

Morphometrische Untersuchungen an menschlichen Pallidumzellen*

WERNER M. TREFF

Institut für Hirnforschung der Universität Tübingen,
Korbinian-Brodmann-Haus (Direktor: Prof. Dr. J. PEIFFER)

Eingegangen am 13. November 1965

Das Ziel cytoarchitektonischer Untersuchungen ist, zur Klärung der Physiologie und Pathologie des Zentralnervensystems (ZNS) beizutragen. Voraussetzung dafür, mit physiologischen Methoden faßbare Reizerscheinungen oder Bahnenverläufe zu lokalisieren, ist die Kenntnis der Gewebstruktur, die vor allem durch die Cytoarchitektonik vermittelt wird. Cytoarchitektonische Methodik erlaubt es, spezifisch aufgebaute Areale, die als Grisea bezeichnet werden, abzugrenzen. Die Strukturelemente sind vor allem die unterschiedlichen Nervenzellarten. Ihre Differenzierung steht im Vordergrund cytoarchitektonischer Arbeit. Dabei interessieren nicht nur qualitative Unterschiede der Populationen der einzelnen Grisea, sondern auch das quantitative Mischungsverhältnis der einzelnen Nervenzellarten in ihnen.

Der Aufgabe derartiger Zelldifferenzierungen dient diese Arbeit. Sie wendet sich der Frage zu, ob das Pallidum nur einen Nervenzelltyp enthält oder ob Messungen der Zellparameter, Auszählung und volumetrische Bestimmungen für Populationsunterschiede in diesem Griseum sprechen. Wir gehen dabei vom Nissl-Bild aus. Auf die Probleme, die damit verbunden sind, hat WÜNSCHER schon 1956 aufmerksam gemacht. So ist es nach den Untersuchungen von GHR^{6,7} nicht ohne weiteres möglich, unmittelbare Schlüsse vom Schnittbild auf die Form der Nervenzellen zu ziehen. Das Verhältnis von Zellgröße zu Schnittdicke²⁶, die Vielgestaltigkeit der Perikarya²⁶, die Lage der Zelle innerhalb des Griseums und damit der Einfluß der Schnittrichtung bedingen sehr unterschiedliche Anschnitte der Nervenzellen. Dies zwingt dazu, zur Zählung und Messung genau definierte Parameter zu verwenden (siehe unten). Mit ihrer Hilfe kommt man zu dem Schluß, daß das Pallidum des Menschen aus drei Nervenzelltypen zusammengesetzt ist. Unterschiedliche Zellformen im Pallidum waren bereits 1920 von BIELSCHOWSKY und 1947 von KLATZO erwähnt worden. BIELSCHOWSKY hielt dennoch an der Monomorphie des Pallidums fest, „das gegenüber dem Striatum nur einen

* Die Untersuchungen wurden am C. und O. Vogt-Institut für Hirnforschung (Neustadt/Schwarzwald), Direktor: Prof. Dr. A. HOPF, durchgeführt.

Zelltyp“ aufweise, der im Frontalschnitt spindelförmig erscheine. KLATZO erwähnte immerhin einen spindelförmigen, einen rundlichen und einen dreieckigen Typ, auch GRÜNTAL⁸ sah bei Säugern bis einschließlich des *Maccacus rhesus* zwei Pallidum-Zelltypen, die aber beim Schimpansen nicht mehr deutlich unterscheidbar waren.

Material und Methode

Wir fußen in unserer Untersuchung auf Schnittserien von drei Fällen der Neustädter Sammlung des C. und O. Vogt-Institutes für Hirnforschung:

1. E 105: 6 $\frac{1}{2}$ Jahre alter Knabe, Tod an Diphtherie-Croup.
2. A 58: 24 Jahre alter Mann, tödlicher Unfall.
3. A 56: 61jähriger Mann, verstorben während der Operation eines Larynxcarcinoms.

Bei allen drei Fällen hätte man aufgrund der Diagnose und der Anamnese daran denken können, daß präfinal hypoxische Hirnschädigungen aufgetreten wären. Die Untersuchung ließ aber weder am Pallidum noch an den sonstigen Hypoxie-empfindlichen Hirngebieten derartige auf Hypoxieschäden verdächtige Veränderungen erkennen. Offenbar war der Zeitraum für eine Manifestation hypoxischer Gewebeschäden zu kurz.

Von diesen drei Gehirnen wurden frontalgeschnittene Serien durch das Pallidum untersucht. Die Gehirne waren formolfixiert, die Blöcke in Paraffin eingebettet, 20 μ dick geschnitten und mit Kresylechtviolett gefärbt. Bei spielender Mikrometerschraube wurden mit Hilfe eines Ocularschraubenmikrometers (Zeiss KPL. 16,0)²⁶ die Längen- und Breitendurchmesser der Perikarya der Pallidum-Nervenzellen und ihrer Zellkerne bestimmt. Bei längeren Dendritenanschnitten wurde die Meßgrenze dort gesetzt, wo gerade noch grobe Nissl-Substanz zu sehen war. In einer ersten Serie wurden an je 300 Nz des lateralen und medialen Pallidumteils Länge und Breite von Zelle und Kern gemessen. Diese vier Parameter wurden reihenstatistisch ausgewertet. Zellausschnitte, die keinen Zellkernanschnitt enthielten, wurden nicht beachtet. Eine weitere Untersuchung ermittelte dieselben Parameter an je 100 Nz, nun aber aufgeschlüsselt nach den drei vorher als verschiedengestaltig festgestellten Zelltypen und gesondert nach jedem Hirn. Insgesamt liegen der reihenstatistischen Auswertung 6200 Messungen zugrunde.

Befunde

Statt der im Pallidum bei den gewählten Parametern zu erwartenden Gaußschen Normalverteilungen fand sich in den Kurven, z.B. bei Beobachtung der Zellbreite im lateralen Pallidum, eine deutliche Doppelgipfligkeit (Abb. 1). Diese Abweichung von der Gaußschen Kurve spricht dafür, daß es sich nicht um einen gleichförmigen Zelltyp handelt, zumal

nicht nur die Zellbreite, sondern auch die übrigen Parameter Abweichungen von der Gauß-Kurve aufweisen. Eine Ausnahme macht lediglich die Breite der Zellkerne im Pallidum laterale. Die übrigen Meßwerte ent-

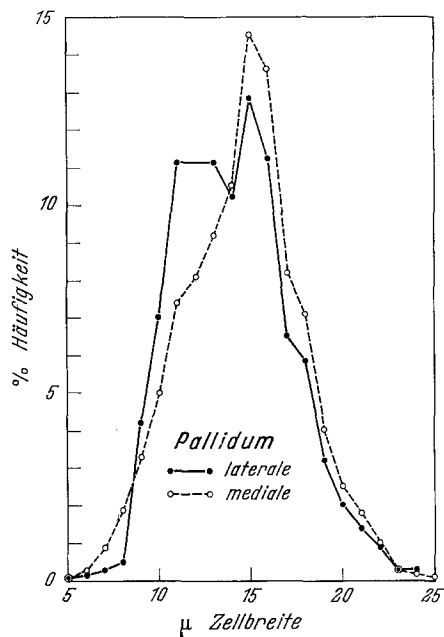


Abb. 1. Die Häufigkeitsverteilungen der Zellbreiten aller Nervenzellarten im Pallidum laterale und mediale

Tabelle 1

Die Zell- und Zellkernparameter der Nervenzellen des Pallidum laterale und mediale (die Spalten 5—8 enthalten die Zahlen der χ^2 -Probe und der P -Werte)

	Durchschnittswert \bar{x} (in μ)		Streuung s (in μ)		χ^2		P (in %)	
	lat.	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	med.
Zelllänge	28,30	28,17	$\pm 7,20$	$\pm 6,54$	39,00	47,71	$< 0,1$	$< 0,1$
Konfidenzbereich	$\pm 1,08$	$\pm 0,98$						
Zellbreite	14,20	14,87	$\pm 2,88$	$\pm 2,99$	58,04	26,35	$< 0,1$	$\sim 1,3$
Konfidenzbereich	$\pm 0,43$	$\pm 0,45$						
Zellkernlänge	13,92	13,95	$\pm 2,11$	$\pm 1,98$	30,46	24,42	$< 0,1$	$\sim 1,0$
Konfidenzbereich	$\pm 0,31$	$\pm 0,30$						
Zellkernbreite	9,32	9,59	$\pm 1,45$	$\pm 1,41$	14,91	18,67	$< 4,5$	$\sim 1,0$
Konfidenzbereich	$\pm 0,22$	$\pm 0,21$						

sprechen mit ihren P -Werten der χ^2 -Probe auf statistische Signifikanz der Abweichung von Normalverteilungen (Tab. 1). Diesem Ergebnis der Messungen mußte der Versuch folgen, die offensichtlich verschieden gestalteten Nervenzelltypen voneinander zu differenzieren. Tatsächlich

ließen sich bei Beachtung der Zellform, der Tinktion des Cytoplasmas, der Verteilung der Nissl-Substanz, der Stärke der Kernmembran und der Färbbarkeit des Karyoplasmas drei Arten großer Nervenzellen unterscheiden. Darüber hinaus ist eine sehr selten vorkommende kleine Nz-Art

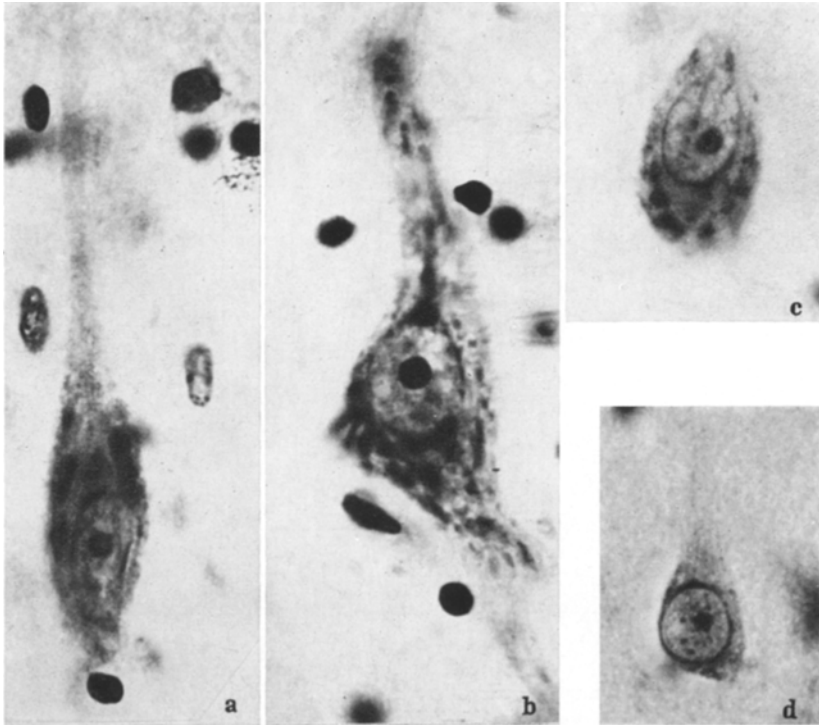


Abb. 2 a—d. Die verschiedenen Nervenzellarten im Pallidum. a Spindelzelle; b multipolare Zelle; c abgerundete Kegelzelle; d kleine Nervenzelle

vorwiegend in der Nähe der Lamina pallidi externa zu finden. Ihr Bild entspricht dem der kleinen Striatumzellen. Wir konnten folgende Zelltypen differenzieren:

Nervenzelltyp a („Spindelzelle“)

Am häufigsten beobachtet man die bereits von KÖLLIKER als „Strahlenzelle des Pallidums“ beschriebene schlanke, spindelförmige Zelle (Abb. 2a). Ihre beiden Hauptdendriten lassen sich im Längsschnitt oft sehr weit verfolgen. Je nach Ausschnitt können die Zellen auch oval bis rund erscheinen. Ihr länglicher Zellkern ist im Verhältnis zu den anderen Zelltypen auffällig schmal. Seine Länge beträgt $13,8 \mu$, die Breite $8,3 \mu$ [Variabilitätskoeffizient (Vk) ± 18 bzw. $\pm 13\%$]. Berechnet man das Zellkernvolumen als Rotationsellipsoid, so beträgt es etwa $580 \mu^3$.

Der Kern zeigt einen deutlichen Nucleolus mit meist zentraler Vacuole. Das Karyoplasma ist nur mäßig tingiert. Die Kernmembran zeichnet sich gut ab und zeigt an den beiden Polen meist perinucleäre Auflagerungen. Die Nissl-Substanz ist teils streifig, teils unregelmäßig angeordnet. Man kann sie bis in die Hauptdendriten verfolgen. Die Länge der ganzen Zelle beträgt im Durchschnitt am 20 μ dicken Schnitt 29,9 μ , die Breite 11,8 μ ($Vk \pm 29$ bzw. $\pm 14\%$). Im idealen Längsschnitt kann die Zelle bis zu 53 μ lang und 17 μ breit sein.

Nervenzelltyp b („multipolare Nz“)

Es handelt sich um eine auffallend helle, große, multipolare oder polygonale Zelle, die bis zu 45 μ lang und 26 μ breit sein kann. Die durchschnittliche Zelllänge beträgt 28,6 μ ($Vk \pm 17\%$), die Breite liegt bei 16,6 μ ($Vk \pm 14\%$). Der Kern ist im Vergleich zu den Kernen der beiden anderen Nervenzellarten auffällig hell. Seine Länge beträgt durchschnittlich 14,1 μ ($Vk \pm 13\%$), seine Breite 10,6 μ ($Vk \pm 11\%$), sein Volumen ca. 825 μ^3 . Sein Nucleolus ist groß und dunkel, die Nucleolenvacuole variiert in ihrem Sitz. Die Kernmembran ist wesentlich feiner gezeichnet als beim vorgenannten Typ der Spindelzelle, besitzt aber auch die üblichen polständigen perinucleären Verdichtungen. Die Nissl-Struktur ist variabler: neben groben Schollen kommen auch feine Granula vor. Oft setzen die Dendriten sehr breit an. Sie lassen sich aber gewöhnlich nur über ein kurzes Stück verfolgen, indem sie bisweilen eine streifige Nissl-Substanz aufweisen. Die Zelle wirkt dadurch polygonal. Ihre häufigste Form des Anschnittes ist ein Dreieck.

Nervenzelltyp c („abgerundete Kegelzelle“)

Im Verhältnis zu den beiden vorgenannten Arten ist dieser Zelltyp (Abb. 2c) auffällig dunkel gefärbt und meist abgerundet. Die Zelllänge beträgt durchschnittlich 26,7 μ ($Vk \pm 14\%$), die Breite 15,0 μ ($Vk \pm 12\%$). Im idealen Längsschnitt kann die Zelle bis zu 39 μ lang und 22 μ breit sein. Ihr dunkles Aussehen ist bedingt durch die sehr dichte Nissl-Struktur aus groben Schollen bis zu feinen Granula. Fortsätze sind kaum darstellbar. Der Kern ist sehr chromatinreich und durchschnittlich 13,8 μ lang sowie 10,1 μ breit ($Vk \pm 12\%$ bzw. 10). Das Kernvolumen läßt sich auf 750 μ^3 errechnen. Die Kernmembran hebt sich bei dem dunklen Kern nur schlecht ab. Perinucleäre Auflagerungen finden sich ohne polständige Betonung unsystematisch am ganzen Kernumfang. Der Nucleolus ist stark gefärbt, aber durch die übrige starke Tinktion der Zelle und ihres Kernes weniger auffällig.

Die kleine Nervenzelle d

Entspricht mit ihrer Länge von 15,2 μ und ihrer Breite von 10,1 μ etwa der kleinen Striatumzelle. Wir bestimmten die Parameter bei ihr

nur an 50 Exemplaren. Die Gestalt ist meist rundlich oder kegelförmig. Nissl-Granula finden sich nur sehr fein verteilt, wobei das Cytoplasma nur wenig tingiert ist. Es ist auffallend schmal, während im Vergleich zum Perikaryon der Kern groß erscheint ($8,8 \mu$ lang, $7,8 \mu$ breit im Durchschnitt). Der Kern ist chromatinarm, doch zeichnet sich die Kernmembran außerordentlich kräftig ab, mit deutlichen, flachen, perinucleären Auflagerungen. Der Nucleolus ist gewöhnlich klein. Diese Zelle wurde schon von C. und O. Vogt (1942) erwähnt. Sie wurde von ihnen als heterotopes Element des angrenzenden Striatums angesehen und gehört somit nicht zur eigentlichen Nervenzellpopulation des Pallidums. Wir wollen diese Lokalisation der kleinen Nervenzellen als Paratopie bezeichnen, da es sich nicht um eine pathologische Verlagerung von Striatumzellen handelt. Vielmehr erscheint uns diese als ein Grenzphänomen von zwei unterschiedlichen Grisea, die nicht durch dichte Faserzüge voneinander getrennt sind.

Besprechung

Die Häufigkeitsverteilungen der Meßwerte hatten bei der Voruntersuchung bei 300 Messungen Ergebnisse gebracht, die für eine Heteromorphie der Nervenzellen beider Pallidumanteile sprachen. Die Abweichungen von der Gaußschen Normalverteilung hatten sich bei allen Parametern — mit Ausnahme der Kernbreite im Pallidum laterale — durch die χ^2 -Methode als signifikant erwiesen (Tab. 1). Betrachtet man nun die einzelnen Parameter, die der Differenzierung der drei Zelltypen dienen, so ergibt sich bei der Zelllänge eine nur geringe, statistisch nicht eindeutige Differenz zwischen der Spindelzelle a und der multipolaren Zelle b.

Beide Zellarten sind in Relation zur Schnittdicke große Zellen. Wir erhalten also, da die Größe der Durchschnittswerte der Messungen von der Relation Schnittdicke zu Zellgröße abhängig ist²⁶, in bezug auf die tatsächliche Zellgröße bei beiden Zellarten verhältnismäßig niedrige Durchschnittswerte. Außerdem ist bei den Spindelzellen der Unterschied zwischen Längs- und Querdurchmesser sehr groß. Wenn wir, wie wir es im Schnittpräparat häufig tun müssen, einen Querschnitt dieser Zelle auswerten, so wird dabei ihr größter Durchmesser in bezug zur tatsächlichen Zelllänge klein bleiben. So erklärt sich auch der große V_k dieses Zellparameters ($\pm 18\%$), der als eindeutig unterschiedlich zu dem der multipolaren Zelle (Nz b $\pm 13\%$) anzusehen ist. Somit ist auch der statistische Konfidenzbereich des Durchschnittswertes groß und die damit statistisch bei der vorliegenden Auswertung nicht beweisbare Unterschiedlichkeit dieses Zellparameters beider letztgenannten Nz-Arten erklärbar.

Deutlich sind die Unterschiede bei der Zellbreite (Tab. 2, Abb. 3). Die Variabilitätskoeffizienten sind nahezu gleich (Nz a $\pm 14\%$, Nz b $\pm 14\%$, Nz c $\pm 12\%$). Das Verhältnis zwischen Schnittdicke und Größe dieser Parameter ist hier günstiger als bei der Längenbestimmung: die Quotienten der durchschnittlichen Zellbreite zur Schnittdicke sind für Nz a 0,59, für Nz b 0,8 und für Nz c 0,73. Bei den Zelllängen liegen diese Quotienten

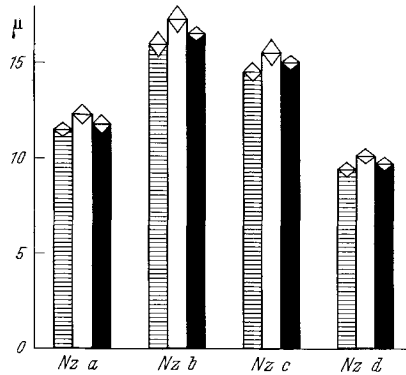


Abb. 3. Die durchschnittlichen Zellbreiten der Nervenzellen im Pallidum bei 20 μ Schnittdicke (die Rhomben auf den Säulen zeigen den jeweiligen Konfidenzbereich an)

Tabelle 2. Die Zell- und Zellkernparameter der einzelnen Nervenzellarten des Pallidum in μ , mit Konfidenzbereich

Zellart	Zellen		Zellkerne	
	Länge	Breite	Länge	Breite
Nz a	29,87 $\pm 1,28$	11,84 $\pm 0,26$	13,82 $\pm 0,36$	8,26 $\pm 0,16$
Nz b	28,61 $\pm 0,23$	16,55 $\pm 0,36$	14,10 $\pm 0,27$	10,55 $\pm 0,17$
Nz c	26,72 $\pm 0,64$	15,04 $\pm 0,26$	13,90 $\pm 0,24$	10,12 $\pm 0,16$
Nz d	15,46 $\pm 0,62$	10,08 $\pm 0,41$	8,74 $\pm 0,30$	7,37 $\pm 0,28$

Tabelle 3

Die errechneten Zell- und Zellkernvolumina der einzelnen Nervenzellarten des Pallidum in μ^3

	Nz a	Nz b	Nz c
Zelle	~ 7500	~ 25000	~ 15600
Zellkern	~ 580	~ 825	~ 750

alle über 1. Die Länge der Zellkerne liegt bei allen drei Zellarten in gleicher Größenordnung (Tab. 2). Hier lassen sich also keine Unterschiede feststellen. Deutlich sind dagegen wieder die Unterschiede in der Breite der Zellkerne (Tab. 2).

Die Zellvolumina* (Tab. 3) berechneten wir aus dem Grauzellkoeffizienten (Economo) und der Zellzahl pro Volumeneinheit^{15,27} die Kernvolumina als Rotationsellipsoid aus den Zellkerndurchmessern. Dabei

* Die Berechnung der Zellvolumina durch den Zellformen analoge geometrische Körper²⁵ mit den ermittelten Zellparametern, ergab Werte von gleicher Größenordnung (Nz a 6500 μ^3 ; Nz b 25000 μ^3 ; Nz c 18000 μ^3).

ergeben sich erhebliche Differenzen zwischen den einzelnen Nervenzellarten bezüglich Zell- und Zellkerngrößen: die Volumina der Perikarya verhalten sich etwa folgendermaßen:

$$\text{Nz a:Nz b:Nz c} = 1:3,1:2,1$$

Die Volumina der Zellkerne verhalten sich etwa wie

$$\text{Nz a:Nz b:Nz c} = 1:1,4:1,3.$$

Der optische Eindruck, den man bei der Betrachtung des Nissl-Bildes gewinnt, läßt sich also durch quantitative Messungen als richtig

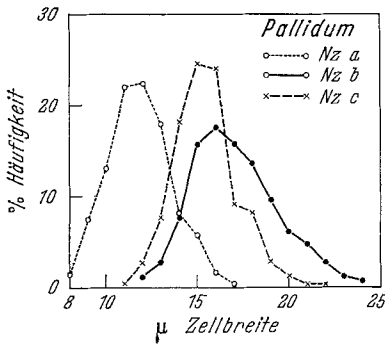


Abb. 4

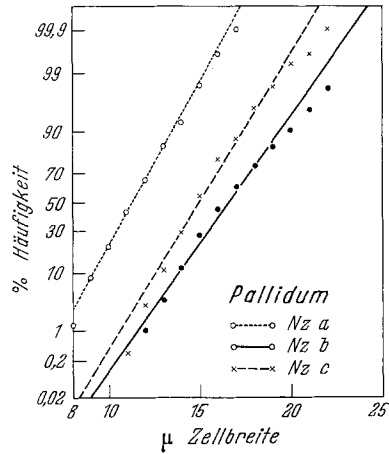


Abb. 5

Abb. 4. Die Häufigkeitsverteilungen der Zellbreiten der einzelnen Nervenzellarten des Pallidum
Abb. 5. Wie Abb. 4. Die Häufigkeitswerte sind jedoch als Summenprozentwerte im Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen

beweisen. Wir prüften nun die auf diese Weise gefundenen Nervenzelltypen des Pallidums auf ihre Homomorphie durch Vergleich mit einer Gaußschen Normalverteilung. Die Prüfung erfolgte einmal zeichnerisch in der Darstellung der Summenprozentkurven der Häufigkeitsverteilungen im Wahrscheinlichkeitsnetz³⁰, zum anderen rechnerisch^{5,30} mit Hilfe der χ^2 -Probe. Nähern sich die Häufigkeitsverteilungen der Meßwerte einer Stichprobe Gaußscher Normalverteilungen, dann liegen die Summenprozentwerte dieser Häufigkeit im Wahrscheinlichkeitsnetz — zumindest zwischen 10 und 90% — nahezu auf einer Geraden. Wir fügen als Beispiel die Häufigkeitsverteilung bei den Zellbreiten an (Abb. 4). Wir finden auf der Ordinate die prozentualen Häufigkeiten der Meßwerte und auf der Abszisse die gemessenen Zellbreiten in μ aufgetragen. Die drei Pallidumzellarten zeigen deutlich voneinander unterschiedene Verteilungen. Wie es nun auf Abb. 5 im Wahrscheinlichkeitsnetz zu sehen ist, kommen sie einer Gaußschen Normalverteilung sehr nahe. Signifikante

Differenzen zur Gaußschen Normalverteilung weisen auch die Prozentwerte der χ^2 -Probe *nicht* auf (Tab.4). Nur ein Wert weicht in der Tabelle hier signifikant ab, nämlich die Länge der Nervenzelle a („Spindelzelle“). Die Abb.6 zeigt die Doppelgipfligkeit dieser Häufigkeitsverteilung.

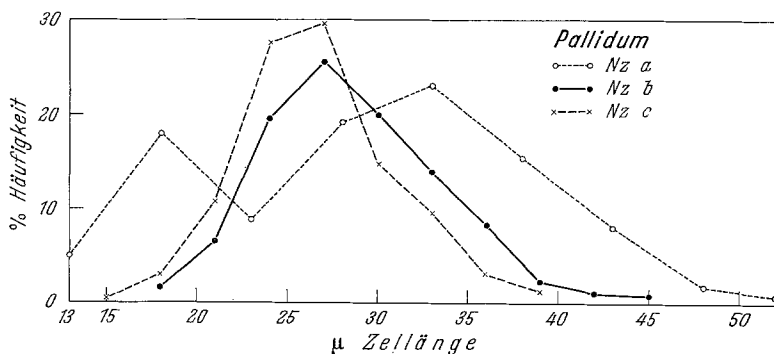


Abb. 6. Die Häufigkeitsverteilung der Zelllängen der Nervenzellen des Pallidum

Tabelle 4. Die P-Werte der χ^2 -Probe der Zell- und Zellkernparameter der Nervenzellpopulation des Pallidum

Zellart	P-Werte von χ^2 in %			
	Zellen		Zellkerne	
	Länge	Breite	Länge	Breite
Nz a	< 0,01	~ 50	~ 45	~ 60
Nz b	~ 30	~ 50	~ 86	~ 20
Nz c	~ 10	~ 8	~ 67	~ 5

Ein Gipfel liegt bei etwa 18 μ und der zweite bei 33 μ . Die übrigen Parameter entsprechen aber den Gaußschen Verteilungen. Bei dieser Spindelzelle hängt diese Doppelgipfligkeit *nicht* mit einer Heteromorphie zusammen. Sie ist vielmehr erklärbar durch die Form der Zellart und die nicht immer ungerichtete Lage der Spindelzelle im Pallidum. An einzelnen Stellen werden auf den Frontalschnittserien vorwiegend Längsschnitte, an anderen nahezu vollkommene Querschnitte gefunden. Diese Häufung von Querschnitten, die ja bei Spindelzellen bekanntlich in Kernebene rund oder oval sind, bedingt den Gipfel bei 18 μ . Der zweite Gipfel bei 33 μ entspricht der eigentlichen Zelllänge.

Zur kegelförmigen Nervenzelle c wäre anhand der Tab.4 noch zu sagen, daß die niedrigen Wahrscheinlichkeitswerte für Zelllänge, Zellbreite und Kernbreite sich aus einer Schiefe und Exzessivität der Meßwertverteilungen erklären. Die Exzessivität ist bedingt durch die Klasseneinteilung der Meßwerte, die Schiefe dadurch, daß bei der Messung die nicht diagnostizierbaren, kernfreien Zellanschnitte nicht

Tabelle 5. Die Variabilitätskoeffizienten der Zell- und Zellkernparameter der einzelnen Nervenzellarten im Pallidum

	Pallidum				
	Längen	Zellen	Breiten	Längen	Zellkerne Breiten
Nz a	± 6		± 3	± 5	± 4
Nz b	± 5		± 6	± 3	± 4
Nz c	± 4		± 5	± 5	± 5

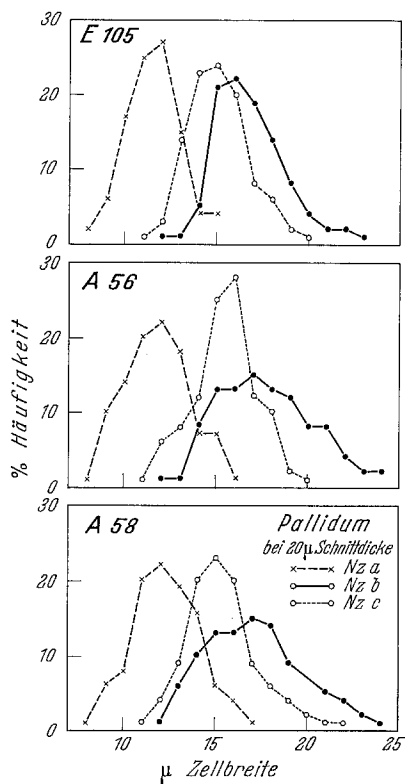


Abb.7. Die Häufigkeitsverteilung der Zellbreiten der Nervenzellen des Pallidum bei drei verschiedenen Gehirnen

ausgewertet wurden. Dies gilt auch für die beiden anderen Zellarten, doch sind diese Merkmale nicht so ausgeprägt wie bei der Nervenzelle c.

Bei all unseren Parametern liegt die individuelle Schwankung zwischen $\pm 3\%$ und $\pm 6\%$ (Tab.5). Beim Vergleich der drei Gehirne miteinander zeigt sich, daß die Häufigkeitsverteilungen auch bei den verschiedenen Gehirnen weitgehend übereinstimmen. Diese Übereinstimmung bezieht sich sowohl auf die Lage ihrer Maxima wie auch auf ihre Streuungen. Somit erweisen sich die Meßwerte als reproduzierbar (Abb.7).

Topographische Unterschiede

Zwischen dem lateralen und medialen Pallidumanteil konnten keine Unterschiede in den Zellmeßwerten festgestellt werden. Dies besagt zunächst aber nur, daß in beiden Pallidumarealen die gleichen Zellarten vorkommen. Über das quantitative Mischungsverhältnis der drei Zellarten in den beiden Pallidumanteilen ist damit noch nichts ausgesagt.

Tabelle 6. Die Zellparameter der einzelnen Nervenzellen des Pallidum differenziert je nach ihrer rostralen oder caudalen Lage

(\bar{x} = Durchschnittswert, V_K = Variabilitätskoeffizient, Näheres siehe Text)

		Pallidum					
		rostral		caudal		Signifikanz	Tendenz rost. caud.
		$\bar{x} \pm \mu$	V_K in %	$\bar{x} \pm \mu$	V_K in %		
Nz a	Länge	29,40 $\pm 1,82$	± 30	29,25 $\pm 1,99$	± 32	—	>
	Breite	11,63 $\pm 0,21$	± 8	11,87 $\pm 0,36$	± 14	—	<
Nz b	Länge	27,60 $\pm 1,02$	± 18	29,64 $\pm 1,01$	± 16	+	<
	Breite	15,29 $\pm 0,51$	± 16	17,23 $\pm 0,49$	± 13	+	<
Nz c	Länge	25,89 $\pm 0,82$	± 15	22,55 $\pm 1,01$	± 17	—	<
	Breite	14,84 $\pm 0,28$	± 9	15,24 $\pm 0,40$	± 13	—	<

Interessant war nun im Hinblick auf Arbeiten von MUNDINGER u. POTT-HOFF²¹ die Frage, ob sich innerhalb des Pallidums im Rahmen der somatotopischen Gliederung^{2,13,14,17,28} morphometrische Unterschiede zwischen den jeweiligen rostralen und caudalen Abschnitten beider Pallidumteile finden. Tatsächlich besteht — wie Tab. 6 zeigt — eine signifikante Differenz der Parameter zwischen den rostral und caudal gelegenen Zellen bei dem multipolaren Nervenzelltyp b. Die übrigen Nervenzellarten weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. Allerdings haben sie die Tendenz, von rostral nach caudal größer zu werden. Hier ist es aber nicht der Längsdurchmesser, der bei der Spindelzelle caudal eher kleiner ist, sondern das Volumen, das caudalwärts durch eine größere Zellbreite ansteigt. Die somatotopische Gliederung des Pallidum mediale ähnelt der des Striatum²⁸ und der Capsula interna, in denen die Repräsentation des Körperschemas — Kopf, Arme und Beine — von rostral nach caudal (dorsal) erfolgt. Innerhalb der Area giganto-pyramidalis der motorischen Rinde finden sich z.B. an der Beinregion größere Pyramidenzellen. Im

Pallidum sind diese Differenzen nicht so deutlich: die Durchschnittswerte der Zellparameter schwanken hier nur um 1—2 μ , sind also bei rein qualitativer Beurteilung nicht erkennbar.

Zusammenfassung

Messungen der Zelllänge und -breite sowie Kernlänge und -breite ergaben im Globus pallidus das Vorkommen von drei verschiedenen Nervenzellarten: durch diese Parameter und durch die Zellstrukturen lassen sich eine spindelförmige, eine multipolare und eine kegelförmige Zelle voneinander differenzieren. Die Differenzen sind statistisch signifikant. Die Häufigkeitsverteilungen der Meßwerte kommen Gaußschen Normalverteilungen nahe, was die Eigenart jeder der drei Nervenzelltypen bestätigt. Die drei Nervenzellarten ließen sich an drei Gehirnen verschiedenen Lebensalters in gleicher Weise nachweisen. Die Ergebnisse sind also reproduzierbar, wobei die individuelle Schwankungsbreite zwischen ± 3 und $\pm 6\%$ liegt. Für die multipolare Nervenzelle b fand sich eine statistisch gesicherte Größenzunahme in den caudalen Pallidumabschnitten. Auch die übrigen beiden Zellarten zeigen eine ähnliche Tendenz als Hinweis auf eine somatotopische Gliederung im Globus pallidus.

Literatur

- ¹ BIELSCHOWSKY, M.: Einige Bemerkungen zur normalen und pathologischen Histologie des Schweif- und Linsenkerns. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **25**, 1—11 (1920).
- ² BUCY, P. C.: Aus SCHALTENBRAND, G., u. P. BAILEY: Einführungen in die stereotaktischen Operationen, mit einem Atlas des menschlichen Gehirns, Bd. 1, S. 331—356. Stuttgart: G. Thieme 1959.
- ³ CAJAL, RAMON, Y.: Die Neuronenlehre. *Hdb. Neurol.*, Bd. 1. Berlin: Springer 1935.
- ⁴ CLARA, M.: Das Nervensystem des Menschen, 4. Aufl. Leipzig: J. A. Barth 1960.
- ⁵ FREUDENBERG, K.: Grundriß der medizinischen Statistik. Stuttgart: Schattauer 1962.
- ⁶ GHR, M.: Methode zur Rekonstruktion von Nervenzellen. *J. Hirnforsch.* **5**, 7—22 (1962).
- ⁷ — Die Zellformen des Nucleus medialis dorsalis thalami des Menschen. *Progress in Brain Research*, Vol. 5, pp. 74—86. Amsterdam: Elsevier Comp. 1964.
- ⁸ GRÜNTAL, E.: Vergleichend anatomische Untersuchungen über den Zellbau des Globus pallidus und Nucleus basalis der Säuger und des Menschen. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **44**, 403—428 (1932).
- ⁹ GRUNDMANN, E.: Allgemeine Cytologie. Stuttgart: G. Thieme 1964.
- ¹⁰ HALLERVORDEN, J., u. H. SPATZ: Eigenartige Erkrankungen im extrapyramidalen System mit besonderer Beteiligung des Globus pallidus und der Substantia nigra. *Z. ges. Neurol. Psychiat.* **79**, 254—302 (1922).
- ¹¹ HASSLER, R.: Zur pathologischen Anatomie des senilen und des parkinsonistischen Tremor. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **49**, 192—230 (1939).
- ¹² — *Hdb. d. inneren Medizin, Neurologie*, 3. Bd., S. 552—883. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953.
- ¹³ — Die extrapyramidalen Rindensysteme und die zentrale Regelung der Motorik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **175**, 233—258 (1956).

- ¹⁴ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Über die Symptomatik und operative Behandlung der extrapyramidalen Bewegungsstörungen. *Med. Klin.* **53**, 817—824 (1958).
- ¹⁵ HAUG, H.: Die Treffermethode, ein Verfahren zur quantitativen Analyse im histologischen Schnitt. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **118**, 302—312 (1955).
- ¹⁶ — Bedeutung und Grenzen der quantitativen Meßmethoden in der Histologie. *Medizinische Grundlagenforschung*, Bd. 4, S. 299—344 (1962).
- ¹⁷ JAKOB, A.: Die extrapyramidalen Erkrankungen. Berlin: Springer 1923.
- ¹⁸ KLATZO, I.: Über das Verhalten des Nucleolarapparates in den menschlichen Pallidumzellen. *J. Hirnforsch.* **1**, 47—59 (1947).
- ¹⁹ KOHNSTAMM, O.: Studien zur physiologischen Anatomie des Hirnstammes. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **17**, 33—57 (1910).
- ²⁰ KOELLICKER, K.: Hdb. der Gewebelehre, 6. Aufl., Bd. 2. Leipzig: J. A. Barth 1896.
- ²¹ MUNDINGER, F., u. P. POTTHOFF: Encephalographische und klinische Untersuchungen zur funktionellen Somatotopik des Pallidum internum bei stereotaktischen Pallidotomien. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **201**, 151—164 (1960).
- ²² PERNKOPF, E.: Topographische Anatomie des Menschen. München, Berlin, Wien: Urban & Schwarzenberg 1960.
- ²³ SPATZ, H.: Über den Eisennachweis im Gehirn besonders in den Zentren des extrapyramidal-motorischen Systems. *Z. ges. Neurol. Psychiat.* **77**, 261—390 (1920).
- ²⁴ — Zur Anatomie der Zentren des Streifenhügels. *Münch. med. Wschr.* **1921**, 1441—1446.
- ²⁵ TREFF, W. M.: Einfluß der Schnittdicke auf meßbare Größen bei Nervenzellen. 1. Internat. Congr. für Stereol., Wien 1963, Proceedings, 18/1—12.
- ²⁶ — Größenbestimmung der Nervenzellen und Gliazellen im Caudatum mediale bei unterschiedlicher Schnittdicke im histologischen Präparat. *J. Hirnforsch.* **6**, 123—132 (1963).
- ²⁷ — Numerische und Volumenzelldichte im Caudatum mediale: mit besonderer Berücksichtigung des quantitativen Auswertungsfehlers bei Zellzählungen. *Progress in Brain Research*, Vol. 6, pp. 139—146. Amsterdam: Elsevier Comp. 1964.
- ²⁸ VOGT, C., u. O. VOGT: Zur Lehre der Erkrankung des striären Systems. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **25**, 631—846 (1920).
- ²⁹ — — Morphologische Gestaltungen unter normalen und pathogenen Bedingungen. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **50**, 165—590 (1942).
- ³⁰ WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Jena: VEB Gustav Fischer 1956.
- ³¹ WÜNSCHER, W.: Zytoarchitektonik und Involution einiger Hirnstammkerne mit vegetativen Funktionen und der unteren Olive. *J. Hirnforsch.* **2**, 355—389 (1956).

Dr. med. WERNER M. TREFF
74 Tübingen, Calwer Straße 3