gehirn in Fig. 3

gezeigt worden ist. Die Kapsel war zunächst auf der linken Hirnseite genau über der Armregion (vgl. Fig. 3) aufgeschraubt. Fig. 6 zeigt das Tier, wie es nur mit der linken Hand eine grosse Birne frisst, die es kaum umfassen kann¹⁾. Am Tage nachher wurde die Kapsel auf die rechte Rindenseite, und zwar wiederum auf die Armregion aufgeschraubt und nun die gleichen Störungen am linken Arm erhalten, wofür die Fig. 7 ein Beispiel wiedergibt; nach Ziehen an der Kette greift nur der rechte Arm zu, während vor der Kühlung stets beide benutzt wurden, der linke hängt nun untätig zur Seite

Fig. 8. Affe 2. (1. August 1910.) Rindenkühlung links. Rechter Arm beim Halten eines Brötchens unbenutzt.

herab. Von einem zweiten Affen, wiederum bei Kühlung der linken Armregion, gibt Fig. 8 ein Bild; das Tier frisst nur unter Benutzung der linken Hand ein grosses Brötchen, der rechte Arm ist hier gestreckt und am Boden passiv aufgestützt, wobei die Hand in Dorsalstellung steht, was unter normalen Verhältnissen nie vorkommt; dieses Tier hatte verhältnismässig sehr lange und deshalb auch schwere Arme, was für die gestreckte Haltung hauptsächlich in Betracht kommt.

1) Da die Lichtverhältnisse zur Zeit der Beobachtungen häufig zu wünschen übrig liessen, musste ich mich zum Teil mit unterbelichteten Platten begnügen, um so mehr, da die Aufnahmen aus äusseren Gründen meist im Zimmer gemacht werden mussten.

Weiter seien die Geh- und Kletterbewegungen des Affen bei einseitiger Kühlung betrachtet. Diese Bewegungen wurden wiederum besonders bei dem ersten Affen untersucht. Das Tier, das sich etwas an die mit ihm vorgenommenen Manipulationen gewöhnt hatte, ging im normalen Zustand so, dass alle vier Extremitäten in Sohlenstellung aufgesetzt wurden; das Gewicht des Körpers schien gleichmässig auf die vier Extremitäten verteilt zu sein. Wurde nun die rechte Armregion gekühlt, so war der linke Arm von der Benutzung bei der Gehbewegung einfach ausgeschlossen, er wurde un-

Fig. 9. Affe 1. (22. Juli 1910.) Rinden Kühlung rechts. Linker Arm beim Gehen (Sohlengang) nicht benutzt. „Hemiplegiestellung“.

verändert in der beschriebenen Hemiplegiestellung gehalten, wie Fig. 9 zeigt. Es handelt sich hier nicht etwa darum, dass der Arm nur vorübergehend etwa bei dem Vorsetzen diese Haltung einnahm, sondern sie blieb dauernd bestehen, und auch hier kümmerte sich der Affe nicht in der geringsten Weise um das gleichsam aus dem Bewusstsein ausgeschaltete Glied.

Die Untersuchung der Kletterbewegung war mit etwas grösseren Schwierigkeiten verbunden, da die Tiere dabei allzu lebhaft wurden, und es trotz Festhaltens an der Kette nicht immer möglich war, sie noch mit den Schläuchen in Verbindung zu lassen. Jedoch konnte man sich in der Weise helfen, dass man die Schläuche

nach einer gut wirksamen Kühlung schnell abnahm und nun das Tier in den wenigen Augenblicken, die bis zur Wiederherstellung der Funktionen zur Verfügung standen, auf dem Drahtkäfig klettern liess. So konnte festgestellt werden, dass wenigstens bei nicht allzu grosser Aufregung des Tieres die der gekühlten Armregion entsprechende Hand beim Klettern nicht mitbenützt wurde. Nur bei starker Aufregung des Tieres wird gelegentlich mal ein Zugreifen auch mit diesem Arm beobachtet, wobei aber offen bleibt, ob hieran vielleicht eine nicht mehr ganz vollständige Ausschaltung beteiligt

Fig. 10. Affe 1. (22. Juli 1910.) Rindenkühlung rechts. Linker Arm wird beim Festhalten an der Käfigtür nicht mitbenutzt.

ist. Fig. 10 gibt einen Moment wieder, in welchem sich der Affe an der Tür seines Käfigs festhält und dabei den durch Rindenkühlung ausgeschalteten herabhängenden linken Arm nicht mitbenutzt.

Bei einem Tier wurde nun auch die gleichzeitige Kühlung beider Armregionen ausgeführt, um zu untersuchen, ob dabei einfach beide Arme in gleicher Weise von der Benutzung so gut wie vollständig ausgeschlossen waren, oder ob das Fehlen einer noch benutzbaren Hand das Tier gewissermaassen zwang, alle doch noch vorhandenen Möglichkeiten voll auszunützen. Da diese Feststellung nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit unserer Hauptfrage steht, genügt es, anzugeben, dass es gelegentlich so schien, als ob die zweit-

erwähnte Möglichkeit zutraf, indem die Hände nun etwas mehr betätigt wurden wie bei einseitiger Kühlung, aber immer noch mit sehr ungeschickten und schwachen Bewegungen; andererseits kam es aber doch so weit, dass der Affe eine vor ihn gelegte Frucht gar nicht mehr mit den Händen, sondern direkt mit den Zähnen aufzunehmen versuchte.

Von grösserer Wichtigkeit ist in unserem Zusammenhang hingegen die Frage, ob sich irgendein Unterschied in der Benutzung beider Arme und Hände erkennen lässt, wenn die Armregion der einen Seite in der üblichen Weise durch Rindenunterschneidung, die der anderen Seite hingegen mit der Abkühlungsmethode

Fig. 11. Affe 2. Unterschneidung der linken Armregion (3. August 1910.) Querschnitt durch das nach Kaiserling behandelte Gehirn. Sektion 6 $\frac{1}{2}$ Stunden nach der Operation. Natürl. Grösse.

ausgeschaltet wurde. Dieser Versuch wurde am zweiten Affen vorgenommen, welcher vorher auch zu den doppelseitigen Kühlungen gedient hatte. Die linke Kapsel wurde herausgeschraubt, die Trepanöffnung etwas erweitert, die Dura nach unten herausgeklappt und nun die ganze Gegend unterschritten, von welcher aus durch elektrische Reizung Bewegungseffekte an Arm und Hand der Gegenseite zu erhalten waren. Die Unterschneidung betraf, wie die spätere Sektion zeigt, gerade die ganze Rindendicke an der Oberfläche und liess nur eine Tiefenwindung stehen, was aber für den beabsichtigten Vergleich nicht ungünstig ist, da auch die Kühlwirkung in die Tiefe abnimmt. Tiefenläsionen fehlen, wie aus Fig. 11 hervorgeht, die den Querschnitt des Gehirns durch die Mitte des Unterschneidungsbereiches nach Härtung (Kaiserling) zeigt. Da die Unterschneidung

unter Schonung der grossen Venen ausgeführt wurde, trat keine Blutung ein; die Dura wurde wieder über die nicht prolabierende Hirnoberfläche vernäht. Zwei Stunden nach beendeter Operation, also zu einer Zeit, zu welcher die Narkose vollständig vorüber gegangen war, aber die möglichen Shockwirkungen der Zerstörung noch nicht verschwunden sein konnten, wurde der Vergleich mit der Kühlung der anderseitigen rechten Armregion ausgeführt. Das Ergebnis kann kurz dahin angegeben werden, dass sich nun während der Kühlwirkung nicht der geringste Unterschied in der Benutzung beider Arme und Hände erkennen liess. Der Affe griff überhaupt nicht mehr mit den Händen nach der vorgehaltenen Frucht, sondern versuchte sie wiederum nur mit den Zähnen zu fassen. Eigentümlich verlief der Versuch, wenn man das Tier erst bei warmer Rinde fressen liess, wobei die eine nun intakte Hand benutzt wurde, und zwar die linke. Wurde nun die rechte Armregion durch Kühlung ausgeschaltet, so entfiel dem Affen die Frucht aus der linken, nun nicht mehr funktionsfähigen Hand, und es wurde ein Versuch gemacht, den rechten Arm, der also der unterschrittenen Armregion entsprach, zu benutzen; doch traten dabei keine Hand- und Fingerbewegungen ein. Der Affe versuchte dann wieder, die Frucht direkt mit den Zähnen zu nehmen.

Zum Schluss des Berichtes über die bei Rindenkühlung gefundenen Funktionsstörungen sei allgemein nochmals hervorgehoben, wie ausserordentlich schnell alle diese Störungen vorübergehen, wenn nach mehr oder weniger lange fortgesetzter Kühlung eine Wiedererwärmung der Rinde vorgenommen wird, wofür in der hier vorliegenden sowie in der ersten Mitteilung schon verschiedene Zahlenbeispiele gegeben wurden. Es ist in der Tat erstaunlich zu sehen, wie ein eben noch völlig „gelähmter“ Arm und Hand in der nächsten Minute wieder so gut benutzt wird, dass schlechterdings kein Unterschied gegen den dauernd normalen Arm zu finden ist.

3. Thermoelektrische Temperaturmessungen am Gehirn bei Rindenkühlung.

Schon bei Besprechung der Methode wurde auf eine wesentliche Voraussetzung aller weiteren Schlüsse hingewiesen, die nämlich, dass die Abkühlung nicht so weit in die Tiefe reicht, dass wichtige subkortikale Strukturen mit ausgeschaltet werden. Denn gerade an diesen subkortikalen Teilen könnten sich bei der gewöhnlichen Aus-

schaltung durch Schnitte die störenden Nebenwirkungen abspielen, die bei unserer Methode vermieden werden sollen. Von vornherein war allerdings wenig wahrscheinlich, dass die Abkühlung sich noch an den Stammganglien bemerkbar macht, da diese von anderen Gefässen aus durchblutet werden, wie die Hirnrinde, derart, dass zum Beispiel bei völliger Unterbrechung der Rindengefässe durch totale Rindenexstirpation die Ernährung der Stammganglien nicht notwendig leidet. Immerhin war aber eine direkte

Fig. 12. Thermonadel zur Feststellung des Tiefenbereichs der Abkühlung. Natürl. Grösse.

Untersuchung dieser Verhältnisse erwünscht, und diese wurde mit der thermoelektrischen Methode vorgenommen. Als Thermonadel dienten feine Drähte aus Kupfer und Konstantan, die durch ganz dünne, oben zusammengekittete Glaskapillaren gezogen und an der Spitze sehr fein verlötet waren. Fig. 12 zeigt eine solche in der Folge als „Tiefennadel“ bezeichnete Einrichtung in Originalgrösse. Der Konstantandraht war in üblicher Weise an einen Kupferdraht verlötet, und diese Lötstelle wurde in einem Brei aus zerkleinertem Eis auf konstanter Temperatur des Nullpunktes gehalten. Während diese „Tiefennadel“ zur Temperaturmessung in der Tiefe des Gehirns diente, wurde eine andere, als „Oberflächennadel“ bezeichnet, zur Messung der Temperatur unter der Kapselmembran verwendet. Sie bestand ebenfalls aus einer feinen Verlötung eines Konstantan- und eines Kupferdrahtes, jedoch war die Glasumhüllung weggelassen und an ihrer Stelle eine Isolierung aus

Umspinnung und einer dünnen Paraffinschicht angewandt, damit sich die Nadel ohne weiteres der Hirnoberfläche unter der Kapsel biegsam anpassen konnte; auch hier war wieder die zweite Lötstelle in Eis gehalten. Beide Nadeln waren durch eine Wippe mit einem Wiedemann'schen Galvanometer verbunden, so dass also schnell hintereinander entweder die eine oder die andere Nadel zur Messung benutzt werden konnte. Die Bussole war so eingestellt, dass ein Skalenausschlag von 1 cm, der mit Fernrohr abgelesen wurde, für die Oberflächennadel ziemlich genau 1° C. entsprach, während bei der Tiefennadel wegen des zufällig anderen Widerstandes der Drähte die Empfindlichkeit

sogar noch etwas grösser war ($1 \text{ cm} = 0,8^\circ$). Es konnten also die Temperaturen bequem bis auf $0,1^\circ$ Genauigkeit ermittelt werden. Die Versuche wurden an einem Hunde und einem Affen ausgeführt. Die Gehirne entsprachen in ihrer Grösse genau demjenigen der bei den Hauptversuchen verwendeten Tiere, beim Affen war der Längenunterschied des Gehirns z. B. nur 1 mm. Es müssen also auch betreffs der Tiefenwirkung der Kühlung ganz entsprechende Verhältnisse vorliegen.

Die Tiere befanden sich bei den Messungen in Äthernarkose, die nach Möglichkeit in gleichmässiger und nicht zu grosser Tiefe gehalten wurde. Mit dem immerhin etwas wechselnden Grade der Narkose war die kleine Unannehmlichkeit verbunden, dass die Temperatur einer Stelle etwas wechselte, was wohl mit einer Veränderung der Hirndurchblutung und den damit veränderten Beziehungen zwischen Wärmezufuhr und Wärmeverlust zusammenhing. Doch sind diese Schwankungen so gering, dass durch sie das Hauptergebnis nicht verdeckt wird. Bei dem Einstechen der Tiefennadel wurde so vorgegangen, dass zunächst an einem gehärteten Gehirn gleicher Art und Grösse auf einem Querschnitt der Ort und die Tiefe des Einstiches, bei dem die Nadelspitze an eine vorausbestimmte Stelle gelangen sollte, festgestellt wurde; als Einstichrichtung wurde die Senkrechte zur Hirnoberfläche gewählt. Dann wurde zunächst mit einer gewöhnlichen Stopfnadel von geeigneter Dicke ein Stich in das lebende Gehirn gemacht, und nun die Thermonadel eingeführt; die Einstichtiefe wurde nach dem über die Hirnoberfläche noch herausragenden Stück in einfacher Weise bemessen. So verfahrend, erhielt man einen sehr feinen Stichkanal, an dessen Ende die Lötstelle der Thermonadel direkt der Hirnsubstanz ohne zwischenengelagertes Blutkoagulum anlag. Um nach Beendigung des Versuches die Lage der Nadelspitze einwandfrei festzustellen, wurde in den Stichkanal nach den Messungen eine gewöhnliche Stecknadel eingeführt und im Gehirn bis nach der Härtung belassen; nach dieser konnte mit dem Rasiermesser der Nadel entlang ein Querschnitt ausgeführt und auf diesem der Stichkanal und die Lage der Spitze der Thermonadel bestimmt werden.

Zur Übersicht der am Hunde (Hund 6) ausgeführten Messungen diene die folgende Tabelle, welche die wichtigsten Daten des Versuches wiedergibt. In der ersten Spalte finden sich die Versuchszeiten, bei denen sich die Kühlungen und Wiedererwärmungen der

Extremitätenregion einander folgen, in der zweiten Spalte stehen die Temperaturen, welche die Oberflächennadel auf der Dura angibt, in der dritten die der in das Gehirn nacheinander an verschiedenen Stellen versenkten Tiefennadel. In der vierten Spalte ist angegeben, ob durch die Kapsel Wasser von Körpertemperatur oder Salzlösung von annähernd $-3,5^{\circ}\text{C}$. floss, und wie lange vor der Messung die Kühlung bestand.

A. Die Spitze der Tiefennadel befindet sich inmitten des Thalamus opticus.

Zeit	Oberflächen- temperatur	Tiefen- temperatur	Temperatur der Flüssigkeit in der Kapsel
10 h 15'	35,4° C.	35,4° C.	warm
10 h 39'	13,1° C.	35,4° C.	seit 14 Minuten kalt

B. Nadelspitze 3 mm von der Mittellinie entfernt im Seitenventrikel; Entfernung von der Mitte der Kühlfläche 1,9 cm; dicht über den vordersten Partien des Thalamus opticus.

Zeit	Oberflächen- temperatur	Tiefen- temperatur	Temperatur der Flüssigkeit in der Kapsel
11 h 16'	36,2° C.	35,9° C.	warm
11 h 25'	19,5° C.	36,8° C.	seit 7 Min. kalt

C. Nadelspitze genau unter der Mitte der Kühlfläche, 3 mm von ihr in senkrechter Richtung entfernt (d. h. gerade an der Rindengrenze).

Zeit	Oberflächen- temperatur	Tiefen- temperatur	Temperatur der Flüssigkeit in der Kapsel
11 h 30'	19,8° C.	24,1° C.	seit 12 Min. kalt
11 h 38'	35,2° C.	34,7° C.	seit 8 Min. warm

Diese Zusammenstellung ergibt also, dass die Kühlwirkung schon an der Grenze der grauen Substanz wesentlich vermindert ist und nicht so weit in die Tiefe reicht, dass man nicht mit Sicherheit von einer Ausschaltung nur der Rinde sprechen könnte. Im Thalamus opticus, der Unterbrechungsstelle der sensiblen Leitung, ist sicher keine Wirkung der Abkühlung mehr vorhanden. Dann kann hier nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, dass trotz Anwendung einer zur Funktionsausschaltung völlig ausreichenden Kühltemperatur von $-3,5^{\circ}\text{C}$. schon auf der Oberfläche der Dura die Temperatur

während des ganzen Versuches (der hier nur teilweise wiedergegeben ist) nicht unter $+12,5^{\circ}\text{C.}$ ging, so dass auch hiernach irgendeine Schädigung der Rinde ausgeschlossen erscheint.

Es folgen weiter einige Messungen am Gehirn des Affen (Affe 3). Bei diesem Tier wurde die Karotis der Kühlseite im Verlaufe des Versuches unterbunden, weil dies wenigstens bei einem der Kühlversuche auch geschehen war, obwohl sich auch ohne dies vollständige Funktionsausschaltungen erzielen liessen. Die Anordnung der Tabelle ist die gleiche wie im vorigen Falle. Die Temperatur der Kühlflüssigkeit betrug -7°C. bis -3°C. Auch hier werden nur die Hauptdaten des Versuches wiedergegeben.

Fig. 13. Affe 3. (17. August 1910.) Messungsstelle A (vgl. Tabelle). An Stelle der Spitze der herausgenommenen Thermo-nadel, deren Stichkanal sichtbar ist, wurde eine schwarze Stecknadel in das Gehirn gestochen. Querschnitt des nach Kaiserling gehärteten Gehirns; da die kaudale Schnittfläche dargestellt ist, erscheint die linke Hirnseite im Bilde rechts. — Natürl. Grösse.

A. Nadelspitze im Thalamus, an seiner lateralen Grenze; Tiefenabstand von der Mitte der Kühlfläche 2 cm. (Siehe Fig. 13).

Zeit	Oberflächen- temperatur	Tiefen- temperatur	Temperatur der Flüssigkeit in der Kapsel
9 h 47'	37,7° C.	39,0° C.	seit genügender Zeit warm
10 h 10'	14,5° C.	38,3° C.	seit 6 Min. kalt (-7°C.)
10 h 14'	37,0° C.	38,6° C.	seit 4 Min. warm
10 h 23'	11,7° C.	38,1° C.	seit 8 Min. kalt
10 h 35'	38,1° C.	38,4° C.	seit 8 Min. warm
10 h 45'	14,6° C.	37,9° C.	seit 10 Min. kalt (-6°C.)
10 h 55'	37,1° C.	38,3° C.	seit 8 Min. warm

Anmerkung. Die linke Karotis (Seite der Kühlung) wurde um 10 Uhr 42 Min. zugebunden.

B. Nadelspitze im Markweiss, an der oberen äusseren Ecke des Nucleus lentiformis; 1,2 cm von der Mitte der Kühlfläche entfernt. (Siehe Fig. 14).

Zeit	Oberflächen- temperatur	Tiefen- temperatur	Temperatur der Flüssigkeit in der Kapsel
11 h 26'	37,6° C.	37,8° C.	seit längerem warm seit 5 Min. kalt (-5° C.) seit 5 Min. warm
11 h 31'	16,0° C.	35,5° C.	
11 h 36'	37,2° C.	37,6° C.

Fig. 14. Affe 3. (17. August 1910.) Messungsstelle B (vgl. Tabelle). Markierung der Messstelle wie in Fig. 13 mit Stecknadelkopf. Frontale Schnittfläche des Gehirns, dessen linke Seite also im Bilde ebenfalls links erscheint. Natürl. Grösse.

C. Nadelspitze unter der Mitte der Kühlfläche, 3 mm von ihr entfernt, an der Innengrenze der grauen Substanz gelegen.

Zeit	Oberflächen- temperatur	Tiefen- temperatur	Temperatur der Flüssigkeit in der Kapsel
11 h 40'	37,9° C.	37,4° C.	seit 10 Min. warm seit 10 Min. kalt (-3° C.) seit 5 Min. warm
11 h 52'	13,3° C.	21,7° C.	
11 h 58'	36,7° C.	37,2° C.	

Auch diese Versuchsreihe ergibt eine für unsere Frage sehr günstige Abgrenzung der Kühlwirkung nach der Tiefe hin. Schon an der Grenze der Rinde ist die erreichte Minimaltemperatur fast 10 Grad höher als auf der Oberfläche der Dura, auf der die Temperatur bei Verwendung von Kältemischungen, die zur funktionellen Ausschaltung geeignet waren, nicht tiefer wie $+11,5^{\circ}$ C. herunterging. Schon dort, wo sich die Markfasern zur inneren Kapsel zusammenschliessen, ist eine Temperaturänderung von nur 2° C. gefunden worden (B in der Tabelle), die natürlich für eine Funktionsaufhebung gar nicht in Betracht

kommen kann und zudem nur Strukturen betrifft, die schon indirekt von der Oberfläche her ausser Funktion gesetzt sind. Im Thalamus opticus ist überhaupt keine Temperaturänderung mehr nachweisbar.

IV. Allgemeine Folgerungen.

Wenn ich nochmals auf die in der Einleitung berührten Fragestellungen allgemeiner Natur zurückgreife, so ist an dieser Stelle eine nähere Darstellung der älteren und neueren Ansichten über die Natur der nach Rindenverletzungen auftretenden Störungen und die Ursachen der allmählich sich anschliessenden Veränderung derselben nicht beabsichtigt. Als allgemeines Ergebnis der reizlosen Ausschaltung der Extremitätenregion und besonders der Armregion der Grosshirnrinde muss aber folgendes festgehalten werden. Wie besonders der Vergleich der einseitigen Rindenkühlung mit der anderseitigen Rindenunterschneidung ergibt und wie auch aus der ganzen Darstellung hervorgeht, unterscheiden sich die Symptome der reizlosen Ausschaltung durch Kühlung in keiner erkennbaren Weise von denen der gewöhnlichen Ausschaltung durch Zerstörung, wenn diese in sachgemässer Weise ohne Nebenverletzung vorgenommen wird. Hieraus ist zunächst zu folgern, dass auch durch die Kühlung in der hier angewendeten Weise wirklich vollständige Ausschaltungen der Rindenfunktionen erhalten werden können, welche wie nochmals hervorgehoben sei, lediglich an die Zeit der Abkühlung gebunden sind. Weiter aber ist der nicht minder wichtige Schluss zu ziehen, dass an den Folgen einer sachgemässen Rindenunterschneidung, und zwar auch schon an den sogenannten Frühsymptomen, irgendwelche ungewollten aber unvermeidlichen Nebenumstände des operativen Eingriffs nicht beteiligt zu sein brauchen.

Damit wird man geneigt sein, das Vorübergehen oder die Besserung derjenigen Störungen, die sich nach Rindenentfernungen besonders am Affen, als Frühsymptome äussern, nicht als Vorübergehen solcher Nebenwirkungen, sondern als einen funktionellen Ausgleich anzusehen, und die nächste sich anschliessende und schon mehrfach in Angriff genommene Fragestellung würde sich auf die Örtlichkeit beziehen, an welcher, und die Art und Weise, in welcher sich dieser Ausgleich abspielt. Für diese Untersuchungen sind durch die neue Methode vielleicht weitere Möglichkeiten gewonnen worden.

V. Zusammenfassung.

Die Methode der reizlosen vorübergehenden Ausschaltung durch Abkühlung ist in den dieser Mitteilung zugrunde liegenden Versuchen auf die Grosshirnrinde angewendet worden. Auch hier sollte eine Entscheidung über die Frage ermöglicht werden, inwieweit an den Folgeerscheinungen der gewöhnlichen Ausschaltung durch Zerstörung unvermeidliche Nebenwirkungen des Eingriffs beteiligt sind, welche zu weit grösseren Funktionsstörungen führen, als es bei einer reinen Ausschaltung der Fall sein würde. Die Untersuchung erstreckt sich auf die Extremitätenregion des Hundes und der Katze und die Armregion des Affen. An den erstgenannten Tieren konnte hauptsächlich die Aufhebung der Korrektur abnormer Gliedstellungen festgestellt werden, die z. B. dazu führt, dass der Fuss, künstlich mit dem Dorsum aufgesetzt, so stehen bleibt, oder dass das über den Tisch gezogene Bein nicht zurückgezogen wird. Auch beim Gehen unter erschwerten Umständen sind deutliche Störungen erkennbar. Beim Affen ist während einer Rindenkühlung der Arm und die Hand der Gegenseite von der Benutzung so gut wie ganz ausgeschlossen; Früchte werden nur mit der anderen Hand genommen und beim Fressen festgehalten; ebenso bleibt die der Kühlung entsprechende Hand bei Abwehrreaktionen sowie beim Gehen und Klettern unbenutzt. Alle diese Wirkungen gehen bei Wiedererwärmung schnell zurück und lassen sich durch Abkühlung ebenso schnell wieder hervorrufen, ohne dass irgendwelche Anzeichen von Schädigung der Rinde auftreten. Durch thermoelektrische Messungen wird nachgewiesen, dass bei diesen Versuchen nur die Kühlung der Rinde selbst in Betracht kommt, da die subkortikalen Ganglien keine Temperaturänderung erfahren. Bei sachgemässer Unterschneidung der Armregion der einen Seite und zwei Stunden später erfolgender Abkühlung der gleichen Rindenstelle der anderen Seite ist kein Unterschied in der Funktionsstörung beider Arme und Hände zu bemerken. Danach kann auch die Ausschaltung durch Abkühlung als eine vollständige angesehen werden. Für die Ausschaltung durch Schnitt geht aus diesem Vergleich aber hervor, dass bei ihr unvermeidliche Nebenwirkungen doch nicht so im Vordergrund stehen können, wie es vielfach angenommen wurde, sondern dass sich diese sogar bei richtigem Verfahren ganz vermeiden lassen.