

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Pécs, Ungarn
(Vorstand: Prof. J. SZENTÁGOTHAI)

Der Hirnnervenanteil der Pyramidenbahn und der prämotorische Apparat motorischer Hirnnervenkerne

Von

J. SZENTÁGOTHAI und K. RAJKOVITS

Mit 5 Textabbildungen

(Eingegangen am 31. März 1958)

Über die zu den motorischen Hirnnervenkernen aus den motorischen Rindenfeldern absteigenden Fasersysteme herrscht große Unklarheit. Vor allem ihr Verlauf nach ihrem Austritt aus dem absteigenden Pyramidenbündel konnte infolge frühen Verlustes der Markscheide mittels der Marchi-Methode nicht geklärt werden. — Die Anwendung der Versilberungsmethoden für den Nachweis des Endigungsortes verschiedener Leitungsbahnen (SZENTÁGOTHAI-SCHIMERT 1941) führte im Einklang mit physiologischen Beobachtungen (LLOYD 1941) zur Erkenntnis, daß die Pyramidenfasern im Rückenmark überhaupt nicht unmittelbar mit motorischen Nervenzellen in synaptischem Kontakt stehen, sondern an kürzeren sogenannten „Schaltneuronen“ endigen. Die Lokalisation und Länge dieser Zwischenneuronen konnte sowohl physiologisch (LLOYD 1942), als auch histologisch festgestellt werden (SZENTÁGOTHAI 1951).

Bezüglich der corticalen Augenbewegungsbahnen müssen wir auf unsere früheren Untersuchungen (1943) hinweisen, nach denen (wenigstens bei der Katze) die aus den Augenbewegungsfeldern der Hirnrinde absteigenden Fasern nicht an den motorischen Neuronen der Augenmuskelkerne endigen. Als Zwischenneuronen wurden von uns die Kerne der hinteren Kommissur, vor allem der *Nucleus interstitialis Cajal* (für vertikale und rotatorische Augenbewegungen) und die dorsale *Formatio reticularis* im rostralen Mittelhirnsegment (für horizontale Augenbewegungen) angesprochen. Diese zunächst vorwiegend auf histologische Befunde (Degeneration der Synapsen) gegründeten Beobachtungen konnten später durch elektrische Reizungsexperimente unterstützt werden [SZENTÁGOTHAI 1950, vgl. ähnliche Befunde von HASSLER u. HESS (1954) bezüglich des Nucleus interstitialis]. Die Bedeutung des Nucleus interstitialis Cajal als supranucleares Zentrum für vertikale Augenbewegungen wurde seither für den Menschen klinischerseits verifiziert (ANGELERGUES-AJURIAGUERRA-HÉCAEN 1957).

Wir beschäftigten uns seinerzeit auch mit dem *Pyramidenanteil der übrigen motorischen Hirnnerven*, und konnten feststellen, daß auch hier die *absteigenden corticalen Fasern nicht unmittelbar mit den motorischen Hirnnervenneuronen in synaptischen Kontakt treten*. Als Zwischenneuronen wurden schon damals Nervenzellen der *Formatio reticularis* von Pons und Medulla angesprochen. Wegen Nachkriegsschwierigkeiten erschien aber darüber nur ein kurzer Bericht in ungarischer Sprache (1947). Wir hatten nämlich die Absicht, das ganze prämotorische System der Hirnnervenkerne einer eingehenden Analyse zu unterwerfen. In zufriedenstellender Weise gelang uns dies jedoch erst im Besitze der Nautaschen Imprägnationsmethoden, mit Hilfe derer die Versilberung der normalen Nervenformationen zurückgedrängt und jene der degenerierten hervorgehoben werden kann. — Mittlerweile erschien nun, während der Zusammenstellung dieses Manuskriptes, eine ausgezeichnete Arbeit von WALBERG (1957), die im internationalen Schrifttum zuerst die Nichtexistenz direkter Verbindung corticobulbärer Fasern mit motorischen Hirnnervenkernen darlegt, und als zwischengeschaltetes Bindeglied Neuronen der *Formatio reticularis* angibt. — Unsere vorzulegenden Befunde stimmen mit jenen WALBERGS in den wesentlichen Punkten überein, nur kann durch Anwendung der Nauta-Methode ein besserer Überblick über die präterminalen Verlaufsverhältnisse der corticalen Fasern gewonnen werden (vgl. Abb. 1).

In Anbetracht dieser Lage der Dinge verschieben wir das Gewicht unserer Darlegungen von der Frage nach der Endigungsweise der aus den motorischen Rindenfeldern absteigenden Fasersysteme mehr auf den zweiten Teil des Problems, d. h. auf das prämotorische System der motorischen Hirnnervenkerne, also ein Gebiet, das noch sehr weit von einer zufriedenstellenden Lösung ist.

1. Untersuchungsmaterial und Methoden

Die vorliegenden Untersuchungen wurden an 30 Katzen ausgeführt (unsere früheren Versuchsserien, die noch mittels der Bielschowsky-Gros- und der Rheimont-Lhermitte-Methode aufgearbeitet wurden, ungerechnet). — Nach operativer Freilegung der Gegend des *Sulcus cruciatus* wurden mittels elektrischer Reizung jene Rindenfelder identifiziert, von denen Reaktionen der Kau-, Facialis- und Zungenmuskulatur ausgelöst werden konnten. Es sind dies bei Katzen bekanntlich der *Gyrus proreus*, *Gyrus sigmoides anterior*, die laterale Konvexität des *Gyrus sigmoides* und lateral hiervon das Gebiet des *Gyrus coronalis*. In einigen Fällen wurde dieses ganze Rindengebiet, meistens aber nur geringe Teile desselben extirpiert. Die Tiere mit ausgedehnten Rindenläsionen zeigten meist eine geringe Facialisparesie der Gegenseite, vor allem bezüglich Bewegungen der Ohrmuschel. — Zur weiteren Verfolgung der Leitungsbahn benötigten wir dann kleine herdförmige Läsionen vor allem in dem Gebiet der sensorischen Trigemuskern, wie *Nucleus princeps*, *Nucleus tractus spinalis* verschiedener Höhe, herdförmige Läsionen verschiedener Gebiete der *Formatio reticularis*, endlich auch solche des *Nucleus interstitialis Cajal*. Diese wurden mit Hilfe eines stereotaxischen Apparates und eines

Atlas für stereotaxische Koordinaten des Hirnstammes der Katze (SZENTÁGOTHAÏ 1957) angelegt. — Die operierten Tiere wurden 4 Tage am Leben erhalten, welche Zeit für den Nachweis in Degeneration begriffener Terminalfasern und Synapsen mittels der Nauta-Methode am günstigsten ist.

Zur Aufarbeitung des Materials wurde der Brustkorb der Versuchstiere in Äthernarkose eröffnet, das Tier von der Aorta aus mit physiologischer Kochsalzlösung kurz durchspült (bis die aus dem eröffneten rechten Vorhof zurückfließende Flüssigkeit rein zu werden beginnt), dann eine neutrale Formollösung 1:4 injiziert (nach 200 ml Formollösung, Abklemmung der Vorhofsöffnung und starkes Auffüllen des Gefäßsystems). Der Schädel wurde nach 24 Std eröffnet, das Gehirn und Rückenmark entnommen, in 3—4 mm dicke Scheiben zerlegt und weiter in 1:4 neutraler Formollösung fixiert. — Nach 7—10 Tagen angefertigte Gefrierschnitte von 20 μ wurden nach der Sprague-Modifikation (1956) der *Nauta-Methode* (1954) imprägniert. Das oben erwähnte Vorgehen während der Fixation ist für das Gelingen der Methode unerlässlich (Fixation durch einfaches Einlegen in Formol ist unzulässig!). Mit etlicher Übung läßt sich die Methode mit Sicherheit handhaben; besonders durch Variation der Zeitdauer der Behandlung in Kaliumpermanganatlösung läßt sich der Grad der Zurückdrängung der normalen Nerven-elemente gut einstellen, was notwendig ist, da bei allzu farblosen Grund die Orientierung erschwert ist (z. B. Abb. 3d), bei zu starker Imprägnation dagegen die degenerierten Elemente nicht genügend hervortreten. — Auf Grund mündlicher und brieflicher Ansprache wissen wir, daß in weiten Kreisen Befürchtungen von Artefakten einer weiteren Verbreitung dieser Methode entgegenstehen. Ein Irrtum ist so gut wie ausgeschlossen, wenn man sich streng an die Regel hält, irgendwelche amorphe schwarze Körnchen — die hier und da vorkommen mögen —, keinesfalls als Zeichen einer Degeneration anzunehmen, sondern lediglich Bilder, wo die Zerfallskörner der Endfasern deutliche perlschnurartige Reihen bilden und die einzelnen Körner die charakteristische vacuoläre Zeichnung aufweisen. — Es ist auch gut, einige Gefrierschnitte der wichtigsten Gebiete nach BIELSCHOWSKY-GROS, REUMONT-LHERMITTE, oder GLEES zu imprägnieren, da man dadurch eine Kontrolle der tatsächlich stattgefundenen Degeneration gewinnt und auch besser über die Art und Weise der synaptischen Endigung der in Degeneration begriffenen und erhaltenen Endfasern eines Kerngebietes orientiert wird. — Die Nauta-Präparate dienen mehr als Übersichtsbild über den Verlauf der Terminalfasern, während die anderen Methoden besser für die Feststellung von Feinheiten der Endigungsweise dienen.

2. Endigungsweise aus der motorischen Rindenregion entspringender Fasern in Mittelhirn, Brücke und Medulla Oblongata

An Stelle weitläufiger Beschreibungen kann die Verteilung degenerierter Endfasern am besten an einigen charakteristischen Querschnitten des Hirnstammes demonstriert werden. Abb. 1 gibt die Degenerationsverhältnisse eines Falles wieder, bei dem die gesamte frontale Rindenregion zerstört wurde, von der aus, mittels elektrischer Reizung, Reaktionen der von motorischen Hirnnerven versorgten Muskeln beobachtet werden können.

Wie aus dieser Abbildung zu ersehen, ist die Degeneration der aus der Basis pedunculi im Mittelhirn ausschwärmenden schon größtenteils marklosen Endfasern vorwiegend gleichseitig. Als Endgebiete kommen neben der *Formatio reticularis* und des uns hier nicht interessierenden Nucleus ruber und der Vierhügel, *Nucleus*

interstitialis Cajal und *Nucleus Darkschewitsch* sowie im allgemeinen das vordere zentrale Höhlengrau in Frage. Bei der *Formatio reticularis*, besonders ventral, ist es nicht sicher zu entscheiden, ob es sich nicht vorwiegend um durchtretende Fasern handelt. Im Oculomotoriuskern findet sich kein einziges Degenerationsfragment. An der Grenze gegen die Brücke (Abb. 1c) ist das Haupt-Endgebiet degenerierter Fasern die gleichseitige *Formatio reticularis*, und zwar vorwiegend deren laterale Gebiete. Wenig Fasern ziehen nach demselben Gebiet der Gegenseite. — Von der Höhe des motorischen Trigeminskerns abwärts sieht man einerseits, daß sich die Degeneration in der *Formatio reticularis* (lat.) immer mehr zugunsten der Gegenseite verschiebt. Andererseits ist die reichliche Degeneration von Endfasern im sensiblen Hauptkern des Trigeminus an beiden Seiten auffällig (Abb. 1d), man kann aber bis zu dieser Höhe nicht erkennen, wie die degenerierten Fasern aus dem Pyramidenareal an diese Stelle gelangen. In den motorischen Trigeminskernen finden sich überhaupt keine Degenerationsfragmente. — In der Höhe des Facialis-kerns (Abb. 1e) sieht man deutlich, wie die degenerierten Terminalfasern in das sensible Endgebiet des Trigeminus gelangen. Auf der Herdseite treten degenerierte Fasern an der dorsolateralen Seite aus dem Pyramidenareal aus um sich teils in der *Formatio reticularis* zu verteilen, teils geradewegs am dorsalen Rand des Facialis-kerns vorbeilaufend, sich im oralen Teil des Spinalkerns des Trigeminus aufzuteilen. An der ventromedialen Seite des Pyramidenareals sammeln sich ebenfalls degenerierte Terminalfasern an, welche als *Fibrae arcuatae externae* in die vordere Medianfurche (Abb. 2) eindringen und sich über die Mittellinie kreuzend, hart am Dorsalrand des Facialis-kerns in dorsolateraler Richtung verlaufen. Sie geben zahlreiche Endfasern an die gegenseitige *Formatio reticularis* ab und zweigen sich schließlich vorwiegend im gegenseitigen spinalen Trigeminskern auf. Auf beiden Seiten wenden sich von hier die degenerierten Fasern in orale und caudale Richtung, und gelangen so auch bis zum sensiblen Hauptkern. Im Facialis-kern ist, abgesehen von einzelnen durchtretenden Fasern, weder auf der Herd-, noch auf der Gegenseite ein einziges Degenerationsfragment sichtbar. — In der mittleren Höhe der Olive (Abb. 1f) ist die Verteilung der Degeneration weitgehend ähnlich, nur daß man hier degenerierte Fragmente zum medialen Vestibulariskern und zum Kern des *Tractus solitarius* verfolgen kann. Die Degeneration ist überwiegend gegenseitig. — In der Höhe der Obex (Abb. 1g) und auch im geschlossenen Teil der Medulla ist die Degeneration fast ausschließlich gegenseitig, die in Degeneration begriffenen Terminalfasern kreuzen sich in der Tiefe der Medianfurche, oder vom Beginn der Pyramidenkreuzung zweigen sie sich unmittelbar nach der Kreuzung in dorsaler Richtung ab. Sie verteilen sich vorwiegend im *Nucleus tractus spinalis nervi trigemini*, *Nucleus tractus solitarii*, *Nucleus vestibularis spinalis* und in der sogenannten *Vincularregion*, ganz vereinzelte degenerierte Fasern finden sich in den Hinterstrangkernen. Im Hypoglossuskern sind keine Degenerationsfragmente nachweisbar, ebenso wenig wie im Accessoriuskern. Der *Nucleus ambiguus* ist an Imprägnationspräparaten nicht genügend von der *Formatio reticularis* abgrenzbar um etwas Sicheres feststellen zu können.

Nach Zerstörung kleinerer Teile der motorischen Rindenregion ist einesteils die Degeneration proportional dem geringeren zerstörten Rindengebiet quantitativ geringer, aber es sind auch einige wichtige qualitative Änderungen zu beobachten. — Nach isolierter Zerstörung des *Gyrus proreus*, einem Gebiet, von dem neben Augenbewegungen nur sehr wenig andere Muskelreaktionen — vor allem des *Orbicularis oculi* und supraorbitaler Muskeln, besonders erkenntlich durch Bewegungen

der Supraorbitalhaare, auszulösen sind —, entspricht die Degeneration im vorderen Mittelhirn mit geringem Unterschied den auf Abb. 1b

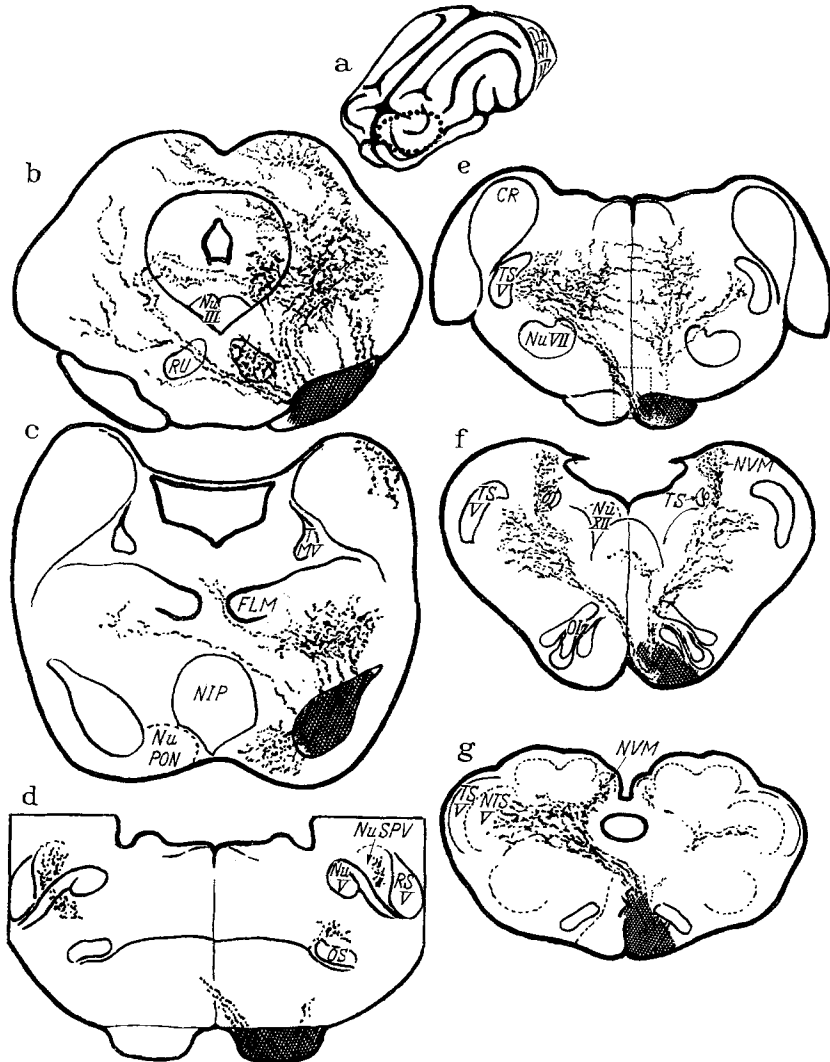


Abb. 1. Verlauf degenerierender, schon größtenteils markloser Terminalfasern 4 Tage nach Zerstörung der frontalen hirnnervenmotorischen Rindenfelder. — a Das punktiert umzeichnete Gebiet zeigt die Ausdehnung des zerstörten Gebietes an. b Mittelhirnquerschnitt. c Mittelhirn-Brückenübergang d Brücke in der Höhe der motorischen Trigemuskern. e Höhe des Facialis-kerns, der rechteckige Ausschnitt entspricht Abb. 2. f Mittlere Höhe der Olive. g Geschlossener Teil der Medulla oblongata. *Nu III* Oculomotoriuskern, *RU* Nucleus ruber, *TMV* Mesencephalkern des Trigemini. *FLM* Fasciculus longitudinalis medialis, *NIP* Nucleus interpeduncularis, *NuPON* Nuclei pontis, *NuSPV* sensibler Hauptkern des Trigemini, *NuV* motorischer Trigemuskern, *RSV* sensible Trigeminiwurzel, *OS* Oliva superior, *CR* Corpus restiforme, *TSV* Spinaltract des Trigemini, *Nu VII* Facialis-kern *TS* Tractus solitarius, *NVM* Medialkern des Nucleus vestibularis, *Nu XII* Hypoglossuskern, *OI* Olivenkern, *NTS* Nucleus tractus spinalis nervi trigemini

dargestellten Verhältnissen. In caudaleren Querschnitten sind nur sehr spärliche Degenerationszeichen auffindbar, am meisten noch im medialen Vestibulariskern der Gegenseite. Von der *Formatio reticularis* erhält nur der gleichseitige *Nucleus reticularis sup. ventralis* *Bechterew* zahlreiche absteigende Fasern. — Von der lateralen Konvexität der *Gyrus sigmoides* erhält der Hirnstamm überall verhältnismäßig wenig absteigende



Abb. 2. Ausschnitt aus Abb. 1e. Kreuzung aus der Pyramide an deren Ventralrand abzweigender Terminalfasern in der Tiefe der Medianfurche. Die Pfeile bezeichnen das degenerierte Bündel

corticale Fasern, das rostrale Mittelhirnsegment überhaupt keine. Lediglich im *Facialisniveau* und unmittelbar unterhalb finden sich in der gegenseitigen *Formatio reticularis* aufzweigende Endfasern. — Zerstörung des *Gyrus sigmoides anterior* oder des *Gyrus coronalis* verursacht quantitativ schwächere, aber im wesentlichen ähnlich verteilte Degenerationen im Hirnstamm, wie eine Zerstörung der ganzen motorischen Region, von der Reaktionen der zu Hirnnerven gehörenden Muskeln ausgelöst werden können.

Zusammenfassend kann also hervorgehoben werden, daß aus den motorischen Rindengebieten der durch Hirnnerven innervierten Muskulatur absteigende Fasern in der gesamten *beiderseitigen, rostral vorwiegend gleichseitigen,*

caudal vorwiegend gegenseitigen *Formatio reticularis*; in beiderseitigen, jedoch je caudaler desto mehr gegenseitigen *sensiblen Endkernen der Hirnnerven*; in den gleichseitigen Kernen der *hinteren Commissur* und rostralen *Höhlengrau des Mesencephalon*; aber nicht in motorischen *Hirnnervenkernen* endigen.

3. Überleitung der aus den frontalen motorischen Rindenfeldern absteigenden Impulse auf die motorischen Hirnnervenkerne

Da also die Fasern des Hirnnervenanteils der Pyramidenbahn (wenigstens bei Katze und Hund) die motorischen Neuronen nicht unmittelbar erreichen, muß wenigstens ein *Zwischenneuron* in die Leitungsbahn eingeschaltet sein. Es wäre allerdings auch möglich, daß mehrere *Zwischenneuronen* nacheinander eingeschaltet sind — was wahrscheinlich auch

tatsächlich zutrifft —, nach physiologischen Beobachtungen am Rückenmark ist aber die kürzeste Verbindung wahrscheinlich mittels eines Zwischenneuron hergestellt. Die Zwischenneuronen zwischen dem Hirnnervenanteil des Pyramidensystems können identifiziert werden, wenn es gelänge, aus den im vorigen Kapitel angegebenen Endigungsgebieten unmittelbare Verbindungen zu motorischen Hirnnervenkernen nachzuweisen. In diesem Kapitel beschäftigen wir uns deshalb mit Degenerationserscheinungen der Endfasern und Synapsen in motorischen Hirnnervenkernen nach umschriebenen Läsionsherden in den *sensiblen Hirnnervenkernen*, in der *Formatio reticularis* und dem *Nucleus interstitialis Cajal*.

Da wir, wie erwähnt, den auf die Augenmuskelnkernen bezüglichen Teil dieser Frage schon früher eingehend bearbeitet haben (SZENTÁGOTHAÏ 1943, 1950), und außerdem diese Verhältnisse einen auch von klinischem Gesichtspunkt eigenen Komplex bilden, lassen wir die prämotorischen Schaltneuronen der Augenmuskelnkerne aus unseren Betrachtungen aus. — Die Kerne des vorderen mesencephalen Höhlengraus (Nucleus Darkschewitsch und Umgebung) bilden nach unseren neueren Untersuchungen (1956) ein Neuronensystem, das für die Hemmungsreaktionen der Augenmuskeln verantwortlich ist. Da aus den motorischen Augenmuskelfeldern absteigende Fasern zahlreich in dieser Gegend endigen, müssen wir annehmen, daß die bekannte reziproke Hemmung der Antagonisten bei corticalen Augenbewegungen über diese Höhlengraugebiete ausgeführt werden. Diese Frage soll jedoch anderweitig ausführlicher bearbeitet werden.

a) Läsionsherde in sensiblen Hirnnervenkernen

α) *Mesencephaler Trigeminskern*. Eine Läsion dieses Kernes bringt eine ausgedehnte Degeneration von synaptischen Endfüßchen im gleichseitigen motorischen Trigeminskern nach sich. Dies ist auch nicht anders zu erwarten, da nach CAJAL (1909) Kollateralen der absteigenden Neuriten der Ganglienzellen im motorischen Kern endigen. Nach eigenen experimentellen Degenerationsuntersuchungen (1948b) sind dies echte „Reflexkollateralen“ des *Eigenreflexes der Kaumuskeln*, dessen primäre Neuronen ihr Perikaryon im mesencephalen Kern haben. Da aber im Gebiet um den mesencephalen Trigeminskern zahlreiche corticale Fasern aus der hirnnervenmotorischen Region endigen, ist es immerhin nicht prinzipiell ausgeschlossen, daß diese oder in derselben Gegend lokalisierte andere Neuronen auch in der Weiterleitung absteigender Impulse eine Rolle spielen.

β) *Sensibler Hauptkern des Trigemini*. Nach Zerstörungsherden dieses Kernes finden sich nur im unmittelbar anliegenden motorischen Kern nennenswerte Degenerationserscheinungen von Endfasern. Dieser Befund ist aber einestails wegen der Nähe des Läsionsherdes kaum zu werten, anderenteils verlaufen die aus dem mesencephalen Kern absteigenden Reflexkollateralen oft im Bogen über das Gebiet des sensiblen Hauptkerns, so daß man mit der Unterbrechung eines Teils dieser Fasern

rechnen muß. — Die sekundären Neuronen dieses Kerns, die sehr zahlreiche absteigende Verbindungen aus der motorischen Hirnrinde empfangen, kommen für eine unmittelbare Verbindung mit motorischen Hirnnervenkernen also nicht in Frage.

γ) Oralkern des Tractus spinalis nervi trigemini. Herdförmige Läsionen dieses Kerngebietes verursachen sehr vereinzelte Degenerationserscheinungen von Terminalfasern im gleichseitigen motorischen Trigeminskern, etwas zahlreichere, jedoch noch immer recht vereinzelte Degenerationserscheinungen im gleichseitigen Facialiskern, keine nennenswerten im Hypoglossuskern. Die sekundären Neuronen dieses Kernes haben also gewisse, aber quantitativ doch unbedeutende direkte Verbindungen zu motorischen Facialisneuronen.

δ) Caudalkern des Tractus spinalis nervi trigemini. Weder Herde der gelatinösen lateralen, noch der medialen reticulären Portion dieses Kernes verursachen nennenswerte Degenerationserscheinungen im Facialis- oder motorischen Trigeminskern, ungerechnet einige durch den ersteren offenbar durchtretende wahrscheinlich aufsteigende sekundäre Trigeminafasern. Spärliche Degenerationserscheinungen im Hypoglossuskern sind wegen der Nähe des Läsionsherdes nicht zu werten. — Die Neuronen dieses Kerns haben also keine unmittelbaren synaptischen Beziehungen zu motorischen Hirnnervenkernen.

ε) Vestibulariskerne. Von diesen erhält nur der mediale Kern, insbesondere sein spinaler Fortsatz eine nennenswerte Anzahl absteigender Fasern aus der motorischen Hirnrinde. Herdförmige Läsionen dieses Kernteiles verursachen in den motorischen Kernen von Trigeminus und Facialis keine Degeneration. Die bekanntlich sehr zahlreichen Verbindungen sekundärer Vestibularisneuronen mit den Augenmuskelkernen lassen wir hier unberücksichtigt, um so mehr als gerade der mediale Kern kaum direkte Verbindungen mit oculomotorischen Neuronen besitzt.

ζ) Kern des Tractus solitarius. Eine Untersuchung der eventuellen unmittelbaren Verbindungen der sekundären sensiblen Glossopharyngeus- und Vagusneuronen mit motorischen Hirnnervenkernen vor allem mit dem Nucleus ambiguus und hypoglossi konnten wir nicht in den Rahmen dieser Arbeit einfügen, da auch bei größter Verfeinerung der Methoden zur Anlegung der elektrolytischen Läsionsherde¹ die komplizierten und engen Raumverhältnisse eine äußerst strenge Auswahl der Fälle verlangen, wozu unser gegenwärtig zur Verfügung stehendes Versuchsmaterial noch nicht genügt.

¹ Zur Verfeinerung der Zielsicherheit wird die Elektrodenspitze beim Arbeiten an der Medulla oblongata stets auf den freigelegten Obex des Tieres zentriert. Unser oben schon erwähnter Atlas stereotaxischer Koordinaten des Hirnstammes der Katze trägt diesem Verfahren Rechnung.

b) Läsionsherde in der Formatio reticularis

Wegen dem komplizierten Aufbau der Formatio reticularis, vor allem der zahlreichen in verschiedensten Richtungen durchlaufenden Fasersysteme ist es äußerst schwierig, aus den Folgen von Läsionsherden reale Schlüsse zu ziehen. Findet man auch nach einer Läsion in einem motorischen Kern Degenerationserscheinungen von Endfasern, so ist damit noch keineswegs festgestellt, ob diese aus den in diesem Herd befindlichen zerstörten Nervenzellen entspringen, oder zu einer durch den Herd nur durchlaufenden Bahn gehören. Am sichersten sind noch die Folgen relativ kleiner Herde zu bewerten, in diesem Falle ist aber wegen der zerstreuten Lage der Nervenzellen die Zahl der vom Herd in Mitleidenschaft gezogenen Neuronen so gering, daß man auf recht wenig degenerierte Fasern und Synapsen rechnen kann. Trotzdem bleibt nichts anderes übrig, als die aus tunlichst zahlreichen Versuchen gewonnenen Ergebnisse mosaikartig zusammenzufügen versuchen. Es wird deshalb wohl verständlich sein, wenn die uns gegenwärtig zur Verfügung stehenden Befunde erst ein sehr annäherndes Bild über diese Verhältnisse vermitteln können.

Verfolgt man die in motorischen Hirnnervenkernen auftretenden sekundären Degenerationserscheinungen von Terminalfasern nach verschiedenen herdförmigen Läsionen der Formatio reticularis nach ihrer Lokalisation in cranio-caudaler Reihenfolge, so findet man zuerst nach Zerstörungsherden im ventro-lateralen Teil der Formatio reticularis des caudaleren Mittelhirns zahlreichere Degenerationsfragmente vorwiegend im gegenseitigen Nucleus facialis. Interessanterweise ist die Degeneration im Facialiskern nicht gleichmäßig verteilt, sondern hat ihren Schwerpunkt im medio-dorsalen Sektor, wogegen in der Umgebung der ventro-lateralen Zellgruppen praktisch überhaupt keine Zerfallskörner zu finden sind (Abb. 3a, b). Ein Läsionsherd in der medialen Formatio reticularis des Mittelhirn-Brückenüberganges hat dagegen kaum eine Degeneration einzelner Endfasern im Facialiskern zur Folge. — Nach Läsionsherden in der ventrolateralen Formatio reticularis der Brücke ändert sich anfänglich das Bild der Degeneration im Facialiskern nicht wesentlich. In je caudalerem Querschnitt der Brücke jedoch der Läsionsherd in der lateralen Formatio reticularis liegt, desto mehr verschiebt sich die Degeneration in den Facialiskernen zugunsten des gleichseitigen Kerns. — In der Höhe etwas rostral des motorischen Trigeminuskerns liegende Herde bringen eine sehr reichliche Degeneration im gegenseitigen motorischen Trigeminuskern mit sich (Abb. 4c). Auf der Seite des Herdes ist die Degeneration spärlich. Caudal von diesem Niveau gelegene Herde bringen keine Degeneration von Endfasern im motorischen Trigeminuskern hervor. Etwas weiter caudal werden die Verhältnisse durch die Verdrängung der Formatio reticularis durch den großen Komplex der Oliva metencephali so unübersichtlich, daß es kaum möglich ist, etwas aus den Befunden zu schließen. Jedenfalls zeigen sich bei unmittelbar rostral von Oliva metencephali gelegenen Läsionen schon zahlreiche Degenerationserscheinungen in beiderseitigen Hypoglossuskernen. Vom

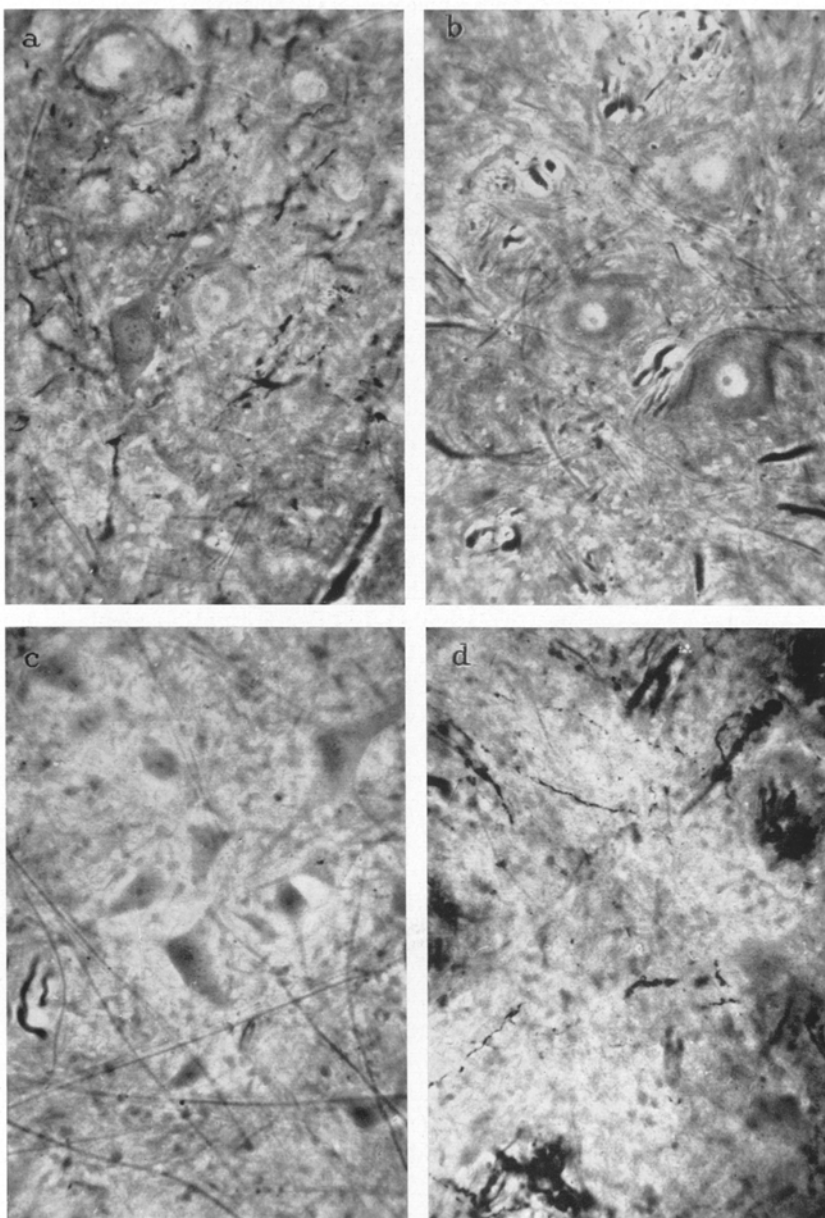


Abb. 3. *Degeneration von Terminalfasern im Facialiskern (Nauta-Methode).* a Dorsomediales Kerngebiet 4 Tage nach Anlegung eines Zerstörungsherdes in der ventrolateralen Formatio reticularis des Mittelhirn-Brückenüberganges an der Gegenseite. Zahlreiche in Zerfall begriffene Endfasern. — b Ventrolaterales Gebiet desselben Kernes wie auf a. Keine Degeneration; die etwas stärker imprägnierten Elemente sind durchlaufende markhaltige Fasern. — c Dorsomediales Kerngebiet 4 Tage nach Anlegung eines Zerstörungsherdes im gleichseitigen Nucl. interstitialis Cajal. Keine Degeneration. — d Ventrolaterales Kerngebiet desselben Kernes wie c. Degeneration von Endfasern. Sämtliche Übersichtsbilder mittlerer Vergrößerung

Niveau des motorischen Trigeminskernes abwärts wird es noch deutlicher, daß verhältnismäßig medial gelegene Herde der *Formatio reticularis*, vor allem z. B. des *Bechterewschen Nucleus reticularis superior ventralis* — wo gerade sehr viele corticale Fasern endigen — keine nennenswerten Degenerationerscheinungen von Terminalfasern in motorischen Hirnnervenkernen hervorrufen.

Caudal von der Höhe des Facialiskernes angelegte Zerstörungsherde der *Formatio reticularis* verursachen im gleichseitigen Hypoglossuskern den Zerfall ziemlich zahlreicher Endfasern. — Der somatomotorische Glossopharyngeus- und Vagus Kern (*Nucleus ambiguus*) ist besonders im Imprägnationspräparat nicht genügend scharf lokalisiert, so daß wir in dieser Versuchsserie darauf verzichten mußten, etwas Endgültiges über dessen Zusammenhänge mit der *Formatio reticularis* festzustellen. — Ascendierende Verbindungen der *Formatio reticularis* mit dem motorischen Trigenimus und Facialiskern fanden sich keine, allerdings ist die Zahl der in der *Formatio reticularis* der *Medulla oblongata* angelegten Läsionsherde nicht genügend, um uns darüber ein sicheres Urteil bilden zu können.

c) Läsionsherde des *Nucleus interstitialis Cajal*

Schon unsere früheren Versuche mittels elektrischer Reizung der Kerne der hinteren Commissur, neben gleichzeitiger Registrierung der Funktion von mehreren Augenmuskeln und der mimischen Muskulatur des Augenlides (1950, 1956) machten uns darauf aufmerksam, daß dieses Gebiet nicht nur mit den vertikal wirkenden *Recti* und *Obliqui* des *Bulbus* und dem *Lidheber*, sondern auch mit den vom *Nervus facialis* innervierten Muskeln der Augenlider in Zusammenhang stehen muß. In der Tat zieht eine Läsion des *Nucleus interstitialis Cajal* nicht nur eine Degeneration von Synapsen im motorischen Kern des III. und IV. Nerven nach sich, sondern auch eine ziemlich intensive Degeneration auch von Endfasern und Synapsen im gleichseitigen Facialiskern, in viel geringerem Maße im gegenseitigen nach sich. *Interessanterweise ist besonders im gleichseitigen Facialiskern der bei Läsionen der mesencephalo-pontinen Formatio reticularis unversehrte ventrolaterale Sektor am meisten von der Degeneration befallen* (Abb. 3c und d). Der Läsionsherd muß aber unbedingt den *Nucleus interstitialis* in Mitleidenschaft ziehen; Läsionsherde der *Praetectalregion*, der vorderen Vierhügel oder des rostralen Höhlengraus besonders des *Darkschewitschschen Kernes* bringen keine solche Degeneration im Facialiskern hervor.

4. Besprechung der Befunde

Aus den vorgelegten Befunden geht es klar hervor, daß wenigstens bei der Katze sowie auch (nach einigen vergleichsweise ausgeführten Versuchen) beim Hund die Fasern des Hirnnervenanteils der Pyramidenbahn,

des sogenannten „Tractus corticobulbaris“ unmittelbar nicht mit motorischen Neuronen in synaptischem Zusammenhang stehen, wie dies von WALBERG (1957) schon hervorgehoben wurde. Und zwar gilt dies scheinbar ausnahmslos für *alle motorischen Hirnnervenkerne*.

Wir können allerdings nichts Sicheres darüber aussagen, ob dasselbe auch für den Menschen angenommen werden kann. Die Degenerationsmethoden für Endfasern und Synapsen sind leider für Todesfälle mit vorhergehender Agonie nicht anwendbar, die Nauta-Methode sogar nur bei lebensfrischer Durchspülung mit den Fixationsflüssigkeiten, so daß in anderer Hinsicht zufällig entsprechendes Sektionsmaterial auch nicht brauchbar wäre. Am Affen ausgeführte Kontrollexperimente dürften mehr Klarheit verschaffen. — Jedenfalls hat die Anwendung der Nauta-Methode im Rückenmark der Katzen nach Pyramidenläsionen nicht die frühere Angabe einer wenigstens teilweisen Endigung von Pyramidenfasern (HOFF 1932) an motorischen Nervenzellen, sondern unsere Behauptungen (1941) über das vollkommene Fehlen solcher Endigungen bestätigt. Im übrigen möchten wir uns der Besprechung dieser Frage durch WALBERG (1957) anschließen.

Es erhebt sich nun die Frage, wie können aus den motorischen Rindenfeldern absteigende Erregungen überhaupt zu den Motoneuronen der Hirnnerven gelangen? — Nach den in Kapitel 3a) beschriebenen Befunden müssen die sensiblen Endkerne der Hirnnerven, wo eben aus den motorischen Rindenfeldern absteigende Fasern in so großer Zahl endigen, ausgeschieden werden, da sie keine nennenswerten unmittelbaren synaptischen Beziehungen zu den motorischen Hirnnervenkernen besitzen. Diese zu den sensiblen Hirnnervenkernen absteigenden Verbindungen, deren erste Beschreibung wir der bemerkenswerten Arbeit von BRODAL, SZABO u. TORVIK (1956) verdanken, müssen wahrscheinlich, wie diese Autoren es tun, als Nerven Elemente betrachtet werden, die die Überleitung peripherischer Erregungen auf weitere Leitungsbahnen kontrollieren, wofür es auch physiologische Argumente gibt (vgl. HERNANDEZ-PEON u. HAGBARTH 1955). Trotzdem ist es nicht unmöglich, vielmehr sogar wahrscheinlich, daß die aus den motorischen Rindenfeldern absteigenden Erregungen durch Beeinflussung der synaptischen Überleitung von peripheren Afferenzen in den sensiblen Endkernen den Erregungszustrom zu verschiedenen Teilen der *Formatio reticularis*, also auch deren Funktionszustand ändern, was sich schließlich doch auf die motorischen Hirnnervenkerne auswirken kann. Dies ist jedoch keine anatomische Frage mehr.

Aus den in Kap. 3b) beschriebenen Befunden geht es hervor, daß Gebiete der *Formatio reticularis*, in denen zahlreiche absteigende Fasern der motorischen Rindenregion endigen, reiche unmittelbare neuronale Verbindungen mit motorischen Neuronen besitzen. Die absteigenden Verbindungen der Rinde zur *Formatio reticularis* wurden neuerdings von ROSSI u. BRODAL (1956) eingehend behandelt, so daß wir bezüglich des ausgedehnten früheren Schrifttums dieser Frage auf diese Arbeit hinweisen können. Unsere sich lediglich auf die mit den Hirnnerven in

Verbindung stehenden motorischen Rindenfelder beziehenden Angaben fördern jedoch eine wichtige neue Tatsache zutage. Die Verbindungen von der motorischen Rinde zur *Formatio reticularis* sind bis zur Mitte der Brücke überwiegend gleichseitig, weiter caudal dagegen mehr gekreuzt. Daraus geht wieder hervor, daß bei der kürzesten Leitungsbahn zwischen motorischer Rinde und gegenseitigen motorischen Hirnnervenkernen die Kreuzung beim N. trigeminus und N. facialis auf das Zwischenneuron der *Formatio reticularis*, wogegen bei den caudaleren motorischen Hirnnervenkernen die Kreuzung der Leitungsbahn, ebenso wie für das Rückenmark, schon auf das absteigende Rindenneuron fällt. — In dieser Beziehung weichen also die Leitungsbahnen zwischen motorischen Hirnnervenkernen ebenfalls sehr weitgehend von unserer klassischen Vorstellung ab.

Die Lokalisation der Neurone der *Formatio reticularis*, die unmittelbare synaptische Kontakte mit den motorischen Hirnnervenkernen besitzen, konnte für den Kern des Trigeminus und Facialis festgestellt werden. — Neurone, die mit dem gegenseitigen motorischen Trigeminus in Verbindung stehen, finden sich in der Höhe etwas oral dieses Kerns in dem ventrolateralen Teil der gegenseitigen *Formatio reticularis*. Die große Zahl der Degenerationsfragmente auch nach relativ kleinen Läsionsherden deutet darauf, daß diese Neuronen verhältnismäßig dicht gruppiert sein mögen. Die Kreuzung der Nervenfortsätze dieser Zwischenneuronen erfolgt verhältnismäßig dorsal (Abb. 4a¹). — Die mit dem Facialis in unmittelbarer Verbindung stehenden Zwischenneuronen finden sich im ventrolateralen Teil der *Formatio reticularis* des Mittelhirns vorwiegend im caudaleren Teil und im oralen Teil der Brücke. Daß nach weiter caudal angelegten Herden sich die Degeneration der Endfasern im Facialis mehr und mehr auf die Herdseite verschiebt, ist mit größter Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, daß sich die absteigenden Fortsätze dieser Neurone bald kreuzen und so die caudaleren Herde schon nicht die Nervenzellen, sondern ihre gekreuzten Fortsätze unterbrechen. Die Stelle der Kreuzung konnten wir bisher nicht ermitteln. — Besonders hervorzuheben ist, daß die Neurone der *Formatio reticularis* nur mit den medialeren Zellgruppen des Facialis in synaptischem Zusammenhang stehen. Diese Zellgruppen versorgen vor allem Platysma,

¹ Zu den schematischen Abb. 4a u. 5 sei bemerkt, daß sie einestails nur längere Neurone der *Formatio reticularis* betreffen und die vorwiegenden Kreuzungsverhältnisse angeben, anderenteils wird durch sie die Leitungsbahn grob vereinfacht. Die Abbildungen können der wahren Kompliziertheit der Verhältnisse natürlich keine Rechnung tragen, sondern veranschaulichen lediglich die auf Grund der Degenerationsergebnisse nachgewiesenen neuronalen Verbindungen. In der Wirklichkeit ist die Schaltung durch die Konvergenz zahlreicher anderer Systeme auf die Neurone der *Formatio reticularis* und ihre vielseitigen Verbindungen untereinander ungemein komplizierter.

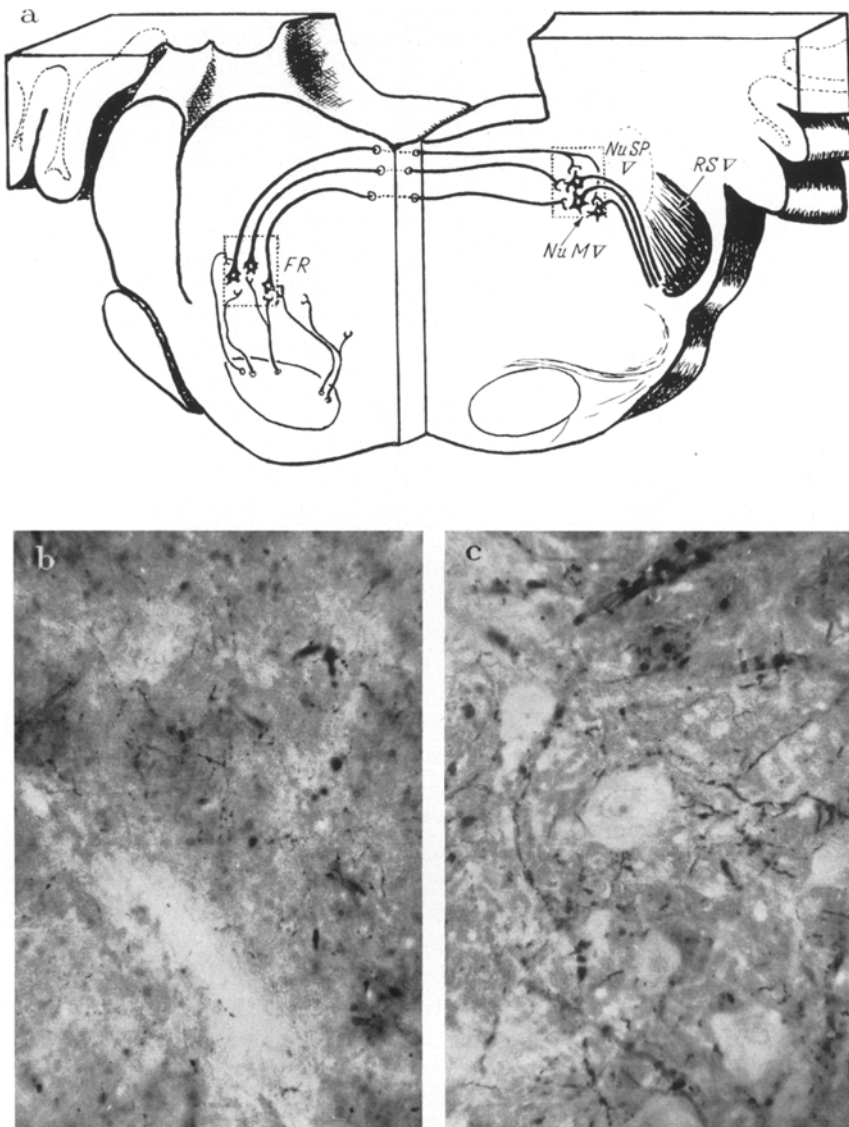


Abb. 4. a Treppenförmiger Querschnitt der Brücke zur Darstellung des Verlaufs der prämotorischen Neurone des Trigeminskerns. Links etwas oralerer Querschnitt mit Neuronen in der ventrolateralen Formatio reticularis, deren Fortsätze sich verhältnismäßig dorsal kreuzen und rechts im gegenseitigen motorischen Trigeminskern endigen. *FR* Formatio reticularis; *NuSPV* sensibler Hauptkern des Trigemini; *RSV* sensible Trigeminswurzel; *NuMV* motorischer Trigeminskern. — b Der auf a links umzeichnete Ausschnitt der Formatio reticularis 4 Tage nach Zerstörung des *Gyrus coronalis* mit zahlreichen in Degeneration begriffenen feinen Terminalfasern. — c Der auf a rechts umzeichnete Ausschnitt des motorischen Trigeminskerns 4 Tage nach Anlegung eines Zerstörungsherds im Gebiet des links angegebenen Ausschnitts. Degeneration zahlreicher größerer Terminalfasern. — Übersichtsbilder mittlerer Vergrößerung Nauta-Methode

Suprahyoidealmuskeln und Ohrmuskeln (SZENTÁGOTHAÏ 1948a), wogegen die ventrolateralen Zellgruppen des Facialiskerns, die sozusagen

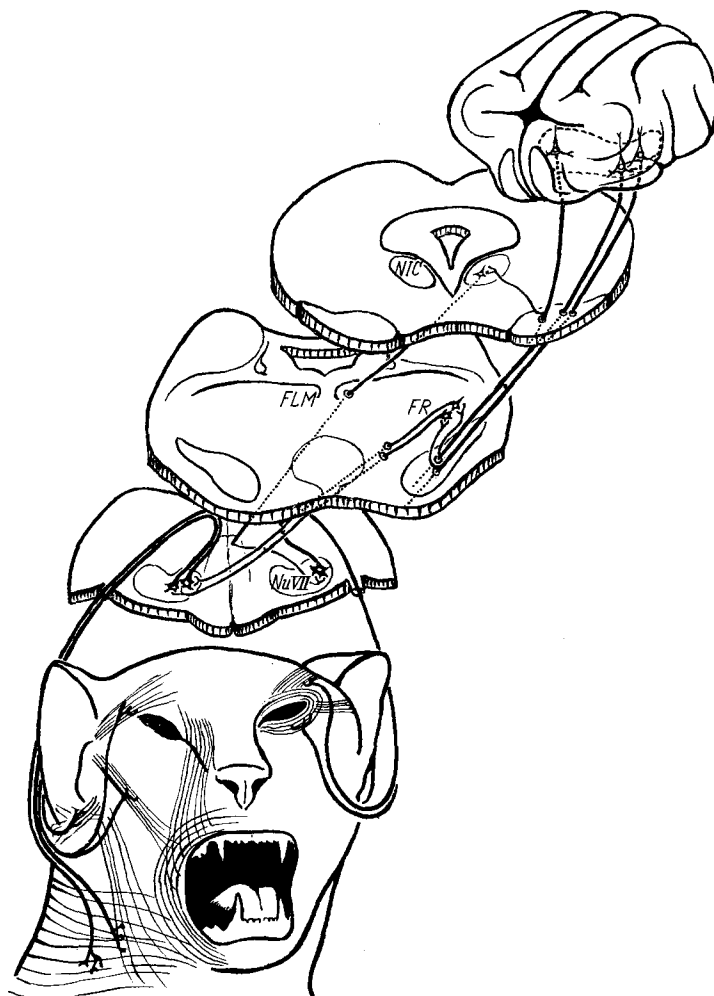


Abb. 5. Schematische Darstellung der absteigenden Verbindungen von der motorischen Hirnrinde zu den Facialis-muskeln der Katze. Vorwiegend gekreuzte Verbindungen über die Formatio reticularis (ventrolaterale) des Mittelhirn-Brücken-Überganges, zu den Muskeln der Ohrmuskeln, dem Platsma und suprahyoiden Muskeln, und vorwiegend ungekreuzte Verbindungen über den Nucl. interstitialis Cajal zu der zirkumorbitalen und Augenlid-Muskulatur. *NIC* Nucleus interstitialis Cajal; *FR* Ventrolaterale Formatio reticularis des Mittelhirn-Brücken-Überganges; *FLM* Fasciculus longitudinalis medialis; *Nu VII* Facialis-kern

keine Zusammenhänge mit der Formatio reticularis besitzen, die Facialis-muskulatur der Augenlider und der Supraorbitalgegend versorgen. Eine zwanglose Ergänzung dieses Befundes bildet die Beobachtung, daß eben

diese ventrolateralen Zellgruppen zahlreiche Verbindungen teils gleichseitige, teils gekreuzte (letztere weniger) aus dem Nucleus interstitialis Cajal erhalten. Da dieser Kern sehr zahlreiche Verbindungen mit absteigenden Fasern aus der gleichseitigen motorischen Hirnrinde hat, wäre hier ein überwiegend gleichseitiger Zusammenhang zwischen motorischer Rinde und periorbitaler mimischer Muskulatur gegeben. Dies stimmt einerseits mit der Beobachtung überein, daß nach ausgedehnteren Läsionen der motorischen Rinde bei der Katze die Parese der gegenseitigen Ohrmuskeln das einzige offenbare äußere Symptom der Hirnnerven ist, anderenteils erinnert es an die relative Unversehrtheit der Stirn und Augenlidmuskulatur bei zentralen Facialisparesen (Abb. 5).

Die Zwischenneuronen für den Nervus hypoglossus finden sich zahlreicher vom Niveau der *Oliva metencephali* caudalwärts. Ihre Verbindungen mit den motorischen Neuronen sind zunächst beiderseitig, von der Höhe des Facialiskerns abwärts gleichseitig, was hier gut mit ihren vorwiegenden Verbindungen mit der gegenseitigen motorischen Rinde übereinstimmt.

Es ist nicht leicht, sich ein klares Bild über die funktionelle Bedeutung dieser Befunde zu machen. Das ausgedehnte Beobachtungsmaterial, das in den letzten zwei Jahrzehnten über die Funktion der *Formatio reticularis* gesammelt wurde, beschäftigt sich mehr mit den allgemeinen Funktionen dieses Gebietes, wie bahnende und hemmende Einflüsse auf das Rückenmark, die Rolle der *Formatio reticularis* als ein Teil des „aufsteigenden Aktivationsystems“ und die Beziehungen zum Kleinhirn. Über diese allgemeinen funktionellen Aufgaben ist das Interesse für die Zusammenhänge mit Hirnnervenfunktionen begreiflicherweise in den Hintergrund getreten. Dabei hat diese Frage in erster Linie deshalb eine große Bedeutung, weil wir uns bisher gar keinen Begriff darüber bilden können, von wo Erregungen den motorischen Hirnnervenneuronen unmittelbar zugeführt werden. Die motorische Hirnrinde als unmittelbare Quelle prämotorischer Fasern muß ausgeschieden werden. Ein unmittelbarer Kontakt mit primären sensiblen Neuronen ist, außer dem Spezialfall des mesencephalen Trigeminskerns und seiner Reflexkolateralen zum motorischen Trigeminskern, bei anderen Hirnnerven nicht nachzuweisen (SZENTÁGOTHAÏ 1948 b). Nun zeigte sich auch noch, daß die sensiblen Endkerne der Hirnnerven (wenigstens jene des Trigeminus), also sekundäre sensible Neuronen, keine unmittelbaren synaptischen Kontakte mit motorischen Neuronen besitzen¹. Es muß also

¹ Einen Spezialfall bilden ebenfalls die zahlreichen Verbindungen der sekundären Vestibularisneuronen mit den motorischen Augenmuskelnkernen. Der dadurch hergestellte, aus drei Neuronen bestehende Reflexbogen ist die anatomische Grundlage der überaus straff organisierten reflektorischen Beziehungen zwischen bestimmten Bogengangscristae und Augenmuskeln (vgl. SZENTÁGOTHAÏ 1952), welche in ihrer weitgehenden anatomischen Determiniertheit den Eigenreflexen durchaus ähnlich sind.

notwendigerweise ein prämotorischer Apparat existieren, der die verschiedensten corticalen, extrapyramidalen, peripherischen usw. Impulse synthetisiert und gewissermaßen als „gemeinsames Endglied“ den motorischen Neuronen zuführt. Diesen prämotorischen Apparat finden wir wenigstens zum Teil in der lateralen *Formatio reticularis* und beim *Nervus facialis* auch im Gebiet des *Nucleus interstitialis*. Dieser prämotorische Apparat muß äußerst subtil durchorganisiert sein, besonders wenn man bedenkt, daß elektrische Reizung eben dieser Gebiete niemals isolierte Einzelreaktionen von Muskeln, sondern meist ein kompliziertes Zusammenspiel zahlreicher ganz verschiedener Muskelgruppen im Rahmen irgendeines biologisch zweckmäßigen Bewegungsmusters ergeben. Über die Bewegungsmuster, die seitens der motorischen Hirnnerven bei Reizung der seitlichen *Formatio reticularis* vor allem in Mittelhirn und Brücke auslösbar sind, besitzen wir leider keine exakt registrierten Befunde. Reaktionen der Kaumuskulatur, suprahyoiden Muskeln und der Ohrmuskeln sind es, die man durch äußere Inspektion erkennen kann. Wesentlich genauere Beobachtungen stehen uns über Reizungsergebnisse der Gegend des *Nucleus interstitialis Cajal* zur Verfügung (SZENTÁGOTHAÏ 1950, HASSLER u. HESS 1954, SZENTÁGOTHAÏ u. SCHÁB 1956). Unsere Untersuchungen, die eine tunlichst vollständige simultane Registrierung der Augen- und Augenlidmuskulatur anstrebten, ergaben, daß aus dieser Gegend Bewegungsmuster mit koordinierter Aktion sowohl der eine Raddrehung der Augen hervorrufenden Muskeln, als auch eine vertikale Blickablenkung hervorrufenden Muskeln auszulösen sind, zu denen stets eine entsprechende Aktion der vom *Nervus facialis* innervierten Augenlidmuskeln zugeordnet ist. Die Befunde von HASSLER u. HESS am frei beweglichen Tier zeigten sehr eindrucksvoll die Bedeutung desselben Gebietes für Raddrehbewegungen nicht nur der Augen, sondern vor allem des Kopfes und ganzen Körpers. Die von diesen Autoren deutlich demonstrierte Tatsache, daß die Innervation der Raddrehbewegungen durch diesen Apparat erfolgsbezogen ist, d. h., daß sich also Raddrehungen der Augen, des Kopfes und des Rumpfes untereinander frei vertauschen können, spräche an sich dagegen, daß dieser Apparat unmittelbare Beziehungen zu motorischen Neuronen hat. Dies trifft aber nur für den bis in das Rückenmark absteigenden *Fasciculus interstitio-spinalis* zu, dessen Fasern nach eigenen Untersuchungen nur in der Intermediärzone und in einer schmalen Zone des Vorderhorns endigen, wo sich keine Motoneuronen finden. Dagegen hat der *Nucleus interstitialis* zahlreiche synaptische Verbindungen sowohl mit den Augenmuskeln, als auch mit dem Teil des *Facialiskerns* in dem die Neuronen der Augenlid- und Supraorbitalmuskulatur lokalisiert sind. Deshalb können also sowohl der *Nucleus interstitialis Cajal*, als auch gewisse vorwiegend laterale Teile der *Formatio reticularis* als unmittelbarer prämotorischer

Apparat betrachtet werden, dem einesteils eine wichtige Rolle bei der Ausbildung der verschiedenen Bewegungsmuster, anderenteils aber auch die Aufgabe der unmittelbaren Verteilung der Erregungen auf verschiedene Muskelkerne zufällt. Deswegen wäre aber auch der nun schon wohl veraltete Begriff des „Schaltneurons“ keineswegs am Platze, da es sich nicht einfach um eine mehr oder weniger lineare Weiterleitung von höheren Zentren absteigender Impulse handelt, sondern um eine komplizierte synthetische Tätigkeit eines vielseitig untereinander und mit den verschiedensten Afferenzen verbundenen neuronalen Apparates.

Die vorherrschende Lokalisation dieses prämotorischen Apparates in den *seitlichen Teilen der mesencephalo-pontinen Formatio reticularis* stimmt ziemlich gut mit einer wichtigen Schlußfolgerung BRODAL'S (1957) in seinem zusammenfassenden Werk über die funktionelle Anatomie der *Formatio reticularis* überein. Von den nicht speziell mit dem Kleinhirn verbundenen Teilen der *Formatio reticularis* werden von BRODAL die *medialer* gelegenen Strukturen als jene betrachtet, deren Funktion in der *Projektion zum Rückenmark und zu höheren Zentren* liegt, dagegen sollen die *lateralen* Zellgruppen mehr *rezeptiven und assoziativen Funktionen* dienen. Diese Schlußfolgerung möchten wir damit ergänzen, daß die *lateralen Zellen* der *Formatio reticularis* besonders als prämotorischer Apparat der Hirnnervenkerne eine bedeutsame Funktion besitzen, was auch mit Befunden von A. u. M. SCHEIBEL (1955) an Golgipräparaten übereinstimmt.

Die vorgelegten Befunde und besonders die vorstehend daran geknüpften Erwägungen zeigen jedoch letzten Endes auch, wie wenig zufriedenstellend unsere klassischen Begriffe über das Pyramidensystem und ganz besonders seines Hirnnervenanteils sind. Die Vorstellung einer unmittelbaren und vorherrschenden Kontrolle bestimmter motorischer Nervenkerne durch umschriebene Rindengebiete ist anatomisch nicht begründet, so daß die auch klinischerseits erhobene Forderung (vgl. BUCY 1957) einer vollkommen neuen Sichtung und Synthese des über die nervöse Kontrolle der gesamten Muskeltätigkeit und besonders des Pyramidensystems zur Verfügung stehenden Beobachtungsmaterials als nur zu berechtigt erscheint.

Zusammenfassung

1. Mittels der Degenerationsmethode markloser Terminalfasern und Synapsen (Imprägnationsverfahren nach NAUTA u. REUMONT-LHERMITTE) wurden Verlauf und *Endigungsgebiete der aus motorischen Rindenfeldern absteigenden Fasersysteme in Mittelhirn, Brücke und verlängertem Mark* untersucht. Wie bereits früher für die Augenmuskelkerne, und neuerdings von WALBERG für die übrigen motorischen Hirnnervenkerne angegeben, endigen die aus der motorischen Hirnrinde absteigenden „Pyra-

miden“-Fasern nicht unmittelbar an motorischen Neuronen der Hirnnerven.

2. Neurone sensibler Hirnnervenkerne, vor allem des Trigeminus, Endigungsort zahlreicher absteigender Rindensysteme —, besitzen im allgemeinen keine unmittelbaren synaptischen Beziehungen zu hirnnervenmotorischen Neuronen.

3. Als Neuronensystem, dem die Überleitung aus der Rinde absteigender Erregungen auf motorische Hirnnervenkerne zufällt, ist vor allem der *ventrolaterale Teil der Formatio reticularis* anzusehen. Die *Zwischenneuronen für den Facialis sind in der Formatio reticularis des Mittelhirns und des oralen Pons*, jene für den Trigeminus sind in einem ziemlich eng umgrenzten Gebiet der *ventrolateralen Formatio reticularis* unmittelbar oral vom motorischen Kern lokalisiert.

4. Die Kreuzung der Leitungsbahn zwischen motorischer Rinde und Hirnnervenkernen fällt bei Trigeminus und Facialis auf das Zwischenneuron, beim Hypoglossus auf das absteigende Rindenneuron.

5. Die circumorbitale, durch den Facialis innervierte *Augenlidmuskulatur* erhält vorwiegend gleichseitige Verbindungen von der motorischen Rinde über den Nucleus interstitialis Cajal.

6. Existenz und Bedeutung eines besonderen *prämotorischen Systems* — der *ventrolateralen Formatio reticularis* —, das den corticalen, extrapyramidalen und peripherisch afferenten Erregungszustrom für die Hirnnervenmotorik integriert und den motorischen Neuronen der Hirnnervenkerne unmittelbar zuführt, wird kurz besprochen. Es wird darauf hingewiesen, daß der alte Begriff der corticobulbären Leitungsbahn als eigener Hirnnervenanteil der Pyramidenbahn, ebenso wie auch der letztere selbst, einer weitgehenden Umwertung bedarf.

Literatur

- ANGELERGUES, R., J. DE AJURIAGUERRA et H. HÉCAËN: Paralysie de la verticalité du regard d'origine vasculaire. *Rev. neurol.* **96**, 301—319 (1957). — BRODAL, A.: The reticular formation of the brain stem. Anatomical aspects and functional correlations. Edinburgh-London: Oliver and Boyd 1957. — BRODAL, A., T. SZABÓ and A. TORVIK: Corticofugal fibres to sensory trigeminal nuclei and nucleus of solitary tract. An experimental study in the cat. *J. Comp. Neurol.* **106**, 527—555 (1956). — BUCY, P. C.: Is there a pyramidal tract? *Brain* **80**, 376—392 (1957). — CAJAL, S. R. Y: Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés. Tome I. S. 877 u. f. Paris: A. Maloine 1909. — HASSLER, R., u. W. R. HESS: Experimentelle und anatomische Befunde über die Drehbewegungen und ihre nervösen Apparate. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **192**, 488—526 (1954). — HERNANDEZ-PEON, R., and K. E. HAGGARTH: Interaction between afferent and cortically induced reticular responses. *J. Neurophysiol.* **18**, 44—55 (1955). — HOFF, E. C.: The distribution of the spinal terminals (boutons) of the pyramidal tract, determined by experimental degeneration. *Proc. roy. Soc. B.* **111**, 226—237 (1932). — LLOYD, D. P. C.: The spinal mechanism of the pyramidal systems in cats. *J. Neurophysiol.*

4, 525—546 (1941). — Mediation of descending long spinal reflex activity. *J. Neurophysiol.* **5**, 435—458 (1942). — NAUTA, W. H. J., and P. A. GYGAX: Silver impregnation of degenerating axons in the central nervous system. *Stain Technol.* **29**, 91—94 (1954). — ROSSI, G. F., and A. BRODAL: Corticofugal fibres to the brain stem reticular formation. An experimental study in the cat. *J. Anat. (Lond.)* **90**, 42—62 (1956). — SCHEIBEL, M., u. A. SCHEIBEL: Unveröffentlicht. Zit. nach A. BRODAL, The reticular formation of the brain stem. — SPRAGUE, J. C.: Persönl. Mitteilung. — SZENTÁGOTHAJ-SCHMERT, J.: Die Endigungsweise der absteigenden Rückenmarksbahnen. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **111**, 322—330 (1941). — SZENTÁGOTHAJ, J.: Die zentrale Innervation der Augenbewegungen. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **116**, 721—760 (1943). — A pyramispálya és a tractus corticobulbaris újabb kutatómódszerekkel végzett vizsgálatok megvilágításában (Die Pyramidenbahn und der Tractus corticobulbaris im Lichte von Untersuchungen mittels neuer Forschungsmethoden; ung., engl. Zus.fass.) *Orv. Lapja* **3**, Nr. 37 (1947). — The representation of facial and scalp muscles in the facial nucleus. *J. comp. Neurol.* **88**, 207—219 (1948). — Anatomical considerations of monosynaptic reflex arcs. *J. Neurophysiol.* **11**, 445—454 (1948). — Recherches experimentales sur les voies oculogyres. *Sem. Hôp. Paris* **26**, 2989—2995 (1950). — Short propriospinal neurons and intrinsic connections of the spinal gray matter. *Acta morph. Acad. Sci. hung.* **1**, 81—94 (1951). — Die Rolle der einzelnen Labyrinthrezeptoren bei der Orientation von Augen und Kopf im Raume. Budapest: Akad. Verlag 1952. — Stereotaxische Methoden und Atlas (ung.) in: *A kísérleti orvostudomány vizsgáló módszerei III.* (Untersuchungsmethoden der experimentellen Medizin, Bd. III). Hg. A. KOVÁCH. Budapest: Akad. Verlag 1957. — SZENTÁGOTHAJ, J., and R. SCHÁB: A midbrain inhibitory mechanism of oculomotor activity. *Acta physiol. Acad. Sci. hung.* **9**, 89—98 (1956). — WALBERG, F.: Do the motor nuclei of cranial nerves receive corticofugal fibres? An experimental study in the cat. *Brain* **80**, 597—605 (1957).

Professor Dr. J. SZENTÁGOTHAJ, Pécs (Ungarn), Anatom. Inst. d. Univ., Dischka u. 5