

(Aus dem Anatomischen Institut der Universität Budapest
[Vorstand: Prof. Dr. F. Kiss].)

Die zentrale Leitungsbahn des Lichtreflexes der Pupillen.

Von

Dr. J. Szentágothai.

Mit 8 Textabbildungen (10 Einzelbilder).

(Eingegangen am 11. März 1942.)

Einleitung.

Die in neuester Zeit veröffentlichten Arbeiten von *Ranson* und *Magoun* (1933—1935) richteten das Augenmerk der Neurologen erneut auf den Verlauf des afferenten Schenkels dieser Reflexbahn. Die Anwendung des *Horsley-Clarkeschen* Apparates bewährte sich bei diesen Untersuchungen auf das glänzendste. Der Verlauf der afferenten Reflexfasern konnte mit absoluter Genauigkeit aus dem *Fasciculus opticus* am *Corpus geniculatum* vorbei in das *Brachium quadrigeminum anterius* verfolgt werden, von wo sie, ohne mit den *Corpora quadrigemina* in Beziehung zu treten, durch die *prätektale Region* größtenteils in die *Commissura posterior* übertreten, um nach der Kreuzung wahrscheinlich durch den vorderen Teil des den Aquädukt umgebenden Höhlengraues zum Oculomotoriuskern zu gelangen. Hiermit sind viele Anschauungen und Erwägungen über den Verlauf dieser Leitungsbahn hinfällig geworden, jedoch auch einzelne frühere experimentelle Befunde (*Spiegel*) bestätigt worden. Auf das diesbezügliche Schrifttum möchte ich an dieser Stelle nicht eingehen, da sich *Ranson* und *Magoun* in den erwähnten Arbeiten mit demselben in allen Einzelheiten auseinandergesetzt haben.

Nichtsdestoweniger bleiben wesentliche Fragen dieses Problems ungelöst, wie es nicht anders möglich ist bei Reizexperimenten, wie es die Untersuchungen *Ransons* sind, die uns von dem neuronalen Aufbau einer Leitungsbahn kein klares Bild geben können. *Ranson* konnte zwar durch ein besonders geistvoll angelegtes Experiment (Erhaltenbleiben der Auslösbarkeit von Pupillenkontraktionen von der Commissur aus einige Tage nach intrakranieller Durchtrennung beider Nn. optici) mit großer Wahrscheinlichkeit dartun, daß zwischen den Reflexfasern retinalen Ursprunges und den Oculomotoriuskernen noch ein Schaltneuron eingeschaltet sein muß, aber über den Ursprung dieses Schaltneurons wissen wir nichts Genaueres. Ebensowenig konnte der genaue Weg der Reflexfasern nach der hinteren Commissur sowie die Endigung dieser Fasern an den Zellen des Sphinkterkernes nachgewiesen werden. Desgleichen steht noch ein exakter Beweis für den Ursprung der vegetativen Fasern des Oculomotorius aus. Eine Leitungsbahn aber kann

in neurologischem Sinne nur als endgültig aufgeklärt betrachtet werden, wenn sie auch morphologisch Neuron für Neuron, Synapse für Synapse festgelegt werden kann. Dieses Ziel erstrebt vorliegende Arbeit.

Untersuchungsmethoden.

Die Untersuchungen wurden an 50 Katzen vorgenommen, die wegen ihrer äußerst leicht zu beobachtenden Pupillenreflexe ein vorzügliches Objekt für solche Untersuchungen bilden. Die notwendigen elektrischen Reizungen und elektrolytischen Zerstörungen wurden mittels eines von mir selbst modifizierten *Horsley-Clarkeschen* Apparates lokalisiert, den ich in einer vorstehend in dieser Zeitschrift veröffentlichten Arbeit ausführlicher erwähnte. Die angewendeten Elektroden waren denen in dieser Arbeit gebrauchten gleich. Die Technik der Eingriffe war im wesentlichen die von *Ranson* angewendete.

Bei meinen Untersuchungen konnte ich mich jedoch wegen der Natur des gesteckten Zieles mit Reizergebnissen oder Ausfallserscheinungen nach Zerstörungsherden nicht begnügen, sondern suchte deren Ergebnisse durch nachfolgende Degenerationsuntersuchungen zu erhärten und weiter auszuwerten. Zur genaueren Feststellung der in diesem Reflexbogen vorkommenden Synapsen war die *Marchi-Methode* naturgemäß ungeeignet, da die Fasern vor ihrer Endigung ihre Markscheiden verlieren. Zur Untersuchung solcher Fragen wird in unserem Institute seit einiger Zeit die Achsenzyylinderdegenerationsmethode mit gutem Erfolge angewendet. Die bisher nicht zufriedenstellenden Ergebnisse dieser Methode, die wohl von fast jeder neurologischen Schule versucht wurde, kommen, wie wir nachweisen konnten, daher, daß die *Cajalschen* Methoden, selbst jene, die eigens zur Untersuchung in Degeneration begriffener Nervenfasern angegeben sind, sich nur zur Darstellung degenerierender dickerer Achsenzyylinder eignen, während jene feinen vor ihrer Endigung stehenden Fäserchen und Kollateralen sowie deren Endigung an der Ganglienzelle nicht dargestellt werden. So ist es kein Wunder, wenn z. B. *Barnard* (1940) einige Zentimeter unterhalb einer halbseitigen Rückenmarksdurchtrennung in der grauen Substanz im *Cajal*-Bild (Chloralhydratmethode) überhaupt keine Degenerationserscheinungen vorfand. Wieweit diese Methode hierdurch in Mißkredit geraten muß, braucht nicht länger ausgeführt zu werden. Wie wir es schon seit einigen Jahren vertreten, eignet sich die *Bielschowsky-Methode*, vor allem ihre Modifikationen nach *Gross* und *Reumont*, zur Darstellung in Degeneration begriffener Achsenzyylinder und ihrer Endigungen vorzüglich. Bezüglich der mit diesen Methoden nachweisbaren elementaren Degenerationserscheinungen sowie bezüglich der Brauchbarkeit dieser Methode muß auf unsere früheren Arbeiten hingewiesen werden (*Schimert* 1938, 1939; *Szentágothai-Schimert* 1941), in denen es gelang, einige ungelöste Probleme der intragrisealen Rückenmarksleitung klarzulegen.

Eigene Untersuchungen.

Der Gang meiner Untersuchungen war im wesentlichen der folgende: Nachdem ich mich in einigen Versuchen von der vollkommenen Richtigkeit der Reizergebnisse *Ransons* und *Magouns* überzeugen konnte, beschloß ich die einzelnen Neuronen dieser Kette Schritt für Schritt zu verfolgen.

Der erste Schritt in diesem Vorgehen war, die Degenerationerscheinungen zu untersuchen, die nach Entfernung eines Auges eintreten. Dieser Schritt hätte sich eigentlich erübrigt, da solche Untersuchungen im Schrifttum sehr oft vorgenommen wurden, zuletzt auch in Kenntnis dieser neueren Untersuchungsergebnisse von *Barriis*, *Ingram* und *Ranson* (1935). Da sich diese Untersuchungen infolge der *Marchi*-Technik, die ihnen zugrundeliegt, nur auf markhaltige Fasern beziehen, suchte ich ihre Ergebnisse durch eigene Beobachtungen über Achsenzylinderdegenerationerscheinungen nach Enucleation eines Auges und nach Zerstörung des Tractus opticus nach dem Chiasma zu ergänzen.

Der nächste Schritt war die Untersuchung der Achsenzylinderdegeneration nach Zerstörung eines Corpus geniculatum laterale auf dem durch die Reizversuche erkannten Wege der Reflexbahn, also vor allem in der hinteren Commissur und in der Gegend des Oculomotoriuskernes. Weitere Schritte waren ähnliche Untersuchungen nach Zerstörung der vorderen Vierhügel, der prätektalen Region und der hinteren Commissur. Schließlich wurden verschiedene Teile des Oculomotoriuskernes und des zentralen Höhlengraues zerstört, um durch Untersuchung der Achsenzylinderdegeneration in der *Radix brevis (motoria) ganglii ciliaris* den Ursprung des efferenten Zweiges dieser Leitungsbahn klarzulegen.

1. Untersuchungen nach Enucleation eines Auges.

Da das Vorkommen von *Marchi*-Körnern nach Verlust eines Auges im lateralen Kniehöcker, in den vorderen Vierhügelarmen schon seit langer Zeit, das Vorkommen solcher in der prätektalen Region neuerdings von den obenerwähnten Autoren nachgewiesen wurde, war es unnötig, dieses Gebiet auf degenerierte Achsenzylinder eigens zu untersuchen, da solche selbstverständlich zugegen sein müssen. Von weit größerem Interesse waren jene Gebiete, durch welche die afferenten Reflexfasern erwiesenermaßen hindurchlaufen, sowie die Gegend des Oculomotoriuskernes. Wenn auch wenig wahrscheinlich, so war es doch immerhin denkbar, daß die Reflexfasern wegen ihrer Marklosigkeit, besonders in ihrem letzten Abschnitt, bisher mit der *Marchi*-Methode nicht nachweisbar waren. Es gelang mir jedoch in keinem Falle in der hinteren Commissur oder in der Gegend des Oculomotoriuskernes auch nur einen einzigen in Degeneration begriffenen Achsenzylinder aufzufinden. *Dieser negative Befund zeigt mit Sicherheit, daß die afferenten Pupillenreflexfasern, die aus der Retina entspringen, noch vor ihrem Eintritt in die hintere Commissur irgendwo endigen.*

Wenn die Zerstörung eines Tractus opticus auch bezüglich der Degeneration nichts Neues bringen konnte, so war dieser Eingriff doch interessant, da er das Verhalten der Pupille zu untersuchen gestattet. Nach Zerstörung eines Tractus wird die gegenseitige Pupille stets weiter als die gleichseitige, der Lichtreflex bleibt jedoch erhalten. Dieser Befund deutet auf einen engeren Zusammenhang eines Tractus mit dem gegenseitigen Sphinkterkern, also eine ziemlich hochgradige zentrale Kreuzung der Pupillenreflexbahn. Diese Erscheinung ist übrigens auch aus der menschlichen Pathologie bekannt (*Behr*).

2. Zerstörung der äußeren Kniehöcker.

Mit Hilfe meines Lokalisationsinstrumentes konnte ich verschiedene Teile des *Corpus geniculatum laterale* zerstören. Schon nach der Ope-

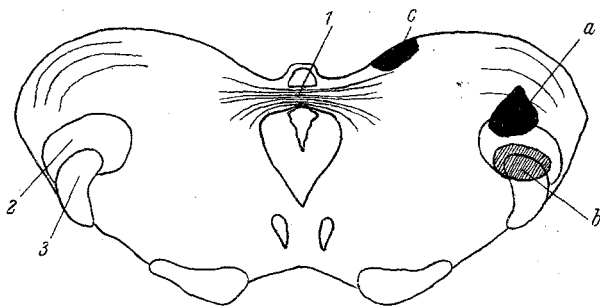


Abb. 1. Schematische Darstellung der am afferenten Zweige der Pupillenreflexbahn experimentell angelegten Zerstörungsherde. Querschnitt an der Grenze von Zwischen- und Mittelhirn. 1 Commissura posterior; 2 Corp. genic. lat.; 3 Tractus opticus, a Herd in den dorsalen, b in den basalen Lamellen des Corp. genic. lat.; c Herd in der prätektalen Region.

ration konnten wichtige Beobachtungen gemacht werden. Eine Veränderung der Pupillenweite war nur zu verzeichnen, wenn sich die Zerstörung auch auf den basaleren Teil der Kniehöcker bezog (Abb. 1 b). Herde in den dorsaleren Lamellen (Abb. 1 a) verursachen, wenn überhaupt, so nur bald wieder verschwindende, geringe Pupillendifferenzen. In den ersteren Fällen war stets die gegenseitige Pupille auffallend weiter und zeigte eine schwächere, von beiden Augen auslösbare Lichtreaktion.

Wesentlich Neues bringt uns die Untersuchung der Achsenzylinderdegeneration in der hinteren Commissur. In Fällen mit Zerstörungsherden im basaleren Teile des *Corpus geniculatum laterale* kann man nach 7 Tagen im dorsaleren Teile der *Commissura posterior* degenerierte Achsenzylinder beobachten. Es gibt also Nervenfasern, die aus den basaleren Teilen des Corpus geniculatum laterale entspringen und in die hintere Commissur gelangen. Obwohl diese Fasern hinsichtlich des Verlaufes jenen Bedingungen entsprechen, die wir auf Grund der Reizergebnisse von dem zweiten Neuron der Pupillenreflexbahn verlangen

können, so ist es von diesen Fasern hiermit doch noch nicht bewiesen, daß es sich tatsächlich um die in Frage stehenden Fasern handelt. Dies wäre nur dann der Fall, wenn man die Degeneration dieser Fasern auch an einem weiteren Punkte der Pupillenreflexbahn auffinden könnte. Bei genauer Untersuchung der Oculomotoriuskerne konnte ich im *Bielschowsky*-Bild an dem gegenseitigen Kern charakteristische Achsenzylinderdegenerationserscheinungen beobachten. Stets handelt es sich um äußerst feine, offenbar marklose Achsenzylinder, die an der dorsalen Grenze des großzelligen Kernes aus dem hinteren Längsbündel austreten und unmittelbar an der Grenze der beiden Kerne in einer ziemlich schmalen Zone gegen die Mittellinie verlaufen, diese jedoch nicht erreichen, sondern sich zwischen den in diesem Gebiet liegenden Zellen verzweigen (Abb. 2). In dem ganzen übrigen Gebiet der Oculomotoriuskerne sowie im gesamten Höhlengrau konnte ich keine in Degeneration begriffene Achsenzylinder beobachten. Auch dorsal vom großzelligen Kern fanden sich Degenerationserscheinungen *nur in der vorderen Hälfte des Oculomotoriuskernes*. Die unmittelbare Endigung der in Degeneration begriffenen Achsenzylinder kann an dieser Stelle nicht so klar nachgewiesen werden als bei Rückenmarksbahnen, wo die Degeneration der *Held-Auerbachs*chen Endfüßchen unmittelbar beobachtet werden konnte. An den Zellen, die unmittelbar dorsal von den großen Oculomotoriuszellen liegen, kann man auch normalerweise nur hie und da Endfüßchen beobachten, folglich können wir auch nicht erwarten, daß man oft solche Endfüßchen in Degeneration antrifft. Daß jedoch die beobachteten in Degeneration begriffenen Fasern tatsächlich an diesen Zellen endigen, geht daraus hervor, daß sie weiter nicht zu verfolgen sind. Sie nehmen deutlich an dem die Zellen umspinnenden feinen marklosen Fasergeflecht teil, das man eigentlich als eine Art synaptischer Endigung betrachten kann (*Cajal*).

Ähnliche in Degeneration begriffene Fasern fand ich in jener Gruppe kleinerer Ganglienzellen, die unmittelbar vor der rostralen Spitze des großzelligen Oculomotoriuskernes gelagert sind. Es handelt sich gleicherweise um feine marklose Fäserchen, die aus dem zur Läsion gegenseitigen hinteren Längsbündel in die graue Substanz eintreten und an dem die Ganglienzellen umspinnenden marklosen Fasergeflecht teilnehmen. Auch hier verlieren sich die degenerierenden Fasern gegen die Mittellinie mehr und mehr.

Dieser Befund zeigt deutlich, daß aus dem basaleren Teil des lateralen Kniehöckers Fasern entspringen, die durch die hintere Commissur auf die Gegenseite hinübertreten, um zwischen unmittelbar dorsal vom großzelligen Oculomotoriuskern gelegenen Zellen zu endigen, also an einem Ort, der heute allgemein als Ursprungskern der vegetativen Oculomotoriusfasern betrachtet wird.

Gleichzeitig mit dem Zerstörungsherd fand ich nur ganz vereinzelte degenerierende Fasern an entsprechender Stelle.

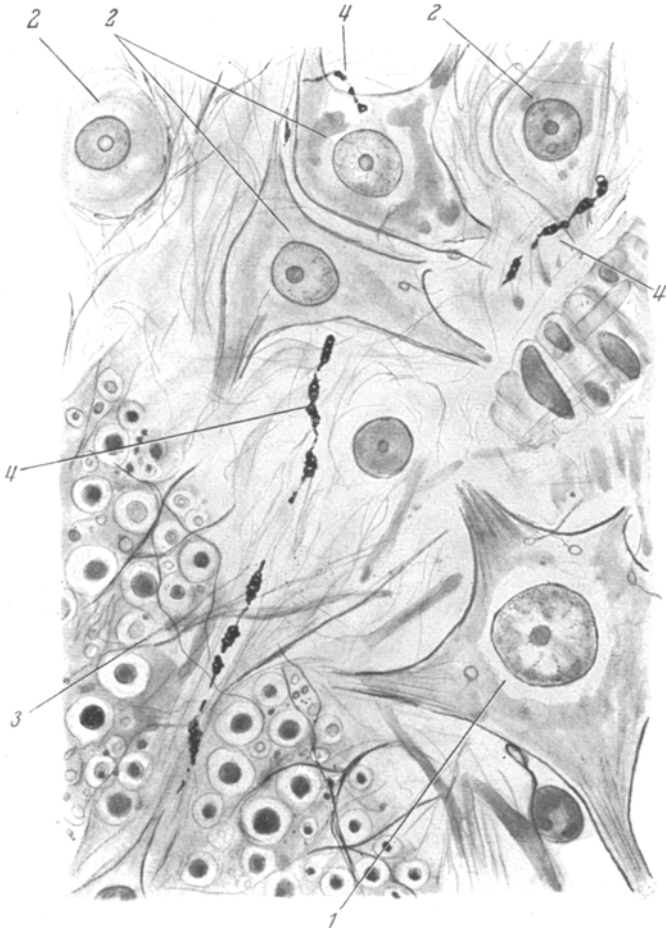


Abb. 2. Ausschnitt aus dem dorsalen Teil des gegenseitigen Oculomotoriuskernes 7 Tage nach Zerstörung der basaleren Lamellen des Corp. genic. lat. Imprägnation nach Biel-schowsky-Gross. 1 Große motorische Oculomotoriuszelle; 2 Ganglienzellen des kleinzelligen Kernes; 3 hinteres Längsbündel; 4 degenerierte an den kleinen Zellen endigende Fasern.

3. Zerstörungsherde in der prätektalen Region.

Da *Ranson* und *Magoun* diesem Gebiet für den afferenten Zweig der Pupillenreflexbahn besondere Bedeutung beimessen, nahm ich in einigen Fällen hier Zerstörungen von kleinerem Umfange vor. *Ranson* und *Magoun* betrachten dieses Gebiet, das zwischen dem vorderen Vierhügel und dem Thalamus liegt, nicht einfach als Durchtrittsort der

afferenten Leitungsbahn, sondern meinen, daß das zweite Neuron seinen Ursprung irgendwo in diesem Gebiet nimmt. Nach Zerstörungsherden in diesem Gebiet kann man stets eine deutliche Erweiterung der gegenseitigen Pupille beobachten, jedoch nur, wenn der Herd auch die Hirnoberfläche berührt (Abb. 1c). Liegt er tiefer, so kann man keine Veränderungen der Pupillen beobachten. 8 Tage nach dem Eingriff kann man in der hinteren Commissur degenerierende Achsenzyylinder beobachten, dies kann wegen der großen Nähe des Zerstörungsherdes nicht viel bedeuten. Dagegen findet man im gegenseitigen Oculomotoriuskern an der gleichen Stelle, wie nach Zerstörung der lateralen Kniehöcker ähnliche Degenerationserscheinungen. Aus diesem und dem im vorigen Kapitel erhobenen Befund kann man darauf schließen, daß die afferenten Reflexfasern durch dieses Gebiet nur hindurchlaufen.

4. Zerstörung der vorderen Vierhügel.

Auch sehr ausgedehnte Zerstörungen der vorderen Vierhügel verursachen keine Pupillenveränderungen, wie dies schon *Spiegel* (1927) bewies, falls nicht der vordere Vierhügelarm oder der vorderste Teil des Vierhügels (prätektale Region) in Mitleidenschaft gezogen sind. Im Einklang hiermit konnte ich 7—8 Tage nach solchen Zerstörungsherden im gesamten Gebiet der Oculomotoriuskerne überhaupt keine degenerierenden Achsenzyylinder beobachten, abgesehen von gelegentlichen, offenbar durchlaufenden Fasern. Dies steht mit der landläufigen Ansicht über die Existenz von efferenten Verbindungen der vorderen Vierhügel zu den Oculomotoriuskernen im Gegensatz, aber im besten Einklang zu den Feststellungen *Ransons* und *Magouns* über das Fehlen von irgendwelchen Beziehungen zwischen Vierhügeln und der Lichtreflexbahn.

5. Zerstörung der hinteren Commissur.

In mehreren Fällen gelang es, die hintere Commissur ohne wesentliche Nebenverletzungen zu zerstören, jedenfalls blieben die vorderen Vierhügel und die prätektale Region sowie das zentrale Höhlengrau unversehrt (Abb. 3). Solche Zerstörungen führen zu einer beiderseitigen und ganz symmetrischen maximalen Erweiterung der Pupillen. Der Lichtreflex war in den ersten Tagen nach der Operation kaum nachweisbar, nach einigen Tagen ganz schwach, jedoch konsensuell.

Bei Verarbeitung der Versuchstiere nach 7 Tagen Lebensdauer richtete ich mein Augenmerk vor allem auf eventuelle Degenerationserscheinungen in den Oculomotoriuskernen. An nach *Bielschowsky-Gross* imprägnierten Präparaten waren in den großzelligen Kernen, abgesehen von deren rostraler Spitze¹, überhaupt keine in Degeneration

¹ Auf eine Erklärung dieser Erscheinung kann hier nicht eingegangen werden, sie soll einer demnächst zu veröfentlichenden Arbeit über das hintere Längsbündel vorbehalten werden.

begriffene Achsenzylinder zu beobachten. Dies zeigt deutlich, daß aus der hinteren Commissur im allgemeinen unmittelbar keine Fasern in die großzelligen Kerne gelangen, was ein ungemein glücklicher Umstand für die folgenden Beobachtungen ist. An beiden Seiten konnte ich an der gleichen Stelle wie nach Zerstörung der lateralen Kniehöcker deutliche Degenerationszeichen beobachten. Es handelt sich durchwegs um ganz feine marklose Achsenzylinder, die an der Grenze zwischen großzelligem und kleinzelligem Kern aus dem hinteren Längsbündel in die graue Substanz einstrahlen und an den, die hier befindlichen Ganglienzellen umspinnen, feinen Faserflechten teilnehmen. Unter den sehr dicht aneinanderliegenden kleineren Ganglienzellen, die zwischen den beiden vorderen divergierenden Teilen des großzelligen Oculomotoriuskernes liegen, konnte ich nie degenerierende Achsenzylinder beobachten. Degenerierte Achsenzylinder zeigen sich nur in einer relativ schmalen Zone unmittelbar dorsal vom großzelligen Oculomotoriuskern, gegen die Mittellinie verlieren sich diese Fasern mehr und mehr.



Abb. 3. Isolierte Zerstörung der hinteren Commissur.

Vor der rostralen Spitze des großzelligen Oculomotoriuskernes fand ich auch zahlreiche in Degeneration begriffene Fasern, es sind offenbar dieselben, die auch nach Zerstörung der lateralen Kniehöcker an dieser Stelle vorgefunden wurden.

Diese Befunde zeigen sehr deutlich, daß das zweite Neuron der afferenten Pupillenreflexbahn stets bis zu Ganglienzellen verfolgt werden kann, die unmittelbar dorsal und vor den großen Oculomotoriuszellen liegen. Inwieweit diese Zellen mit dem sog. kleinzelligen Oculomotoriuskern übereinstimmen, möchte ich in der Besprechung der Befunde erörtern.

In einigen Fällen legte ich größere, wenngleich oberflächliche Zerstörungen an der hinteren Commissur an. Erstreckte sich der Herd seitlich über die Grenzen der das Anfangsstück des Aquäduktes umgebenden grauen Substanz hinaus (Abb. 4), so konnte ich stets eine vollkommene Pupillenstarre auf Lichteinfall beobachten. Dagegen waren bei Augenbewegungen manchmal Pupillenbewegungen deutlich zu beobachten. Die Degenerationserscheinungen dorsal vom Oculomotoriuskern waren die gleichen, wenngleich hochgradiger als nach isolierter Zerstörung der hinteren Commissur.

6. Zerstörungen im Gebiete des zentralen Höhlengraues.

Um über den Verlauf der afferenten Reflexfasern zwischen der hinteren Commissur und dem Oculomotoriuskern Klarheit zu ver-

schaffen, nahm ich Zerstörungen im vordersten Teile des zentralen Höhlengraues vor. *Reizexperimente* können uns an dieser Stelle wenig helfen, und zwar aus folgendem Grunde: Reizungen im vorderen Höhlengrau haben stets starke Pupillenerweiterung zur Folge, was darauf hindeutet, daß es an dieser Stelle wesentliche übergeordnete sympathische Zentren oder absteigende Bahnen gibt. Diese Pupillenerweiterung ist so stark und leicht auslösbar, daß sie eventuelle Verengerungsreaktionen der Pupillen sicher auslöscht. Degenerationsexperimente können an dieser Stelle wegen der großen Nähe des Oculomotoriuskernes nicht verwertet werden. Es blieb hier also nichts weiter übrig, als nach Zerstörungs-

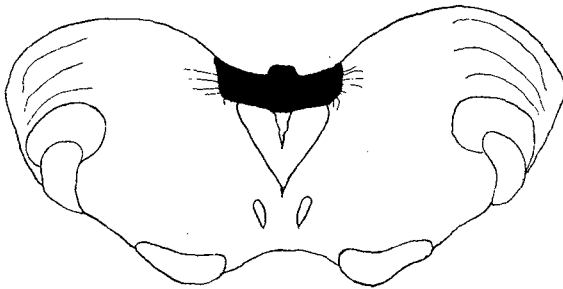


Abb. 4. Größerer Herd mit Zerstörung der hinteren Commissur und der prätektalen Region bis zur lateralen Grenze des zentralen Höhlengraues.

herden in diesem Gebiete das Verhalten der Pupillen nach der Operation zu studieren.

In allen Fällen konnte ich beobachten, daß *Zerstörungsherde* im vordersten Teile des Höhlengraues keine Pupillenerweiterung oder Ausfall des Lichtsreflexes verursachen, seien sie noch so ausgedehnt, falls sie nicht über die seitlichen Grenzen desselben hinausgehen. Selbst bei mitbetroffenem *Nucleus interstitialis* fand ich keine gleichseitige Pupillenerweiterung, wie dies zu erwarten wäre, wenn die Annahme von *Ranson* und *Magoun* den Tatsachen entspräche, daß die afferenten Reflexfasern zwischen dem *Darkschewitsch*schen und dem *Interstitialkern* durchlaufen. Gleichseitige Pupillenerweiterung fand ich nur in jenen Fällen, bei denen der Herd etwas über die seitlichen Grenzen des *Interstitialkernes* hinausging.

Irgendwelche Degenerationserscheinungen im Oculomotoriusstamme konnte ich auch nach sehr ausgedehnten Zerstörungen des vorderen Höhlengraues, mit Zerstörung des *Darkschewitsch*schen und des *Interstitialkernes* nie beobachten.

Diese Befunde deuten darauf hin, daß der letzte Abschnitt der afferenten Reflexfasern folgenden Verlauf hat: Die aus der *hinteren Commissur* austretenden gekreuzten Fasern gesellen sich wahrscheinlich in der Gegend der seitlichen Grenzen der grauen Substanz zu den ungekreuzten, die aus der *prätektalen Region* in die Tiefe eindringen.

Gemeinsam verlaufen sie seitlich vom *Nucleus interstitialis* in ventro-caudaler Richtung, um sich dem sich ausbildenden *hinteren Längsbündel* anzuschließen, in dem sie in caudaler Richtung bis zur Höhe des Oculomotoriuskernes verlaufen. In dieser Höhe angelangt, biegen sie an der dorsalen Grenze des großzelligen Oculomotoriuskernes in die graue Substanz ein.

7. Zerstörungsherde im kleinzelligen Oculomotoriuskern.

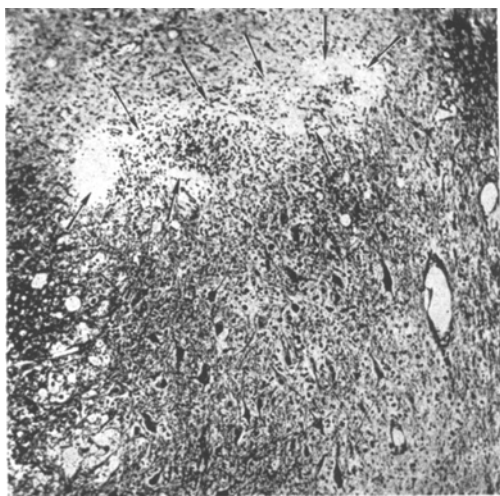
Reizversuche in diesem Gebiet sind auch bei Anwendung der feinsten Elektroden nicht allzu brauchbar. Bei Reizung der vorderen Hälfte des Oculomotoriuskernes kann man wohl meist neben den Augenbewegungen auch eine leichte Verengerung der Pupillen beobachten, doch dies beruht wahrscheinlich auf einer Mitreizung der durch den großzelligen Kern hindurchtretenden vegetativen Wurzelfasern. Trotz der geringen Deutlichkeit der Reizergebnisse gewinnt man den Eindruck, daß die Ursprungszellen des Irissphincters etwas dorsal von den Ursprungszellen der äußeren Augenmuskeln liegen. Tastet man sich nämlich mit der Elektrode aus dem großzelligen Kern Zehntelmillimeter für Zehntelmillimeter nach oben, so gelangt man oft zu einem Punkt, an dem man Augenbewegungen kaum, aber eine deutliche Verengerung der Pupille beobachten kann. Diese Reaktion wird jedoch nur zu oft durch die vom Höhlengrau auslösbare Pupillenerweiterung ausgelöscht.

Es gelang in einigen Fällen *Zerstörungsherde* von verschiedener Größe im Höhlengrau anzulegen, die sich bis zur dorsalen Grenze des großzelligen Oculomotoriuskernes erstreckten (Abb. 5). Lag dieser Herd über dem vorderen Teile des großzelligen Kernes, so war nach dem Eingriff stets eine gleichseitige Pupillenerweiterung zu beobachten, freilich nur geringeren Grades, da die Größe eines solchen Herdes, um Nebenverletzungen zu verhüten, gering sein mußte. Die Tiere wurden nach 4 Tagen getötet, welche Zeit für die Ausbildung der Achsenzylinderdegeneration an der Peripherie am günstigsten ist. Im Mittelhirn konnte deutlich beobachtet werden, daß aus der dorsal vom großzelligen Kern liegenden zerstörten Zone in Degeneration begriffene, meist dünnere Fasern sich den Wurzelfasern des Oculomotorius hinzugesellen. In der *Radix brevis ganglii ciliaris* konnten in solchen Fällen stets deutlich degenerierende Achsenzylinder beobachtet werden (Abb. 6). Eine Degeneration an dieser Stelle konnte nie nachgewiesen werden, wenn der Herd über der hinteren Hälfte des großzelligen Kernes lag, oder aber zwischen der zerstörten Zone und dem großzelligen Kern ein größerer Zwischenraum, also etwa 200 μ übrigblieb.

In einem Falle lag der Herd einseitig und ging in der Mittellinie nur in ganz geringem Maße auf die andere Seite über, trotzdem war auf der anderen Seite nicht ein einziger degenerierter Achsenzylinder in der *Radix brevis ganglii ciliaris* zu beobachten. Dies zeigt nicht nur,

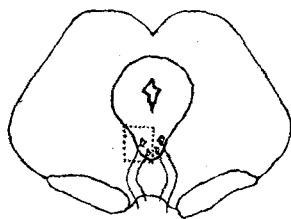
daß sich die Wurzelfasern der vegetativen Fasern nicht kreuzen, sondern zugleich, daß aus den in der Mittellinie gelegenen Zellen keine vegetativen Oculomotoriusfasern entspringen.

Degenerationserscheinungen in der *Radix brevis ganglii ciliaris*



a

konnten jedoch auch in Fällen beobachtet werden, wenn das Gebiet unmittelbar vor dem vorderen Ende des großzelligen Kernes zerstört wurde. In solchen Fällen war die Degeneration in der *Radix brevis*



b

Abb. 5. a Zerstörungsherd dorsal von dem vorderen Teile des großzelligen Oculomotoriuskernes; b Situationsskizze.

ziemlich hochgradig — zum Zeichen, daß aus diesem Gebiet ein beträchtlicher Teil der vegetativen Oculomotoriusfasern entspringt. Von

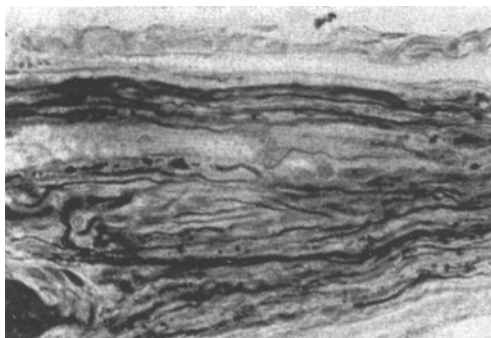


Abb. 6. *Radix brevis ganglii ciliaris* 4 Tage nach Zerstörung des Gebietes unmittelbar dorsal der vorderen Hälfte des großzelligen Oculomotoriuskernes. Degeneration der Achsenzylinder. Bielschowsky-Gross-Imprägnation. Vergr. 800 ×.

den Nerven für die äußeren Augenmuskeln fand ich in solchen Fällen nur in dem Ast für den *M. rectus inf.* einige Achsenzylinder in Degeneration begriffen (vgl. meine Arbeit über die Lokalisation des Oculomotoriuskernes in dieser Zeitschrift).

Besprechung der Befunde.

Im Laufe meiner Untersuchungen konnte ich die neuesten Untersuchungsergebnisse von *Ranson* und *Magoun* über den Verlauf der afferenten Pupillenreflexbahn im wesentlichen bestätigen und durch morphologische Beweise ergänzen, sowie die neuronale Gliederung dieser Leitungsbahn klarlegen. Es scheint mir jedoch als notwendig, einzelne wichtige Punkte des ganzen Reflexbogens, vor allem aber meine Befunde über den Ursprung der vegetativen Oculomotoriusfasern eingehender zu erörtern.

Die den Opticusfasern ähnliche Kreuzung der Reflexfasern im *Chiasma* ist schon seit längerer Zeit bewiesen, vor allem durch die wiederholt vorgenommene sagittale Durchtrennung desselben, so daß über diese Frage nichts weiter zu sagen ist; bei der Besprechung der inneren Kreuzung der Reflexfasern muß ich jedoch auf diesen Gegenstand noch kurz zurückkehren.

Meine Experimente zeigen, daß nach einseitiger Zerstörung des *Tractus opticus* die gegenseitige Pupille weiter ist als die gleichseitige und auf Licht schwächer reagiert. Dieser Befund, der in der menschlichen Pathologie gleichweise beobachtet wurde (*Behr*), zeigt, daß ein Tractus mit dem gegenseitigen Sphinkterkern in engerer, jedoch nicht in ausschließlicher Beziehung steht. Das Fehlen einer Degeneration nach Entfernung eines Auges, oder Zerstörung eines Tractus in der *hinteren Commissur* oder in der Nähe des Oculomotoriuskernes deutet darauf hin, daß Fasern retinalen Ursprungs nicht unmittelbar zu den Oculomotoriuskernen gelangen, wie dies einige Autoren annahmen.

Es fragte sich nun, wo die Umschaltung, d. h. der Ursprung des zweiten afferenten Neurons zu suchen ist. *Ranson* verlegte diesen Punkt in die prätektale Region, da man mittels der *Marchi*-Methode Opticusfasern bis in diese Gegend verfolgen kann. In der Tat konnte ich nach Zerstörung einer prätektalen Region hauptsächlich an der Gegenseite dorsal vom vorderen Teile des großzelligen Oculomotoriuskernes Achsenzylinderdegenerationserscheinungen beobachten. Es kann sich aber nach meinen Untersuchungen viel eher um durchlaufende Fasern handeln, da man an der gleichen Stelle Degenerationserscheinungen auch nach Zerstörungsherden im *Corpus geniculatum laterale* beobachten kann.

Eine Läsion der dorsalen Lamellen des lateralen Kniehockers führt weder zu Pupillenveränderungen noch zu Degenerationserscheinungen im Oculomotoriuskern. Sind jedoch auch die basaleren Schichten des Kniehockers betroffen, so findet man stets ein Weiterwerden der gegenseitigen Pupille und degenerierende Achsenzylinder im dorsalen Teile der hinteren Commissur und unmittelbar dorsal vom großzelligen Oculomotoriuskern. Dieser Befund deutet mit großer Exaktheit dahin, daß Fasern des zweiten afferenten Reflexneurons aus den basaleren Schichten des lateralen Kniehockers entspringen. Bekanntlich haben *Balado* und

Franke den Ursprung dieses Neurons in die 5. und 6. Schicht des Kniehöckers verlegt. Dies wäre mit meinen Experimenten wohl zu

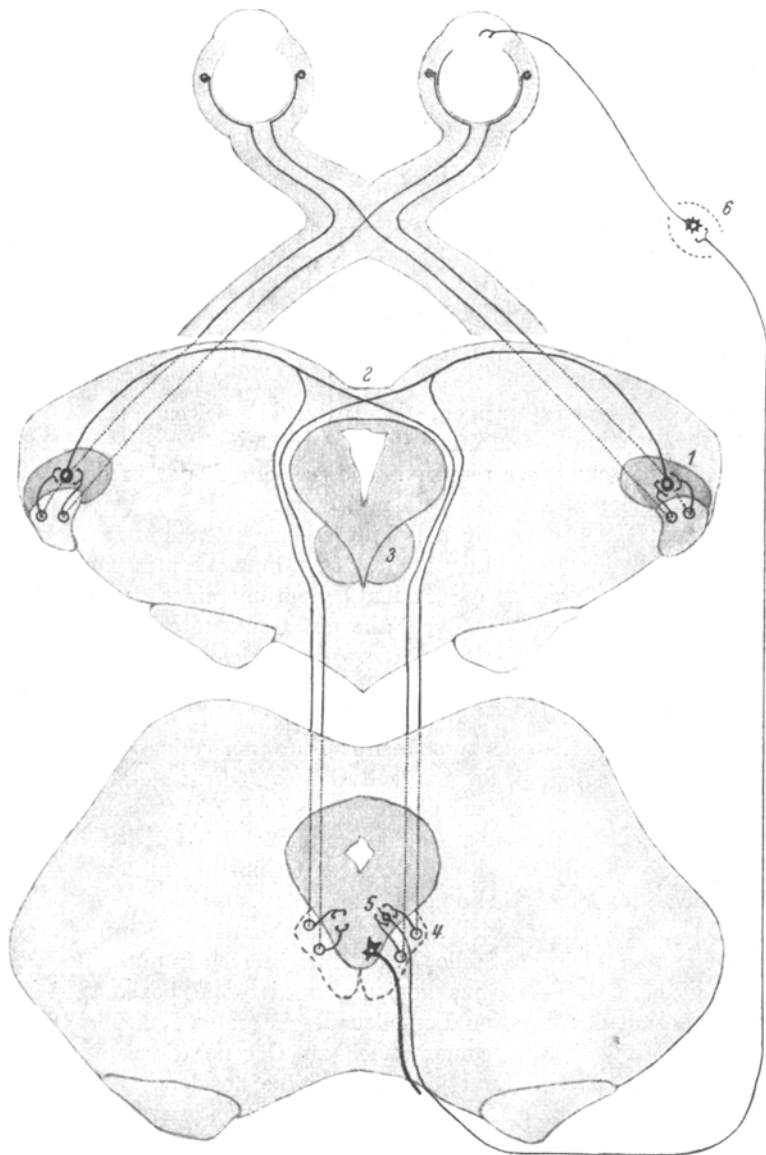


Abb. 7. Schematische Darstellung der Pupillenreflexbahn. 1 Corpus genic. lat.; 2 hintere Commissur; 3 Nucl. interstitialis; 4 hinteres Längsbündel; 5 kleinzelliger Oculomotoriuskern; 6 Ganglion ciliare.

vereinbaren. Nur scheint es sich hier um ziemlich dünne Fasern zu handeln, die wahrscheinlich aus kleineren Ganglienzellen entspringen.

Der nächste wichtigere Punkt bezüglich der Reflexbahn ist die Kreuzung der afferenten Fasern in der *hinteren Commissur*. Die Kreuzung der Reflexbahn ist wohl hochgradig, jedoch nicht vollkommen, was aus dem Erhaltenbleiben des Lichtreflexes nach deren Zerstörung klar hervorgeht. Dies bezieht sich jedoch nur auf die Katze und den Hund. Beim Kaninchen z. B., wo bekanntlich im Chiasma eine vollkommene Kreuzung aller Fasern eintritt, müssen sich in der hinteren Commissur alle Reflexfasern wieder kreuzen, da es sonst unerklärlich wäre, warum bei diesen Tieren der Lichtreflex nicht konsensual ist, sondern nur am belichteten Auge eintritt. Es scheint also ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Opticuskreuzung im Chiasma und dem Grad der Kreuzung der Reflexfasern in der hinteren Commissur vorzuliegen, in dem Sinne, *daß je mehr Fasern sich im Chiasma kreuzen, desto größer die Rückkreuzung der Reflexfasern ist, und umgekehrt*. Dies würde für den Menschen bedeuten, daß die Zahl der gekreuzten Fasern etwas höher ist als die der ungekreuzten, die Kreuzung jedoch nicht so hochgradig ist wie z. B. bei der Katze, wo auch die Opticuskreuzung im Chiasma ziemlich hochgradig ist. Freilich sind die sich in der hinteren Commissur kreuzenden Fasern nicht sämtlich dieselben, die sich auch im Chiasma kreuzten; sonst wäre der Lichtreflex beim Menschen und höheren Säugern auch nicht konsensual, sondern nur einseitig. Der Begriff Rückkreuzung kann sich folglich nicht auf einzelne Fasern (oder richtiger auf gesonderte zweigliedrige Neuronketten) beziehen, sondern nur auf die gesamte Leitungsbahn. Überhaupt müssen wir auf Grund der mittels der *Golgi-Methode* im lateralen Kniehöcker gemachten Erfahrungen annehmen, daß eine Reflexfaser retinalen Ursprunges ihre Reize auf mehrere Ganglienzellen überträgt, deren Fortsätze zum Teil gekreuzt, zum Teil ungekreuzt zum Oculomotoriuskern ziehen. Ob, wie es der Einfachheit halber im Schema angegeben ist, bei einem zweiten afferenten Neuron der eine Ast gekreuzt und eventuell ein anderer ungekreuzt verlaufen kann, entzieht sich freilich unserer Beobachtung.

Die Annahme, daß die vorderen Vierhügel mit dem Lichtreflex etwas zu tun haben, wurde schon durch ziemlich alte Feststellungen und endgültig durch die neueren Untersuchungen *Ransons* und *Magouns* widerlegt. Meine Untersuchungen bilden hierzu noch eine, wenn auch meines Erachtens schon überflüssige, morphologische Stütze, so daß diese veraltete Annahme langsam aus den Lehrbüchern gestrichen werden könnte.

Eine weitere Frage ist jene nach dem Verlaufswege der ungekreuzten Fasern und der gekreuzten nach Verlassen der hinteren Commissur bis zum Oculomotoriuskern. Meine Untersuchungen zeigen, daß sie jedenfalls nicht im zentralen Höhlengrau verlaufen. Aus dem Fehlen wesentlicher Pupillenerscheinungen nach Mitbetroffensein des *Interstitialkernes* bei solchen Eingriffen schließe ich, daß auch die Annahme *Ransons* über einen Verlauf zwischen *Darkschewitsch*schem und *Interstitialkern* nicht richtig sein kann. Aus den größeren Läsionen, die eine

vollkommene Aufhebung des Pupillenreflexes zur Folge haben, schließe ich, daß die ungekreuzten Fasern in der prätektalen Region in die Tiefe dringen, wo sich ihnen die gekreuzten Fasern dorsal vom Interstitialkern hinzugesellen. Hier laufen sie um den Interstitialkern seitlich und nach hinten herum und gesellen sich zu dem sich ausbildenden hinteren Längsbündel, in welchem sie in caudaler Richtung bis zum Oculomotoriuskern verlaufen.

Die Endigung der Reflexfasern an kleineren Zellen dorsal vom vorderen Teile des großzelligen Oculomotoriuskernes deutet dahin, daß der Sphincterkern an dieser Stelle zu suchen ist. Bekanntlich wurde dies im Schrifttum auch im großen und ganzen so angenommen, indem die vegetative Funktion des Oculomotorius dem *Edinger-Westphalschen* Kerne zugeschrieben wurde. Nun fragt es sich aber zuerst, was wir unter dieser Bezeichnung verstehen. Im weitesten Sinne verstehen viele Autoren unter diesem Begriff die Gesamtheit jener kleinen Ganglienzellen, die rostral von der vorderen Spitze des Oculomotoriuskernes als *Nucleus medianus anterior* beginnen und sich im ventralen Teil des Höhlengraues nach hinten bis gegen die Mitte des großzelligen Oculomotoriuskernes ausbreiten. Der hintere Teil dieser Zellansammlung sondert sich in drei Gruppen, nämlich in zwei, je einem großzelligen Kern dorsal aufliegende und eine mittlere, zwischen den nach vorn divergierenden Teilen der großzelligen Kerne gelegene Zellgruppe. Andere Autoren betrachten den vorderen Teil dieser Zellansammlung als einen selbständigen Kern. *Aus meinen Befunden ist ersichtlich, daß ich Reflexfasern nur in den dem großzelligen Kern vorgelagerten und in den dorsal von den großzelligen Kernen liegenden Zellgruppen vorfand.* Dies wäre sehr einfach mit der Annahme erklärlich, daß die in der Mittellinie liegenden Zellen eben nicht den Irissphincter, sondern den Ciliarmuskel versorgen. Diese sehr gefällige Annahme wird jedoch durch folgende Überlegung zunichte gemacht. Zwischen der Zellenzahl des im weitesten Sinne genommenen *Edinger-Westphalschen* Kernes und der Faserzahl in der *Radix brevis ganglii ciliaris* besteht ein offenkundiges Mißverhältnis, was eigentümlicherweise bisher niemanden auffiel. In einer kürzlich erschienenen Arbeit über das Verhältnis prä- und postganglionärer Fasern berichtet *Wolf* (1941), daß die in mehreren Fällen untersuchte Achsenzylinderzahl in der *Radix brevis ganglii ciliaris* der Katze durchschnittlich 2000 ist, ich selbst bestimmte diese vor einigen Jahren beim Menschen, wo ich 2500 Achsenzylinder (nicht Markscheiden!) vorfand. Daß die Zellenzahl im, auch in engstem Sinne genommenen, *Edinger-Westphalschen* Kerne viel größer ist, erkennt man schon bei oberflächlicher Betrachtung einer Schnittserie. An einer Schnittserie eines Katzenhirnes (*Nissl*-Bild) bestimmte ich nur die Zahl derjenigen Ganglienzellen (Zählung der Nukleolen), die in der mittleren Zellgruppe liegen, und fand sie bei sehr vorsichtiger Abgrenzung des abgezählten Gebietes als etwas über 10000.

Die Gesamtzahl der als *Edinger-Westphalscher* Kern im weiteren Sinne bezeichneten Ganglienzellen mag ungefähr das doppelte dieser Zahl betragen. Es würde also der Ursprungskern der vegetativen Fasern etwa 5mal soviel Ganglienzellen enthalten, als es solche vegetative Fasern im Oculomotorius überhaupt gibt. Dies ist nicht anders verständlich als durch die Annahme, daß nicht aus allen Ganglienzellen des kleinzelligen Oculomotoriuskernes vegetative Oculomotoriusfasern entspringen. Es wäre jedoch meines Erachtens sinnlos anzunehmen, daß $\frac{4}{5}$ des vegetativen Oculomotoriuskernes irgendeine assoziative oder sonstige Funktion hätten und nur $\frac{1}{5}$ durch Ausläufer an der Bildung der *Radix brevis ganglii ciliaris* teilnehmen. Vielmehr glaube ich, daß der größere Teil der in diesen Gebieten vorfindbaren Ganglienzellen eine ganz andere, allerdings ebenfalls vegetative Funktion besitzt. Nun fragt es sich, welches jene Zellen sind, aus denen die vegetativen Fasern des *N. oculomotorius* nun in der Tat entspringen. Dies läßt sich aus meinen Befunden mit ziemlicher Sicherheit ablesen. Endigungen der Pupillenreflexfasern fanden sich nach Zerstörung des zweiten afferenten Neurons an verschiedenen Stellen seines Verlaufs (Corp. gen. lat.; prätektale Region; hintere Commissur) in ganz übereinstimmender Weise in dem Gebiete unmittelbar vor der Spitze des großzelligen Kernes und dorsal von dessen vorderen Hälfte, jedoch niemals in der Mittellinie unter den kleineren Zellen, die sich zwischen die divergierenden vorderen Teile der Oculomotoriuskerne einschieben. In vollstem Einklange hiermit konnte ich bei Zerstörung dieser Gebiete die sekundäre Degeneration der Achsenzylinder in der *Radix brevis ganglii ciliaris* gut beobachten. Daß die in der Mittellinie gelegenen vegetativen Ganglienzellen keine Fortsätze in den *N. oculomotorius* senden, geht aus folgender meiner Beobachtungen hervor. In einem meiner Fälle reichte der einseitige, dorsal vom großzelligen Kern gelegene Zerstörungsherd etwas über die Mittellinie hinaus. Die Degeneration in der *Radix brevis ganglii ciliaris* war dagegen streng einseitig, was dagegen spricht, daß die vegetativen Oculomotoriusfasern aus einem unpaarigen, in der Mittellinie gelegenen Kerne entspringen. In einem anderen Falle reichte ein Zerstörungsherd im Höhlengrau in der Mitte bis zu den Zellen dieses mittleren Kernes hinab, ohne daß im Oculomotorius die geringsten Zeichen einer Degeneration zu beobachten gewesen wären. Auf Grund dieser Beobachtungen können wir die in der Mittellinie gelegenen Zellen als Ursprungsgebiet der vegetativen Oculomotoriusfasern ausschalten, unter gleichzeitiger Feststellung, daß die pupillomotorischen Fasern des Oculomotorius keine, sei es auch nur teilweise Kreuzung haben, was im übrigen auch mit klinischen Erfahrungen, wie z. B. einseitige reflektorische Pupillenstarre, nicht zu vereinbaren wäre.

Schaltet man die in der Mittellinie gelegenen Ganglienzellen auch aus unseren weiteren Überlegungen aus, so ist die Zahl der Ganglienzellen

in den dorsal und vor den großzelligen Oculomotoriuskernen gelegenen Kerngebieten, aus denen die vegetativen Oculomotoriusfasern zweifellos entspringen, noch immer zu groß im Verhältnis zu der Zahl der vegetativen Fasern. Bei dieser Schwierigkeit kann uns jedoch das *Nissl*-Bild weiterhelfen. Die Ganglienzellen der kleinzelligen Oculomotoriuskerne werden in der Regel wie folgt beschrieben: Kleine bipolare oder spitzdreieckige Ganglienzellen mit verhältnismäßig großem Kern.

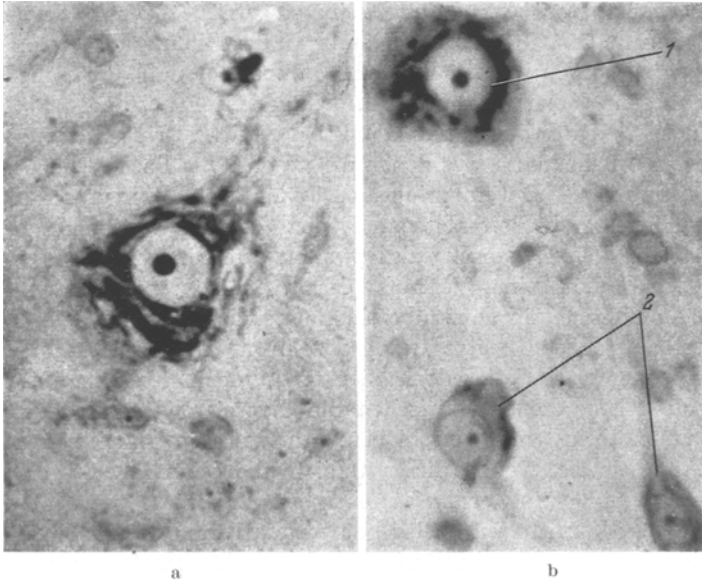


Abb. 8. a Große motorische Oculomotoriuszelle; b Zellen des kleinzelligen Kernes. 1 Mittegroßer, 2 kleiner Zelltyp. *Nissl*-Bild. Vergr. 800 \times .

Das Tigroid ist in der Nähe des Kernes feinstaubig, an der Peripherie der Zelle dagegen in einige grobe Schollen zusammengebacken. Diese Beschreibung wie auch die meisten Abbildungen treffen am besten gerade für die in der Mittellinie liegenden Zellen zu. Ganz ähnlich sehen auch viele Zellen der dorsal vom großzelligen Kern gelegenen Gruppen aus, es finden sich darunter jedoch auch Zellen von ganz anderem Typ (Abb. 8b). Die zahlreichen Übergänge zwischen diesen beiden Zellsorten sowie jene zwischen der letzteren Sorte und den großen motorischen Zellen hielten die Autoren vermutlich davon ab, diesen zweiten Zelltyp der kleinzelligen Kerne besonders abzugrenzen, obwohl sie von den meisten Autoren erwähnt werden. Die Zellen dieses Typs sind multipolar oder dreieckig, wesentlich größer als die erwähnten bipolaren Zellen, jedoch deutlich kleiner als die großen motorischen. Ihre Dendriten lassen sich mit den neurofibrillären Methoden im Gegensatz zu den allgemein beschriebenen Zellen leicht darstellen, ihre *Nissl*-Substanz ist

der der großen motorischen Zellen ziemlich ähnlich. Zellen solchen Typs finden sich meist zu engen Gruppen gelagert an folgenden Stellen: eine Gruppe liegt meist in der Ecke zwischen großzelligem Kern und hinterem Längsbündel, vereinzelter liegen sie dann längs der ganzen Dorsalgrenze des großzelligen Kernes, schließlich findet sich noch eine Gruppe über der dorsomedialen Ecke des großzelligen Kernes, welche sich jedoch von den kleineren Zellen der Mittellinie gut abhebt. Von den großen motorischen Zellen sondern sich diese Zellgruppen besonders im Neurofibrillenbild gut ab; ersteren geben nämlich die groben, reich verzweigten Dendriten ein charakteristisches Bild, von dem das feinere Fasergeflecht des kleinzelligen Kernes gut absticht. In der Gegend der rostralen Spitze des großzelligen Kernes werden diese Zellen zusehends größer und vermischen sich scheinbar mit dem großzelligen Kern, so daß es in Schnittserien schwer wird, festzustellen, ob man es mit den ersten Zellen des großzelligen Kernes zu tun hat oder mit den diesem vorgelagerten vegetativen Ganglienzellen.

In der erwähnten Schnittserie eines Katzenmittelhirns bestimmte ich die Zahl dieser mittelgroßen Zellen und fand auf einer Seite etwa 2000, was mit der Faserzahl in der *Radix brevis ganglii ciliaris* in vollstem Einklange steht. Auch sonst ist es aber logisch, den Ursprung der vegetativen Fasern in diesen mittelgroßen Ganglienzellen zu suchen. Die Innervation der glatten Muskeln des Auges gehört wohl dem Prinzip nach zu der vegetativen, in funktioneller Hinsicht nimmt sie jedoch eine im ganzen übrigen vegetativen Nervensystem nicht auffindbare Sonderstellung ein. Man denke hierbei an die Willkürlichkeit der Akkommodation und an die prompte Reaktion des Sphincters, beides Eigenschaften, die der vegetativen Nervenfunktion sonst fremd sind. Es würde auch zu weit führen, alle morphologischen Eigenschaften aufzuzählen und einzeln zu erörtern, in denen das *Ganglion ciliare* und die mit ihm zusammenhängenden Fasern von anderen vegetativen Ganglien abweicht. Unter anderen sei nur kurz erwähnt, daß die Ganglienzellen des *Ganglion ciliare* vorwiegend zum höher differenzierten kurzdendritigen Typ gehören, beim Menschen und den Vögeln (*v. Lenhossék*) zu einem ganz speziellen, sonst nicht beobachteten Typ, daß ferner sämtliche postganglionäre Fasern dieses Ganglions eine fast mitteldicke Markscheide besitzen und daß endlich die Endigung dieser Fasern in den glatten Muskeln des Auges (*Boeke* 1933) von den ganz diffusen plexiformen Nervenendigungen in anderen glatten Muskeln wesentlich abweicht. Hierzu kommt, daß die inneren Augenmuskeln bei Vögeln zum Teil quergestreift sind. Dies alles deutet darauf hin, daß wir es hier mit einem Innervationsmodus zu tun haben, der höher differenziert ist als der anderer vegetativ innervierter Organe und der Innervation der willkürlichen quergestreiften Muskulatur näherkommt. Deswegen können wir billig erwarten, daß die Ursprungszellen dieser Fasern höher differenziert seien als die anderer

vegetativer Fasern. Vergleicht man aber die kleineren Zellen des *Edinger-Westphalschen* Kernes mit denen des *Nucleus intermedio-lateralis* im Rückenmark, so ist es unverkennbar, das letztere in jeder Beziehung einen höheren Zelltyp darstellen, dagegen sind die mittelgroßen Zellen dorsal vom Oculomotoriuskern wieder entschieden höher differenziert als die Zellen des Seitenhornes. Als letztes Argument für meine Annahme erwähne ich noch die alte Erfahrung, daß die Fortsätze großer Ganglienzellen dick, kleinerer dagegen dünn sind. Die vegetativen Oculomotoriusfasern sind nun zweifellos dünner als die meisten motorischen, jedoch dicker als die präganglionären Fasern in den *Rr. communicantes* der Rückenmarksnerven.

Was die vermutliche Funktion der kleineren Ganglienzellen dieses Gebietes anbetrifft, so glaube ich, daß sie eine vegetative Funktion besitzen, um so mehr, als sie den Zellen in den vegetativen Zentren des Hypothalamus in allem gleichen. Dies geht auch aus meinen nebenbei in diesem Gebiet gewonnenen Reizergebnissen hervor, die durch die oft beobachtete Pupillenerweiterung und andere Sympathicusreizungserscheinungen oft gestört wurden; die Funktion dieses Gebietes jedoch zugleich verrieten. Ich möchte meinen später über diesen Gegenstand zu veröffentlichenden Untersuchungen hier nicht vorgreifen und will deshalb nur so viel erwähnen, daß der *Darkschewitschsche* Kern sowie der größte Teil des zentralen Höhlengraues als ein sympathisches Zentrum zu betrachten sei, das zwischen Hypothalamus und Rückenmark eingeschaltet ist.

Es erhebt sich nun die Frage, welches Gebiet als das Akkommodations- und welches als das *Sphincterzentrum* zu betrachten sei. Die Endigungsweise der afferenten Pupillenreflexfasern an den Ursprungszellen der vegetativen Oculomotoriusfasern spricht gegen irgendeine Lokalisation in diesem Sinne. Wir müssen uns jedoch von voreiligen Schlüssen in acht nehmen. Eines ist sicher: Kleine Zerstörungsherde dorsal von der (in rostrocaudaler Richtung gerechneten) Mitte des Oculomotoriuskernes haben eine gleichseitige Pupillenerweiterung zur Folge, folglich müssen die Sphincterfasern (*auch*) aus dem hinteren Teil des vegetativen Oculomotoriuskernes entspringen. Daß sie jedoch auch aus dem vorderen, vor dem großzelligen Kern liegenden Teile dieses Kernes entspringen, ist mindestens wahrscheinlich. Die Erscheinungen nach Zerstörung des Gebietes unmittelbar vor den großzelligen Kernen sind nicht klar, so daß ich mich in dieser Frage allein auf die Endigungsweise der afferenten Fasern stützen kann, die entschieden gegen ein gesondertes Akkommodations- und Sphincterzentrum spricht.

Ich fühle mich nicht berufen, diese Untersuchungsergebnisse mit klinischen Befunden am Menschen in Einklang zu bringen. Soweit ich mich jedoch an Hand des einschlägigen Schrifttums orientieren konnte,

stehen diese Untersuchungsergebnisse mit den klaren klinischen Erfahrungen nicht im Widerspruch. Schließlich möchte ich noch erwähnen, daß die von *Ingvar* (1928) geforderte oberflächliche Lage für die Fasern des Pupillenreflexes in der Tat an einigen Stellen zutrifft, vor allem in der prätektalen Region und der hinteren Commissur, wo sie unmittelbar unter dem Ependym des Recessus pinealis verlaufen¹.

Zusammenfassung.

Mittels eines modifizierten *Horsley-Clarkeschen* Apparates und unter Anwendung der Achsenzylinderdegenerationsmethode wurde der Verlauf der Pupillenreflexbahn bestimmt. Die neueren mit Reizversuchen gewonnenen Ergebnisse von *Ranson* und *Magoun* über den groben Verlauf der afferenten Bahn konnten im allgemeinen bestätigt werden. Durch die Anwendung der Degenerationsmethode konnte der genaue neuronale Aufbau der gesamten Bahn, vor allem aber der Ursprung der vegetativen Oculomotoriusfasern, klargelegt werden.

Die afferenten Pupillenreflexfasern retinalen Ursprunges endigen im lateralen Kniehöcker in den ventralen Lamellen. Von hier entspringt ein zweites afferentes Schaltneuron, das in ganz oberflächlicher Lage über den vorderen Vierhügelarm und die prätektale Region gegen die hintere Commissur verläuft, in welcher sich die Mehrzahl der Fasern kreuzt. Die Reflexfasern liegen im dorsalsten Teile der hinteren Commissur, unmittelbar unter dem Ependym des Recessus pinealis. Gekreuzte und ungekreuzte Reflexfasern der anderen Seite gesellen sich einander außerhalb der seitlichen Grenze des zentralen Höhlengraues zu und schließen sich außerhalb vom Interstitialkern in ventro-caudaler Richtung herumlaufend dem hinteren Längsbündel an, aus dem sie alsbald zu den unmittelbar dorsal und vor den großzelligen Oculomotoriuskernen liegenden kleineren Ganglienzellen treten, an denen sie endigen.

Der efferente Schenkel der Reflexbahn nimmt seinen Ursprung aus diesen kleineren Ganglienzellen, wie es durch Anlegung kleiner Zerstörungsherde unmittelbar erwiesen werden konnte.

Die bestimmten Zahlenverhältnisse der Zellen in den *Edinger-Westphalschen* Kernen und der Fasern in der *Radix motoria ganglii ciliaris* lassen die Annahme, daß der gesamte Kern dem Ursprung vegetativer Oculomotoriusfasern diene, nicht zu. Bei genauer Analyse des Nissl-Bildes konnten im kleinzelligen Oculomotoriuskern zwei verschiedene

¹ Zufälligerweise war in einem Falle nicht die gesamte hintere Commissur, sondern nur ihr dorsalster dünnfaseriger Teil beschädigt. Trotzdem waren die Pupillenerscheinungen genau dieselben wie nach totaler Durchtrennung der Commissur. Dieser Befund zeigt, daß die Pupillenreflexfasern, wie dies schon die Befunde nach Zerstörung der lateralen Kniehöcker andeuteten, nur im dorsalsten, dem Ependym des Recessus pinealis anliegenden Teile der Commissur verlaufen.

Zellsorten unterschieden werden. Zahlreiche Argumente sprechen dafür, daß die vegetativen Oculomotoriusfasern nur aus den bisher stark vernachlässigten größeren Zellen dieser Kerne entspringen. Die in der Mittellinie zwischen den vorderen Enden des Oculomotoriuskernes liegenden Zellen haben zu den vegetativen Oculomotoriusfasern überhaupt keine Beziehungen.

Die Untersuchungsergebnisse sprechen gegen die Existenz eines gesonderten Akkommodations- und Sphincterzentrums.

Literatur.

- Balado-Franke*: Das Corpus gen. ext. Berlin: Springer 1937. — *Barnard*: J. comp. Neur. **73**, 235 (1940). — *Barris-Ingram-Ranson*: J. comp. Neur. **62**, 117 (1935). — *Boeke*: Z. mikrosk.-anat. Forschg **33**, 233 (1933). — *Gagel*: Lebensnerven und Lebenstrieb, 3. Aufl., S. 104ff. Berlin: Springer 1933. *Ingvar*: Bull. Hopkins Hosp. **43**, 363 (1928). — *Ranson and Magoun*: Arch. of Neur. **30**, 1193 (1933). — Arch. of Ophthalm. **13**, 791 (1935). — *Schimert*: Z. Anat. **108**, 761 (1938); **109**, 665 (1939). — *Spatz*: Handbuch der Neurologie, Bd. 1, S. 503ff. Berlin: Springer 1935. — *Spiegel* u. *Nagasaka*: Arch. f. Physiol. **215**, 120 (1927). — *Szentágothai-Schimert*: Z. Anat. **111**, 322 (1941). — *Wolf*: J. comp. Neurol. **75**, 235 (1941).