

(Aus der hirnhistologischen Abteilung der psychiatrisch-neurologischen Klinik der Universität zu Budapest [Vorstand: Prof. *Karl Schaffer*].)

## **Myelogenetische Untersuchungen über den Kleinhirnanteil der Pyramidenbahn.**

Von

**Béla Hechst.**

Mit 5 Textabbildungen.

(Eingegangen am 30. April 1932.)

Nach *Schaffer* besitzt die Pyramidenbahn neben den spinalen und bulbären Abschnitten einen Kleinhirnanteil, welcher auf dem Wege des sog. Fasciculus arcuatus (*Schaffer*) s. circumolivaris bulbi durch das Corpus restiforme in das Kleinhirn gelangt. Die makro- bzw. faser-anatomischen Verhältnisse dieses scheinbar abnormen Bündels wurden von *E. Smith*, *Hajós*, *Schaffer*, neuerdings von *Juba* eingehend dargestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich kurz im folgenden zusammenfassen: Der Fasciculus arcuatus, d. h. die cerebellare Pyramide, ist in einem beträchtlichen Teil der Fälle an der ventrolateralen Partie des Bulbus schon mit bloßem Auge wahrnehmbar (z. B. hat *Schaffer* bei einer Untersuchungsreihe von 100 Oblongatae 72mal den Fasciculus arcuatus bzw. Fasciculus lateralis bulbi makroskopisch festgestellt), so daß wir den Fasciculus arcuatus nicht als Kuriosum, als Anomalie betrachten können. Wenn wir im Sinne *Spitzers* solche scheinbar abnormen Bündel als Kondensation der normalerweise diffus zerstreuten Fasern auffassen, dann stellt der Fasciculus arcuatus ein normalerweise vorhandenes Organisationsdetail des menschlichen verlängerten Markes dar. Der Fasciculus arcuatus löst sich von den übrigen Teilen der Pyramidenbahn entweder noch im Bereiche des Pons, oder erst in der Medulla oblongata los, umringt bogenförmig den unteren Pol der Olive oder verläuft an deren Oberfläche (transolivaris, *Juba*), dann begibt er sich zu dem Corpus restiforme, in welchem die Fasern immer am Rand verharren. Die Fasern lassen sich im Strickkörper zumeist bis zu jenem Punkt isoliert verfolgen, wo das Corpus restiforme seinen Übergang ins Kleinhirnmakelwerk stellt, was den cerebellaren Verlauf des Fasciculus arcuatus beweist.

Neben diesen normalanatomischen Daten verfügen wir auch über pathologisch-anatomische Erfahrungen bezüglich des Fasciculus arcuatus: wir wissen, daß der

Fasciculus arcuatus bei kapsulären Läsionen mit der Pyramidenbahn gleichzeitig degeneriert, wie dies die von *Schaffer* mitgeteilten Fälle beweisen. Einen weiteren Fall von degeneriertem Fasciculus arcuatus hat *St. Barnes* (1901) beschrieben. Bei diesem Falle handelte es sich um einen die subinsuläre Gegend zerstörenden vasculären Herd; außer den Pyramidenfasern waren die temporopontinen Fasern mitlädiert. Nach *Schaffer* ist die Py-Natur des Fasciculus arcuatus durch die gleichzeitige Entartung desselben bei absteigender Py-Degeneration festgestellt.

Die Existenz der direkten corticocerebellaren Bahn wurde von *Probst* in Tierversuchen bewiesen. *Probst* hat die Pyramidenbahn in der inneren Kapsel mit der Hakenkanülenmethode durchschnitten und auf diese Weise die Pyramidenbahn zur Degeneration gebracht. Im Bereiche des verlängerten Markes wurden bei 2 Katzen Fasern gefunden, die sich von den Pyramiden loslösten und als *Fibrae arcuatae externae* in das Corpus restiforme und mit diesem in den Oberwurm des Kleinhirns gelangten. Das Vorhandensein dieser Pyramiden-Corpus restiforme-Kleinhirnfasern haben auch *Economo* und *Karplus* in ihren Tierexperimenten sichergestellt. Diese Forscher konnten außer den erwähnten cerebellaren Pyramidenfasern auch solche Pyramidenfasern nachweisen, die ohne Unterbrechung durch den Brückenarm direkt in das Kleinhirn ziehen, wo sie zum Teil in die Hemisphären, vorwiegend aber in die spinalen Teile des Wurms verfolgt werden können.

Nach all diesen faseranatomischen und experimentellen Untersuchungen bzw. pathologisch-anatomischen Erfahrungen scheint daher die Tatsache festzustehen, daß Pyramidenfasern überhaupt ohne Unterbrechung ins Kleinhirn gelangen, d. h. die Zentralregion der Großhirnrinde steht mit dem Kleinhirn in unmittelbarem Zusammenhang. Die direkten corticocerebellaren Fasern verlaufen teils in den Brückenarmen (nur bei Tieren nachgewiesen), teils gelangen sie via Corpus restiforme ins Kleinhirn (*Probst*, *Economo* und *Karplus*, *Schaffer*, *Wallenberg*, *Juba*). Es ist weiterhin wahrscheinlich, daß die Zentralregion der Großhirnrinde mit dem Kleinhirn auch in unterbrochener Verbindung steht. Wenigstens weisen auf eine derartige indirekte corticocerebellare Verbindung folgende Untersuchungen. *Korolkow* konnte schon im Jahre 1896 mit der *Golgi*-schen Methode nachweisen, daß die Fasern der Pyramidenbahn beim Passieren der Brücke Kollateralfasern zu den Kernen der Brücke abgeben (bei Nagetieren). *R. y Cajal* sah eine Menge von Kollateralen der Pyramidenfasern, die frei an den in die Pyramidenbahn eingestreuten Zellen endigen. Nach *Ziehen* sind diese Kollateralen bei der neugeborenen Katze und Maus leicht nachzuweisen. *Probst* konnte mittels der *Marchi*-schen Methode Pyramidenkollateralen in der Brücke beobachten.

Als wichtigstes Ergebnis all dieser Untersuchungen ist das Vorhandensein eines homolateralen cerebellaren Pyramidenabschnittes zu betrachten. „Somit hat die eigentliche Py-Bahn 3 Hauptabschnitte: 1. einen spinalen, welcher zu den motorischen Extremitätenkernen (Vorderhörnern) führt; 2. einen bulbären, bestimmt für die motorischen Hirnnervenkerne und 3. einen cerebellaren, welcher aus a) einer bulbo-cerebellaren und b) einer ponto-cerebellaren Abteilung bestehen dürfte“ (*Schaffer*). Bezüglich der Funktion der cerebellaren Pyramidenfasern denkt *Schaffer* an eine regulative Wirkung auf den Muskeltonus; an eine rein-motorische

Funktion kann man um so weniger denken, als nach *Rothmanns* Meinung der Einfluß des Kleinhirns auf die rein-motorischen Vorgänge bei Menschen wesentlich geringer ist als bei Tieren.

Bezüglich der Py-Natur des Fasciculus arcuatus und dessen Endigung im Kleinhirn äußerten *Ziehen* und *Marburg* eine von der eben geschilderten Auffassung *Schaffers* abweichende Ansicht. *Ziehen* macht über den Fasciculus arcuatus in seinem bekannten Handbuch folgende Bemerkungen: „Wenn *Schaffer* den Fasciculus arcuatus zur Pyramidenbahn als ihren Kleinhirnanteil rechnet, so scheint mir dies nicht zulässig; der Terminus „Pyramidenbahn“ sollte ausschließlich für diejenigen Fasern reserviert werden, die aus der motorischen Region zu motorischen Nervenkernen oder Vorderhornzellen gelangen. Man wird also nur von einem „Hospitieren“ des Fasciculus arcuatus in der Pyramide sprechen dürfen“. — *Marburg* kam auf Grund seiner faseranatomischen Untersuchungen zu dem Schluß, daß der Fasciculus arcuatus nicht im Kleinhirn, wie dies *Schaffer* meint, sondern im Corpus ponto-bulbare endet; aus dem Corpus ponto-bulbare entspringen dann die *Fuseschen* Bodenstriae, die ins Kleinhirn gelangen (Fasciculus rhomboideo-cerebellaris, *Marburg*). Da das Corpus ponto-bulbare entwicklungsgeschichtlich ein mit den Brückenganglien analoges Gebilde darstellt, sei der Fasciculus arcuatus nach *Marburg* mit den corticopontinen Bahnen zu homologisieren, während die Bodenstriae den Brückenarmfasern entsprechen. Nach *Marburg* ist die Py-Natur des Fasciculus arcuatus noch keineswegs endgültig bewiesen und mit demselben Rechte wie als Pyramidenabkömmling könne man den Fasciculus arcuatus als Fortsetzung temporo-pontiner Fasern ansehen, die im *Barnesschen* Falle mitlädiert waren.

Wenn auch die Untersuchungen von *Probst*, *Schaffer*, *Economo* und *Karplus*, *Juba* bereits die Py-Natur des Fasciculus arcuatus beweisen, so hielten wir es doch für angebracht, auf Grund myelogenetischer Untersuchungen einen Beitrag zur erwähnten Streitfrage zu liefern. Es wurden nämlich bisher die Myelinisationsverhältnisse des Fasciculus arcuatus nicht in Betracht gezogen. Laut des myelogenetischen Grundgesetzes *Flechsigs* zeigen gleichwertige Elemente des Zentralnervensystems eine annähernd gleichzeitige Ummarkung. Im Sinne dieses Gesetzes sind von der myelogenetischen Methode für die Klärung der Natur des Fasciculus arcuatus (Py, *Schaffer*, corticopontines System, *Marburg*, Bodenstriae, *Fuse*) wichtige Aufschlüsse zu erwarten.

Wir haben daher teils aus dem intra-, teils aus dem extrauterinen Leben Oblongaten gesammelt, an deren ventralen Oberfläche schon mit bloßem Auge ein Fasciculus arcuatus zu sehen war. Unser Untersuchungsmaterial umfaßte Bulbi aus dem 7. und 9. Fetalmonat, aus dem 1., 2., 4. und 11. Lebensmonat und einen Bulbus von einem 18jährigen Individuum. Sämtliche Oblongaten wurden in lückenlose *Weigertserien* zerlegt.

Die Ergebnisse dieser myelogenetischen Untersuchungen können wir kurz folgendermaßen schildern. In dem 7. Fetalmonat sind sowohl die Pyramiden wie auch der Fasciculus arcuatus vollkommen marklos; ein

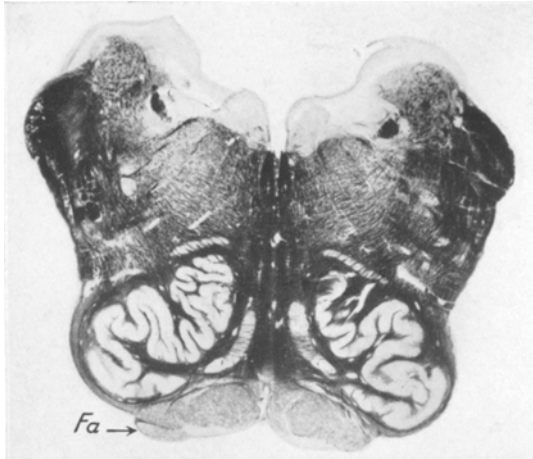


Abb. 1. *Weigert-Kultschitzky*-Präparat aus dem verlängerten Mark eines 1 Monate alten Kindes. Der Fasciculus arcuatus zeigt die gleiche Tinktion wie die Pyramiden.  
Fa: Fasciculus arcuatus.



Abb. 2. *Weigert-Kultschitzky*-Präparat aus dem verlängerten Mark eines 1 Monate alten Kindes. Fa: Fasciculus arcuatus. Bemerkenswert die gleiche Tinktion der Pyramide und des Fasciculus arcuatus.

Teil der *Fibrae arcuatae extern. ventrales* ist schon mit Mark umhüllt. In dem 9. Fetalmonat enthalten die Pyramiden bzw. der Fasciculus arcuatus nur ganz spärliche Markspuren. In dem ersten extrauterinen Monat zeigen die Pyramiden schon etwas mehr Markfasern und *genau*

dieselbe Tinktion zeigt auch der *Fasciculus arcuatus* (s. Abb. 1). Beide sind dabei von dem Markgehalt anderer Bulbusteile (z. B. Schleife) noch weit entfernt. Infolge des geringen Markgehaltes des *Fasciculus arcuatus* war in diesem Falle der Verlauf desselben gut zu verfolgen. Er umringt bogenförmig den unteren Pol der Olive, zieht zu dem *Corpus restiforme* (s. Abb. 2) und nimmt dessen Randteile ein. An einem höheren Querschnitte sieht man in den Randteilen des Strickkörpers der entsprechenden Seite mehrere kleine Lücken, die den markarmen Faszikeln des *Fasciculus*

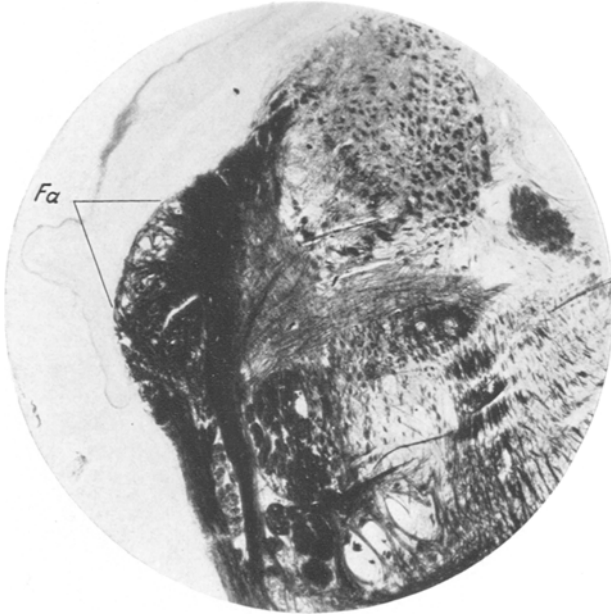


Abb. 3. Die linksseitige Strickkörpergegend des Falles wie in der Abb. 1 und 2. In den Randteilen des Strickkörpers sieht man kleine markarme Lücken (bei Fa), die dem *Fasciculus arcuatus* entsprechen. *Weigert-Kultschitzky-Präparat*.

*arcuatus* entsprechen (s. Abb. 3), sie springen zwischen den übrigen tiefblauen Teilen des *Corpus restiforme* scharf hervor. In dem Strickkörper der anderen Seite, wo also kein *Fasciculus arcuatus* vorhanden war, fehlen diese markarmen Lücken vollkommen (s. Abb. 4). Wir möchten hervorheben, daß der dorsale Teil des *Corpus ponto-bulbare* (*Crista rhomboidalis Marburgs*) räumlich getrennt, lateral von den markarmen Faszikeln des *Fasciculus arcuatus* liegt und die Faszikeln des *Fasciculus arcuatus* durch einen schmalen Marksäum von dem *Corpus ponto-bulbare* gesondert erscheinen. Mit anderen Worten, *die Fasern des Fasciculus arcuatus endigen nicht im Corpus ponto-bulbare, sondern sie verlaufen im Strickkörper*. Es ist weiterhin nicht ohne Bedeutung, daß wir in diesem Alter weder in den dorsalen noch in den ventralen Teilen

des Corpus ponto-bulbare markhaltige Fasern beobachten konnten. Dies spricht ebenfalls gegen eine Endigung des Fasciculus arcuatus in dem Corpus ponto-bulbare, da der Fasciculus arcuatus in diesem Alter, wenn auch noch spärlich, immerhin schon Markfasern besitzt. Den Fasciculus arcuatus weiter oralwärts verfolgend, können wir feststellen, daß *die markarmen Faszikeln immer in dem Randteil des Corpus restiforme verharren* und sich auf immer kleinere Faszikeln zersplittern, wodurch ihre Abgrenzung in den Markmassen des Strickkörpers immer schwerer wird.



Abb. 4. Die rechtsseitige Strickkörpergegend des Falles wie in den Abb. 1, 2 und 3. In den Randteilen des Strickkörpers sieht man keine markarme Lücken.  
*Weigert-Kultschitzky-Präparat.*

Doch können wir die einzelnen Faszikeln des Fasciculus arcuatus bis zum Austrittsniveau des 8. ohne Schwierigkeit verfolgen; weiter aufwärts entziehen sie sich der Beobachtung.

In dem 2., dann im 4. Lebensmonate nimmt der Markgehalt der Pyramiden stets zu und *die Tinktion des Fasciculus arcuatus geht mit der der Pyramiden streng parallel*. Die Verfolgung des Fasciculus arcuatus in dem Strickkörper stößt in diesem Alter wegen des größeren Markgehaltes schon auf Schwierigkeiten. In der Oblongata eines 11 Monate alten Kindes ist dann der Fasciculus arcuatus — entsprechend der Färbung der Pyramiden — schon tiefschwarz tingiert. Dasselbe konnte bei einem 18jährigen Individuum beobachtet werden (s. Abb. 5). In diesem Fall konnte auch festgestellt werden, daß *bei exzessiv entwickeltem*

*Fasciculus arcuatus sowohl der dorsale wie auch der ventrale Teil des Corpus ponto-bulbare sehr mangelhaft entwickelt war.*

Fassen wir die wichtigsten Ergebnisse vorliegender Untersuchungen zusammen, so ist folgendes zu sagen: 1. *Die Markreifung des Fasciculus arcuatus läuft streng parallel mit der der Pyramiden, was die Py-Natur des Fasciculus arcuatus sicherstellt.* 2. Der Fasciculus arcuatus zeigt Markfasern in einer Zeit (im ersten Lebensmonate), in welcher das Corpus ponto-bulbare und die Bodenstriae noch keine oder fast keine Mark-

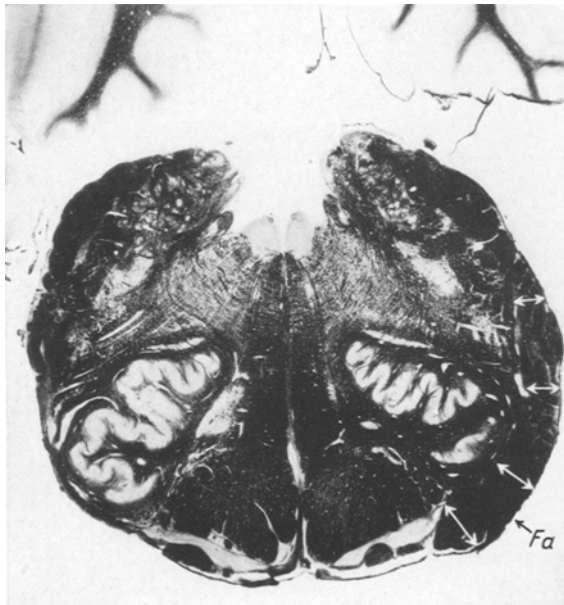


Abb. 5. Weigert-Kultschitzky-Präparat aus dem verlängerten Mark eines 18jährigen Individuum. Fa: Excessiv entwickelter Fasciculus arcuatus, dessen Breite durch die weißen Pfeillinien angegeben ist.

umhüllung aufweisen. Nach *Orzechowski* besitzt der pontobulbäre Körper beim Neugeborenen noch keine Myelinfasern und die Bodenstriae sind nach *Fuse* erst im 2. Lebensjahre als subependymal gelegenes Faserbündel zu erkennen.

In unseren Untersuchungsergebnissen findet daher die geschilderte Auffassung *Marburgs* über die Natur des Fasciculus arcuatus keine rechte Stütze. Nach den Untersuchungen von *Környey* sind die corticopontinen Systeme selbst bei einem 10ltägigen Kinde vollkommen marklos und wir sahen schon in dem ersten Lebensmonat beträchtliche Mengen von Markfasern in dem Fasciculus arcuatus, was eine corticopontine Natur des Fasciculus arcuatus ausschließt. Somit erklärt sich auch die von *Schaffer*

gefundene Degeneration des Fasciculus arcuatus bei kapsulären Läsionen nicht durch die erwähnte *Marburgsche* Ansicht von der Abstammung dieses Bündels, sondern sie ist als eine direkte Folge der in höherem Niveau erfolgten Unterbrechung der Pyramidenbahn zu betrachten. Es handelt sich weiterhin demnach *nicht um ein Hospitieren des Fasciculus arcuatus in den Pyramiden im Sinne Ziehens*, da ja die *Py-Natur* dieses Bündels, wie oben auseinandergesetzt, *feststeht*. Was die *Schaffer* zuge-sprochene Auffassung *Ziehens* über den Kleinhirnursprung des Fasciculus arcuatus angeht, so erblicken wir darin nur ein Mißverständnis, da diese Behauptung von *Schaffer* niemals aufgestellt worden ist. Übrigens bezweifelt *Ziehen* auch die von *Schaffer* angenommene tonusregulierende Wirkung des Fasciculus arcuatus, da der Pyramidenbahn nur eine rein-motorische Funktion zukomme. Es sprechen jedoch auch andere Beobachtungen dafür, daß die Pyramiden nicht ausschließlich motorische Funktionen ausüben können. Nach *Wallenberg* besteht der Ausnahme-charakter der Pyramidenbahn im alten Umfange nicht mehr zu Recht, sie bildet nur einen Teil, einen besonders ausgebildeten Abschnitt der großen zentrifugalen Rindenfaserung zu Zentren, die in bestimmte sensible und sensorische Bahnen eingelagert sind. Nach *Ariens-Kappers* beweist die Phylogenese der Py-Bahn in trefflicher Weise, daß Verlaufs- und Endigungsweise dieser sog. zentralmotorischen Bahn nicht durch moto-rische Zentren, sondern durch sensible Areale bestimmt wird. Auch die Endigung der Py-Fasern an den Vorderhornzellen kann man nicht als endgültig bewiesen betrachten. Es genügt auf die Untersuchungen von *Monakow*, *Deiters*, *Pick* hinzuweisen, nach welchen die Pyramiden nicht an den Vorderhornzellen, sondern an den Schaltzellen des Processus reticularis endigen. *Rothmann* und *Lewandowsky* lassen die Py-Fasern an den Zellen zwischen Hinter- und Vorderhorn enden. Nach *Schäfer* findet die Endigung der Py-Fasern in der Nähe der *Clarkeschen* Säule statt. Nach all diesen angeführten Momenten erscheint uns die *Schaffer-sche* Annahme der Kleinhirnendigung des Fasciculus arcuatus mit unseren Kenntnissen von der Endigungsweise von Pyramidenfasern nicht in Widerspruch zu stehen, da Pyramidenendigungen um nicht motorische Zellen bereits von anderen Autoren in Betracht gezogen worden sind.

Zum Schluß möchten wir noch erwähnen, daß gegen den von *Marburg* angenommenen Zusammenhang zwischen Fasciculus arcuatus und Corpus ponto-bulbare (bzw. Bodenstriae) außer den bereits besprochenen Ein-wänden auch die von *Schaffer* schon im Jahre 1924 gemachte Beobachtung spricht, nach welcher kein Parallelismus in dem Entwicklungsgrad des Fasciculus arcuatus und des Corpus ponto-bulbare (bzw. Bodenstriae) besteht. Diese Feststellung können wir auf Grund unserer Unter-suchungen bestätigen, da in dem schon erwähnten 18jährigen Falle bei beiderseits gut entwickelten Fasciculus arcuati das Corpus ponto-bulbare an beiden Seiten mangelhaft entwickelt war. Dieselbe Unabhängigkeit

ergibt sich bei einem Vergleich des Entwicklungsgrades des Fasciculus arcuatus mit den Bodenstriae. Man kann auch dort stark entwickelte Bodenstriae finden, wo kein Fasciculus arcuatus vorhanden ist und umgekehrt (so z. B. die Fälle 1, 3, 4, 21, 24 und 27 in der *Schafferschen* Arbeit <sup>1)</sup>). Auch wir kamen diesbezüglich zum selben Ergebnis.

### Zusammenfassung.

1. Die Markreifung des Fasciculus arcuatus bulbi geht mit der der Pyramidenbahn streng parallel, d. h. im Fasciculus arcuatus bulbi verlaufen echte Pyramidenfasern.

2. Der Fasciculus arcuatus bulbi steht weder mit dem Corpus pontobulbare noch mit den Bodenstriae in irgendwelchem Zusammenhang.

### Literaturverzeichnis.

<sup>1</sup> *Schaffer*: Beiträge zur Morphologie des Rhombencephalons. Z. Neur. **46** und Hirnpathologische Beiträge, Bd. 2.

*Barnes, St.*: Brain. **24** (1901). — *Economo, v. u. Karplus*: Arch. f. Psychiatr. **46** (1910). — *Flehsig, P.*: Anatomie des menschlichen Gehirns und Rückenmarks auf myelogenetischer Grundlage. Leipzig: Georg Thieme 1920. — *Fuse*: Neur. Zbl. **30** (1911); **31** (1912); Arb. hirnanat. Inst. Zürich **6**. — *Hajós, E.*: Z. Neur. **21** und *Schaffers* Hirnpathologische Beiträge, Bd. 1. — *Juba, A.*: Arch. f. Psychiatr. **95** (1931) und *Schaffers* Hirnpathologische Beiträge, Bd. 11. — *Kappers, A.*: Fol. neurobiol. **1** (1908); Die vergleichende Anatomie des Nervensystems der Wirbeltiere und des Menschen. Haarlem 1921. — *Karplus u. Spitzer*: Arb. neur. Inst. Wien. **11**. — *Korolkow*: Arch. f. Psychiatr. **48** (1911). — *Környey, St.*: Z. Anat. **181** und *Schaffers* Hirnpathologische Beiträge, Bd. 6. — *Marburg, O.*: Schweiz. Arch. Neur. **13** (1923); Mikroskopisch-topographischer Atlas des menschlichen Zentralnervensystems, 1927. — *Miskolczy, D.*: Arch. f. Psychiatr. **67** und *Schaffers* Hirnpathologische Beiträge, Bd. 3. — *Orzechowski*: Arb. neur. Inst. Wien. **14**. — *Probst, M.*: Mschr. Psychiatr. **6** (1899). — *Rothmann*: Mschr. Psychiatr. **35**. — *Schaffer, K.*: Z. Neur. **27** und *Schaffers* Hirnpathologische Beiträge, Bd. 1; Z. Neur. **46** und *Schaffers* Hirnpathologische Beiträge, Bd. 2; Neur. Zbl. **1915**; Schweiz. Arch. Neur. **14** (1924). — *Smith, E.*: Revue neur. **1904**. — *Spitzer*: Arb. neur. Inst. Wien. **11**. — *Wallenberg*: Arch. f. Psychiatr. **76** (1925). — *Ziehen*: Anatomie des Nervensystems in *Bardelebenschem* Handbuch, Bd. 2. Jena: Gustav Fischer.