

Aus der Hirnbiologischen Sammlung der medizinischen Fakultät Zürich  
(Prof. W. R. HESS) und dem Neuropathologischen Laboratorium (Prof. R. HASSLER)  
an der Univ.-Nervenklinik Freiburg/Br. (Prof. H. RUFFIN).

## Experimentelle und anatomische Befunde über die Drehbewegungen und ihre nervösen Apparate\*.

Von

**R. HASSLER und W. R. HESS.**

Mit 14 Textabbildungen, in 34 Einzeldarstellungen.

(*Eingegangen am 3. April 1954.*)

### I. Einleitung.

Zur erfolgreichen Auseinandersetzung mit der Umwelt bedarf das Tier eines genau und schnell arbeitenden kinetischen Apparates. Dieser stellt auch die nichtbewegte Ausgangslage oder Position durch symmetrische und seitengleiche Muskelkräfte her. Aus physikalischen Gründen ist die Position Voraussetzung einer aktiven Orientierung im Raum (HESS 1954). Abweichungen von der Ausgangsposition werden daher prompt korrigiert, besonders solche in der Frontalebene, so daß eine Raddrehung entsteht.

Im Rahmen der Erforschung der organisatorischen Potenzen des Zwischenhirns mit Hilfe des umschriebenen Reiz- und Ausschaltungs-experimentes (HESS 1932, 1949, 1954) wurden relativ häufig Raddrehungen des Kopfes und Rumpfes beobachtet. Sie haben eine eindeutige Korrelation zu einem bestimmten Areal des Mittel- und Zwischenhirns (HESS 1941; HESS, BÜRGI und BUCHER 1945; BÜRGI und MÜLLER 1945; HESS 1949; HESS und WEISSCHEDEL 1949; HESS und AKERT 1950). Als das gereizte anatomische System wurde in den beiden letzten Arbeiten für die Raddrehreize ein aus mehreren Neuronen zusammengefügtes Dispositiv dargestellt, mit dem Brachium conjunctivum als Überträger der Afferenzen zu einem umschriebenen Areal im Zwischenhirn und mit damals noch nicht definierten efferenten Leitungsbahnen, die jedoch nicht über die Rinde verlaufen.

Die vorliegende Arbeit hat daher die Aufgabe, 1. die efferenten Systeme des Apparates zu klären, welcher die Raddrehungen koordiniert,

\* Herrn Professor Dr. PAUL HOFFMANN, Freiburg, zu seinem 70. Geburtstag gewidmet.

2. die Raddrehungen weiter physiologisch und lokalisatorisch zu differenzieren und 3. ihr anatomisches Korrelat auf Grund der spiegelbildlichen Ausfallseffekte zu kontrollieren.

Die als Unterlage dienenden experimentellen Untersuchungen wurden von HE. ausgeführt; die Analyse der Filmdokumente unter Einbeziehung der Versuchsprotokolle gemeinschaftlich von HE. und HA. Die Zuordnung der so definierten motorischen Symptome zu den morphologischen Strukturen erfolgte durch HA., ebenso die Niederschrift.

## II. Methodik.

Da die Methodik dieser Experimente, abgesehen von zahlreichen Einzelbearbeitungen, in den Monographien (W. R. HESS 1932, 1949 und in 2. Auflage 1954) ausführlich dargestellt ist, kann darauf verwiesen werden. Zu betonen sind im Zusammenhang mit den bearbeiteten Problemen folgende 5 Punkte: 1. Die Reizexperimente erfolgten an frei beweglichen, aus der Stickoxydulnarkose erwachten Katzen. 2. Die wesentlichen Reizeffekte wurden kinematographisch festgehalten, so daß sie nachträglich in allen Einzelheiten analysiert werden können. 3. Die Reizexperimente wurden in den meisten der späteren Experimente mit Ausschaltungen kombiniert. Ein Kontrollreiz nach circumscripter Elektrokoagulation gab Aufschluß darüber, ob das Substrat, welches den Reizeffekt gegeben hatte, ausgeschaltet ist. 4. Nach den Ausschaltungen wurde ein Teil der Tiere etwa 18 Tage auf Ausfallserscheinungen und deren Kompensation beobachtet. 5. Die Zeit von 18 Tagen wurde im Hinblick auf die Verarbeitung nach MARCHI (WEISSCHEDEL und JUNG) gewählt. Dieses Vorgehen ermöglicht nicht nur eine genaue Lokalisation der Reizstellen und Ausfallsherde, sondern auch eine Feststellung der von ihnen ausgegangenen cellulifugalen Degenerationen (HESS: Stimulations-, Eliminations-, Degenerationsmethode). Die Reizstellenlokalisierung in verschiedenen Experimenten kann durch Einzeichnung in Atlanten von Standardschnittserien durch das Katzenhirn in allen 3 Schnittrichtungen (Hess, 1932) verglichen werden.

Um die folgenden Beschreibungen verständlich zu machen, folgen noch kurz einige methodische Angaben. In den meisten Fällen wurden auf jeder Seite 3 Zwillingselektroden hintereinander in einer Entfernung von je 1,5 mm eingeführt, die A, B und C von vorn nach hinten benannt sind; sie wurden gewöhnlich in einer höheren Lage (Oberstufe = o) und einer tieferen (Unterstufe = u) gereizt, deren Höhendifferenz 2 mm oder seltener 1 mm betrug. Daraus ergeben sich in jedem Experiment 6 Reizstellen: Alo und Alu, Blo und Blu, Clo und Clu in der linken (l) Hemisphäre und die gleiche Anzahl in der rechten Hirnhälfte, in der Bezeichnung durch ein r an zweiter Stelle gekennzeichnet (Aro, Aru usw.). Die aktiven blanken Spitzen der Elektroden waren 1,0, 1,5 oder 2,0 mm lang. Der Durchmesser der Einzelelektrode betrug 0,25 mm. Gereizt wurde durchschnittlich mit 8 Gleichstromimpulsen in der Sekunde bei verzögertem Spannungsanstieg und -abfall. Die Frequenz 8 erlaubt noch zu erkennen, ob jeder einzelne elektrische Impuls einen abgesetzten Bewegungsstoß hervorruft. Daraus ergibt sich ein wertvolles Kriterium über die auf- oder absteigende Leitungsrichtung der gereizten Elemente. Bei speziellen Fragestellungen wurde die Frequenz zwischen 2 und 12 pro Sekunde variiert. Die Reizspannungen wurden wenig über der Schwelle gehalten. Reizeffekte, die erst mit Spannungen über 2,0 Volt zustande kamen, werden zur Vermeidung einer Täuschung durch Stromschleifenwirkung ausgeschlossen. Wo ausnahmsweise Beobachtungen mit höherer Spannung herangezogen werden, geschieht das nur zu Vergleichszwecken.

### III. Beschreibung einiger Elitefälle.

Wir beginnen unsere Analyse mit der Beschreibung von 4 Experimenten, die auf Grund ihrer Reizeffekte und der eindeutigen Reizstellenlokalisation Elitefälle sind.

1. Nr. 265 (i). Die *Reizung der Elektrode Blu* mit 1 Volt bewirkt eine sofortige Drehung des Kopfes um die Längsachse (d. h. in der Frontalebene) im Rhythmus der Reize. Bereits nach 1 sec dreht sich auch der Vorderkörper mit. Die Raddrehimpulse summieren stark, so daß sich der Kopf um 80° ipsilateral abwärts dreht (Abb. 1). Die Augen behalten dabei die Normalstellung relativ zum Kopf bei. Bei Erhöhung der Reizspannung auf 1,5 Volt wälzt sich die Katze um ihre Längsachse.



Abb. 1. Raddrehung des Kopfes nach links abwärts bei Reizung der im linken Nc. interstitialis sitzenden Elektrode Blu mit 1 Volt (Nr. 265).

Von der *vordersten der 3 linken Reizstellen* (Alu), die 1,5 mm vor der erst beschriebenen liegt, entsteht erst mit der Spannung 2 Volt ein angedeuteter Dreheffekt. — Die Reizstellen 2 mm über den besprochenen zeigen keine Raddrehungen, aber die mittlere und hintere (Blo und Clo) reizsynchrone Senken des Kopfes.

Die *reizphysiologische Analyse* besagt, daß links im Aktionsradius der mittleren und hinteren Elektrode ein *Raddrehsubstrat* liegt. Dessen Elemente werden 2 mm darüber und davor nicht mehr erfaßt. Dafür liegt 2 mm darüber ein Senksubstrat, welches von zwei unteren Elektroden etwas miterregt wurde.

*Sitz der linken Elektroden.* Die 2 mm langen blanken Spitzen der Zwillingselektrode Blu stecken (bis auf die oberen 0,5 mm) im *Nucleus interstitialis* (Abb. 2a und b) caudal vom *Tractus retroflexus* zwischen den sich vereinigenden Fasern des *Tractus interstitio-spinalis*. 1,3 mm weiter caudal liegen zwischen den gleichen Bündeln dicker Fasern die Stichkanäle der Reizstelle Clu, die darüber noch 1 mm in der *Säule der Commissura posterior* stecken. Die vordere Reizstelle (Alu) ist im Höhlengrau unter dem Ependym am Eingang zum Aquaedukt gelegen. In der Oberstufe sitzen die Elektrodenspitzen in der Ebene der Commissura posterior, abseits vom *Nucleus interstitialis* und vom hinteren Längsbündel.

*Physiologisch-anatomische Korrelation (i).* Die Raddrehungen dieses Experimentes können nach der beschriebenen Situation auf die Reizung des *Nucleus interstitialis* und der aus ihm entspringenden dicken Fasern des *Tractus interstitio-spinalis* bezogen werden. Dabei summierter der Reizeffekt aus dem Kern deutlich stärker. Die leichte Senkkomponente ist durch Mitreizung von Fasern in der Säule der Commissura posterior

Wenn der Kopf während der Reizung in der Ausgangsstellung festgehalten wird, rollen die Augen kompensatorisch in der Richtung der verhinderten Kopfrotation.

Auch die *Reizung der 1,5 mm dahinter gelegenen Nachbarelektrode* (Clu mit 1,5 Volt) ergibt eine Raddrehung des Kopfes und Vorderkörpers mit reizsynchrone Bewegungsimpulsen bei weniger starker Summation als 1,5 mm davor. Eine schwache Senkung ist damit kombiniert. Die gekreuzte Vorderextremität wird im Rhythmus der Reize etwas hochgezogen. Die Katze dreht sich dann auf die linke Rückenseite und wälzt sich während einer Reizdauer von 12 sec 2 mal um ihre Längsachse. Auch hier rollen die Bulbi in die Drehrichtung, wenn der Kopf festgehalten wird.

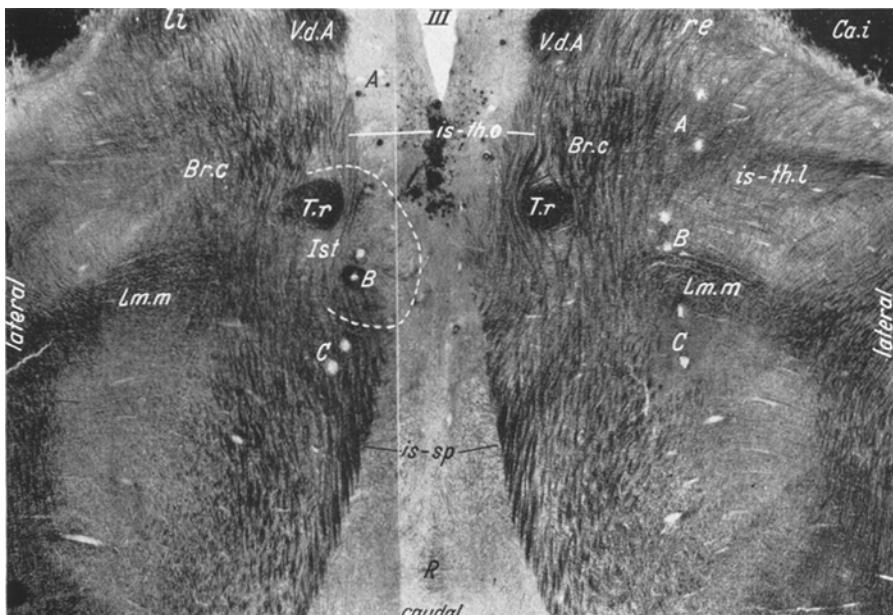


Abb. 2a. Horizontalschnitt durch das Zwischen- und Mittelhirn von Nr. 265 mit den unteren Reizstellen. Die Reizstelle Blu liegt im linken Nucleus interstitialis (Ist) und ist an den beiden Stichkanälen bei B zu erkennen. Die Reizstelle Clu, zwischen den Ursprungsbündeln des Tractus interstitio-spinalis (is-sp) links, ist nur mit C bezeichnet. — Die Reizstelle Aru (= die beiden Stichkanäle bei A auf der rechten Seite) umgreift den Tractus interstitio-thalamicus lateralis (is-th.l). Medial davon Faserbündel des Brachium conjunctivum (Br.c). Unmittelbar medial von der Bezeichnung Br.c rechts beginnen die Faserbündel des Tractus interstitio-thalamicus oralis (is-th.o). Ca.i = Capsula interna; Lm.m = Lemniscus medialis, mediale Portion; R = Raphe; Tr.r = Tractus retroflexus; V.d.A = Vico d'Azyrsches Bündel. Vergr. 10,5:1.  
(Sig HESS 265/14).

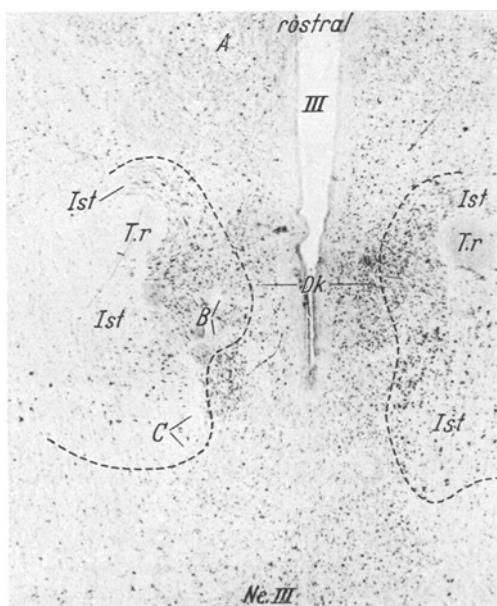


Abb. 2b. Ein benachbarter Horizontal-Schnitt in Zellfärbung nach NISSL. Die beiden Stichkanäle der Elektrode Blu (hier nur mit B bezeichnet) liegen zwischen den Zellen des linken Nucleus interstitialis (Ist). Die Stichkanäle von Clu (hier nur C) liegen im caudalen Rand des Nucleus interstitialis. Dk = Nucleus Darkschewitschi (vorläufige Abgrenzung). Tr.r = Tractus retroflexus. Vergr. 14:1. [Sig HESS 265/23].

eindeutig erklärt (HESS und WEISSCHEDEL). Das *Brachium conjunctivum* ist von der hinteren Reizstelle 3 mm, von der mittleren 2 mm und von der vorderen, rotatorisch trotz Anwendung von 2 Volt kaum wirksamen Elektrode nur 1,5 mm entfernt (Abb. 2a). Damit tritt es hier als Substrat der Raddrehung in den Hintergrund.

Im *rechten Zwischenhirn* bewirkt eine *Reizung* der vordersten Elektrode (Aru) bereits mit 0,5 Volt, daß sofort der Kopf intermittierend rotiert wird und sich die Lidspalten der dösig dasitzenden Katze öffnen. Der linke Schnurrbart hebt sich und das linke Ohr wird gleichzeitig im Reizrhythmus zurückgezogen. Die einzelnen Drehimpulse summieren sich deutlich. Die Raddrehung greift bei höherer Reizspannung (1,5 Volt) sofort auf den Vorderkörper und die gekreuzte Vorderextremität über. Auch in diesen Fällen erfolgt eine kompensatorische Augenrollung bei Fixierung des



Abb. 3a. Raddrehung allein des Kopfes in liegender Stellung bei Reizung der linkssitzenden Elektrode Blu mit 1 Volt (Nr. 218).



Abb. 3b. Raddrehung von Kopf und Vorderkörper nach links bei Reizung 1,5 mm weiter caudal mit der gleichen Spannung. (Nr. 218 Clu). Die rechte Vorderpfote wird vom Boden abgehoben.

**Kopfes.** — Von den Nachbarelektroden ergibt nur die hintere (Bru) eine Raddrehung bei 1,5 V. Sie greift gleich auf den Vorderkörper über und summiert noch stärker. Die 3 Reizstellen 2 mm darüber sind bezüglich Raddrehung negativ.

Nach der *reizphysiologischen Analyse* wird im rechten Zwischenhirn von der Elektrode Aru ein Raddrehsubstrat getroffen, welches in vermindertem Grade auch 1,5 mm weiter caudal erregt werden kann. 2 mm höher fehlt es.

**Elektrodensitz rechts.** Die blanken Spitzen der Elektrode Aru sitzen im ventralen Rand des Thalamus und reichen durch den basalen *Nucleus reticulatus thalami* hindurch bis in die *Zona incerta* hinein (Abb. 2a). 0,5 mm medial von ihnen strahlen Fasern des *Brachium conjunctivum* in einen oralen *Ventralkern* ein. Die Zwillingselektrode A faßt, wie Abb. 2a zeigt, zwischen sich ein horizontal nach lateral verlaufendes Faserbündel, welches aus der Gegend vor dem *Tractus retroflexus* herkommt. Ein entsprechendes Faserbündel wurde beim Menschen als *Tractus interstitio-thalamicus lateralis* beschrieben (HASSLER 1949).

**Physiologisch-anatomische Korrelation (re).** Die Raddrehungen von Aru können nach der Elektrodenlage entweder vom *Brachium conjunctivum* bei seiner Einstrahlung in den oralen *Ventralkern* oder vom *Tractus interstitio-thalamicus lateralis* unter Umständen von beiden Faserzügen bewirkt sein. Der anatomische Befund gibt in diesem Fall darüber keine Entscheidung. Die summierende Raddrehung von Bru kann auf die Fasern des *Brachium conjunctivum* oder laterale Faserelemente des *Nucleus interstitalis* bezogen werden.

2. Nr. 218 (li). *Reizung der mittleren Elektrode* (Blu) mit 1 Volt ruft eine Raddrehung des Kopfes nach ipsilateral mit kleinen intermittierenden Ausschlägen und starker Summation hervor (Abb. 3a). Dabei wird der Schnurrbart rechts reizsynchron gehoben. Bei Steigerung der Reizspannung auf 2 Volt greifen die stark intermittierenden Drehimpulse auf den Vorderkörper über, so daß die rechte Vorderextremität langsam wiederholt vom Boden abgehoben wird.

Die *hintere Nachbarreizstelle* (Clu) zeigt bereits bei 1 Volt eine viel stärkere und härter intermittierende Raddrehung des Kopfes, welche primär auch auf den Vorderkörper wirkt (Abb. 3 b). Die Drehimpulse summieren nur wenig.

Die *vordere Nachbarelektrode* (Alu) ergibt erst bei 1,5 Volt ein geringes Raddrehen, welches sich auf den Kopf beschränkt und nicht summiert. Auch unter 2 Volt Reizspannung sind hier die Raddrehreizeffekte, obgleich die Katze wacher wird, noch gering, aber sie summieren sich schnell zu einer tonischen Raddrehdeviation ausschließlich des Kopfes.

Von den 2 mm höher gelegenen *Nachbarreizstellen* ergibt die hintere (Clu) bei 1 Volt eine geringe Raddrehung; an den Reizstellen weiter vorn nimmt die Raddrehung an Intensität ab, aber an Summations-tendenz zu.

*Koagulation und Kontrollreizung.* Die mittlere Reizstelle (Blu) (summierendes Raddrehen) wurde koaguliert. Danach haben Kontrollreizungen mit der Koagulationselektrode und derjenigen davor (mit 1,5 Volt) keinen Effekt mehr. Aber Reizungen der hinteren Nachbarelektrode (1,5 mm hinter Blu) ergeben eine gleich starke Raddrehung wie vor der Koagulation<sup>1</sup>.

Dieser Befund ist von großer Bedeutung.

Die *physiologische Analyse* ergibt zusammengefaßt Folgendes: Raddrehsubstrate liegen in der Nähe sämtlicher Elektroden, aber näher an den unteren. Ein stark summierendes Raddrehsubstrat nur des Kopfes wird von der mittleren Elektrode unten erreicht. 1,5 mm weiter caudal wirkt das Raddrehsubstrat noch stärker und ausgeprägt reizsynchron intermittierend und ergreift sofort den Vorderkörper mit. Dieser Befund weist darauf hin, daß zum segmentalen Apparat absteigende Elemente erregt werden. Bewiesen wird das dadurch, daß der Reizeffekt nach Koagulation davor (Abb. 4a, b) positiv bleibt. Weiter vorn und 2 mm darüber beschränkt sich die Raddrehwirksamkeit auf den Kopf, aber die tonische Komponente nimmt zu. Das bedeutet, daß Fasern erregt werden, die dem Koordinationsapparat vorgeschaltet sind.



Abb. 3c. Raddrehung des ganzen Körpers (Wälzen) nach rechts bei Reizung der am Vorderrand des rechten Ne. interstitialis sitzenden Elektrode Cru mit 1 Volt (Nr. 218).

<sup>1</sup> Bei Fixierung des Kopfes kommen noch kompensatorische Augenrollungen zustande, wenn die hintere Elektrode nach der Koagulation gereizt wird.

*Lage der linken Elektroden und des Koagulationsherdes.* Die hintere Reizstelle (Clu) steckt im Nucleus interstitialis rostralateral vom MEYNERTSchen Bündel (Abb. 4a und b). Die vorderste Reizstelle (Alu) liegt im inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns des Thalamus und dicht caudal vom VICQ d'AZYRSchen Bündel in der Basis des Thalamus. Der Platz der mittleren Reizstelle (Blu) ist dazwischen in der Basis des Thalamus in den Randbündeln, die aus der Gegend des Nucleus interstitialis nach rostral ziehen, 1,5 mm medial von der Einstrahlung des Brachium conjunctivum (Br. c). — Der Koagulationsherd um die mittlere Elektrode ist ein Zylinder von etwa 2,3 mm Durchmesser und 3,2 mm Höhe zwischen dem VICQ d'AZYRSchen und dem MEYNERTSchen Bündel (T. r). Er hat dorsale Teile des H-Feldes mit dem Tractus interstitialis thalamicus oralis, wenige mediale Bündel des Brachium conjunctivum und den medialen Thalamus vor dem Nucleus interstitialis unter Verschonung dieses Kerns zerstört (Abb. 4a). Die Stichkanäle von der C-Elektrode werden vom Koagulationsherd nicht erreicht.

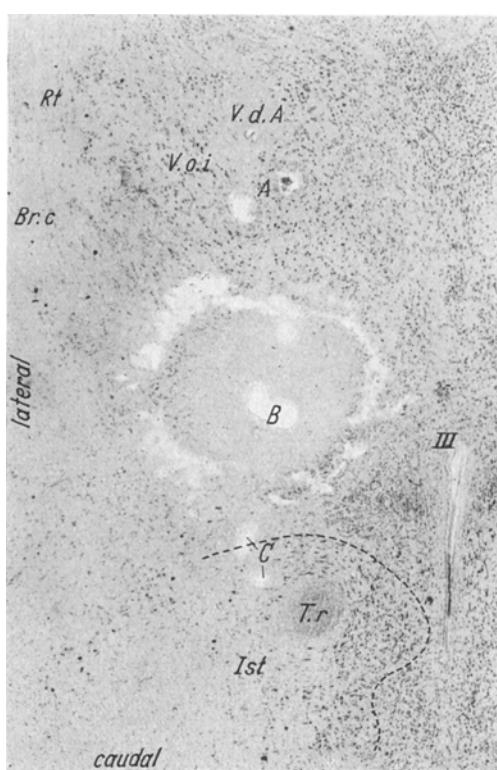


Abb. 4a. Horizontalschnitt in Zellfärbung bei 16facher Vergrößerung. Nur die linke Seite abgebildet. III = III Ventrikel. Die Stichkanäle der Elektrode C im Vorderrand des Nucleus interstitialis (Ist), dessen vorderer und medialer Rand gestrichelt ist. Im Rand der frischen Koagulationsnekrose um B (Blu) sind noch einige Nervenzellen gefärbt. Hinter VICQ d'AZYRSchem Bündel (V.d.A.) die Stichkanäle der Elektrode Alu im Nucleus ventralis oralis internus (V.o.i) des Thalamus. Rt = Nc. reticulatus thalami. (Sig. Hess 218/67).

effekte unverändert erhalten bleiben, nachdem vor der Reizstelle ein ziemlich großer Koagulationsherd gesetzt worden war, beweist die absteigende Leitungsrichtung ihres Substrates. Demnach gehört der *Tractus interstitialis* und sein *Ursprungskern* zum zentralnervösen Koordinationsapparat des Raddrehens, und zwar zu seinem efferenten Teil. — Die stark

*Physiologisch-anatomische Korrelation (li).* Die hart intermittierenden starken Raddrehungendes ganzen Körpers, die von der caudalen Elektrode ausgehen, müssen als Reizeffekte auf den Nucleus interstitialis (vor dem Tractus retroflexus) und auf die aus ihm entspringenden Fasern zum Rückenmark bezogen werden, da die Elektrode zum weit aus größten Teil in ihm steckt (Abb. 4a). Die Tatsache, daß die Raddreh-

summierende Raddrehung des Kopfes an der mittleren Elektrode ist auf den Tractus interstitio-thalamicus oralis zu beziehen. Seine Aufsplitterungen im inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns wurden von der vorderen Elektrode erregt. Weil die Elemente des Substrates hier auf einen größeren Raum verteilt sind, sind die Raddreheffekte schwächer.



Abb. 4b. Nachbarschnitt in Faserfärbung durch das Zwischenhirn des Experimentes Nr. 218 mit den unteren Reizstellen. Die Reizstelle Clu (links nur mit C bezeichnet) sitzt im vorderen Rand des Nucleus interstitialis (Ist). Sie ist in die Koagulation der davor gelegenen Reizstelle Blu (zusammengesintertes und zerfallendes Gewebe um das linke B herum) nicht einbezogen. Die Reizstellen im rechten Thalamus (A, B, C) zeigen die Stichkanäle kaum, sind aber durch dunklere Färbung zu erkennen. Vergr. 10:1. (Sammlung HESS 218/73).

Die thalamischen Brachiumfasern liegen 1,5 mm lateral von der mittleren und 1 mm lateral von der vorderen Elektrode entfernt (Abb. 4b). Sie fallen als Substrat des ursprünglichen Reizeffektes der mittleren und vorderen Elektrode kaum in Betracht. Denn sie haben nach der Koagulation der mittleren Reizstelle, obgleich sie größtenteils noch erhalten waren (Abb. 4b), nicht den gleichen Effekt ergeben. Weil durch Reizung der vorderen Reizstelle nach der Koagulation der mittleren mit der ursprüng-

lichen Reizspannung eine Raddrehung nicht mehr zustande kam, ist auch für diesen Raddrehheffekt eine absteigende Erregung über ein zerstörtes Faserbündel, wahrscheinlich den Tractus interstitio-thalamicus oralis, zu folgern. Die Interstitialis-Neurone scheinen also auch für das Substrat im oralen Ventralkern der effektorische Apparat zu sein.

Von den annähernd symmetrisch gesetzten *Reizstellen in der rechten Hemisphäre* kommen qualitativ sehr ähnliche symmetrische Reizwirkungen zustande: Von der hinteren unteren (Cru) entsteht mit 1 Volt bereits ein Wälzen infolge einer stark intermittierenden Raddrehung von Kopf und Vorderkörper gleichzeitig und vom Hinterkörper etwas später. Sobald die Rückenlage überschritten ist, dreht sich der Körper rasch in die Normallage weiter, um sogleich die Rotation fortzusetzen (Abb. 3c). Auch die beiden Reizstellen davor (Bru und Aru) ergeben Raddrehungen, aber von geringerer Stärke.

*Lage der rechten Elektroden.* Die hintere (Cru) sitzt im Nucleus parafascicularis unmittelbar vor dem Nucleus interstitialis und dem Tractus retroflexus MEYNERT (C rechts in Abb. 4b). Die mittlere Elektrode (Bru) sitzt an der Grenze des Corpus semilunare (Sl) gegen den inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns und erreicht mit der Spitze den Tractus interstitio-thalamicus oralis; die vordere (Aru) liegt im oralen Ventralkern caudal vom Vicq d'AZYRSchen Bündel [V.d.A.] (Abb. 4a, b).

Für die *physiologisch-anatomische Korrelation* der Reizstellen in der *rechten Hemisphäre* gilt das Analoge wie für diejenigen in der linken; die Reizstellen liegen fast symmetrisch. Die Wälzbewegung des ganzen Körpers, die von der hinteren Elektrode ausging, ist auf die Faserbündel im Nucleus interstitialis zu beziehen. Die auf den Kopf beschränkten Raddrehungen der vorderen Reizstellen sind Reizeffekte des Tractus interstitio-thalamicus oralis und seiner Aufsplitterungen im inneren Abschnitt der oralen Ventralkerne. Entsprechend der Auffächerung des Raddrehsubstrates nach vorn sind die Reizeffekte weiter vorn schwächer und auf den Kopf beschränkt.

3. Nr. 322 (re). Schon bei *Reizung mit 0,5 Volt an der Reizstelle Aro* dreht sich der Kopf im Rhythmus der 4 Impulse pro Sekunde. Die Kopfrotation summiert schnell



Abb. 5a. Raddrehung allein des Kopfes bis 180° bei Reizung mit 0,5 Volt im rechten Zwischenhirn von Nr. 322/Aro (= Abb. 31c HESS: Das Zwischenhirn, 1. Aufl. 1949).



Abb. 5b. Weniger starke Raddrehung des Kopfes mit geringem Übergreifen auf den Vorderkörper bei Reizung der caudalen Nachbarelektrode Bro mit 0,5 Volt (Nr. 322).

und stark, so daß der Kopf gegen den unbewegten Vorderkörper bis um  $180^{\circ}$  gedreht wird (Abb. 5a). Erst bei Steigerung der Reizspannung auf 1 Volt greift die Raddrehung auch auf den Vorderkörper über und es wird die Vorderextremität zusätzlich gleichsinnig seitwärts hochgeschwenkt.

Wenn die hintere (Bro: 1,5 mm caudal) Nachbarelektrode mit 0,5 Volt gereizt wird, dreht sich der Kopf zunächst stark intermittierend und geringfügig auch der Vorderkörper; die Raddrehungen summieren sich schnell zu einer Kopfdrehhaltung.

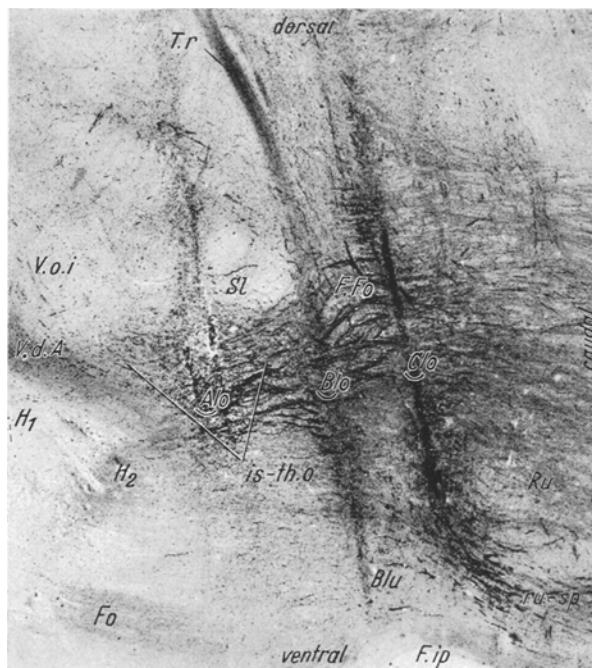


Abb. 6a. Die Elektrodenspuren in der *rechten* Hemisphäre von Nr. 322 in MARCHI-Färbung. Vergr. 14:1. In der Bezeichnung der Reizstellen ist hier irrtümlich *l* statt *r* gesetzt worden, so daß statt *Aro Alo*; statt *Bro*, *Bru*, *Cro*; *Blo*, *Blu* und *Clo* eingetragen ist. Die Reizstelle *Aro* sitzt im Tractus interstitio-thalamicus *oralis* (*is-th. o*). Von ihr gehen feine Degenerationskörnerreihen in den inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns des Thalamus (*V.o.i*) aus. Die Reizstelle *Bro* erreicht das gleiche Bündel. Die Elektrodenspur von *Cr* erstreckt sich am Vorderrand des Nucleus ruber (*Ru*) und hat rubrospinale Fasern zur Degeneration gebracht (*ru-sp*). In der oberen Stellung (*Cro*) liegt sie zwischen Bündeln der *FOREL*'schen Haubenfaszikel (*F.Fo*), die von hier aus nach ventral und vor allem nach lateral verlaufen und daher von den vorderen Elektroden (*Aro* und *Bro*) nicht miterregt wurden. *F.ip* = Fossa interpeduncularis; *Fo* = Fornix. (Slg HESS 322 r/419).

in der sich trotz einer Frequenz von 4/sec die Reizfrequenz nicht mehr abzeichnet (Abb. 5b). Die Reizfrequenz setzt sich aber in leichten intermittierenden Hebungen des Schnurrbarts auf der Gegenseite durch. — Ein gleicher Raddrehheffekt entsteht auch von der hintersten Elektrode *Cro* (0,5 Volt); er ist aber weniger ausgeprägt und bei höherer Reizfrequenz weitgehend überdeckt von einer ipsiversiven Manege. — Reizungen der Elektroden 2 mm tiefer rufen ein Heben mit nur mehr angedeuteter Drehkomponente infolge asymmetrischen Hebens hervor.

*Sitz der rechten Elektroden und Degenerationen.* Die Elektrode *Aro* reicht vom Feld *H*, der Vereinigung von *H*<sub>2</sub> und *H*<sub>1</sub> von *FOREL*, bis in die medialen Randbündel

des Thalamus zwischen MEYNERTSchem (T.r) und VICO d'AZYRSchem Bündel. Von dieser Elektrode aus sind zahlreiche Fasern zum inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns (*V.o.i*) hinauf degeneriert (Abb. 6a). Nur die am weitesten rostral gelegenen von ihnen gehören zum *F. thalamicus* (*H<sub>1</sub>*), die übrigen sind Fasern des

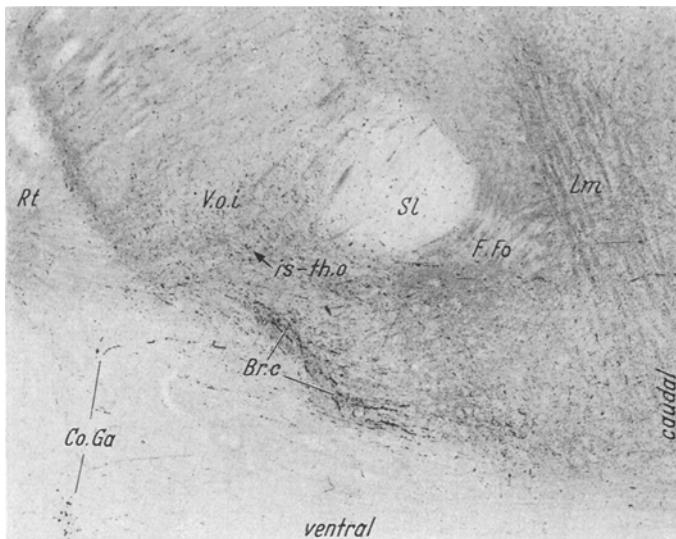


Abb. 6b. Sagittalschnitt etwa 0,8 mm weiter lateral. Degeneration thalamischer Fasern des *Brachium conjunctivum* (*Br. c*) ventro-rostral (und lateral) von denen des *Tractus interstitio-thalamicus oralis* (*is-th.o*), die in den inneren oralen Ventralkern (*V.o.i*) einstrahlen. Caudal vom *Nucleus semilunaris* (*Sl*) nicht degenerierte Fasern von *Forel's Haubenfaszikeln* (*F.Fo*). *Co.Ga* = Fasern des *Fasciculus interstitio-hypothalamicus* zur *Commissura supraoptica dorsalis GANSERI*; *Lm* = *Lemniscus medialis*; *Rt* = *Nucleus reticulatus thalami*. Vergr. 14:1. (Slg. HESS 322r/398).

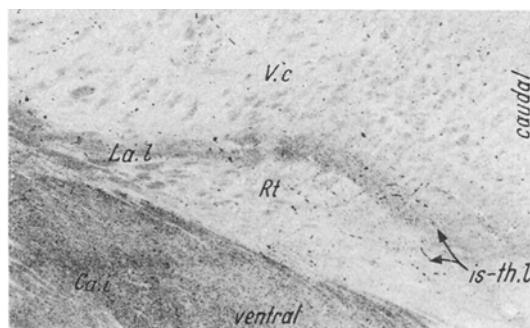


Abb. 6c. In einem Sagittalschnitt etwa 3 mm weiter lateral Degenerationen (*is-th.l*) in der basalen Lamella lateralis (*Lat*) des Thalamus und im *Nucleus reticulatus* (*Rt*), welche von den Stichstellen lateral vom *Nucleus interstitialis* ausgehen. Über der Lamella lateralis (*Lat*) der caudale Ventralkern des Thalamus (*V.c*). Vergr. 18:1. (Slg. HESS 322r/320).

*Tractus interstitiothalamicus oralis* (*is-th.o*). — Die mittlere Elektrode (Bro) sitzt im gleichen Bündel am Vorderrand des *Nucleus interstitialis* (Abb. 6a) und die hintere (Cro) lateral von diesem Kern in der Ebene der *Commissura posterior*,

zusätzlich aber auch zwischen FOREL's Haubenfaszikeln (*F. Fo*) dem Substrat des ipsiversiven Wendens.

Die unteren Reizstellen der gleichen Elektroden sitzen im Hypothalamus vor dem Ruber (Abb. 6a). Durch die beiden hinteren Reizstellen ist es zu Degenerationen von Fasern des *Brachium conjunctivum* zum ventralen Thalamus gekommen (Abb. 6b), deren Einstrahlung 1,5 mm lateral von derjenigen der interstitio-thalamischen Fasern liegt. Vom *Tractus interstitio-spinalis* sind nur einzelne Fasern degeneriert. Deutliche Degeneration enthält der quer nach lateral ziehende Faserstrang in der Thalamusbasis; er splittert sich im *Nucleus reticulatus thalami* neben den hinteren Ventralkernen auf (Abb. 6c). Diese Fasern entsprechen beim Menschen dem *Tractus interstitio-thalamicus lateralis*.

*Physiologisch-anatomische Korrelation (re).* Ein schnell summierender Raddrehapparat allein für den Kopf wurde von der vorderen Elektrode



Abb. 7a. Leichte Raddrehung des Kopfes mit Hebekomponente infolge Reizung der linkssitzenden Elektrode Blo mit 0,5 Volt in Nr. 322. (Seitenverkehrte Wiedergabe).



Abb. 7b. Spiegelbildlicher Ausfallseffekt 1 Tag, nachdem durch einen Koagulationsherd die Reizstellen Blo und Clo zerstört worden waren. (Seitenverkehrte Wiedergabe).

besonders rein in Gang gesetzt. Es ist der *Tractus interstitio-thalamicus oralis*. Seine Fasern strahlen in die inneren Abschnitte des oralen Ventralkerns ein (Abb. 6b) und sind nicht identisch mit denen des *Brachium conjunctivum*. Der Raddrehheffekt von der mittleren Elektrode geht vom gleichen Substrat aus; da es aber am Vorderrand des *Nucleus interstitialis* erregt wird, dreht sich der Vorderkörper leicht mit. Die hintere Elektrode erreicht den *Nc. interstitialis* aus einer Stellung etwas weiter lateral, so daß der Reizeffekt schwächer und infolge Miterregung von FOREL's Haubenfaszikeln mit einer ipsiversiven Manege (s. spätere Veröffentlichung HASSLER) vermischt ist.

*Reizeffekte in der linken Hemisphäre.* Die Elektroden wurden annähernd symmetrisch zu den besprochenen rechten plaziert. Von Alo (0,5 Volt; 4/sec) aus kommt ein reizsynchrone kaum summierendes Raddrehen des Kopfes ohne Gesichtseffekte zustande; bei der hinteren Nachbarelektrode (Blo; 0,5 Volt; 8/sec) war der Drehheffekt mit einer Hebekomponente vermischt (Abb. 7a); von der hintersten Elektrode (Clo 0,5 Volt; 8 und 12/sec) entsteht ein Zucken von Lid, Oberlippe und Schnurrbart kontralateral im Rhythmus der Reizung mit Lidklemmen; bei 0,7 Volt angedeutete

Raddrehung. Reizungen jeder der 3 Elektroden mit 1 Volt in einer Stellung 2 mm tiefer führen zum Kopfheben.

*Koagulation und Ausfallsfehler.* Die Reizstelle *Clo* wurde koaguliert. Während dessen entstand eine Kopfdrehung nach links wie bei Reizung von *Blo*. Die nachfolgenden Testreize waren negativ. Kurz darauf wird spontan der Kopf etwa 20° nach rechts um die Längsachse rotiert gehalten: also spiegelbildlicher Ausfallsfehler. 1 Tag danach beträgt die Raddrehhaltung des Kopfes nahezu 80° (Abb. 7b). In den nächsten 9 Tagen bildet sich diese weitgehend zurück<sup>1</sup>.

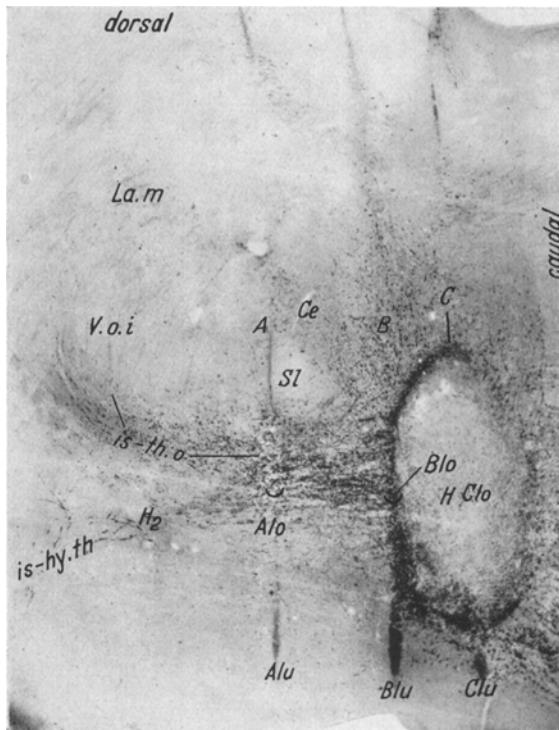


Abb. 8a. Sagittalschnitt durch das linke Zwischenhirn von Nr. 322 mit den Elektrodenspuren (*A*-*Alo*-*Alu*, *B*-*Blo*-*Blu*) und dem Koagulationsherd *H* um die Elektrode *Clo*. Dieser Herd reicht bis etwas über die Elektrodenspur von *Bl* nach rostral. Beachte die Einstrahlungen des Tractus interstitio-thalamicus oralis (*is-th.o*) in den Nucleus ventralis oralis internus (*V.o.i*), welche von den Reizstellen *Alo* und *Blo* ausgehen. Vergr. 11:1. (Slg. HESS 3221, 583).

Die *reizphysiologische Analyse* ergibt Folgendes: An der vorderen Elektrode liegt ein reines Raddrehsubstrat, welches bei schwelennaher Reizung kaum summiert und sich auf den Kopf beschränkt. Das gleiche Substrat ist auch deutlich erregbar im Bereich des Aktionsradius der mittleren Elektrode. 1½ mm weiter caudal kann es noch bei etwas höherer Spannung erreicht werden, 2 mm tiefer fehlt es.

<sup>1</sup> Bemerkenswert ist in diesem Experiment, daß sich der Drehausfall vermindert (im Gegensatz zu den meisten anderen Beobachtungen), sobald die Aufmerksamkeit der Katze geweckt wird, und sich bei Dosisigkeit verstärkt.

*Sitz der linken Elektroden und des Koagulationsherdes.* Die beiden vorderen Reizstellen sitzen 1,7 mm hintereinander im *Tractus interstitio-thalamicus oralis*, fast symmetrisch zu den rechten Elektroden, nur 0,2 mm tiefer (Abb. 8a). Die vorderste erreicht die Vereinigung der FOREL'schen Felder  $H_2$  und  $H_1$ . Die mittlere Reizstelle liegt etwa 2 mm dorso-medial vom Austritt des *Brachium conjunctivum* aus dem *Ruber* (Abb. 8a). Die hintere Reizstelle sitzt 0,4 mm lateral vom *Nucleus interstitialis*.

Der *Koagulationsherd* um diese Elektrode zerstört den vorderen Pol des *Ruber* und das Gebiet darüber (Abb. 8a). Nach medial reicht er bis auf 1 mm an die Mittellinie heran. Er zerstört den lateralen Teil des *Nucleus interstitialis* (Abb. 8b) und hat diesen Kern insgesamt so schwer geschädigt, daß der *Tractus interstitio-spinalis*

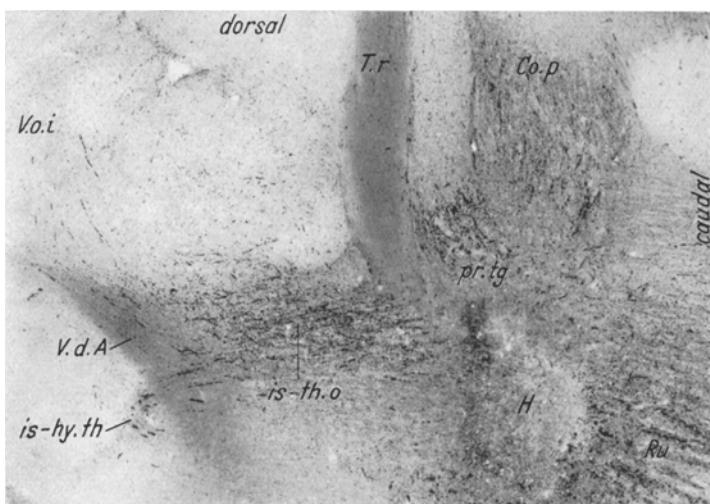


Abb. 8b. Sagittaler Nachbarschnitt 0,36 mm medial vom Elektrodensitz in 14facher Vergr. Der mediale Teil des Koagulationsherdes *H* von *Co.p*, der bis *Blo* reichte, zerstört den *Nucleus interstitialis* und hat die Fasern des *Tractus interstitio-thalamicus oralis* (*is-th.o*) und die Fasern zum *Hypothalamus* (*is-hy.th*) zur Degeneration gebracht. Zwischen *Tractus retroflexus* (*T.r*) und hinterer Commissur (*Co.p*) degenerierte Fasern des *Fasciculus praetecto-tegmentalis* (*pr.tg*) von BUCHER und BÜRGI. (Sig. HESS 322/572).

völlig degeneriert ist (Abb. 8d). Die Abb. 8c zeigt den Ursprung dicker degenerierter Fasern aus dem *Nucleus interstitialis* nach caudal (*Fasciculus interstitio-spinalis* = *is-sp.*) und weniger dicker Fasern nach rostral (*Fasciculus interstitio-hypothalamicus* = *is-hy.th*). Die letzteren verlaufen zur GANSERSchen Commissur (s. BUCHER und BÜRGI 1953); dünne Fasern lateral von ihnen treten nach dorsal als dichtes Bündel in den inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns des Thalamus (*V. o. i*) ein. Das ist der *Tractus interstitio-thalamicus oralis* im MARSHI-Bild (Abb. 8b). Degenerierte Fasern des *Brachium conjunctivum* ziehen weiter ventral und lateral zum Thalamus hinauf. Es sind hier auch Fasern des *Tractus interstitio-thalamicus lateralis* degeneriert, welche unterhalb des Thalamus quer nach lateral verlaufen und sich in der Lamella lateralis und im lateralsten *Nucleus reticulatus thalami* aufsplittern.

*Physiologisch-anatomische Korrelation (li).* Das reine Raddrhebsubstrat an den beiden vorderen Reizstellen in der linken Hemisphäre ist das gleiche wie rechts, nämlich der *Tractus interstitio-thalamicus oralis*. Von diesem

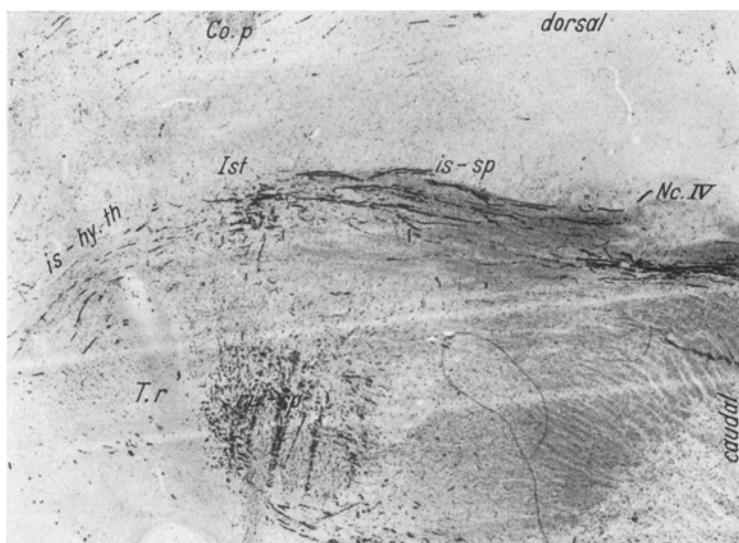


Abb. 8c. Aus dem Nucleus interstitialis (*Ist*) entspringen nach caudal die dicken Fasern des Tractus interstitio-spinalis (*is-sp*) und nach rostral die etwas weniger starken zur GANSERSchen Commissur (*is-hy.th*). *ru.sp* = Tractus rubrospinalis. Vergr. 14:1. (Slg. Hess 322/520.)

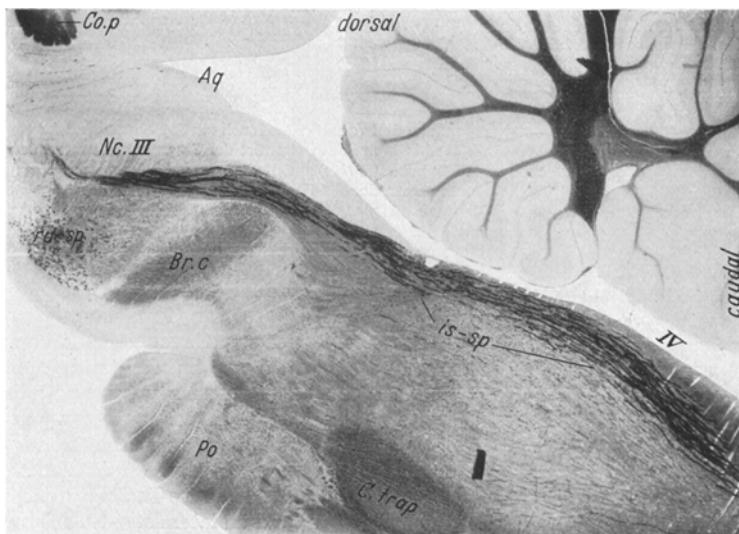


Abb. 8d. Degeneration des dickfaserigen Tractus interstitio-spinalis (*is-sp*) im paramedianen Sagittalschnitt als anatomischer Ausdruck des Ausfalls des efferenten Raddrehsubstrates. *Aq* = Aquaeductus cerebri; *Br.c* = Kreuzung der Brachia conjunctiva; *Co.p* = Commissura posterior; *C. trap* = Corpus trapezoides; *Nc. III* = Nucleus N. oculomotorii; *Po* = Brückenfuß; *IV* = IV Ventrikel. (Slg. Hess 322/510.) Vergr. 7:1.

Raddrehsubstrat splittern sich nach lateral Fasern des Tractus interstitio-thalamicus lateralis ab. Die Brachiumfasern können hier nicht als das für den intermittierenden Effekt maßgebliche Substrat angesehen werden, weil sie weiter von den vorderen beiden Raddrehreizstellen entfernt sind, während sie der am wenigsten raddrehwirksamen hinteren Elektrode näher liegen. — Die Raddrehdeviation des Kopfes nach Koagulation der hinteren Reizstelle hat ihr anatomisches Korrelat in der völligen *Degeneration des Tractus interstitio-spinalis* (Abb. 8d). Die Dauer-raddrehung nach kontralateral besagt, daß das degenerierte Raddrehsubstrat (im Wachzustand!) dauernd tonisiert ist (s. HESS 1941 und 1954).



Abb. 9a. Raddrehung des Kopfes bis  $80^\circ$  bei Reizung von Cro mit 0,7 Volt und Frequenz 12 pro Sekunde (Nr. 324). Dabei haben die Pupillen Normalstellung zum Kopf.



Abb. 9b. Wenn die Raddrehung des Kopfes verhindert wird, rollen die Augen in die ursprüngliche Drehrichtung. Das ist an der Schrägstellung der Pupillenslitze gut zu erkennen.

Der Dauerausfall des Raddrehsubstrates einer Seite führt infolge Alleinwirkung des Gegenspielers der anderen Seite zu einer Raddrehhaltung zur nichtkoagulierten Seite (s. Abb. 7b und 8d).

4. Nr. 324. Von der Reizstelle Cro entstehen, mit 0,7 Volt gereizt, starke und harte Rotationsstöße des Kopfes und Vorderkörpers um die Längsachse im Reizrhythmus. Sie summieren bei 4 Reizen in der Sekunde nur wenig, bei 2/sec fast gar nicht. Aber mit 12/sec entsteht eine rein tonische Raddrehung des Kopfes und geringer des Vorderkörpers bis zu  $90^\circ$ ; dabei wird dann die linke Vorderpfote etwas auswärts gesetzt (Abb. 9a).

*Kompensatorische Augenbewegungen.* Bei voller Bewegungsfreiheit stehen die Pupillenspalten während der reizbedingten Raddrehung in Primärstellung zum Kopf (Abb. 9a). Wird aber die künstliche Raddrehung unterdrückt oder der Kopf während der Reizung zur Normalstellung redressiert, so erfolgt eine Augenrollung in die Drehrichtung, die keinen Reizrhythmus erkennen läßt (Abb. 9b). Dasjenige Auge, nach dessen Seite gedreht wird, wird weniger stark rotiert als das andere. Sobald die Kopfdrehung freigegeben wird, gehen die Pupillenspalten wieder in Normalstellung zum Kopf.

*Nachbarelektroden.* Wenn die vordere Nachbarelektrode (Bro) mit 0,7 Volt gereizt wird, dreht sich der Kopf allein im Reizrhythmus intermittierend nach ipsilateral, wobei sich die Impulse summieren und in einer Raddrehstellung von  $60^\circ$  ins Gleichgewicht kommen. Der Körper behält die Ausgangsstellung bei. Erst wenn eine Rotationshaltung von  $80^\circ$  eingetreten ist, wird der Vorderkörper auch etwas

mitgenommen, was vielleicht sekundär durch die Halspropriozeptivität bedingt ist. Die Raddrehung ist hier deutlich schwächer als von der Nachbarelektrode dahinter. Die vorderste der 3 Elektroden ergibt mit 0,7 Volt Reizspannung eine gerade erkennbare Raddrehung des Kopfes im Reizrhythmus ohne Summation. 2 mm tiefer bewirken die vordere und die mittlere (Bru) Elektrode ausgesprochene Hebe-effekte des Kopfes und Vorderkörpers (Gegenseite voran), die hintere (Cru) eine deutlich summierende Raddrehung von Kopf und Vorderkörper mit leichter Hebe-komponente. Auch hier rollen die Augen nur dann in die Drehrichtung, wenn der Kopf daran gehindert wird.

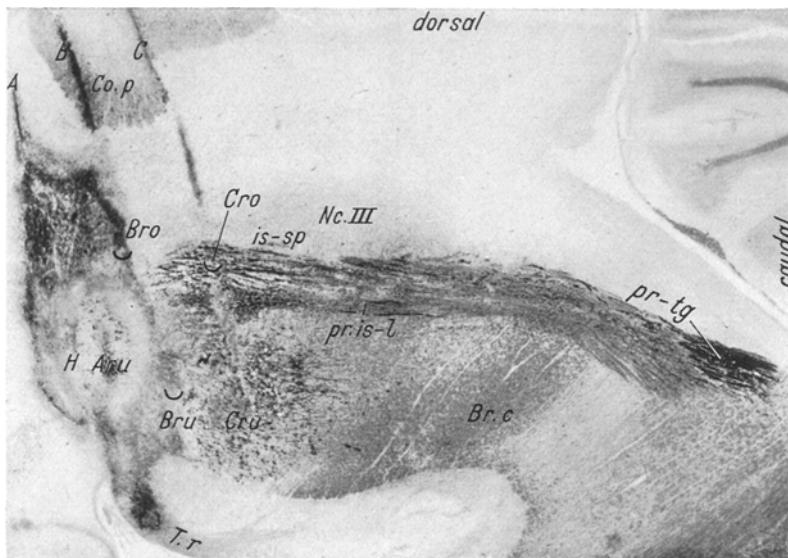


Abb. 10a. Reizstellen und Koagulationsherd im rechten vordersten Mittelhirn von Nr. 324 im Sagittalschnitt. Die Reizstelle *Cro* liegt zwischen den noch nicht fest gebündelten Fasern des Tractus interstitio-spinalis (*is-sp*). Darunter eine sehr feinkörnige Längsdegeneration (*pr.is-l*), welche aus dem Koagulationsherd an der Grenze des Hypothalamus zum Mittelhirn hervorgeht. Dieser Herd hat auch Fasern des Tractus retroflexus (*Tr*) zur Degeneration gebracht. Aus dem Koagulationsherd *H* um *Aru*, welcher die Reizstellen *Bro* und *Bru* mit umfaßt, gehen bei *Bru* und *Cru* sehr feine Degenerationen nach caudal, um im Ruber zu enden. Etwas weiter lateral zerstört der Herd auch die Anfangsstrecken des Fasciculus praetecto-egmentalis (*pr-tg*), welche sich in der rostralen Brücke dem hinteren Längsbündel anschließen; sie sind hier in dieser Gegend getroffen. Vergr. 10:1. (Sig. HESS 324 r/528.)

*Koagulation und Ausfallserscheinung.* Die vordere Elektrode wurde in der Unterstufe (Hebeeffekt) koaguliert. Danach sinkt der Kopf abwärts und ist deutlich nach kontralateral gedreht; also ein spiegelbildlicher Ausfallseffekt zu den vorhergehen-den Reizeffekten. Dieser blieb mindestens 8 Tage bestehen; es bildete sich in dieser Zeit die Senkkomponente schneller zurück als die Raddrehhaltung.

*Elektrodenlage und Degenerationen.* Die Spitze der hinteren Elektrode *Cro* steckt im Anfangsteil des *Fasciculus interstitio-spinalis* (*is-sp*) (Abb. 10a). Die Spuren der Reizstelle *Bro* sind teilweise in den Koagulationsherd einbezogen; sie saß im *Nucleus interstitialis* dicht hinter dem *Tractus retroflexus* (*Tr*) oberhalb der vordersten Ursprungsfasern des *Tractus interstitio-spinalis* (Abb. 10a). Der Koagulationsherd um die vordere Elektrode reicht bis zu den Reizstellen *Bro* und *Bru*. Er zerstört die

Hinterwand des 3. Ventrikels rechts unterhalb des Aquädukteingangs, den Nucleus interstitialis und die ihm ventral vorgelagerten Kerne (Abb. 10b). Folge dieser Koagulation ist eine starke Degeneration im Fasciculus longitudinalis medialis, besonders seines dickfaserigen Tractus interstitio-spinalis (Abb. 10b; *is-sp*). Diese Degeneration reicht bis in das Halsmark hinunter.

Auch dünne Fasern (*pr. is-l*) ventral im Fasciculus longitudinalis medialis sind absteigend degeneriert (Abb. 10a). Sie kommen fächerförmig aus dem Herd in der Hinterwand des 3. Ventrikels und sind bei Herden dieser paramedianen Lage regelmäßig anzutreffen (unter anderem in den Fällen 365, 415 und 434). Sie entspringen

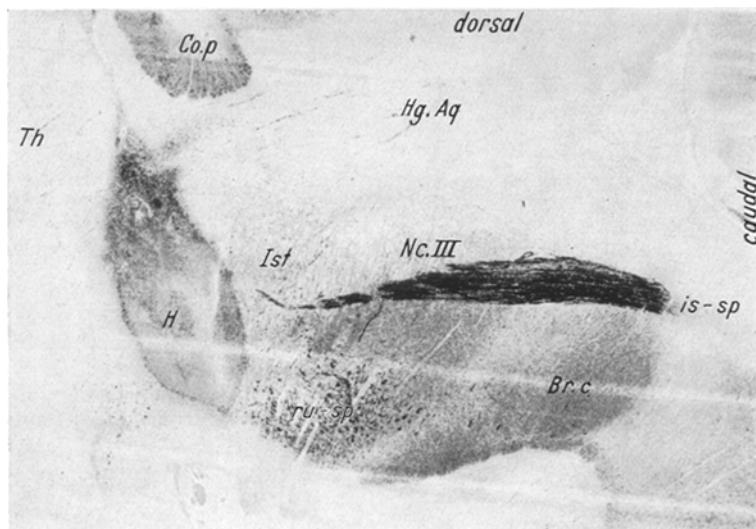


Abb. 10b. Sagittalschnitt (etwa 0,4 mm weiter medial) in MARCHI-Färbung mit starker Degeneration des dickfaserigen Tractus interstitio-spinalis (*is-sp*). Davor der Nucleus interstitialis (*Ist*) und der Koagulationsherd (*H*). Auch der Tractus rubro-spinalis (*ru-sp*) ist teilweise degeneriert. *Hg. Ag* = Höhlengrau des Aquädukts. Vergr. 10:1. (Sig. HESS 324r/536 = Nachbarschnitt von Abb. 46 b aus W. R. HESS; Das Zwischenhirn. 1. Aufl. 1949.)

demnach aus diesen in die ventrale Hinterwand des 3. Ventrikels vorgeschobenen Mittelhirnkernen. Aus dem Herd gehen weiter zahlreiche feine bis mittelstarke Degenerationen in die vordere Hälfte des Ruber hinein; sie erschöpfen sich dort. Nach oral strahlen mittelstarke Fasern in das Feld  $H_2$  ein und bekommen Anschluß an die GANSERSCHE hypothalamische Commissur, wie von BUCHER und BÜRGI jüngst am gleichen Schnittmaterial beschrieben. Von diesem Bündel zweigen aber die weniger dicken Fasern des Tractus interstitio-thalamicus oralis nach dorsal und etwas nach lateral in den inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns des Thalamus ab. Sie splittern sich dort caudal und lateral vom Vicq d'AZYRSchen Bündel auf, 1,5—2,5 mm medial von den (hier auch degenerierten) Fasern des Brachium conjunctivum zum Thalamus. Vom Faserfeld  $H_2$  gehen degenerierte Einzelfasern durch die innere Kapsel nach ventral in den Nucleus entopeduncularis; ihre feinen Endaufspaltungen reichen bis in das (äußere Glied des) Pallidum hinein. Degenerierte Fasern des Tractus interstitio-thalamicus lateralis erschöpfen sich in der basalen Lamella lateralis des Thalamus.

*Physiologisch-anatomische Korrelation.* Die reizphysiologische Analyse ergibt, daß die mittlere Reizstelle (Bro) rein und unmittelbar auf ein Raddrehsubstrat wirkt, welches jeden Reizimpuls bei niedriger Frequenz beantwortet, aber bald summiert. Dieses Substrat ist 1,5 mm davor weniger massiert, 2 mm tiefer fehlt es. Nach hinten zu geht das Raddrehsubstrat in 1,5 mm Entfernung über in ein gleichartiges Substrat mit stärkerer Rotationswirkung auf den Vorderkörper, brüskerer Impulsbeantwortung und viel geringerer Summationstendenz. — Nach dem Elektrodensitz hat die hintere Elektrode auf den medialen dicht gebündelten dickfaserigen Teil des *Fasciculus longitudinalis medialis* gewirkt. Die harten reizsynchronen Bewegungsstöße sind damit Reizeffekte des direkt zum Rückenmark absteigenden *Tractus interstitio-spinalis*. Da diese dicken Fasern von ihrem Ursprung aus zunächst 0,3 mm nach medial und 1 mm nach ventral verlaufen (s. Abb. 10 b), steht auch die weniger starke Rotationswirkung der unteren Reizstelle (Cru) mit den anatomischen Verhältnissen in Einklang.

Als Substrat der Hebekomponente bietet der anatomische Befund z. B. den medial benachbarten Ruben und die sehr feinen Fasern ventral im *Fasciculus longitudinalis medialis*. Eine Entscheidung bleibt einer späteren weiter differenzierenden Bearbeitung der Hebeeffekte vorbehalten.

Das stärker summierende Raddrehsubstrat bei der mittleren Elektrode ist der *Nucleus interstitialis*. Aus ihm entspringt bekanntlich der *Tractus interstitio-spinalis*. Der Wirkungsbereich der Elektrode erfaßt hier also einige aufgebündelte Anfangsstrecken der gleichen Fasern, die die hintere Elektrode erregte, dadurch aber weniger neuronale Elemente des Raddrehsubstrates, so daß die geringere Intensität des Reizeffektes erklärt ist. Die stärkere Summationsneigung der mittleren Reizstelle ist vielleicht auf die Miterregung der Zellkörper des *Nucleus interstitialis*, der ja teilweise im Höhlengrau liegt, zu beziehen.

Da die Koagulation auch den *Nucleus interstitialis* zerstört hat, ist das *tonisierte Raddrehsubstrat* einseitig *ausgefallen*. Folge davon ist eine zum Reizeffekt spiegelbildliche *Raddrehhaltung* des Kopfes *nach der anderen Seite*. Anatomisch drückt sich dieser Ausfall in der Degeneration des *Tractus interstitio-spinalis* aus (Abb. 10 b). Dieses Faserbündel scheint demnach eine Kraft zur Raddrehung nach der gleichen Seite zu repräsentieren. Durch Ausfall dieser Kraft bekommt der *tonisierte Raddrehungsapparat* der anderen Seite das Übergewicht, so daß ein spiegelbildlicher Ausfalls-Effekt entsteht.

#### IV. Beschreibung der vom Bereich des *Nucleus interstitialis* ausgehenden Faserbündel.

Seit BOYCE, CAJAL und MUSKENS ist bekannt, daß vom *Nucleus interstitialis* ein dickfaseriges Bündel in das Rückenmark absteigt. Dieser *Tractus interstitio-spinalis* verläuft im medialsten Teil des hinteren Längsbündels (Abb. 14, 10 b). An seiner Existenz, seiner Leitungsrichtung und dem Ursprung aus dem *Nucleus interstitialis* ist auf Grund früherer Untersuchungen und der vorliegenden Hirnschnittserien kein Zweifel.

Er ist aber nicht das einzige Faserbündel, welches aus dem Nucleus interstitialis hervorgeht. Diesen Kern verlassen, wie man auf Abb. 8c sieht, einige relativ dicke Fasern auch nach *rostral*, um durch das Feld  $H_2$  in die Decussatio supraoptica dorsalis (GANSER) einzutreten (Abb. 8a, b; 6b); der weitere Verlauf wurde bereits von BUCHER und BÜRGI jüngst am gleichen Material beschrieben. — Ein viel größerer Strang von Fasern geht aus dem Bereich des Nucleus interstitialis und DARKSCHEWITSCHI etwas lateral von dieser Sagittalebene hervor und verläuft im unteren Höhlengraurand des Thalamus vom Tractus retroflexus aus nach *rostral*. Mit den Fasern des Brachium conjunctivum sind sie nicht identisch, sondern verlaufen dorsal und medial von ihnen (Abb. 6b). Sie ziehen ventral an der hellen Spitze des Nucleus semilunaris vorbei und strahlen caudal vom VICQ d'AZYRSchen Bündel in weit medial gelegene Abschnitte der oralen Ventralkerne des Thalamus ein. Ihre Endverzweigungen befinden sich medial vom Hauptdigidungsbezirk des Brachium conjunctivum (Abb. 6a, b, 8a, b), ebenso wie beim Menschen, im *inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns = V.o.i* (HASSLER). Sie degenerieren regelmäßig thalamo-petal, wenn der Nucleus interstitialis zerstört ist. Aber MARCHI-Präparate erlauben bekanntlich kein Urteil, aus welchen Zellen die degenerierten Fasern entspringen. Auf Grund retrograder Degenerationen und myelogenetischer Präparate vom Menschen ist der Ursprung aus dem Bereich des Nucleus interstitialis selbst wahrscheinlich. Diesen Faserzug kann man wie beim Menschen *Tractus interstitio-thalamicus oralis* nennen.

Aus den Faserbündeln vor dem Nucleus interstitialis zweigt sich etwas *ventral* vom besprochenen ein schwacher Strang von Fasern nach lateral ab, welcher die Basis des oralen Thalamus durchquert und dann in der Lamella lateralis und im Nucleus reticulatus thalami nach lateral und caudal verläuft, um dort zu endigen (Abb. 2a). Dieser Faserstrang (s. Abb. 6c, 11a, 14) degeneriert ebenfalls bei Herden im Bereich des Nucleus interstitialis (Fälle 320, 322, 324, 330, 365). Er wurde beim Menschen als *Tractus interstitio-thalamicus lateralis* bezeichnet. Von ihm gehen einige Fasern aus, die vom Feld  $H_2$  aus den medialen Rand der Capsula interna durchbrechen und in den Nucleus entopeduncularis eintreten. Unter Verkleinerung der MARCHI-Körner splittern sich diese Fasern in das Pallidum hinein auf (z. B. Nr. 324).

Aus dem Bereich des ventralen Höhlengraus des Aquädukteintrags, d. h. aus der Gegend des Nucleus interstitialis, entspringen, wie Frontalschnitte (s. BUCHER und BÜRGI IV, Abb. 1 und 2) zeigen, auch Fasern nach ventral, die wie eine feine Fontäne in 2 übereinander liegenden Bögen nach lateral auseinandergehen. Die paramedianen und ventralen davon wurden als *Fasciculus annulo-perifornicalis* von BUCHER und BÜRGI abgesondert. Diese verlaufen am Oberrand des Pedunculus cerebri unter

dem Nucleus niger nach lateral und verlieren sich teilweise in dessen reticulärer Zone. Die oberen Fasern davon erreichen zu einem kleinen Teil von vorn den medialen Pol des Ruber. Andere von diesen Fasern ziehen weiter nach rostral bis in die mediale Kapsel des Nucleus subthalamicus Luysi hinein. Einige verlaufen am Pedunculusrand entlang

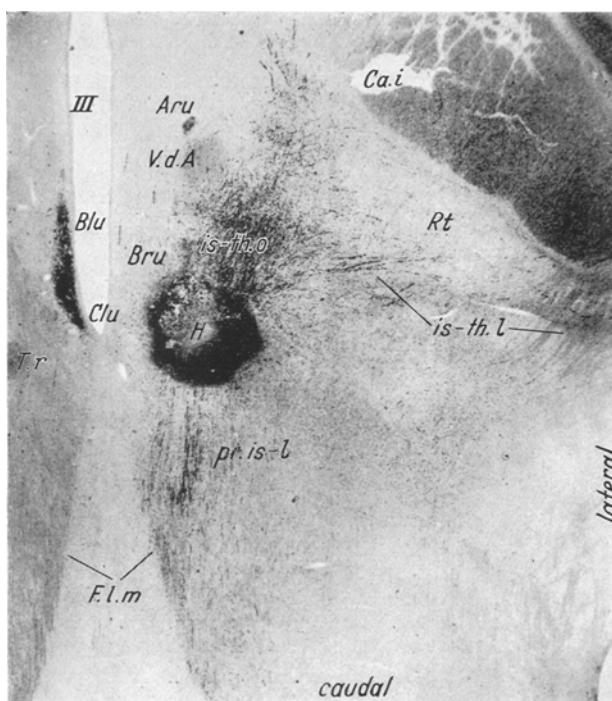


Abb. 11a. Horizontalschnitt durch den rechten Thalamus von Experiment 330. Der Koagulationsherd am Vorderrand des Tractus retroflexus (*Tr*) hat den Tractus interstitio-thalamicus oralis (*is-th.o*) und interstitio-thalamicus lateralis (*is-th.l*) zur Degeneration gebracht. Außerdem ist ein dünnfaseriges Bündel aus dem ventral vorgelagerten Nucleus interstitialis ventralis absteigend degeneriert, das sich dem hinteren Längsbündel anschließt (*pr.is-l*). Vergr. 10,5:1. (Slg. HESS:330/540.)

weiter nach oral bis zur Ansa lenticularis. Diese Fasern haben BUCHER und BÜRGI am gleichen Material als *Ansa lenticularis pars ascendens mesencephalica* beschrieben und demonstriert, aber einen anderen Ursprung angenommen. Diese Fasern sind auch auf Horizontalschnitten zu erkennen (Abb. 11b). Sie verlaufen zunächst etwa in der Frontalebene des Tractus retroflexus, wie der Tractus interstitio-thalamicus lateralis, aber deutlich ventral von ihm, dicht über dem Pedunculus cerebri.

Es sind also die *Faserverbindungen* aus dem *Bereich des Nucleus interstitialis* recht vielfältig. Neben den Fasern zum Rückenmark, die die

Haupteffenz darstellen, verlaufen 7 Fasergruppen nach rostral oder lateral (s. Abb. 12): 1. zum inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns, 2. zur Lamella lateralis des Thalamus und dem lateralen Nucleus reticulatus, 3. zur Decussatio supraoptica dorsalis (GANSER), 4. nach ventral zum Nucleus ruber, 5. zur reticulären Zone des Niger, 6. zum rostromedialen Pol des Nucleus subthalamicus Luysi und 7. durch die Ansa lenticularis zum

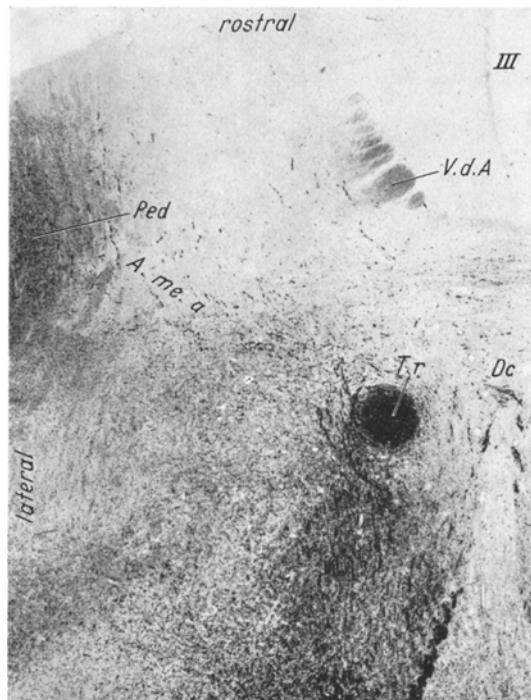
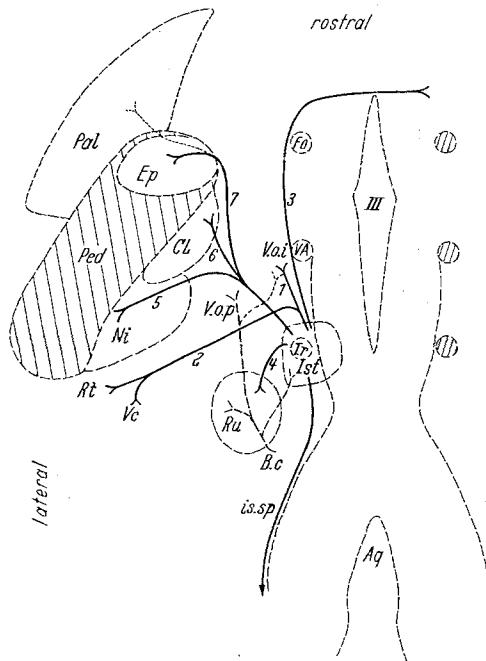


Abb. 11b. Horizontalschnitt durch das Zwischenhirn von Experiment 350, etwa 2,5 mm weiter ventral, in MARCHI-Färbung. Vergr. 18:1. Aus der Gegend des Tractus retroflexus (Tr) ziehen degenerierte Fasern im Bogen nach lateral und dann nach rostral an der Medialfläche des Pedunculus entlang. Sie gehören zur Ansae mesencephalicae pars ascendens (A.me.a). (Sig. HESS 350/492.)

*Nucleus entopeduncularis*, wahrscheinlich mit Endigungs-Kollateralen zum Pallidum.

Es ist unwahrscheinlich, daß alle diese Fasergruppen aus dem gleichen Zelltyp des Nucleus interstitialis entspringen. Sie degenerieren aber sämtlich bei *Herden im Gebiet dieses Kerns und des Aquädukteintranges* und die ersten beiden haben dort nach Erfahrungen mit anderen Methoden am Menschen ihren Hauptursprung. Wenn der Tractus interstitio-spinalis durch Läsionen des Kerngebietes zur Degeneration gebracht ist, sind auch die übrigen Fasergruppen meist degeneriert. Die ventralen

ascendernden Fasergruppen (4, 5, 6, 7) können aber auch weitgehend unabhängig von den zum Rückenmark descendierenden degenerieren (z. B. Nr. 332). Der Zellaufbau des Nucleus interstitialis ist nicht einheitlich. Sein im Höhlengrau gelegener Anteil, der teilweise dem Nucleus DARKSCHEWITSCHI entspricht, gibt vielleicht besonders den feineren ventralen Fasern nach rostral-lateral den Ursprung. Da die Degenerationsrichtung eindeutig vom Bereich des Nucleus interstitialis aus nach



schnitt des oralen Ventralkerns (*V.o.p*) des Thalamus. Vom letzteren zweigen Brachium-Fasern zum Nucleus ventralis oralis internus (*V.o.i*) ab, in welchem der Hauptteil des Tractus interstitio-thalamicus oralis (1) endigt.

rostral oder lateral oder ventral geht, könnten z. B. Silberfärbungen in der Frage Aufklärung bringen, aus welcher besonderen Zellart die einzelnen Fasergruppen entspringen. Für die Fasergruppen 1, 2, 6, 7 ist im Gegensatz zu den kleineren unter 4 und 5 genannten, eine Raddrh-wirksamkeit nachgewiesen, für 3 durch einige Reizstellen (s. Abb. 13d) nahegelegt.

#### V. Lokalisation der raddrh-wirksamkeit-bewirkenden Reizstellen in 4 horizontalen Diagrammen.

Die meisten Reizstellen, die Raddrhungen ergeben hatten, sind in eine Serie von schematisierten Horizontalschnitten eingezeichnet, die nach der ersten Horizontalschnittserie durch das Zwischenhirn der Katze (HESS

Abb. 12. Darstellung der aus dem Bereich des Nucleus interstitialis (*Ist*) hervorgehenden Faserbündel in einem schematischen Horizontalschnitt. Außer dem Tractus interstitio-spinalis (*is.sp*) gehen 7 Fasergruppen nach rostral und lateral.  
 1: Tractus interstitio-thalamicus oralis mit Endigung im Nucleus ventralis oralis internus (*V.o.i*). 2: Tractus interstitio-thalamicus lateralis zum lateralen Nucleus reticulatus (*Rt*) des Thalamus und wahrscheinlich zum caudalen Ventralkern (*V.c*). 3: Faserverbindung zur Decussatio supraoptica dorsalis (GANSER) = Tractus interstitio-hypothalamicus. 4: Kurze Faserverbindung zum rostral Pol des Nucleus ruber. 5: Faserverbindung, der Ansa mesencephalica ascendens angeschlossen, zur reticulären Zone des Nucleus niger (*Ni*). 6: Faserverbindung, zur Ansa mesencephalica ascendens gehörig, zum rostro-medialen Pol des Nucleus subthalamicus (*CL*). 7: Ansa mesencephalica ascendens, die zum Nucleus entopeduncularis (*Ep*) zieht und wahrscheinlich Endkollateralen zum Pallidum (*Pa*) abgibt. Das Brachium conjunctivum (*B.c*) ist gestrichelt dargestellt. Ein Teil seiner Fasern endigt im Nucleus ruber (*Ru*), ein kleinerer Teil im Nucleus interstitialis (*Ist*) und der Hauptteil im hinteren Ab-

1932) im Abstand von 0,5 mm angefertigt worden waren. Es sind jeweils die Spitzen der Reizelektroden oder das Gebiet unmittelbar oberhalb markiert, weil (allerdings in Abhängigkeit von der Art des Substrates) die Stromlinien des Reizstromes ihre größte Dichte tropfenförmig um die Spitze haben.

Zur Vereinfachung der Darstellung werden die 12 Horizontalschnitte, auf denen Raddrehreizstellen enthalten sind, hier auf 4 Diagramme zusammengezogen. Diese haben voneinander 1 mm Abstand. In jedes Diagramm sind auch Reizstellen, an denen die Elektrodenspitze 0,5 mm darüber liegt, eingetragen und in das unterste Diagramm (Schnitt 437) zusätzlich auch Reizstellen, welche 0,5 mm darunter liegen. Bei den Reizstellen ist zu berücksichtigen, daß sie, da sie jeweils von einer Zwillingselektrode gebildet werden, etwa 0,7 mm (0,5—0,9 mm) groß sind; denn die beiden Spitzen der Zwillingselektrode haben voneinander einen Abstand von 0,5 mm und jede Einzel-elektrode selbst einen Durchmesser von 0,25 mm. In den Diagrammen wurden die Reizstellen insgesamt mit einem Symbol  $\circlearrowright$  von etwa der halben Größe markiert, als ihnen bei dieser Vergrößerung entspricht. Eine maßstabgerechte Einzeichnung wäre wegen der zahlreichen Überschneidungen unübersichtlich. Die aktive Zone muß also als größer interpretiert werden. Wo die Raddrehung schon bei Schwellenreizen auf den ganzen Körper übergegriffen hat, ist an der Raddrehungssignatur ein Pfeil ( $\uparrow$ ) angebracht. Wenn Rotationen um die Längsachse mit Heben, Senken oder Wendungen verbunden waren, sind die zugehörigen Signaturen mit eingetragen ( $\circlearrowleft$  Heben,  $\circlearrowright$  Senken,  $\leftarrow\circlearrowright$  ipsiversives Wenden und Manege,  $\circlearrowleft\circlearrowright$ ,  $\circlearrowright\circlearrowleft$  kontraversives Wenden und Manege).

Die *Zusammenfassung der lokalisatorischen Befunde* ergibt folgendes: Die obersten Reizstellen mit Raddrehungseffekten liegen in der Ebene 324 der 1. horizontalen Standardserie (HESS 1932) innerhalb des oralen Dorsalkerns des Thalamus. Dieser zeichnet sich durch einen besonderen Zell- und Faseraufbau von den darunter gelegenen oralen Ventralkernen aus. Im gleichen Kern liegen auch 0,5 mm tiefer 5 Reizstellen.

In der Ebene 362 (Abb. 13a) sitzt eine große Schar von Reizstellen zwischen MEYNERTschem (T.r.) und VRCQ d'AZYRSchem (V.d.A) Bündel im *inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns* (V.o.i) deutlich medial von dem hier eingezeichneten Hauptendigungskern (V.o.p) des Brachium conjunctivum (Br.c). In diesem liegt nur 1 Reizstelle. Eine andere Gruppe von 9 Reizstellen liegt rostral und lateral vom Tractus retroflexus (T.r.) im Nucleus parafascicularis. Davon ergaben einige Wälzen und die lateralen eine Kombination der Raddrehung mit ipsiversivem Wenden. Bereits 0,5 mm ventral von diesen Reizstellen beginnt der Raddrehungen koordinierende Nucleus interstitialis. — 3 Reizstellen mit Raddrehungseffekten bei relativ hoher Spannung von 2 Volt befinden sich im *Nucleus reticulatus (Rt) thalami* (= Gitterschicht) vor dem inneren oralen Ventralkern. Dort ziehen die efferenten Bahnen dieses Ventralkerns zur motorischen Rindenregion gebündelt hindurch.

Die 1 mm tiefere Ebene 387 (Abb. 13b) trifft den *Nucleus interstitialis* (Ist), der den Tractus retroflexus umgibt. In seinem Bereich liegen 14 positive Reizstellen, an seinem Rand weitere 8. Von diesen führten 8

zum Wälzen. Caudal davon finden sich Reizstellen längs des Höhlenraurandes des Aquädukts, in deren Wirkungsbereich bereits der *Tractus interstitio-spinalis* lag.  $\frac{2}{3}$  dieser Reizstellen caudal vom *Tractus retroflexus* (*T.r*) rufen gleichzeitig ipsiversive Wendung hervor, einige in der Säule der *Commissura posterior* gleichzeitig Senken. Die vor dem *Nucleus interstitialis* gelegenen Reizstellen bilden eine breite Straße nach rostral zum inneren oralen Ventralkern (*V.o.i*) caudal und lateral

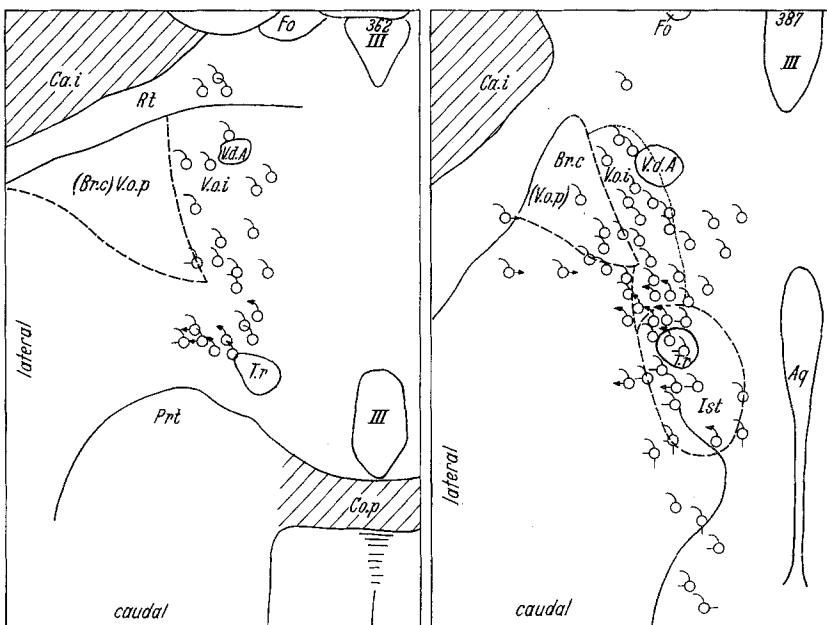


Abb. 13a.

Abb. 13b.

Abb. 13a. Diagramm eines Horizontalschnitts (Ebene 362) durch vordere und hintere Commissur (*Co.p*). Die Reizstellen, die Raddrehungen ergeben haben, liegen im Thalamus medial vom Endigungskern (*V.o.p*) des *Brachium conjunctivum* (*Br.c*). Beschreibung s. Text.

Abb. 13b. Diagramm eines Horizontalschnitts (Ebene 387) 1 mm tiefer mit Raddrehungsreizstellen. — Das *Brachium conjunctivum* (*Br.c*) strahlt hier von ventral in seinen Hauptendigungskern, den hinteren oralen Ventralkern (*V.o.p*) des Thalamus ein. Die nach medial vorspringende Kontur caudal vom *Nucleus interstitialis* (*Ist*) entspricht der Säule der *Commissura posterior*. Raddreh-Reizstellen in *Ist* und entlang seiner Verbindung zum inneren oralen Ventralkern (*V.o.i*).

vom *Vicq d'Azyrschen* Bündel (*V.d.A*). Diese Straße ist auf *V.o.i* und den *Tractus interstitio-thalamicus oralis* zu beziehen, welcher weniger als 0,5 mm weiter ventral verläuft. Innerhalb des Haupteinstrahlungsgebietes des *Brachium conjunctivum* (*Br.c*) liegen nur 5 positive Reizstellen. Die Reizstellen, die caudal vom *Brachium conjunctivum* liegen, entsprechen dem Verlauf des *Tractus interstitio-thalamicus lateralis* unterhalb des Thalamus. Daß sie teilweise bei Schwellenreizen gleichzeitig

kontraversive Wendung hervorriefen, weist darauf hin, daß schon Elemente der Zone *incerta* unterhalb des Thalamus mitgereizt wurden.

In der Ebene 412 (Abb. 13c), 1 mm tiefer, unterhalb des Thalamus, liegt eine Gruppe von Reizstellen in der *Zona incerta* und im *basalen Nucleus reticulatus thalami*, welche Raddrehungseffekte, z. T. mit kontraversiver Manege kombiniert, ergeben haben. Sie werden durch eine Straße von Reizstellen schräg nach caudo-medial mit dem Gebiet des

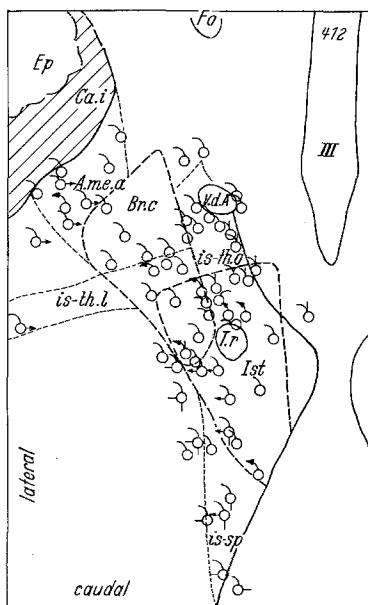


Abb. 13 c.

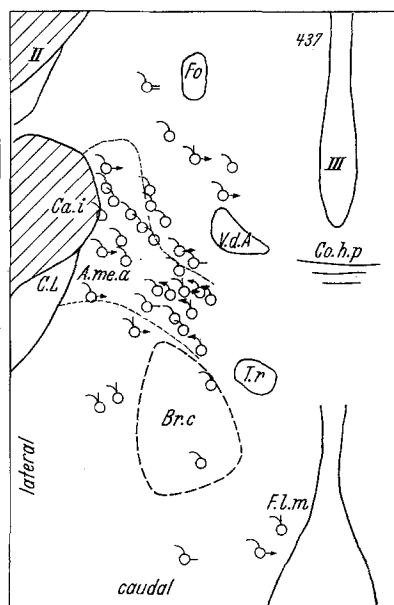


Abb. 13 d.

Abb. 13 c. Diagramm 1 mm tiefer (Ebene 412). Die *Ansa mesencephalica ascendens* (*A.me.a*) überkreuzt sich mit dem *Brachium conjunctivum* (*B.r.c*). Der Bezirk des *Nucleus interstitialis* (*Ist*) ist durch grobe Strichelung angegeben. Feingestrichelt dahinter das Ursprungsgebiet des *Tractus interstitiospinalis* (*is-sp*) bis zum Rand des Höhlengraus.

Abb. 13 d. Diagramm 1 mm tiefer (Ebene 437). Ausführliche Beschreibung siehe Text. Der Bereich des *Nucleus interstitialis* ist hier ersetzt durch den *Nucleus interstitialis ventralis*, der unmittelbar den *Tractus retroflexus* (*T.r*) umgibt (nicht eingezeichnet). Bei der rostralsten Reizstellen-Signatur irrtümlich 2 horizontale Doppelstriche statt eines horizontalen Pfeils für kontraversive Manege. Die Reizstellen zwischen *V.d.A* und *Fo* (= *Fornix*) entsprechen etwa dem *Tractus interstitio-hypothalamicus*. *A.me.a* = *Ansa mesencephalica ascendens*; *Co.h.p* = *Commissura hypo thalamicus posterior*; *F.l.m* = *F. longitudinalis medialis*.

*Nucleus interstitialis* (*Ist*) verbunden. Diese Straße entspricht den *quer verlaufenden Fasern* aus der Gegend des *Nucleus interstitialis* zur Gegend des *Nucleus subthalamicus* und *Nucleus reticulatus* (*is-th.l*) und zur *Ansa lenticularis* (*Ansa mesencephalica ascendens*: *A. me. a*). Der Bereich des *Nucleus interstitialis* (*Ist*) ist dicht mit positiven Reizstellen besetzt. Sie setzen sich nach caudal in einem viel schmäleren Reizstellenstreifen

fort, welcher den interstitio-spinalen Fasern (is-sp) entspricht. Auch nach rostral vom Nucleus interstitialis erstrecken sich Reizstellen am Höhlengraurand, entsprechend dem Tractus interstitio-thalamicus oralis (is-th.o). Das Gebiet des Brachium conjunctivum (Br.c) enthält in dieser Ebene mehr Reizstellen als in den übrigen; dabei ist zu berücksichtigen, daß es sich hier mit den queren Faserbündeln aus dem Bereich des Nucleus interstitialis nach lateral überschneidet. Die Reizstellen vor dem Tractus retroflexus (T.r) sind, je weiter medial sie liegen, desto häufiger mit Hebeeffekten vermischt, die lateralen hinter dem Tractus retroflexus oft mit ipsiversiver Wendung (Einflußgebiet von FOREL's Haubenfascikeln).

In der letzten Abb. 13d (Ebene 437; 1 mm weiter ventral) ist der Hauptteil des Nucleus interstitialis durch einen kleinzelligen, ihm vorgelagerten Kern (Nucleus interstitialis ventralis) ersetzt. Die Reizstellen in seinem Bereich haben nicht Raddrehen sondern Heben zur Folge. Lateral und rostral vom Tractus retroflexus erstreckt sich dafür ein dichtes Feld von Raddrehungs-Reizstellen durch die Zona incerta zum lateralen Hypothalamus bis an den medialen Rand der inneren Kapsel (Ca.i) und des Nucleus subthalamicus (CL), den Fasern der *Ansa mesencephalica ascendens* (A.me.a) entsprechend. Die lateralen sind mehrfach mit kontraversivem Wenden kombiniert. Die rostromedialen Reizstellen entsprechen etwa dem Verlauf des Tractus interstitio-hypothalamicus. Die Reizstellen bilden einen nach caudal offenen Bogen um den Austritt des Brachium conjunctivum (Br.c) aus dem Ruber herum, in welchem nur 2 Reizstellen liegen. 2 positive Reizstellen befinden sich caudal in dem Anschnitt des Tractus interstitio-spinalis innerhalb des Fasciculus longitudinalis medialis (F.l.m). — In den 1 mm und noch tieferen Ebenen fehlen reine Raddrehungseffekte, obgleich infolge asymmetrischer Kopfhebung nicht selten eine geringe Verdrehung des Kopfes um die Längsachse zu-stande kommt.

## VI. Die physiologischen Besonderheiten der Raddrehungen und ihre anatomischen Korrelate.

Außer den 4 ausführlich beschriebenen Fällen wurden in 12 weiteren Elitefällen kinematographisch und auf Grund der Protokolle jede Reizstelle (etwa 170) für die vorliegende Fragestellung noch einmal eigens analysiert und das anatomische Korrelat gesucht. Eine Darstellung dieser Fälle, die nur einen Teil aller Raddreheffekte enthalten, im einzelnen würde zu unnötigen Wiederholungen führen.

Sämtliche Raddrehungen dieser 16 Fälle wurden nach ihrer Extensität gruppiert, d. h. wieweit sich bei ihnen die Raddrehung nur am Kopf, am Kopf und Vorderkörper gleichzeitig oder am Kopf und ganzen Körper ausprägt. Als Kriterium diente dabei der Effekt bei leicht überschwelligen

Reizen. Eine Sondergruppe bilden diejenigen Raddrehungen des Kopfes, die erst bei 2 Volt Reizspannung oder darüber zutage treten.

A. Das *Wälzen* ist der am stärksten ausgeprägte *Raddrehungstyp*, der gleich den ganzen *Körper* ergreift. Als Reizschwelleneffekt ist er nicht häufig. Immerhin kommt einmal ein Wälzen schon bei 0,6 Volt vor. Der Kopf geht dabei in der Drehung mehr oder weniger voraus. Der Hinterkörper pflegt am längsten zu verharren. Viele dieser Raddrehungen des ganzen Körpers summieren stark. Sie können ohne gleichzeitige Gesichts- und Vorderextremitätenbewegungen einhergehen.

Die *Reizstellen für das Wälzen* liegen überwiegend im Nucleus interstitialis selbst oder an seinem Rand (10 von 14). Reizstellen im medialen Teil des Kerns bewirken in der Regel eine stark summierende Raddrehung. Eine Reizstelle liegt im Anfangsteil des Fasciculus longitudinalis medialis, wo sich die Fasern des Tractus interstitio-spinalis vereinigen. 2 Reizstellen haben Kontakt mit dem queren Faserstrang unter dem Thalamus, dem *Tractus interstitio-thalamicus lateralis*.

B. *Raddrehungen von Kopf und Vorderkörper*. Die Katze ist in der Lage, den Kopf um 180° zu drehen, ohne den Vorderkörper oder die Vorderextremitäten zu bewegen (Abb. 5a).

Es kann daher eine Middrehung des Vorderkörpers nicht in jedem Fall ein Sekundäreffekt durch den sich drehenden Kopf sein. Wenn so etwas gelegentlich zum Ausgleich von Spannungen im peripheren Bewegungsapparat vorkommt, tritt es stark verzögert ein. Die kinematographische Analyse zeigt, daß es Raddrehungen gibt, die primär und gleich mit Reizbeginn Kopf und Vorderkörper beteiligen, wenn auch den Kopf oft etwas stärker. Bei deutlicher Raddrehung des Vorderkörpers wird die zum Reiz kontralaterale Vorderextremität vom Boden abgehoben. Ihre Bewegungen können ein Hochziehen sein. Ein Trommeln auf den Boden oder das seltener abducierende Hochschwenken gehören nicht zur Raddrehung (Hess 1954). Der Reizrhythmus setzt sich am Vorderkörper nur selten durch; die Vorderextremität kann reizsynchron oder auch in größeren unregelmäßigen Intervallen gehoben werden.

Kinematographisch wurden in den erwähnten 16 Experimenten 29 Raddreheffekte gleichzeitig von Kopf und Vorderkörper festgestellt, welche beim Schwellenreiz auftraten. Nur in 5 Fällen fehlen dabei aktive Bewegungen der kontralateralen Extremität und nur in 12 Fällen reizrhythmische Gesichtseffekte.

Die meisten Reizstellen für diese Form der Dreheffekte (11 Fälle) haben Kontakt mit den Fasern des Tractus interstitio-thalamicus lateralis oder den quer verlaufenden Fasern der Ansa mesencephalica ascendens unterhalb des Thalamus. In 6 Fällen sitzen sie an der Überkreuzung dieses Bündels mit dem Brachium conjunctivum. 4 mal sind Reizstellen lateral vom Interstitialkern und im inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns verantwortlich, 4 mal solche im Interstitialkern selbst und 6 mal Reizstellen in der Nähe des hinteren Längsbündels, wobei allerdings 4 Mischeffekte auftreten. Niemals ist der Tractus interstitio-thalamicus oralis das verantwortliche Substrat.

C. *Raddrehungen allein des Kopfes* wurden an diesen 170 Reizstellen 28 mal beobachtet. 10 davon haben besonders niedrige Reizschwellen von 0,5 oder 0,7 Volt, 13 1 Volt, die übrigen 1,5 Volt. 18 Raddrehungen sind rein, 10 haben Beimischungen von Bewegungen in anderen Ebenen des Raumes. In 12 Fällen ist das Raddrehen nicht von reizrhythmischen Gesichtsbewegungen begleitet. Darunter befinden sich viele Effekte auf Reizspannungen unter 1 Volt. Es gibt also Raddrehsubstrate, die bei schwellennahen Spannungen nicht in die Gesichtsmuskulatur irradieren.

In früheren Veröffentlichungen über das gleiche Material ist bereits betont worden, daß bei Raddrehungen die Gesichtsmuskulatur häufig gleichzeitig raddrehend innerviert wird. Auch die postrotatorischen Raddrehreaktionen sind bei der Katze von schwachen Bewegungen am Schnurrbart, an der Oberlippe und gelegentlich an den Ohren begleitet, wie zu Vergleichszwecken von den Mitarbeitern BIANCHETTI, SCHATZMANN, SANCHEZ und MONNIER untersucht wurde. Sie sparen bei der Katze die Lider aus und sind auf wenige Sekunden nach der Freisetzung aus der passiven Rotation beschränkt. In Übereinstimmung damit zeigt die reizphysiologische Analyse, daß viele Gesichtsbewegungen nicht zum Raddrehrezept gehören.

Raddrehungen des Kopfes, die den Vorderkörper nicht beteiligen, sind nur in 6 von 28 positiven Reizstellen von Bewegungseffekten der Vorderextremitäten begleitet. Sie sind auf die Miterregung von benachbarten Repräsentanten der Vorderextremitäten zu beziehen, 3 mal wahrscheinlich auf die funktionsverwandten des Brachium conjunctivum.

Diese Raddrehungen allein des Kopfes haben folgende Reizstellenlokalisation: In 12 von den 28 positiven Reizstellen haben die Elektroden Kontakt mit dem Tractus interstitio-thalamicus oralis, der oben mehrfach abgebildet wurde<sup>1</sup>.

Das Brachium conjunctivum bzw. sein Hauptendigungskern im Thalamus wurde insgesamt 6 mal von den Elektroden erreicht, 4 mal davon gleichzeitig auch der Tractus interstitio-thalamicus oralis; 2 mal sein Endigungsbezirk, der innere Abschnitt des oralen Ventralkerns. In 2 Fällen ist der quer verlaufende Faserstrang unter dem Thalamus erreicht und je 5 mal haben die Reizelektroden Kontakt mit dem Nucleus interstitialis und dem Tractus interstitio-spinalis oder liegen räumlich benachbart, z. B. im Höhlengrau des Aquädukts.

D. Die *reinen Raddrehungen des Kopfes*, die erst bei 2 Volt Reizspannung zustande kommen, haben eine andere Lokalisation. Meist liegen die Reizstellen im inneren Abschnitt der oralen Ventralkerne oder in den oralen Dorsalkernen, welche die ersten nach oben fortsetzen. In hier nicht herangezogenen Fällen (z. B. 407, 414, 419) finden sich weitere solche Reizstellen. 3 mal hatten die Elektroden Kontakt mit dem Feld H von FOREL unterhalb des Tractus interstitio-thalamicus oralis.

Es könnte erwartet werden, daß die geschilderten speziellen Formen der Raddrehungen in ihrer Lokalisation scharf voneinander getrennt sind. Das ist nicht der Fall. Sie gehören vielmehr alle zu einem einheitlichen System. Physiologisch zeigt

<sup>1</sup> Von den Kopfdrehrezepten mit Spannungen unter 1 Volt sind 6 von 10 vom Tractus interstitio-thalamicus oralis ausgegangen.

sich diese Einheitlichkeit darin, daß bei den meisten Raddrehsubstraten durch eine Erhöhung der Reizspannung der Effekt vom Kopf auf den Vorderkörper und sogar auf den ganzen Körper ausgedehnt werden kann. Das ist offenbar Folge einer physiologischen Erregungsausbreitung. Das Raddrehsubstrat mit der einheitlichen Efferenz gliedert sich aber funktionell nach der Ausdehnung der Raddrehung auf die verschiedenen Körperteile. Das gibt sich aber nur zu erkennen unter der Voraussetzung absolut identischer Versuchsbedingungen. Praktisch läßt sich das kaum durchführen. Aus verschiedenen Gründen waren die wirksamen Elektroden manchmal 1, manchmal 2 mm lang, die Reizfrequenz mußte mehrfach variiert werden und insbesondere wurde der Schwellenwert der Reizspannung nicht in jedem Fall getestet. Ferner sind die physiologischen Bedingungen des Zustandes des Versuchstieres nicht immer identisch. Als weiterer Faktor kommt der Einzugsbereich eines Substrates hinzu. Wenn der elektrische Reiz es nur tangiert, reagiert es zunächst mit den am leichtesten erregbaren Elementen, so daß z. B. ein Wälzsubstrat nur eine Raddrehung des Kopfes hervorruft. Ein weiterer Faktor ist die Interferenz mit anderen Reizeffekten. Wenn zwei verschiedene Substrate die gleichen Gliedteile zu ihren Aktionen benötigen, kann sich jede einzelne Reizwirkung nur unvollständig durchsetzen.

Der Raddrehapparat im Mittel- und Zwischenhirn ist also ein *einheitliches System*, das sich *um den Nucleus interstitialis gruppiert* und seine schmale Efferenz im Tractus interstitio-spinalis hat. Vom Bereich des Kernes kommt es am häufigsten zu Raddrehungen, die den ganzen Körper betreffen, vom efferenten Bündel seltener, weil bei seiner Reizung eine Interferenz mit Reizeffekten vieler im hinteren Längsbündel zusammengefaßter Fasern anderer Funktion entsteht. Dieser Raddrehapparat reicht mit verschiedenen Ausläufern in das Zwischenhirn hinein. Diese einzelnen Straßen entsprechen nachweisbaren Fasersträngen, die aus dem Bereich des Nucleus interstitialis hervorgehen. Sie weisen eine funktionelle Gliederung auf, obgleich diese unter den gegebenen topographischen und experimentellen Bedingungen nicht konstant in Erscheinung tritt und bei überschwelliger Reizstärke durch physiologische Irradiation verdeckt wird. — Reizungen der queren Faserstränge unter dem Thalamus (u. a. Tractus interstitio-thalamicus lateralis) rufen in der Regel Drehungen von Kopf und Vorderkörper gleichzeitig hervor. Solche können aber auch von anderen Substraten als unvollständige Wälzeffekte zustande kommen. — Raddrehungen allein des Kopfes sind der regelmäßige Reizeffekt des Tractus interstitio-thalamicus oralis. Auch aus den inneren Abschnitten der oralen Ventralkerne, wo sich dessen Fasern aufsplitteln, und aus den darüber gelegenen oralen Dorsalkernen kommen bei Reizung Raddrehungen allein des Kopfes zustande. Diese brauchen aber meist höhere Reizspannungen.

## VII. Die anatomischen Grundlagen der rotatorischen Dauerhaltung des Kopfes.

Wenn der Raddrehapparat, dessen efferenter Schenkel nach der vorliegenden Untersuchung vom Tractus interstitio-spinalis gebildet wird,

auf einer Seite dauernd ausgeschaltet wird, so entsteht eine *Raddrehhaltung nach der Gegenseite* (HESS 1941, 1949/54). Daraus ist eine Tonisierung des Apparates jeder Seite zu erschließen. Diese Daueraus- schaltung sollte sich auch anatomisch ausdrücken. Die Raddrehausfälle wurden deswegen auf Koagulationen und Degenerationen des Raddreh- substrates nachuntersucht.

Die *Raddrehung als Ausfallssymptom* tritt in vielen Fällen sofort nach der Koagulation einer Raddrehung bewirkenden Reizstelle zutage. Gelegentlich ist sie aber unmittelbar nach der Ausschaltung nur gering. Regelmäßig ist der Raddrehausfall dann am nächsten Morgen verstärkt festzustellen. — Der folgenden Übersicht liegen nur solche Fälle zu grunde, bei denen der Raddrehausfall mindestens 12 Std angehalten hat. Die Dauerraddrehung pflegt sich nach Ablauf einer Woche langsam etwas zurückzubilden. In einem Experiment (Nr. 208), in welchem das Tier über 9 Monate am Leben erhalten wurde, hielt sich der Raddrehausfall bis zum Ende<sup>1</sup>. Allgemein beschränkt sich die Drehhaltung auf den *Kopf*. Daß sie den Körper nicht beteiligt, hängt vermutlich mit der vordringlichen Korrektur der Körperstellung relativ zu den Schwerelinien zusammen. Bei Anspannung der Aufmerksamkeit pflegt der Grad der Drehhaltung in der ersten Zeit nach der Koagulation zuzunehmen. Die *Augen* stehen in *Normalstellung* relativ zum gedrehten Kopf. — Wenn gleichzeitig mit dem Raddrehabstrat noch das Hebe- oder Senk- substrat ausgeschaltet ist, bildet sich die gehobene oder gesenkten Kopf- haltung schneller zurück als die Drehhaltung, die oft bis zum Tode be- stehen bleibt.

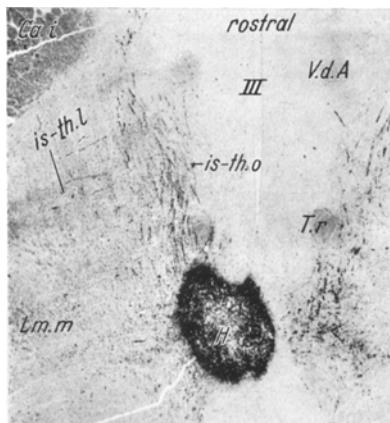
Von den Experimenten mit *Raddrehausfällen* sind folgende mit der MARCHI-Methode verarbeitet: Nr. 318, 320, 322, 324, 350, 365, 445, 448, 449 und 297<sup>2</sup>. In allen diesen Experimenten ist der *Tractus interstitio- spinalis* auf der Seite der Koagulation degeneriert. Gezeigt wird das in den Abb. 8c, d, 10b. Die Abb. 14 demonstriert das gleiche degene- rierte Bündel in einem anderen Experiment auf Horizontalschnitten.

<sup>1</sup> Die meisten koagulierten Fälle mußten im Hinblick auf die MARCHI-Verarbeitung schon nach 16—23 Tagen geopfert werden.

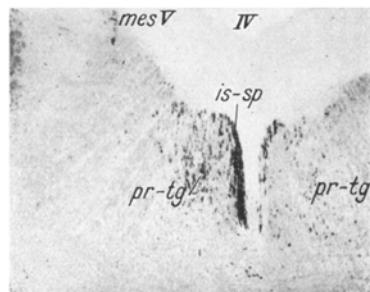
<sup>2</sup> Nr. 297 ist insofern ungewöhnlich, als bei Reizung (mit 0,5 Volt) der später koagulierten Elektrode in der rechten *Brückenhaube* eine ipsiversive Kopfwendung mit leichter Raddrehung (und Senkung) nach der Gegenseite entstand, also Raddrehungsrichtung *gegen* die Regel. Während der Koagulation dieser Reizstelle nimmt die Kopfsenkung nach der Gegenseite noch zu. Es bleibt eine Raddrehhaltung des Kopfes nach der Gegenseite (also *nicht spiegelbildlich zum Reizeffekt*) als Ausfallssymptom 10 Tage bestehen. Daß diese Kopfdrehung nach der Seite des Herdes gerichtet ist, entspricht aber der Regel der Ausfallsdrehungen und wird durch den anatomischen Befund erklärt: Es besteht eine Degeneration des ab- steigenden *Tractus interstitio-spinalis* auf der Herdseite wie bei den Fällen (mit spiegelbildlichem Drehausfall) bei Mittelhirnherden.

Abb. 14. Der Verlauf des Tractus interstitio-spinalis nach herdförmiger Zerstörung des linken Nucleus interstitialis. An der Zwischenhirn-Grenze.

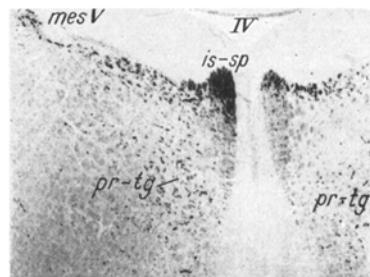
Infolge der Koagulation des Nucleus interstitialis sind auch die nach rostral ziehenden Tractus interstitio-thalamici oralis (*is-th.o*) und lateralis (*is-th.l*) degeneriert.



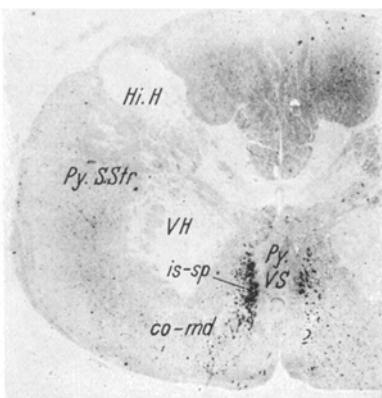
Im hinteren Mittelhirn.



In der Brücke.



Im obersten Halsmark.  
Vergr. 10:1 und 12:1.



Da die Säule der Commissura posterior mit zerstört ist, ist auch der Tractus praetectotegmentalis degeneriert (*pr-tg*). Auf dem 3. Teilstück verlagert er sich nach ventral aus dem Fasciculus longitudinalis medialis heraus und findet hier teilweise sein Ende. Ein Teil der Fasern setzt sich aber bis in das obere Halsmark fort; sie scheinen dem Tractus commissuro-medullaris (*co-md*) von MUSKENS zu entsprechen. Es ist auch ein Teil der Neurone des Nucleus interstitialis der anderen Seite degeneriert. mes. V: mesencephale Trigeminuswurzel. (Sig. HESS Nr. 320/471; 522; 545; 15).

Der degenerierte Tractus interstitio-spinalis hat im Mittelhirn und Pons den dorsomedialen Rand des Fasciculus longitudinalis medialis inne (Abb. 14b, c). In der oberen Oblongata rücken die dicken Fasern etwas nach ventral, weiter caudal noch weiter. Durch die kreuzenden Pyramidenfasern werden sie von der Mittellinie abgedrängt. Deshalb liegen sie im oberen Halsmark lateral vom Pyramidenvorderstrang und ventral von der vorderen weißen Rückenmarkscommissur (Abb. 14d). Diese Verlagerung des Tractus interstitio-spinalis innerhalb des Fasciculus longitudinalis medialis hat nach der Neurozentrentheorie und dem Prinzip des topologischen Aufbaus des Zentralnervensystems für die Funktion keine Bedeutung (HESS 1954).

Degenerationen einiger Fasern dieses Bündels können bestehen, ohne daß eine Störung der Raddrehbewegungen als Ausfall zutage tritt (z. B. Abb. 14, rechte Seite). Es ist die Unterbrechung einer erheblichen Anzahl dieser Fasern erforderlich, damit ein Dauerausfall in Erscheinung tritt. Das entspricht den allgemeinen Erfahrungen in Ausschaltungsexperimenten.

Die *konstante schwere Degeneration des Tractus interstitio-spinalis* in allen nach MARCHI verarbeiteten Gehirnen mit Dauerdrehausfällen ist eindrucksvoll. Sie stellt den morphologischen Aspekt des einseitigen Funktionsausfalls des Raddrehsubstrates dar. Darin besteht Übereinstimmung mit Folgerungen, welche MUSKENS (1914) auf Grund von reinen Ausschaltungsversuchen an 3 Katzen gezogen hat.

Diejenigen Experimente mit spiegelbildlicher Raddrehung als Ausfall, die anatomisch nicht nach MARCHI sondern nach NISSL und HEIDENHAIN-WÖLCKE verarbeitet wurden, bestätigen den geschilderten Befund. In den Fällen 208 (mit 9 Monaten Überlebenszeit) und 209, welche bereits einer Arbeit von MINKOWSKI zugrunde gelegen haben, sind durch die Koagulationsherde Teile des Nucleus interstitialis und des medial davon gelegenen Nucleus DARKSCHEWITSCHI direkt zerstört; in den restlichen Teilen dieser Kerne bestehen deutliche Zelllichtungen mit Glia-wucherung und sekundäre Degenerationen im Fasciculus longitudinalis medialis. Das Gleiche gilt von Nr. 210, wo ein Herd über der Fossa interpeduncularis und orolateral vom Tractus retroflexus zu einer so weitgehenden Schädigung des Nucleus interstitialis geführt hat, daß dieser fast zellfrei ist. In Nr. 229 hat der Koagulationsherd den vorderen Teil des Nucleus interstitialis direkt zerstört. Auch bei diesen Experimenten ist infolge von Kernläsionen der efferente Tractus interstitio-spinalis zu einem großen Teil ausgefallen.

Da in einer früheren Arbeit mit WEISSCHEDEL das *Brachium conjunctivum* als afferente Bahn des Raddrehsubstrates beschrieben wurde, muß die Frage geklärt werden, ob nicht eine Degeneration des Brachium conjunctivum als anatomischer Aspekt der Raddrehausfälle in Frage kommt. Von den Fällen mit Ausfallrotation haben alle, mit Ausnahme der Experimente 208, 297, 365 und 449 Degenerationen im Bindegewebe der gleichen Seite (auf das Großhirn bezogen), also 10mal von 14 Fällen. Diese Übereinstimmung in fast  $\frac{3}{4}$  der Fälle ist beachtlich. In den übrigen 4 Fällen kann aber der spiegelbildliche Rotationsausfall nicht auf eine

Bindearmdegeneration bezogen werden<sup>1</sup>. Ferner gibt es viele Fälle mit schweren Bindearmdegenerationen (z. B. 282, 289, 296, 298, 300, 302) ohne einen auch nur zeitweiligen Raddrehhausfall<sup>2</sup>. In sämtlichen Fällen mit ausfallsbedingter Raddrehhaltung besteht dagegen eine Degeneration des Tractus interstitio-spinalis. Jede stärkere Degeneration dieses Bündels geht regelmäßig mit einer anhaltenden spontanen Raddrehhaltung zur Gegenseite einher. Das gleiche ist aber nur bei einem kleinen Teil der Bindearmdegenerationen der Fall, und zwar bei denjenigen, die gleichzeitig einen Ausfall des Tractus interstitio-spinalis haben. Aus diesen Gründen und weil der *Tractus interstitio-spinalis* nach den Reizexperimenten ein efferentes Raddrehsubstrat ist, welches als tertiäre Vestibularisbahn direkt bis zum Vorderhorngrau absteigt, ist seine Degeneration als das *anatomische Korrelat des einseitigen Raddrehhausfalls* anzusehen.

### VIII. Zur Organisation des zentralen Apparates für Raddrehungen.

Aus den früher (HESS 1941, 1945, 1949; MINKOWSKI 1943; HESS u. WEISSCHEDEL 1949; HESS u. AKERT 1950) und den jetzt dargestellten Befunden über reizbedingte Raddrehungen ergeben sich folgende Aufschlüsse über die Organisation ihres Apparates. Dieser Apparat hat seinen Schwerpunkt im Bereich des *Nucleus interstitialis*. Die Neurone dieses Kerns mit ihren Neuriten bis zum Rückenmark sind die *effektori-schen Repräsentanten der Raddrehimpulse für den ganzen Körper* (Wälzen). An ihren Endigungen werden die erforderlichen Erregungen für den segmentalen Bewegungsapparat abgegeben. Nach SZENTÁGOTTHAI endigen die Fasern des Tractus interstitio-spinalis an Schaltzellen und nicht unmittelbar an Vorderhornzellen.

Die *Raddrehbewegungen* werden aber *erfolgsbezogen innerviert*. Es besteht keine feste Verbindung des Raddrehapparates mit bestimmten Motoneuronen. Das zeigt sich besonders, wenn eine Raddrehung des Kopfes während der Reizung passiv verhindert wird. Dann führen die Augen eine kompensatorische Rollung in der ursprünglichen Drehrichtung aus. Damit wird wenigstens für den optischen Apparat die

<sup>1</sup> Das gilt besonders vom Experiment Nr. 297: In ihm geht infolge einer Koagulation in der rechten Brückenhaube eine Dauerraddrehhaltung nach links mit einer fast völligen Degeneration gerade des (im Großhirn) linken, also zum Koagulationsherd gegenseitigen, Brachium conjunctivum einher. Wäre die Degeneration des Brachium hier das Substrat des Raddrehhausfalls, müßte eine Raddrehhaltung nach der rechten Seite entstanden sein; sie war aber nach links gerichtet. Sie ist indessen ebenso wie bei den anderen Fällen der Ausdruck des nachgewiesenen Ausfalls des rechten Tractus interstitio-spinalis.

<sup>2</sup> Im Experiment 291, welches von HESS und AKERT dargestellt wurde, ist trotz spiegelbildlicher Ausfallsdrehung der Tractus interstitio-spinalis nicht degeneriert, aber das Brachium conjunctivum.

Verwertung der Drehimpulse garantiert. Wenn die Raddrehung des Kopfes freigegeben wird, bleiben die Augen relativ zum Kopf in Normalstellung. Der zentrale Raddrehungsapparat dient also den *Bewegungen um die Längsachse des Körpers* und innerviert eine Raddrehung *unabhängig* von dem ihm zur Verfügung stehenden peripheren motorischen Apparat. Die kompensatorische Augenrollung kommt nicht erst durch eine rückgemeldete propriozeptive Erregung der an der Drehung verhinderten Halsmuskeln zustande, sondern wird direkt zentral koordiniert.

Dieser *Raddrehapparat* ist aber auch *nach oben hin weiter gegliedert*. Nach rostro-dorsal schließen sich Repräsentanten speziell für die Raddrehung des Kopfes an, die dem Verlauf des *Tractus interstitio-thalamicus oralis* und seinen Aufsplitterungen im inneren Abschnitt der oralen Ventralkerne entsprechen. Die wenigen Raddrehreize aus dem *Nucleus reticulatus* am Vorderrand dieses Thalamuskerns sprechen dafür, daß sich hier Verbindungen zu den corticalen Repräsentanten für Raddrehungen anschließen. Denn anatomisch ist bekannt, daß die efferenten Bahnen der oralen Ventralkerne zur motorischen Rindenregion verlaufen. — Nach rostro-lateral erstrecken sich Repräsentanten für Raddrehungen, deren Einfluß vom Kopf auf den Vorderkörper erweitert ist. Sie entsprechen dorsal dem *Tractus interstitio-thalamicus lateralis*, weiter ventral quer verlaufenden Fasern der *Ansa ascendens mesencephalica* und erstrecken sich nach rostral am *Nucleus subthalamicus* und an der Medialfläche der inneren Kapsel entlang bis fast zu deren vorderem Rand.

Von den besprochenen Gliederungen des Raddrehapparates ist bei überschwelliger Spannung oder längerer Reizdauer an Stelle der auf einen Körperabschnitt begrenzten Raddrehung schließlich eine solche des ganzen Körpers zu erzielen, die man bereits bei schwelennaher Spannung aus dem Bereich des *Nucleus interstitialis* erhält. Der beschriebene *Raddrehapparat* ist also trotz der Gliederung *einheitlich*.

Im Anschluß an diese Feststellungen erhebt sich die Frage, woher die gekennzeichneten Substrate ihrerseits *zur Funktion angeregt* werden. Bei den richtungsspezifischen Bewegungseffekten ist in erster Linie an eine *direkte Afferenz aus dem Vestibularissystem* zu denken und zweitens an *indirekte*, d. h. mit propriozeptiven und anderen Erregungen integrierte *Afferenzen aus dem Kleinhirn*, die im *Brachium conjunctivum* zusammengefaßt sind. — Als direkte Afferenz aus dem *Vestibularis-Kern-Gebiet* ist nach SPITZER u. MUSKENS der *Tractus vestibulo-mesencephalicus homolateralis* anzunehmen, dessen Fasern durch das hintere Längsbündel ungekreuzt aufsteigen und teilweise in der *Commissura posterior* zum *Interstitialkern* der anderen Seite hinüberkreuzen. — Im HESSschen MARCHI-Material läßt sich dieses Bündel bestätigen, was in einer folgenden Arbeit

gezeigt wird. Die indirekten (cerebellaren) Afferenzen werden von bestimmten Elementen des *Brachium conjunctivum* gebildet, deren Rad-drehwirksamkeit in Arbeiten mit WEISSCHEDEL und AKERT aufgezeigt wurde.

Unabhängig sind von S. CLARK und McDONALD Raddrehungen durch Reizungen paramedianer Anteile des Lobus anterior des Kleinhirns an wachen Katzen mit anderer Methodik und jüngst von KOELLA mit der hier zugrunde liegenden Methodik aus basalen paramedianen Kleinhirnteilen hervorgerufen worden. Es können offenbar auch von cerebellaren Systemen und ihrer Efferenz im *Brachium conjunctivum* aus Raddrehungen entstehen. Im *Brachium conjunctivum* ist demnach eine der Afferenzen des hier beschriebenen Raddrehapparates im Zwischen- und Mittelhirn enthalten.

Der *Anschluß an den* hier beschriebenen *Raddrehapparat* erfolgt durch *Brachiumfasern*, die im *Nucleus interstitialis* und andere, die im *inneren oralen Ventralkern des Thalamus* endigen (s. HASSLER 1949 und eine spätere Veröffentlichung am vorliegenden MARCHI-Material).

Damit sind auch Hinweise auf die *Afferenzen* des hier beschriebenen *Raddrehapparates* gewonnen. Die quantitative Aufteilung der Einflußnahme dieser beiden regulatorischen Komponenten und ihr spezieller Charakter ist ein interessantes, die Integration berührendes Problem, was besondere Bearbeitung erfordert.

Über die *Stellung der Raddrehung im gesamten kinetostatischen System* verweisen wir auf die 2. Auflage der Monographie über das Zwischenhirn (HESS 1954). Es handelt sich um Korrekturbewegungen um die Längsachse des Körpers auf zentralen elektrischen Reiz. Sie kommen in gleicher Form als Korrekturbewegungen auf Drehreizungen zustande.

## IX. Zusammenfassung.

Die Hirnbiologische Sammlung von Reiz- und Ausschaltungsexperimenten (HESS) wurde auf die Zuordnung der Raddrehungen zu definierten Neuronensystemen und auf eine weitere physiologische und lokalisatorische Differenzierung untersucht. Dabei ergab sich folgendes:

1. Die *Raddrehungseffekte* kommen von einem gegliederten *Koordinationsapparat* zustande. Sein *efferentes Neuronensystem* ist der *Tractus interstitio-spinalis* mit seinen Ursprungszellen im *Nucleus interstitialis*. Schwellenreize bewirken im Kernbereich und seiner unmittelbaren Umgebung häufig schon Raddrehungen des ganzen Körpers (Wälzen).

2. Der die Raddrehungen koordinierende Apparat gliedert sich nach rostral und lateral ins Zwischenhirn hinein auf, wie eine Übersicht über die Anordnung der Reizstellen in 4 horizontalen Diagrammen zeigt. Die Fasern vom *Nucleus interstitialis* nach rostral zum inneren

Abschnitt des oralen Ventralkerns des Thalamus (*Tractus interstitiothalamicus oralis*) ergeben bei Schwellenreizungen *Raddrehungen allein des Kopfes*. Repräsentanten für Raddrehungen überwiegend von Kopf und Vorderkörper gleichzeitig sind in einem Faserstrang gelegen, welcher in der Thalamusbasis quer nach lateral zum Nucleus reticulatus und zur Lamella lateralis thalami verläuft.

3. Vermittler von Raddrehungen erstrecken sich auch weiter ventral vom Bereich des Nucleus interstitialis aus zum medialen Rand des Nucleus subthalamicus und der inneren Kapsel längs der von BUCHER u. BÜRGI beschriebenen *Ansa mesencephalica ascendens*, die aber wenigstens zum Teil aus dem Bereich des Nucleus interstitialis entspringt.

4. Die spiegelbildlichen Ausfallserscheinungen nach *Koagulation des Raddrehsubstrates* zeigen, daß dieses im Wachzustand eine dauernd wirkende Kraft induziert. Der morphologische Ausdruck des Funktionsdefektes ist in allen Fällen die *Degeneration des Tractus interstitio-spinalis*.

5. Dieser Raddrehapparat hat eine direkt *vestibuläre Afferenz*, den Tractus vestibulo-mesencephalicus, und eine *indirekte Afferenz über das Kleinhirn*, bestimmte Fasern des Brachium conjunctivum, welche auch raddrehwirksam sind. Fasern des Brachium conjunctivum, die im Nucleus interstitialis und andere, die im inneren Abschnitt des oralen Ventralkerns endigen, vermitteln den Anschluß an den aufgegliederten Raddrehapparat.

6. Der Raddrehapparat ist auf den Enderfolg d. h. auf eine bestimmte physiologische Leistung bezogen; das drückt sich besonders in *kompen-satorischen Augenrollungen* aus, die auftreten, wenn passiv die Kopfdrehung verhindert wird.

Die Benutzung der Sammlung wurde uns durch die von der Schweizerischen Akademie der medizinischen Wissenschaften dem einen von uns (HESS) ausgerichtete Subvention bedeutend erleichtert.

Die Arbeit des anderen von uns (HASSLER) in Zürich wurde durch eine Forschungsbeihilfe der Freiburger Wissenschaftlichen Gesellschaft gefördert, wofür auch hier verbindlichst gedankt wird.

#### Literatur.

- BARTORELLI, C., u. O. A. M. Wyss: Kinematographische Analyse der labyrinthären postrotatorischen Körperdrehreaktionen. Pflügers Arch. **245**, 511—523 (1942). — BOYCE, R.: A contribution to the study of some of the decussating tracts of the mid-and inter-brain, and of the pyramidal system in the mesencephalon and bulb. Proc. Roy. Soc. Lond. **56**, 305 (1894). — BUCHANAN, A. R.: The course of the secondary vestibular fibers in the cat. J. Comp. Neur. **67**, 183—204 (1937). — BUCHER, V. M., u. BÜRGI, S. M.: Untersuchungen über die Faserverbindungen im Zwischen- und Mittelhirn der Katze. *Confinia neur.* (Basel) **6**, 317—340 (1945). — BUCHER, V. M., and BÜRGI, S. M.: Some observations on the fiber connections of

the di- and mesencephalon in the cat. II. Fiber connections of the pretectal region and the posterior commissure. *J. Comp. Neur.* **96**, 139—177 (1952). — III. The supraoptic decussations. *J. Comp. Neur.* **98**, 355—379 (1953). — IV. The ansa lenticularis, pars ascendens mesencephalica, with observations on other systems ascending from and descending to the mesencephalon. *J. Comp. Neur.* **99**, 415—436 (1953). — BÜRGI, S., u. H. R. MÜLLER: Proprioceptive Einflüsse auf den Ventralkern des Thalamus. *Helvet. physiol. Acta* **3**, 397 (1945). — CAJAL, S. RAMON Y: *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés*. Paris 1909—1911. — CLARK, S. L.: Responses following electrical stimulation of the cerebellar cortex in the normal cat. *J. Neurophysiol.* **2**, 19 (1939). — FERRARO, A., B. L. PACELLA and S. E. BARRERA: Effects of lesions of the medial vestibular nucleus. *J. Comp. Neur.* **73**, 7 (1940). — FRASER, E. H.: An experimental research into the relations of the posterior longitudinal bundle and DITTERS nucleus. *J. of Physiol.* **27**, 372 (1901). — GRAY, P. A.: Some experimental evidence on the connections of the vestibular mechanism in the cat. *J. Comp. Neur.* **41**, 319—364 (1926). — HASSSLER, R.: Forels Haubenfaszikkel als vestibuläre Empfindungsbahn mit Bemerkungen über einige andere sekundäre Bahnen des Vestibularis und Trigeminus. *Arch. f. Psychiatr.* **180**, 23 (1948). — Anatomie des Thalamus. *Arch. f. Psychiatr.* **184**, 249—256 (1950). — Über die afferenten Bahnen und Thalamuskerne des motorischen Systems des Großhirns I und II. *Arch. f. Psychiatr.* **182**, 759—818 (1949). — Über Kleinhirnprojektionen zum Mittelhirn und Thalamus. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **163**, 629—671 (1950). — HESS, W. R.: Beiträge zur Physiologie des Hirnstammes I. Die Methodik der lokalisierten Reizung und Ausschaltung subcorticaler Hirnabschnitte. Leipzig: Georg Thieme 1932. — Experimenteller Beitrag zur Frage der extrapyramidalen Motorik. *Z. Neur.* **172**, 639 (1941). — Charakter der im Zwischenhirn ausgelösten Bewegungseffekte. Ein Beitrag zur extrapyramidal gesteuerten Motorik. *Pflügers Arch.* **244**, 767 (1941). — Die S.E.D.-Methode in der Hirnforschung. *Verh. Ver. schweiz. Physiol.* 1942. — Zwischenhirn und Motorik. *Helvet. physiol. Acta Suppl. V.* (1948). — Das Zwischenhirn. Syndrome, Localisationen und Funktionen. 1./2. Aufl., S. 187. Basel: Benno Schwabe 1949/1954. — Symposium über das Zwischenhirn. *Helvet. physiol. Acta Suppl. VI.* (1950). — HESS, W. R., u. K. AKERT: Die Koordination morphologischer und physiologischer Untersuchungsmethoden in der Hirnforschung. *Fol. Psychiatr. neerl.* **53**, 268—275 (1950). — HESS, W. R., S. BÜRGI u. V. BUCHER: Motorische Funktion des Tektal- und Tegmentalgebietes. *Mschr. Psychiatr.* **112**, 1—52 (1946). — HESS, W. R., u. E. WEISSCHEDEL: Die höheren Zentren der regulierten Körperhaltung. *Helvet. physiol. Acta* **7**, 451 (1949). — KOELLA, W.: Vortrag Zürich, Januar 1954. — MAGNUS, R.: Körperstellung. Berlin 1924. — McDONALD, J. V.: Responses following electrical stimulation of anterior lobe of cerebellum in cat. *J. Neurophysiol.* **16**, 69—84 (1953). — MUSKENS, L. J. J.: An anatomico-physiological study of the posterior longitudinal bundle in its relation to forced movements. *Brain* **36**, 352—426 (1914). — The central connections of the vestibular nuclei with the corpus striatum, and their significance for ocular movements and for locomotion. *Brain* **45**, 454—478 (1922). — Das supravestibuläre System bei den Tieren und beim Menschen mit besonderer Berücksichtigung der Klinik der Blicklähmungen, der sog. Stirnhirnataxie, der Zwangsstellungen und der Zwangsbewegungen. Amsterdam 1935. — RASMUSSEN, A. T.: Secondary vestibular tracts in the cat. *J. Comp. Neur.* **54**, 143—171 (1932). — REDLICH, E.: Beiträge zur Anatomie und Physiologie der motorischen Bahnen bei der Katze. *Mschr. Psychiatr.* **5**, 112 (1899). — SPITZER, A.: Ein Fall von Tumor am Boden der Rautengrube. *Jb. Psychiatr.* **18**, 1—54 (1899). — Anatomie und Physiologie der zentralen Bahnen des Vestibularis. *Arb. neur. Inst. Wien* **25**, 423 (1924). — SPITZER, A., u.

J. P. KARPLUS: Über experimentelle Läsionen an der Gehirnbasis. *Arb. neur. Inst. Wien* **16**, 348—436 (1907). — STENGEL, E.: Vergleichend-anatomische Studien über die Kerne an der hinteren Kommissur und im Ursprungsgebiet des hinteren Längsbündels. *Arb. neur. Inst. Wien* **26**, 419 (1924). — SZENTÁGOTAI, J.: Die Endigungsweise der absteigenden Rückenmarksbahnen. *Z. Anat.* **111**, 322—330 (1941). — Die zentrale Innervation der Augenbewegungen. *Arch. f. Psychiatr.* **116**, 721 (1943). — Die Rolle der einzelnen Labyrinthrezeptoren bei der Orientation von Augen und Kopf im Raume. Budapest 1952. — WEISSCHEDEL, E., u. R. JUNG: Technik und Leistungsfähigkeit der lokalisierten subcorticalen Ausschaltung durch Elektrokoagulation. *Pflügers Arch.* **241**, 169—183 (1938). — Die anatomische Auswertung und das Studium der sekundären Faserdegenerationen nach lokalisierter subcorticaler Ausschaltung durch Elektrokoagulation. *Z. Anat.* **109**, 374 (1939).

Prof. Dr. R. HASSSLER, Freiburg i. Br.,  
Neuropathologisches Laboratorium der Universitäts-Nervenklinik.  
Professor Dr. W. R. HESS, Zürich, Anatomisches Institut.