

Aus dem C. und O. Vogt-Institut für Hirnforschung der Universität Düsseldorf  
(Direktor: Prof. Dr. A. Hoff)

## Morphometrisch-statistische Strukturanalysen des Striatum, Pallidum und Nucleus subthalamicus beim Menschen

### I. Striatum

Von

K. F. SCHRÖDER, A. HOPF, H. LANGE und G. THÖRNER

Mit 8 Abbildungen und 7 Tabellen

(Eingegangen am 10. Dezember 1974)

### Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung
2.	Material, Methoden und Statistik
2.1.	Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole
2.2.	Material
2.3.	Methoden
2.3.1.	Hirngewicht
2.3.2.	Schrumpfungsfaktor
2.3.3.	Schnittserienvolumina
2.3.4.	Numerische Zelldichte
2.3.5.	Gliaindex
2.3.6.	Absolute Zellzahl
2.3.7.	Volumetrische Zelldichte
2.3.8.	Absolutes Zellenvolumen
2.3.9.	Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen
2.4.	Statistik
3.	Ergebnisse
3.1.	Hirngewicht, lineare Dimensionen und Schrumpfungsfaktor der Hemisphären
3.1.1.	Hirngewicht
3.1.2.	Lineare Dimensionen
3.1.3.	Schrumpfungsfaktor
3.2.	Hemisphären
3.3.	Cortex
3.4.	Striatum
3.4.1.	Frischvolumen
3.4.2.	Korrigierte numerische Zelldichten
3.4.2.1.	Kleine Nervenzellen
3.4.2.2.	Große Nervenzellen
3.4.2.3.	Verhältnis der numerischen Dichten der kleinen und großen Nervenzellen
3.4.2.4.	Gliazellen
3.4.2.5.	Gliaindex
3.4.3.	Absolute Zellzahlen
3.4.3.1.	Kleine Nervenzellen

3.4.3.2.	Große Nervenzellen
3.4.3.3.	Gliazellen
3.4.4.	Volumetrische Nervenzelldichte
3.4.5.	Korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen
3.4.6.	Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen
3.5.	Korrelationen
3.5.1.	Korrelation zwischen Cortex und Hemisphäre
3.5.2.	Korrelation zwischen Striatum und Hemisphäre
3.5.3.	Korrelation zwischen Striatum und Cortex
4.	Diskussion
4.1.	Hemisphärenfrischvolumen
4.2.	Cortexfrischvolumen
4.3.	Striatum
5.	Zusammenfassung
6.	Zitierte Literatur

### 1. Einleitung

Neben dem Bestreben nach Objektivierung der Befunde hat die Tatsache, daß sich feinere Gewebsveränderungen nicht selten der subjektiv qualitativen Analyse entziehen, zu einem erheblichen Anwachsen quantitativ-statistischer Untersuchungen in der Neuroanatomie und Neuro-pathologie geführt. Für das Gehirn gilt weiterhin der Satz von KIRSCH: „Da Strukturanalysen in derart komplizierten biologischen Objekten sehr zeitaufwendig sind, ist es verständlich, daß im

---

Herrn Professor Dr. H. KLINGER, Direktor des Instituts für Statistik und Dokumentation der Universität Düsseldorf, gilt unser Dank für die Beratung in statistischen Fragen.

Schrifttum wirklich umfangreiche Untersuchungen nicht allzu häufig zu finden sind.“ Auf dem Gebiet der vergleichenden Neuroanatomie beschränkt sich die Mehrzahl der Untersuchungen noch auf die Ermittlung von Hirngewichten und Volumina einzelner Hirnteile. In der Neuropathologie werden besonders Zellzählungen oder Bestimmungen der Volumenzeldichte ausgeführt. Die Zahl der untersuchten Gehirne ist oft gering, das Ergebnis statistisch nicht signifikant.

Eine feinere Strukturanalyse von Wachstumsprozessen, Veränderungen nach experimentellen Eingriffen oder pathologischen Prozessen ist aber nur möglich, wenn mehrere morphometrische Daten vorliegen. Man kann sich nicht damit begnügen, Volumenvermehrungen bestimmter Hirnabschnitte in der Evolution oder Volumenminderungen bei pathologischen Prozessen festzustellen, sondern möchte wissen, auf welchen Vorgängen diese beruhen. Die numerische Zelldichte (Zahl pro Volumeneinheit) kann bei entsprechender Schrumpfung des Griseum unverändert sein, obwohl ein erheblicher Zellausfall vorliegt; er wird dann oft nicht erkannt. Ebenso werden häufig auf Grund einer erhöhten numerischen Dichte Gliosen beschrieben, obwohl die Glia keine absolute Vermehrung aufweist. Das gilt beispielsweise für die Chorea Huntington (LANGE, THÖRNER, HOPF und SCHRÖDER, im Druck).

Es ist deshalb ein Ziel dieser und der folgenden Studien am Striatum, Pallidum und Nucleus subthalamicus, normale morphologische Daten zu liefern, die als Basis für detaillierte Strukturanalysen pathologischer Prozesse in den genannten Kerngebieten und für Untersuchungen in der vergleichenden Neuroanatomie dienen können.

## 2. Material, Methoden und Statistik

### 2.1. Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

B	Breite
D	Schnittabstand
F	Schnittfläche
Gz	Gliazelle
H	Höhe
Hgw	Hirngewicht
J	Jahre
L	Länge
L	(hinter Kenn-Nummer des Gehirns) linke Hemisphäre
m	männlich
Nz	Nervenzelle
gr. Nz	große Nervenzelle im Striatum
kl. Nz	kleine Nervenzelle im Striatum

R	rechte Hemisphäre
SF	Schrumpfungsfaktor
SF <sub>g</sub>	über das Hirngewicht ermittelter Schrumpfungsfaktor
SF <sub>k</sub>	kombinierter Schrumpfungsfaktor
SF <sub>l</sub>	über die linearen Dimensionen des Hirns ermittelter Schrumpfungsfaktor
Ssv	Schnittserienvolumen
w	weiblich
n	Umfang der Stichprobe
$\bar{x}$	Mittelwert der Stichprobe
s <sub>x</sub>	Standardabweichung der Stichprobe
s $\bar{x}$	Standardfehler des Mittelwerts
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
r	Korrelationskoeffizient der Stichprobe

- \* = 0,05  $\geq$  p > 0,01 5%-Niveau;  
 \*\* = 0,01  $\geq$  p > 0,001 1%-Niveau;  
 \*\*\* = P  $\leq$  0,001 0,1%-Niveau

### 2.2. Material

Es wurden 15 Hemisphären von 13 Normalgehirnen untersucht. Unter „Normalgehirnen“ verstehen wir Gehirne, die von Menschen stammen, die laut Anamnese, klinischem Befund und Sektionsprotokoll keinen Hinweis auf eine Gehirnerkrankung, besonders im Bereich des extrapyramidal-motorischen Systems geben. Nicht ausgeschlossen wurden hierbei altersbedingte regressive Gehirnveränderungen, um auch ein Vergleichsmaterial für das Studium pathologischer Prozesse bei älteren Individuen zu haben.

#### Untersuchte Fälle:

- A 100: 19 J, m, Aspirationspneumonie, Querschnittslähmung, HG 1604 g  
 A 58: 24 J, m, Verblutung nach Messerstichverletzung der Lunge, HG 1383 g  
 A 85: 30 J, w, Fettembolie nach Verkehrsunfall, HG 1150 g  
 A 77: 37 J, m, Dekapitation, HG 1468 g  
 A 61: 38 J, m, Coma uraemicum, Frischhirngewicht 1550 g  
 A 97: 39 J, m, Rechtsherzversagen bei Lungenarterienembolie, HG 1322 g  
 A 74: 40 J, m, Dekapitation, HG 1298 g  
 A 65: 40 J, w, Veronalvergiftung, Frischhirngewicht 1310 g  
 A 102: 41 J, w, Herzkreislaufversagen bei Uterusatonie post partum, HG 1165 g  
 A 56: 61 J, m, intraoperative Aspiration bei Larynx-Ca, Frischhirngewicht 1330 g  
 A 88: 62 J, m, Peritonitis bei metastasierendem Magen-Ca, HG 1380 g  
 A 64: 84 J, m, Pneumonie, Frischhirngewicht 1400 g  
 A 76: 99 J, w, Pneumonie, HG 1080 g  
 HG = Hirngewicht in Formol

Die Bearbeitung des Untersuchungsmaterials erfolgte einheitlich nach der im Institut üblichen Methode (VOGT, 1940): Fixierung der Gehirne in 4%igem Formalin für etwa 14 Tage. Nach Entfernen der Hirnhäute wird das Gehirn fotografiert und abgeformt. Durch einen etwa

0,75 cm kaudal vom oralen Rand der Brücke verlaufenden Horizontalschnitt werden der kaudale Hirnstamm und das Kleinhirn in toto abgetragen; dadurch bleibt die Substantia nigra vollständig erhalten. Der verbleibende orale Teil wird durch einen Medianschnitt in seine beiden Hälften zerlegt. Die Hemisphären werden auf einem Makrotom in vier bis fünf planparallele frontale Blöcke zerlegt, wobei die Senkrechte zur FORELSCHEN Achse als Frontalebene gilt.

Anschließend werden die Blöcke über die aufsteigende Alkoholreihe entwässert, in Paraffin eingebettet und auf Schlitten-Mikrotomen frontal in Serie geschnitten.

Die Schnittdicke der Präparate beträgt 20 µm. Nach Aufziehen und Entparaffinieren wird jeder 20. oder 25. Schnitt zur Zeldarstellung mit Kresylechtviolett gefärbt. Bei jedem 50. Schnitt wird die Markscheidenfärbung mit Hämatoxylin nach HEIDENHAIN-WOELCKE angewandt.

Bestimmt wurden Länge, Breite und Höhe der Hemisphären vor und nach der Präparation, Schrumpfung, Schnittserienvolumina der Hemisphären, der Hirnrinde, des Striatum (Pallidum und Nucleus subthalamicus s. folgende Beiträge), sowie beim Striatum die numerische Dichte der kleinen Nervenzellen, großen Nervenzellen und Gliazellen, die Volumenzeldichte der Nervenzellen und der mittlere Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen. Aus diesen Parametern ließen sich folgende absolute und relative Größen berechnen: Frischvolumina, Relativvolumen, absolute Zahl der kleinen und großen Nervenzellen, sowie der Gliazellen, Gliaindex, absolutes Frischvolumen der Nervenzellen.

## 2.3. Methoden

### 2.3.1. Hirngewicht

Die Hirngewichte wurden den Krankengeschichten entnommen. Die Problematik des Hirngewichtes und seine Abhängigkeit von Lebensalter, Körperlänge und Todesursache ist u. a. bei SPANN und DUSTMANN (1965) dargestellt.

Postmortale Gewichtsänderungen (BLINKOV/GLEZER, 1968; APPEL und APPEL, 1942; u. a.) und Einflüsse der Formalin-Fixierung konnten nicht quantitativ erfaßt werden (BLINKOV/GLEZER, 1968; TREFF und KRAUS, 1960; BAUCHOT, 1967; u. a.).

### 2.3.2. Schrumpfungsfaktor

Auf allen Stufen der Präparation ändern sich Gewicht und Volumen der Gehirne (WEIL, 1928; STOWELL, 1941; ZELIGMANN, 1946; ROMEIS, 1948; HEINZE, 1954; FRONTERA, 1958; STEPHAN, 1960 und 1961; TREFF und KRAUS, 1960; KRAUS, 1962; u. a.). Meist wird das Volumen der Gehirne direkt nach der Herausnahme und an den gefärbten Schnittserien bestimmt. Das Verhältnis der beiden Größen ergibt den Schrumpfungsfaktor, der von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist. STEPHAN multiplizierte seine Schnittserienvolumina (Meerschweinchen, Bouin-injektionsfixiert, Paraffineinbettung) mit

1,82. HOPF und CLAUSSEN (1970) fanden bei Affen (*Cercopithecus*, *Theropithecus gelada* und *Papio hamadryas*) Schrumpfungsfaktoren bei 4%-Formalinfixierung und Paraffineinbettung zwischen 1,71 und 1,97. Bei unseren Fällen standen keine Volumenangaben der unfixierten Hemisphären zur Verfügung. Wir haben daher die Schrumpfung der Gehirne auf zwei Wegen bestimmt und geben den Schrumpfungsfaktor als Mittel der beiden Bestimmungen an.

Die erste Methode vergleicht das Hirngewicht (Hgw) mit dem Schnittserienvolumen (Ssv) der Hemisphären. In den „*Tabulae biologicae*“ (XX, Growth of man, 1941) wird der Gewichtsanteil der Hemisphären am Gesamtgewicht mit 88% angegeben. Das spezifische Gewicht des Gehirns beträgt nach DANILEWSKY (1880): Graue Substanz 1,038–1,029 g/cm<sup>3</sup>; weiße Substanz 1,039 bis 1,043 g/cm<sup>3</sup>; Großhirn (gesamt) 1,035–1,041 g/cm<sup>3</sup>. DONALDSON (1895) fand für das gesamte Gehirn ein spezifisches Gewicht von 1,036 g/cm<sup>3</sup>, REICHARDT (1914) für die graue Substanz von 1,033–1,035 g/cm<sup>3</sup> und für die weiße Substanz von 1,035–1,040 g/cm<sup>3</sup>. FRONTERA (1958) und STEPHAN (1960) geben 1,036–1,037 g/cm<sup>3</sup> (±0,002) an. HACKL fand 1965 bei hundert Gehirnen aus der Prosektur des Psychiatrischen Krankenhauses der Stadt Wien ein mittleres spezifisches Gewicht von 1,078 g/cm<sup>3</sup>; bei PAUL (1971) findet sich ein spezifisches Gewicht von 1,029 g/cm<sup>3</sup> (±0,002). Wir haben mit dem Wert 1,0365 gerechnet. Den auf das Gewicht bezogenen Schrumpfungsfaktor berechneten wir nach der Formel

$$SF_g = \frac{\text{Hgw} \cdot 0,88 : 1,0365}{\text{Hemisphären-SSs}}$$

Der zweite Weg ermittelt die Schrumpfung über das Verhältnis der linearen Dimensionen der Hemisphären in Formalin und im fertigen Präparat. Die linearen Dimensionen der Hemisphären in 4%igem Formalin haben wir an Hand von 1:1-Fotografien bestimmt; die aufgezogenen Hemisphären haben wir mittels Fotografien von markscheidengefärbten Schnitten vermessen. Gemessen wurden jeweils die Höhe (der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten Punkt der Mantelkante und dem tiefsten Punkt des Schläfenlappens), die Breite (der größte senkrechte Abstand zwischen Mittellinie und temporo-parietaler Cortexoberfläche) und die Länge (zwischen Frontal- und Okzipitalpol). Die Länge des geschnittenen Gehirns ergab sich aus der Summe der Frontalschnitte mit bekannter Dicke. Den „linearen“ Schrumpfungsfaktor berechneten wir nach der Formel:

$$SF_l = \frac{L. B. H. \text{in Formalin}}{L. B. H. \text{geschnitten}}$$

Der endgültige Schrumpfungsfaktor ergab sich nach der Gleichung

$$SF_k = (SF_g + SF_l) : 2.$$

Folgende relative Fehler gehen in die Berechnung ein: SF<sub>g</sub>: Hirngewicht ±15%; Gewichtsanteil der Hemisphären ±5%; Spezifisches Gewicht ±5%; Ssv der Hemisphären ±2%; der relative Gesamtfehler einer Funktion:

$$h = k \cdot x^a \cdot y^b \cdot z^c \dots$$

(mit den Konstanten  $k$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und den unabhängigen Variablen  $x$ ,  $y$ ,  $z$  berechnet sich nach dem Potenzproduktgesetz der Fehlerfortpflanzung nach der Formel

$$\frac{^*h}{h} = \sqrt{\left(a \frac{^*x}{x}\right)^2 + \left(b \frac{^*y}{y}\right)^2 + \left(c \frac{^*z}{z}\right)^2 + \dots}$$

(SACHS, 1968)

In unserem Fall sind Hirngewicht und Hemisphärenschnittserienvolumen nicht unabhängig voneinander, sondern stark positiv miteinander korreliert ( $r = +0,702^{**}$ ).

Der Quotient Hirngewicht/Hemisphärenschnittserienvolumen hat also in diesem Falle der positiven Korrelation eine kleinere Streuung als bei unabhängigen Variablen.

Bei Anwendung der Formel wird der relative Fehler daher zu hoch geschätzt. In unserem Fall lautet die Formel für den gewichtsbezogenen Schrumpfungsfaktor

$$\frac{^*SF_g}{SF_g} = \sqrt{(1,0,15)^2 + (1,0,05)^2 + (-1,0,05)^2 + (-1,0,05)^2}$$

$$= 0,167,$$

d. h., der relative Fehler beträgt 17%.

Für den „linearen“ Schrumpfungsfaktor  $SF_1$  ergibt sich analog bei einem relativen Fehler der linearen Dimensionen von 5%

$$\frac{^*SF_1}{SF_1} = \sqrt{6 \cdot (0,05)^2} = 0,122, \text{ d. h. } 13\%.$$

Nach FENNER (1931) erhält man den Standardfehler einer Addition von Mittelwerten unabhängiger Variablen nach der Formel

$$\bar{x}_1 + \bar{v}_2 \bar{x} \sqrt{^*x_1^2 + ^*x_2^2}.$$

Für unseren endgültigen Schrumpfungsfaktor gilt analog

$$1 + 1 \pm \sqrt{0,167^2 + 0,122^2} = 2 \pm 0,208,$$

d. h., der relative Fehler von  $SF_k$  beträgt 10%.

### 2.3.3. Schnittserienvolumina

Bei den untersuchten Gehirnen wurde das Schnittserienvolumen ( $Ssv$ ) nach folgender Formel bestimmt, wobei  $F$  = Schnittfläche und  $D$  = Schnittabstand ist:

$$Ssv = \frac{F \cdot D}{(\text{lineare Vergrößerung})^2}$$

Der Schnittabstand wird definiert als Abstand zweier benachbarter Schnittebenen. Dabei wählt man entweder den Abstand zum weiter frontal oder okzipital gelegenen Schnitt als zugehörige Dicke. Bei gleichen Abständen ist das Ergebnis in beiden Fällen gleich. Die Schnittabstände betragen in der Regel 1 mm, in Regionen ohne Basalganglien 2 bis 4 mm. Die Schnittfläche bestimmten wir an Hand von Fotografien der markscheidengefärbten

Schnitte mit zwei- bis dreifacher Vergrößerung. Auf diesen Fotografien wurden die Grenzen der Hemisphäre (ohne Ventrikel, kaudales Ende im Mesencephalon unterhalb der Substantia nigra), des Cortex, des Striatums ohne Fundus striati (nach BROCKHAUS, 1942) eingezeichnet.

Die Flächen wurden mittels des elektronischen Scheiben-Roll-Planimeters OTT-ZUSE zweimal planimetriert und das Mittel als endgültiger Wert genommen. Die Unterschiede zwischen Minimal- und Maximal-Werten betragen höchstens 3%.

Die Schnittserienvolumina haben wir mit dem Schrumpfungsfaktor multipliziert, um *Frischvolumina* zu erhalten. Nach dem Potenzproduktgesetz ergibt sich ein relativer Fehler der Frischvolumina von

$$\sqrt{0,10^2 + 0,03^2} = 0,102 \text{ d. h. } 11\%.$$

### 2.3.4. Numerische Zelldichte

Unter numerischer Zelldichte versteht man die Anzahl der Zellen pro Volumeneinheit des Gewebes, meist pro  $\text{mm}^3$ .

Es wurde ein binokulares Mikroskop der Firma Carl Zeiss mit 12,5facher Okularvergrößerung, einer Zwischenvergrößerung von 1,5 und einem Objektiv mit 20facher Vergrößerung verwendet. Die Gesamtvergrößerung betrug somit 375. Das in das Okular eingelegte Zählgitter von HAUG besaß eine Kantenlänge von 212  $\mu\text{m}$ . Bei der Auszählung wurde die gesamte Schnittdicke durchmustert. Das ausgewertete Gewebsvolumen betrug  $(212 \mu\text{m})^2 \cdot 20 \mu\text{m} = 898880 \mu\text{m}^3$ . Durch Multiplikation mit 1112,5 ergab sich die numerische Zelldichte pro  $\text{mm}^3$ .

Wie üblich, wurden jeweils die Zellen mitgezählt, die auf der linken und oberen Begrenzung des Zählquadrates lagen, während die auf dem rechten und unteren Rand nicht berücksichtigt wurden. Bei den Nervenzellen wurden nur solche mit einem deutlich sichtbaren Nucleolus gezählt. So konnte auf eine Korrektur der Werte verzichtet werden (HAUG, 1967). Die Gliazellen wurden insgesamt ohne Aufteilung in die bekannten Arten gezählt.

Es wurden pro Hemisphäre 100 Zählquadrate aus mittleren Bereichen des Putamen ausgewertet. Das Präparat wurde so verschoben, daß die Zählquadrate unmittelbar nebeneinander lagen.

Da die numerische Zelldichte stark von der Schrumpfung des Gehirns beeinflusst wird, ist ein interindividueller Vergleich von Gehirnen unterschiedlicher Schrumpfung nicht möglich. Nimmt man jedoch eine gleichmäßige Schrumpfung innerhalb der Hemisphäre an, lassen sich intraindividuell die numerischen Zelldichten verschiedener Kerngebiete vergleichen. Für den interindividuellen Vergleich haben wir die numerische Zelldichte durch den Schrumpfungsfaktor dividiert.

### 2.3.5. Gliindex

Teilt man die numerische Gliazelldichte durch die numerische Nervenzelldichte, erhält man als Quotienten den Gliindex mit der Dimension Gliazellen/Nervenzelle.



Er gibt also an, wieviele Gliazellen in einem bestimmten Griseum auf eine Nervenzelle kommen. Der Vorteil dieser berechneten Größe liegt darin, daß sie unabhängig von Schrumpfungsvorgängen ist.

### 2.3.6. Absolute Zellzahl

Multipliziert man die numerische Zelldichte (Zellen/mm<sup>3</sup>) mit dem Schnittserienvolumen (mm<sup>3</sup>) eines Griseums, erhält man die absolute Zellzahl (Zellen pro Griseum). Diese Größe erlaubt bei gleicher Färbung der Schnitte sowohl den intra- als auch den interindividuellen Vergleich der Gehirne.

### 2.3.7. Volumetrische Zelldichte

Die volumetrische Zelldichte, auch Volumenzelldichte oder Zellvolumendichte genannt, ist der Volumenanteil der Zellen pro Volumeneinheit des Gewebes. Er wird meist in Prozent ausgedrückt und gibt somit — wie in unserem Fall — den prozentualen Anteil der Nervenzelleiber am Volumen des untersuchten Griseums an. Diese Methode wurde 1943 von CHALKLEY in die quantitative Morphologie eingeführt, von HAUG (1955) weiter entwickelt und als Treffermethode bezeichnet. Das Verfahren beruht auf der Tatsache, daß bei starker Vergrößerung im histologischen Schnitt nur eine Ebene scharf gezeichnet ist. Die relativen Flächenanteile von Strukturen, die durch Zufallstreffer bestimmt werden, entsprechen den relativen Volumenanteilen. Um der Zweidimensionalität nahe zu kommen, darf ein Tiefenschärfbereich (subjektive und objektive Tiefenschärfe) von 1 µm nicht überschritten werden (HAUG). Dies bedingt die Verwendung von Objektiven mit hohen Aperturen. Es wurden von den 169 Schnittpunkten des HAUGSchen Zählgitters nur solche als Treffer gewertet, die sich auf scharf erscheinende Zellanteile projizierten. Die zu Beginn der Zählung eingestellte Schnittebene darf nicht mehr verstellt werden. Es wurde ein Objektiv mit 90facher Vergrößerung und einer Apertur von 1,25 sowie ein Okular mit 12,5facher Vergrößerung gewählt. Bei einer 1,5fachen Zwischenvergrößerung betrug die Gesamtvergrößerung 1687,5, die objektive Tiefenschärfe 0,489 µm, die subjektive 0,318 µm, die Gesamttiefenschärfe 0,807 µm.

### 2.3.8. Absolutes Zellenvolumen

Multipliziert man die volumetrischen Zelldichten mit dem Frischvolumen des Griseums, erhält man das absolute Volumen der Zellen in dem betreffenden Griseum.

### 2.3.9. Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen

Hierzu wurde eine Vergrößerung von  $16 \cdot 1,5 \cdot 90 = 2160$  benutzt. Wir verwendeten ein mit Okularmikrometerschraube versehenes Meßokular der Firma Zeiss

(Jena). Im Okular war durch den Schnittpunkt zweier senkrecht zueinander stehender Geraden eine gestrichelte Gerade geführt, die wir als Tangente an die eine Seite des zu bestimmenden Zellkernes legten und durch Drehen der Mikrometerschraube am Okular verschoben, bis sie zur Tangente der gegenüberliegenden Seite des Kernes geworden war. Ein Skalenteil des Okularmikrometers entsprach 0,087 µm. Bei unseren Bestimmungen haben wir keine Rücksicht auf den Schrumpfungskoeffizienten der untersuchten Gehirne genommen. Es wurden pro Hemisphäre 200 Zellen gemessen.

## 2.4. Statistik

Für die statistische Auswertung standen uns folgende Rechner zur Verfügung: SIEMENS 4004 — Anlage mit Plotter des Rechenzentrums der Universität Düsseldorf mit BMD-Programmen (Biomedical data — health sciences computing facility, UCLA) für Korrelationen und graphische Darstellungen, einschließlich Histogrammen; außerdem ein DIEHL-Algorithmic-Tischcomputer im Institut für Hirnforschung.

Die Einzelwerte der Gehirne wurden — nach Geschlecht getrennt — zusammengefaßt, die Mittelwerte mittels t-Test auf signifikante Unterschiede geprüft; im Falle verbundener Größen mittels t-Test für gepaarte Beobachtungen. Weiter wurden die 95%-Vertrauensbereiche der Mittelwerte berechnet.

Stochastische Zusammenhänge prüften wir durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten  $r$  und der Regressionsgeraden

$$y = (a \pm s_a) + (b \pm s_b)x$$

und

$$x = (a' \pm s_{a'}) + (b' \pm s_{b'})y$$

und ihres Vertrauensbereiches (SACHS, 1968).

Zur Kennzeichnung des Signifikanzniveaus benutzten wir nach SACHS (1972) folgende Sternsymbolik:

- \*  $0,05 \geq P > 0,01$  5%-Niveau
- \*\*  $0,01 \geq P > 0,001$  1%-Niveau
- \*\*\*  $P \leq 0,001$  1%-Niveau.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Hirngewicht, lineare Dimensionen und Schrumpfungsfaktor der Hemisphären

Hirngewichte, lineare Dimensionen und Schrumpfungsfaktoren sind auf Tabelle 1 eingetragen.

#### 3.1.1. Hirngewicht

Der Unterschied zwischen den Mittelwerten der Hirngewichte (in g) der Männer ( $\bar{x}$  1415,  $s_x$  110,  $s_x^2$  40) und denen der Frauen ( $\bar{x}$  1176,  $s_x$  100,

Tabelle 1

Gehirn	Seite	Alter	Geschlecht	g Hirngewicht	f = Formalin	Hemisphäre						SF <sub>1</sub>	SF <sub>g</sub>	SF <sub>k</sub>
						vor			nach					
						der Präparation								
Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Länge mm	Breite mm	Höhe mm									
A 100	R	19	m	1604	f	162	69	113						
A 58	R	24	m	1383	f	170	71	97	120	63	82	1,90	2,22	2,06
	L					170	71	96	122	64	82	1,81		2,01
A 85	L	30	w	1150	f	160	67	96	137	61	81	1,54	2,00	1,77
A 77	L	37	m	1468	f	175	75	98	119	68	77	2,06	2,64	2,35
A 61	L	38	m	1550		178	74	97	128	70	87	1,64	1,86	1,75
A 97	L	39	m	1322	f	159	67	110	134	58	95	1,59	2,01	1,80
A 74	L	40	m	1298	f	159	65	102	124	57	90	1,66	2,24	1,95
A 65	L	40	w	1310		168	66	113	114	61	92	1,89	2,01	1,95
A 102	L	41	w	1165	f	158	66	96	122	59	80	1,74	2,03	1,88
A 56	R	61	m	1330		160	75	102	112	64	82	2,08	2,41	2,25
A 88	L	62	m	1380	f	169	69	110	132	63	86	1,79	1,97	1,88
	R					166	70	101	—	—	—	—	—	2,27
A 64	L	84	m	1400		173	69	97	106	63	80	2,17	2,37	2,27
A 76	L	99	w	1080	f	145	63	96	104	59	77	1,86	2,45	2,16

Tabelle 2. Lineare Dimensionen der ungeschnittenen Hemisphären

		Länge (mm)			Breite (mm)			Höhe (mm)		
		Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
Unter- suchungen	ECONOMO (1929)	155	—	190	65	—	70	108	—	117
	JURGUIS (1957)									
	♂ 21—30 Jahre	141	167	183	59	70	82	73	93	104
	60—100 Jahre	154	166	177	60	68	78	80	90	100
„Normalfälle“										
	11 ♂	159	167	178	65	70	75	97	102	113
	4 ♀	145	158	168	63	66	67	96	101	113

s<sub>z</sub> 50) beträgt 17% und ist auf dem 1%-Niveau signifikant.

### 3.1.2. Lineare Dimensionen

Die ermittelten Werte zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren (Tabelle 2).

### 3.1.3. Schrumpfungsfaktor

Infolge der unterschiedlichen Schrumpfung der einzelnen Gehirne variiert das Verhältnis von Hirngewicht zu Schnittserienvolumen erheblich.

Der Korrelationskoeffizient  $r$  beträgt 0,702. Korrigiert man das Schnittserienvolumen entsprechend dem Schrumpfungsfaktor, so beträgt der Korrelationskoeffizient  $r$  0,958.

Wegen der starken Schwankungsbreiten des Schrumpfungsfaktors von 1,75 bis 2,35 sind auch andere Werte, wie Volumina und numerische Zelldichten, selbst in dem eigenen, relativ einheitlich präparierten Material nicht ohne weiteres vergleichbar; sie bedürfen vielmehr einer Korrektur. In noch höherem Grade wird die Vergleichbarkeit von Material aus der Literatur dadurch beeinträchtigt, daß Korrekturdaten meist nicht angegeben sind.

### 3.2. Hemisphären

Der Unterschied der Mittelwerte der Hemisphärenfrischvolumina (in  $\text{cm}^3$ ) zwischen Männern ( $\bar{x}$  543,  $s_x$  40,  $s_{\bar{x}}$  41) und Frauen ( $\bar{x}$  458,  $s_x$  58,  $s_{\bar{x}}$  29) beträgt 15% und ist auf dem 5%-Niveau signifikant. Die Schnittserienvolumina sind auf Tabelle 3 wiedergegeben.

### 3.3. Cortex

Der Unterschied der Cortexfrischvolumina (in  $\text{cm}^3$ ) zwischen Männern ( $\bar{x}$  273,  $s_x$  35,  $s_{\bar{x}}$  12) und Frauen ( $\bar{x}$  235,  $s_x$  23,  $s_{\bar{x}}$  12) entspricht mit 14% ziemlich genau dem der Hemisphärenfrischvolumina.

### 3.4. Striatum

#### 3.4.1. Frischvolumen

Die Frischvolumina ergeben sich aus einer Multiplikation der auf Tabelle 3 angegebenen Schnittserienvolumina mit den jeweiligen Schrumpfungsfaktoren. Die Werte sind in Abhängigkeit vom Alter auf Abbildung 1 dargestellt. Die Mittelwerte (in  $\text{cm}^3$ ) der Männer ( $\bar{x}$  10,2,  $s_x$  1,9,  $s_{\bar{x}}$  0,6) liegen um 12% über den Werten der Frauen ( $\bar{x}$  9,0,  $s_x$  0,4,  $s_{\bar{x}}$  0,2). Dieser Unterschied ist nicht signifikant. Der — auch im Vergleich zu Literaturangaben — sehr niedrige Wert von  $6,64 \text{ cm}^3$  bei A 77 L mag dabei als „Ausreißer“ eine Rolle spielen.

Tabelle 3. Schnittserienvolumina

	Hemisphäre $\text{cm}^3$	Cortex $\text{cm}^3$	Caudatum $10^1$	Putamen $\text{mm}^3$
A 100 R	—	—	—	—
A 58 R	267	144	298	360
A 58 L	262	139	269	343
A 85 L	244	130	212	287
A 77 L	236	107	145	139
A 61 L	353	177	274	294
A 97 L	279	132	277	275
A 74 L	246	111	224	272
A 65 L	276	137	242	243
A 102 L	244	122	222	260
A 56 R	234	112	186	245
A 88 L	297	154	225	261
A 64 R	—	—	231	236
A 64 L	251	142	222	229
A 76 L	187	99	198	205

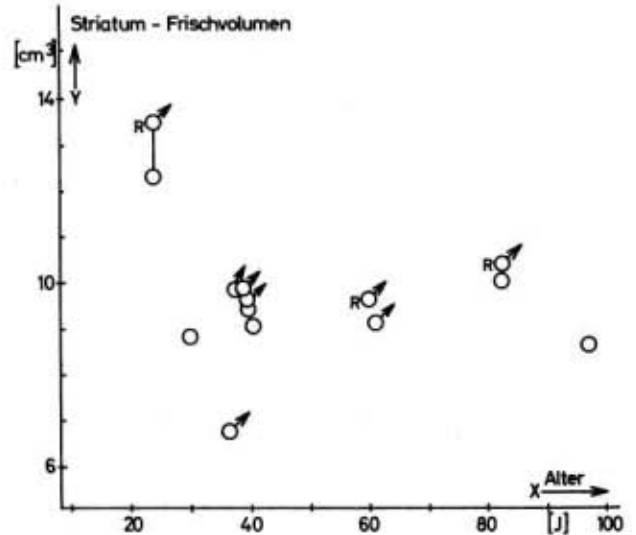


Abb. 1

Die Größen von Putamen und Caudatum sind streng miteinander korreliert, wie Abbildung 2 erkennen läßt.

Die Regressionsgleichung lautet

$$y = (0 \pm 0,1) + (1,13 \pm 0,23) \cdot x.$$

$$y = \text{Putamen (cm}^3\text{)}$$

$$x = \text{Caudatum (cm}^3\text{)}$$

Wie aus der Gleichung und Abbildung 2 hervorgeht, ist das Putamen im Durchschnitt um 13% größer ( $P < 0,01$ ).

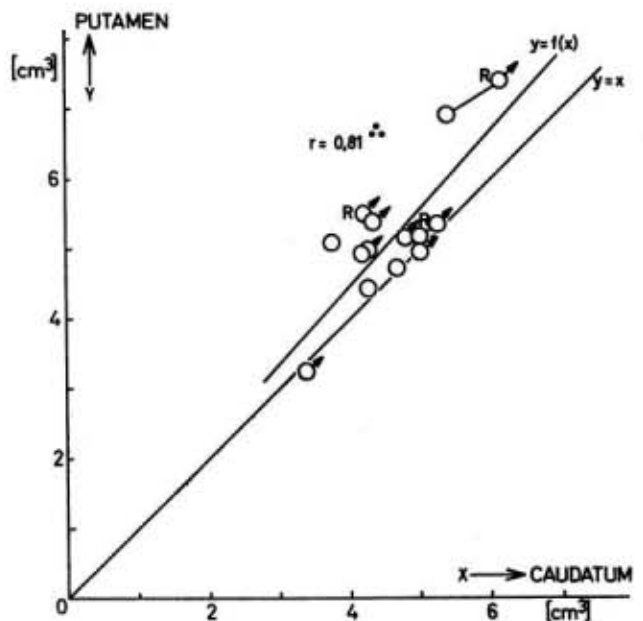


Abb. 2

## 3.4.2. Korrigierte numerische Zelldichten

Die korrigierten Dichten ergeben sich aus einer Division der in Tabelle 4 aufgeführten, in Schnittserien gezählten Dichten durch die Schrumpfungsfaktoren.

Tabelle 4. Striatum

	numerische Zelldichte			volumetrische Nz-Dichte 10 <sup>-2</sup> %	Kerndurch- messer kl. Nz 10 <sup>-2</sup> μm
	kl. Nz	gr. Nz	Gz		
	10 <sup>1</sup> Nz mm <sup>3</sup>	Nz mm <sup>3</sup>	10 <sup>1</sup> Gz mm <sup>3</sup>		
A 100 R	2195	100	8327	336	871
A 58 R	2029	156	7360	454	859
A 58 L	2248	156	7835	393	891
A 85 L	2296	89	8436	391	878
A 77 L	2110	134	9911	308	784
A 61 L	2087	122	7580	352	861
A 97 L	2244	111	8209	441	865
A 74 L	2223	134	8284	458	915
A 65 L	2336	145	7515	462	870
A 102 L	2162	111	8009	414	866
A 56 R	2255	167	8791	440	876
A 88 L	2272	122	9208	344	855
A 64 R	2262	122	7753	467	871
A 64 L	2311	111	7771	444	850
A 76 L	2294	145	8660	390	862

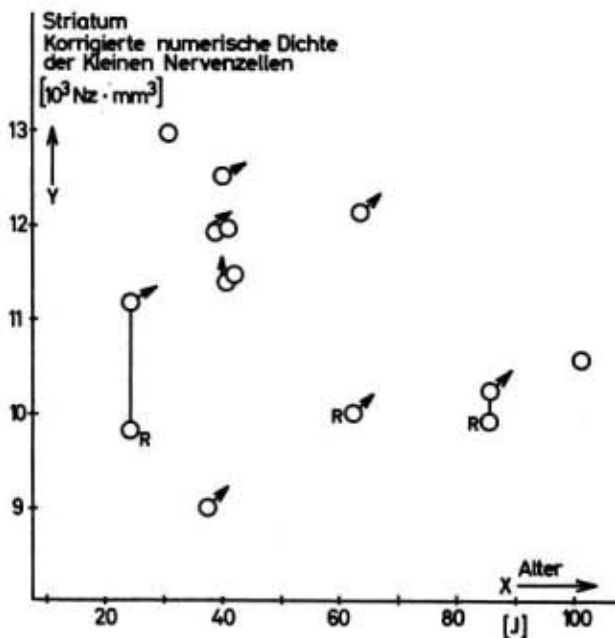


Abb. 3

## 3.4.2.1. Kleine Nervenzellen

Abbildung 3 zeigt die Altersverteilung der korrigierten numerischen Dichte der kleinen Nervenzellen. Ein sicherer Einfluß des Alters auf die Werte ist nicht erkennbar. Feinere Veränderungen könnten durch die starke Streuung der Werte von 9000 bis 13000 Nz/mm<sup>3</sup> Frischvolumen verdeckt sein. Die Mittelwerte (in 10<sup>3</sup> Nz) liegen bei den Frauen ( $\bar{x}$  11,77,  $s_x$  0,98,  $s_{\bar{x}}$  0,49) um 9% über denen der Männer ( $\bar{x}$  10,82,  $s_x$  0,98,  $s_{\bar{x}}$  0,49). Der Unterschied ist statistisch nicht signifikant. Der Mittelwert beider Gruppen zusammen beträgt 11100 Nz/mm<sup>3</sup>, der 95%-Vertrauensbereich  $\pm 700$ .

## 3.4.2.2. Große Nervenzellen

Der Mittelwert (in Nz/mm<sup>3</sup>) liegt bei männlichen Gehirnen ( $\bar{x}$  66,  $s_x$  10,  $s_{\bar{x}}$  3) um 3% und insignifikant über dem der weiblichen Gehirne ( $\bar{x}$  63,  $s_x$  12,  $s_{\bar{x}}$  6). Es besteht eine hohe Schwankungsbreite von 49 bis 78 gr. Nz/mm<sup>3</sup>. Diese Schwankungsbreite beruht auf der geringen Dichte und unregelmäßigen Lagerung der gr. Nz im Striatum. Nur eine erheblich größere Zahl von Messungen, als vorgenommen wurde (100 Zählfelder pro Hemisphäre), würde die Schwankungsbreite vermindern. Eine Abhängigkeit der Dichte vom Alter ist nicht erkennbar. Der Mittelwert der männlichen und weiblichen Fälle zusammen beträgt 65 gr. Nz/mm<sup>3</sup> bei einem 95%igen Vertrauensbereich von  $\pm 6$ .

## 3.4.2.3. Verhältnis der numerischen Dichten der kleinen und großen Nervenzellen

Die Schwankungsbreite ist mit 130 bis 258 kl. Nz auf eine gr. Nz sehr groß. Eine Abhängigkeit von Geschlecht oder Alter läßt sich im vorliegenden Material nicht feststellen (Abbildung 4). Der Mittelwert für die männlichen und weiblichen Gehirne zusammen beträgt 175 kl. Nz/gr. Nz ( $s_x$  34,  $s_{\bar{x}}$  9).

## 3.4.2.4. Gliazellen

Ein Geschlechtsunterschied oder eine Altersabhängigkeit ist nicht erkennbar (vgl. Tabelle 4). Der Mittelwert liegt bei Frauen mit  $\bar{x}$  42,3 ( $s_x$  3,9,  $s_{\bar{x}}$  2,0) nur 4% und insignifikant über den Werten bei Männern ( $\bar{x}$  40,6,  $s_x$  5,0,  $s_{\bar{x}}$  1,6). Der Mittelwert aller Normalfälle zusammen beträgt 41,1 · 10<sup>3</sup> Gz/mm<sup>3</sup> bei einer Schwankungsbreite von 34,5 bis 49,2 · 10<sup>3</sup>.



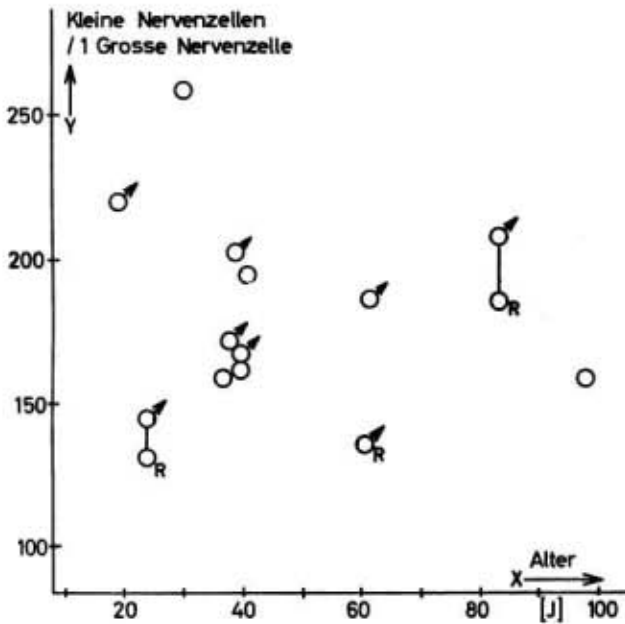


Abb. 4

### 3.4.2.5. Gliaindex

Der Gliaindex (Gz/Nz) zeigt keine signifikanten Alters- oder Geschlechtsunterschiede. Sein Mittelwert beträgt bei Männern 3,73 ( $s_x$  0,39,  $s_x$  0,12) und bei Frauen 3,58 ( $s_x$  0,25,  $s_x$  0,13); bei beiden Gruppen zusammen 3,7:1 bei einer Variationsbreite von 4,7 bis 3,2 Gz/Nz.

### 3.4.3. Absolute Zellzahlen

#### 3.4.3.1. Kleine Nervenzellen

Abbildung 5 läßt eine deutliche Abnahme der absoluten Zahl der kleinen Nz mit dem Alter erkennen, besonders, wenn man den niedrigsten Wert außer acht läßt, der von dem Gehirn A 77 stammt, das sich schon hinsichtlich des Striatumvolumens als „Ausreißer“ zu erkennen gab. Eine Erklärung hierfür kann weder auf Grund der Krankengeschichte, noch des morphologischen Befundes gegeben werden. Die Mittelwerte betragen (in Millionen Nz) bei Männern 110 ( $s_x$  22,  $s_x$  6,9) und bei Frauen 105 ( $s_x$  9,  $s_x$  4,7).

#### 3.4.3.2. Große Nervenzellen

Infolge der geringen Dichte und unregelmäßigen Lagerung der gr. Nz zeigten schon die Werte der numerischen Dichte eine große Schwankungsbreite. Eine solche ist auch bei den absoluten Werten zu erwarten, da sie sich aus der Multiplikation der numerischen Dichtewerte mit den unterschiedlichen Volumina des Striatums ergeben.

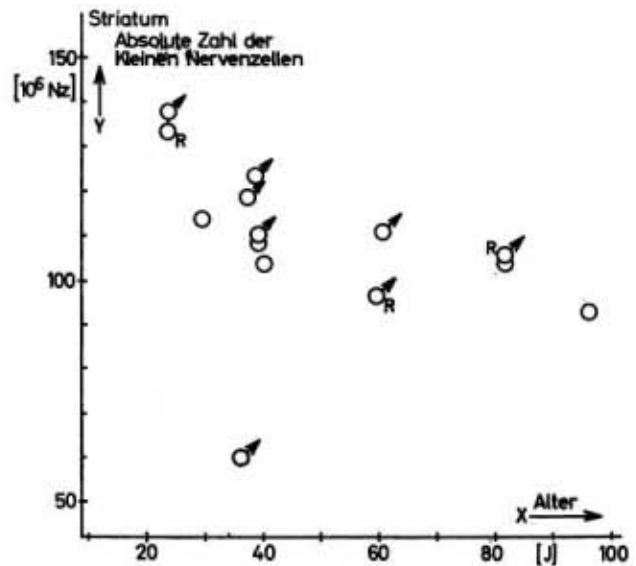


Abb. 5

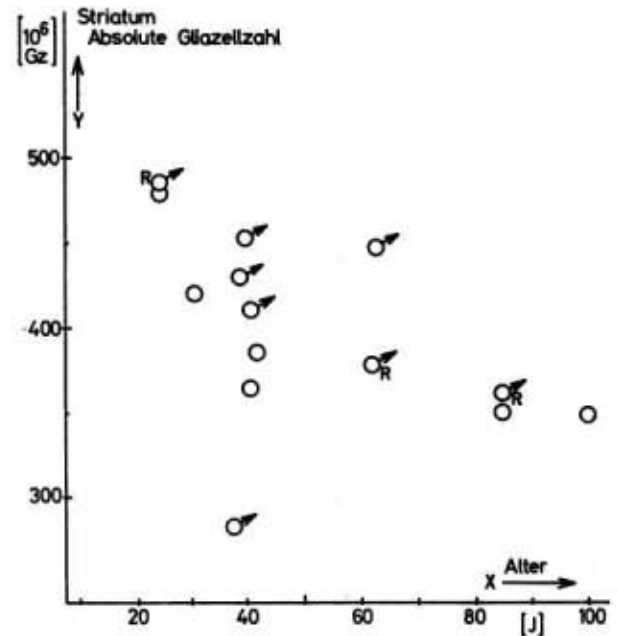


Abb. 6

Die absolute Zahl der gr. Nz im Striatum schwankt zwischen 380 000 und 1 030 000. Infolge dieser starken Streuungen ist auch der Mittelwert (in  $10^6$  gr. Nz) der Männer ( $\bar{x}$  670,  $s_x$  190,  $s_x$  60) trotz einer Differenz von 15% nicht signifikant höher als der Mittelwert der Frauen ( $\bar{x}$  570,  $s_x$  110,  $s_x$  55).

#### 3.4.3.3. Gliazellen

Die absolute Gliazellzahl vermindert sich mit dem Alter (Abbildung 6). Sie schwankt bei Männern zwischen 350 und 490 Millionen, wenn man den niedrigsten Wert außer acht läßt, der wiederum bei dem Gehirn A 77 vorliegt (282 Millionen). Der

Tabelle 5. Hemisphärenvolumina verschiedener Untersucher in cm<sup>3</sup>

Autor	n	♂	Seite	♀	n	Präparation/Grenze	Frischkorrektur
BUCHSTAB 1884	?	1160 1010–1383	R + L	1033 850–1278	?	?/ohne Medulla Oblongata	nein
ROSE 1933	1	277	R?	Geschlecht? Alter?		Formalin ? Paraffin ?	nein
STELMASIAK 1952	6	633 ± 33 630 ± 37	R L	597 ± 89 590 ± 30	3	Formalin ?	nein
SCHLENSKA 1969	5	1357	R + L	1222	2	Formalin Formalose mit Hirn- stamm	nein
WESSELY 1970	18	588 ± 13	R	524 ± 14	13	gefrorene Gelatine Prosen- cephalon	ja
PAUL 1971		571 ± 12	L	510 ± 13			
ZILLES 1972	35	546 ± 9 545 ± 10	R L	494 ± 8 488 ± 8	43	wie WESSELY und PAUL	ja
ORTHNER 1974	31	519 ± 8 521 ± 7	R L	467 ± 10 464 ± 11	27	Formalin Gelatine unterhalb Sub. nigra	ja
eigene	9	543 ± 14		458 ± 29	4	Formalin Paraffin unterhalb Sub. nigra	ja

Mittelwert (in 10<sup>6</sup>) liegt bei Männern mit 407,9 ( $s_x$  64,4,  $s_x$  20,4) um 7%, jedoch insignifikant höher als bei Frauen ( $\bar{x}$  380,1,  $s_x$  31,2,  $s_x$  15,6).

#### 3.4.4. Volumetrische Nervenzelldichte

Die Werte sind für die großen und kleinen Nervenzellen zusammen angegeben. Sie lassen keine Abhängigkeit von Alter und Geschlecht erkennen. Sie schwanken zwischen 3,36 und 4,67 Vol.-% (vergl. Tabelle 4), wenn man das Gehirn A 77 außer Betracht läßt, das auch hier mit 3,08 Vol.-% den niedrigsten Wert aufweist. Die Mittelwerte betragen beim männlichen Geschlecht 4,03 ( $s_x$  0,6,  $s_x$  0,2), beim weiblichen Geschlecht 4,14 ( $s_x$  0,4,  $s_x$  0,2).

Geht man von der Tatsache aus, daß auf eine gr. Nz normalerweise 175 kleine kommen und sich das Einzelvolumen der großen zur kleinen Nervenzelle wie 10:1 verhält (TREFF, 1964; TABUCHI, 1969), dann verhalten sich die volumetrischen Dichten von großen und kleinen Nervenzellen wie 10:175, das heißt, die volumetrische Gesamtdichte der Nervenzellen entfällt zu 94,6% auf kleine und zu 5,4% auf große Nervenzellen. Setzt man die volumetrische Gesamtnervenzelldichte gleich der volu-

metrischen Dichte der kleinen Nervenzellen, so schätzt man diese für die Normalfälle ca. 5% zu hoch. Dieser Fehler kann bei der Berechnung des mittleren Einzelvolumens der kleinen Nervenzellen durch Division der volumetrischen durch die numerische Dichte der kleinen Nervenzellen vernachlässigt werden. Bei den Normalfällen fanden wir ein mittleres Volumen der kleinen Nervenzellen von 3600  $\mu\text{m}^3$  bei einer Schwankungsbreite von 2600 bis 4600  $\mu\text{m}^3$ .

#### 3.4.5. Korrigiertes absolutes Nervenzellen- volumen

Bei einer großen Schwankungsbreite des Gesamtvolumens aller Nz im Striatum von 314 bis 615 mm<sup>3</sup> sind Geschlechtsunterschiede der Mittelwerte mit 12% und eine Altersatrophie zwar angedeutet, aber nicht signifikant. Die Mittelwerte (in mm<sup>3</sup>) betragen bei Männern 423 ( $s_x$  112,  $s_x$  36) und bei Frauen 374 ( $s_x$  45,  $s_x$  23). Die Differenz erreicht im t-Test kein Signifikanzniveau, entspricht aber genau dem Unterschied der Frischvolumina des Striatums. A 77 liegt mit nur 205 mm<sup>3</sup> 52% unter dem Mittelwert der Männer.

### 3.4.6. Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen

Bei der Beurteilung der Befunde muß bedacht werden, daß die Gehirne unterschiedlich geschrumpft sind, wahrscheinlich also auch die Nervenzellen. Eine Korrektur der Ergebnisse ist nicht möglich, da man nicht weiß, wie der einzelne Kerndurchmesser durch Schrumpfung und Schnitt verändert ist.

Die Mittelwerte (in  $\mu\text{m}$ ) bei Männern ( $\bar{x}$  8,64,  $s_x$  0,34,  $s_{\bar{x}}$  0,11) und Frauen ( $\bar{x}$  8,70,  $s_x$  0,09,  $s_{\bar{x}}$  0,04) sind praktisch identisch. Die Schwankungsbreite reicht von 7,8 bis 9,2  $\mu\text{m}$ . Altersabhängige Veränderungen waren nicht erkennbar.

## 3.5. Korrelationen

### 3.5.1. Korrelation zwischen Cortex und Hemisphäre

Die Frischvolumina von Cortex und Hemisphäre sind streng miteinander korreliert. Der Korrelationskoeffizient  $r$  beträgt 0,847<sup>\*\*</sup>. Die Regressionsgleichung lautet

$$y = (0 \pm 5) + (0,5 \pm 0,1) x$$

$y$  = Cortexfrischvolumen in  $\text{cm}^3$ ,  
 $x$  = Hemisphärenfrischvolumen in  $\text{cm}^3$ .

Das Hemisphärenvolumen wird etwa zur Hälfte von der Hirnrinde gebildet. Der relative Cortexanteil (in %) an der Hemisphäre beträgt bei Frauen 51,1 ( $s_x$  1,85,  $s_{\bar{x}}$  0,93), bei Männern 49,5 ( $s_x$  3,95,  $s_{\bar{x}}$  1,32) bei einer Schwankungsbreite zwischen 49,9 (A 77) und 55,1%. Der Geschlechtsunterschied ist nicht signifikant.

### 3.5.2. Korrelation zwischen Striatum und Hemisphäre

Aus Abbildung 7 ergibt sich lediglich ein Korrelationskoeffizient  $r$  von 0,232. Diese schwache Korrelation wird außer durch den mehrfach erwähnten „Ausreißer“ A 77 mit einem sehr kleinen Striatum noch durch einen besonders hohen Striatumwert der beiden Hemisphären von A 58 bedingt. Die übrigen Fälle zeigen eine strengere Korrelation.

Der relative Anteil des Striatum an der Hemisphäre schwankt zwischen 1,19% (A 77) und 2,45%. Die Mittelwerte (in %) der Frauen ( $\bar{x}$  1,97,  $s_x$  0,16,  $s_{\bar{x}}$  0,08) sind nicht signifikant unterschiedlich von den Werten der Männer ( $\bar{x}$  1,87,  $s_x$  0,38,  $s_{\bar{x}}$  0,13). Dabei beträgt der Anteil des Putamens an der Hemisphäre (in %) bei Frauen

$\bar{x}$  1,05 ( $s_x$  0,12,  $s_{\bar{x}}$  0,06), bei Männern  $\bar{x}$  0,99 ( $s_x$  0,24,  $s_{\bar{x}}$  0,08).

### 3.5.3. Korrelation zwischen Striatum und Cortex

Der Korrelationskoeffizient  $r$  ist mit 0,437 höher als zwischen Striatum und Hemisphäre (Abbildung 8).

## 4. Diskussion

Da im Rahmen dieser Untersuchung Korrelationen des Striatumvolumens mit den Hemisphären- und Cortex-Volumina diskutiert werden, seien zunächst die am vorliegenden Material ermittelten Werte für Hemisphären und Cortex den Daten aus der Literatur gegenüber gestellt.

### 4.1. Hemisphärenfrischvolumen

Beim Vergleich unserer Ergebnisse mit denen früherer Untersucher muß berücksichtigt werden, daß die kaudale Grenze der Hemisphären bei den einzelnen Autoren variiert. Außerdem berechneten wir das Hemisphärenvolumen ohne Ventrikel, während andere Autoren sich in diesem Punkt unterschiedlich oder gar nicht äußern. Wie aus

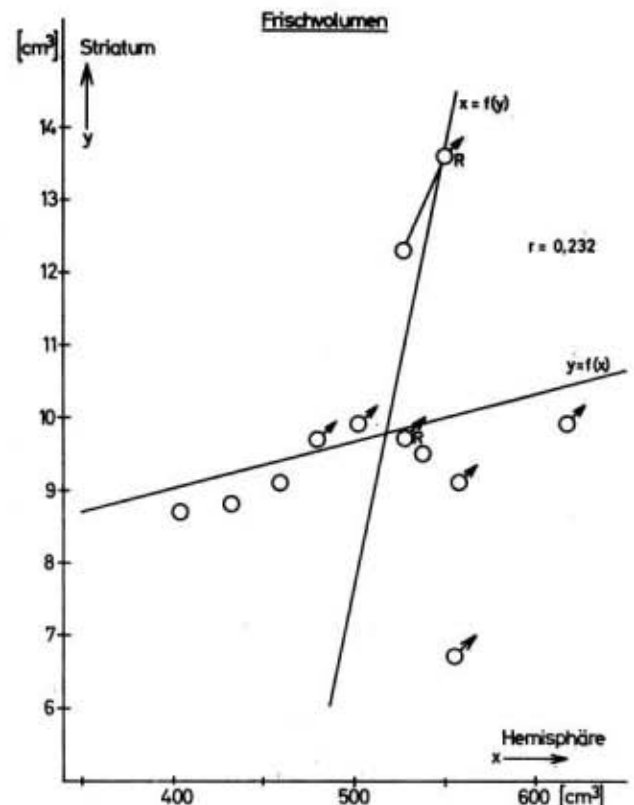


Abb. 7

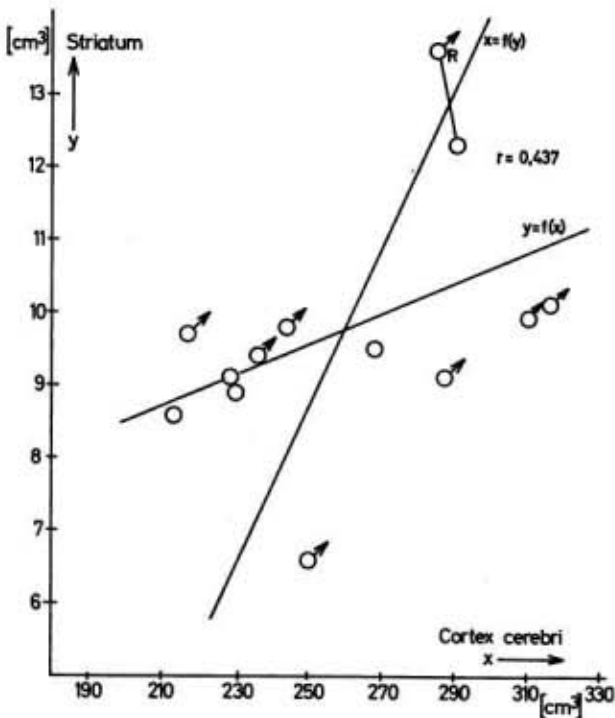


Abb. 8

Tabelle 5 ersichtlich, stimmen unsere Frischvolumina der Normalhemisphären trotz der oben genannten und weiterer methodischer Unterschiede gut mit bisherigen Ergebnissen überein. Die Abweichungen zwischen den Resultaten der letzten vier Untersuchungen sind sicher zufällig. Auch ROSES Angabe (277 cm<sup>3</sup> Schnittserienvolumen; Formalin, Paraffin) stimmt gut mit unseren Schnittserienwerten überein. SCHLENSKAS und STELMASIAKS Ergebnisse erscheinen uns zu hoch. Der von ZILLES statistisch nachgewiesene Geschlechtsunterschied von 10% wird durch unsere Untersuchung bestätigt (16%;  $P < 0,05$ ).

#### 4.2. Cortexfrischvolumen

Seit 1875 (JENSEN) liegen Daten über das Volumen der menschlichen Hirnrinde vor. Wie aus der Zusammenstellung bei PAUL (1971) hervorgeht, variieren Methoden und Ergebnisse zum Teil erheblich. Auf Alter und Geschlecht normierte Bezugswerte stehen jedoch noch aus.

Aus Tabelle 6 geht hervor, daß SCHLENSKAS Werte erheblich größer sind als die Ergebnisse anderer Autoren. Wir halten sie als Frischvolumenwerte für zu hoch. PAULS Angaben liegen 11% (♂) bzw. 14% (♀) über unseren. ZILLES Werte reagieren zwischen PAULS und unseren Ergebnissen. Mit diesen neuen Untersuchungen stimmen JAEGERs Resultate recht gut überein.

Die Normalfälle von LORENZ und LORCH fallen in den Normalbereich unserer Cortexvolumina. Den von ZILLES statistisch nachgewiesenen Geschlechtsunterschied von 10% können wir bestätigen. Die enge Korrelation zwischen Hemisphären- und Cortex-Volumen fanden schon PAUL (1971) und ZILLES (1972). PAUL errechnete bei 31 Gehirnen einen Korrelationskoeffizienten  $r$  von 0,91. Die Gleichung seiner Regressionsgeraden lautet (berechnet nach seiner Urliste):

$$y = (0 \pm 25) + (0,53 \pm 0,05) x$$

$y$  = Cortexfrischvolumen (cm<sup>3</sup>)

$x$  = Prosencephalonfrischvolumen (cm<sup>3</sup>)

Sie stimmt gut mit unserer Gleichung

$$y = (0 \pm 50) + (0,5 \pm 0,1) x$$

$y$  = Cortexfrischvolumen (cm<sup>3</sup>)

$x$  = Hemisphärenfrischvolumen (cm<sup>3</sup>)

überein. Da unsere kaudale Begrenzung der Hemisphäre etwas weiter ins Rhombencephalon reicht als PAULS Prosencephalengrenze, erklärt sich der geringfügig höhere Wert des Regressionskoeffizienten seiner Untersuchung. ZILLES berechnete bei 78 Gehirnen einen Korrelationskoeffizienten von ebenfalls 0,91. Seine Regressionsgerade weicht aber leicht von der oben genannten ab:

$$y = (69 \pm 26) + (0,47 \pm 0,02) x$$

$y$  = Cortexfrischvolumen (cm<sup>3</sup>)

$x$  = Prosencephalonfrischvolumen (cm<sup>3</sup>).

Auffallenderweise geht seine Gerade nicht durch den Nullpunkt des Koordinatensystems. Daher ist ihre Steigung auch etwas geringer. Als gute Näherungsformel aus allen drei Untersuchungen bietet sich die Formel

$$y = 0,5x$$

$y$  = Cortexvolumen (cm<sup>3</sup>)

$x$  = Hemisphärenvolumen (cm<sup>3</sup>)

an.

#### 4.3. Striatum

Die Untersuchungsergebnisse verschiedener Autoren über das Volumen des Striatums sind auf Tabelle 7 zusammengestellt. Die meisten Autoren ermitteln die Daten durch Planimetrie von Schnittserien. Eine Ausnahme bildet STELMASIAK. Differenzen bestehen jedoch hinsichtlich der Aufberei-



Tabelle 6. Cortexvolumina bisheriger Veröffentlichungen in cm<sup>3</sup>

Autor	n	♂	Seite	♀	n	Härtung/Einbettung/ Messung	Frischkorrektur
JAEGER 1910 + 1914	3	579 ± 16	R + L	557 ± 18	2	Formalin; —; Planimeter	nein
ROSE 1933	1	155	R	Alter? Geschlecht?	1	Formalin; Paraffin; Waage	nein
LORENZ u. LORSCH 1949	1 1	506 (33 J.) 468 (83 J.)	R + L	551 (34 J.) 441 (83 J.)	1 1	Formalin; Agar-Gelatine; Planimeter	nein
SHARIFF 1953	1	115	L	—	—	Formalin; ?; Planimeter	nein
SCHLENSKA 1969	5	716 ± 20	R + L	697 ± 8	2	Formalin; Formalose; Treffer	nein
PAUL 1971	18	311 ± 8 301 ± 7	R L	277 ± 8 269 ± 7	13	Gefroren; Gelatine; Pla- nimeter	ja
ZILLES 1972	35	292 ± 5 291 ± 5	R L	264 ± 4 262 ± 4	43	wie PAUL	ja
eigene	9	273 ± 12		235 ± 12	4	Formalin; Paraffin; Planimeter	ja

Tabelle 7. Striatumvolumina bisheriger Untersuchungen in cm<sup>3</sup>

Autor	n	♂	Seite	♀	n	Härtung/ Einbettung/ Fundus striati?	Frischkorrektur
ROSE 1933	1	3,65	Alter, Seite, Geschlecht?			Formalin; Paraffin; ?	nein
HARMAN u. CAR- PENTER 1950	1	12,0	Alter, Seite, Geschlecht?			?; Celloidin; mit Fundus	nein
BONIN u. VON SHARIFF 1951	1	10,1	Alter, Seite, Geschlecht?			?; ?; mit Fundus	nein
STELMASIAK 1952	6	15,0 ± 1,9 15,8 ± 0,9	R L	16,0 ± 1,2 14,5 ± 0,4	3	Formalin; ?; ?	nein
ORTHNER, JUNG- KLAASS, SENDLER 1960, 1968, 1974	31	9,6 ± 1,3 9,6 ± 1,2	R L	8,5 ± 1,0 8,5 ± 0,9	27	Formalin; Gelatine; mit Fundus	ja
KRETSCHMANN 1971	18	20,3	R + L	17,9	13	Gefroren; Gelatine; mit Fundus	ja
eigene	10	10,2 ± 0,6		9,0 ± 0,2	4	Formalin; Paraffin; ohne Fundus	ja

tung des Untersuchungsmaterials. Auch die Abgrenzung gegenüber dem Nucleus accumbens und anderen benachbarten Strukturen wird unterschiedlich vorgenommen, ebenso die Art der Volumenberechnung. Einige Autoren verzichten auf eine Frischvolumenkorrektur.

Wie Tabelle 7 zeigt, stimmen die Ergebnisse bis auf die von ROSE und STELMASIAK gut miteinander überein.

ROSES Volumenangabe liegt etwas unter unseren normalen Schnittserienvolumina, eine Frischvolumenkorrektur fehlt.

STELMASIAK bestimmte bei seinen formolgehärteten Gehirnen den Umfang der Grisea mittels Zirkel. Aus diesem Umfang berechnete er den Radius eines Kreises mit gleichem Umfang nach der Formel

$$r = \frac{\text{Umfang}}{\pi}$$

Mit diesem berechneten Radius ging er in die Volumenformel für stumpfe Kegel ein

$$v = \frac{1}{3} \pi \cdot h(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$$

Damit berechnete er aus dem Umfang des Anschnittes eines Kerngebietes dessen Schnittfläche als Kreisfläche. Nun hat bekanntlich bei gegebenem Umfang der Kreis die größtmögliche Fläche; andererseits stellen die Anschnitte der Grisea nie Kreise dar, sondern unregelmäßige Figuren mit kleinerem Flächeninhalt. Durch die Kreistransformation berechnete STELMASIAK die Schnittfläche zu hoch. Diese Tatsache und die nicht vorhandene Frischvolumenkorrektur erklären seine zu hohen Werte.

Die von ORTHNER et al. und KRETSCHMANN ermittelten Geschlechtsunterschiede entsprechen den von uns gefundenen Werten. Die Unterschiede betragen im Mittel 11 bis 12%. Der Geschlechtsdimorphismus zeigt sich somit am Striatumvolumen in gleicher Größe wie bei den bisher beschriebenen Volumina. Mit einem Mittelwert von 10 cm<sup>3</sup> (♂), bzw. 9 cm<sup>3</sup> (♀) haben wir somit eine verlässliche Größe für das Striatumvolumen.

Mit Ausnahme von STELMASIAK fanden alle Autoren beim Menschen höhere Volumenwerte für das Putamen im Vergleich zum Nucleus caudatus. Die angegebenen Relationen dieser Kerne zueinander schwanken allerdings erheblich. Dies dürfte neben der Tatsache, daß einige Autoren des Fundus striati (BROCKHAUS) mit einbezogen

haben und andere nicht, auf die Schwierigkeit der exakten Abgrenzung im oroventralen Bereich dieser Kerne zurückzuführen sein. Das Putamen wurde im Vergleich zum Nucleus caudatus als um 27% größer angegeben von HARMAN und CARPENTER, um 20% von BONIN und SHARIFF, um 18% von HOPF, um 12% von JUNGKLAASS und ORTHNER, um 4,6% bei Frauen und um 2% bei Männern von KRETSCHMANN<sup>1)</sup>. Die eigenen Untersuchungen ergeben ein um 13% größeres Putamen. Ein Überwiegen des Putamen über den Nucleus caudatus findet sich hauptsächlich bei *Primaten*, während bei bisher untersuchten Arten anderer Ordnungen, z. B. Carnivora (Canidae, Felidae und Ursidae) und Ungulaten (AKIRA, 1960; SAITO, 1960; MINAGAWA, 1963), sowie Rodentia, Lagomorpha (von BONIN und SHARIFF, 1951) der Nucleus caudatus relativ größer war. Bei den Primaten zeigen die Pongiden eine besonders starke Entwicklung des Putamen im Verhältnis zum Nucleus caudatus (Schimpanse +66%, HARMAN und CARPENTER, 1950; Schimpanse +68%, von BONIN und SHARIFF, 1951; Orang-Utan +148%, HOPF, 1965). Bei anderen untersuchten Affenarten war mit Ausnahme von Callithrix (von BONIN und SHARIFF) das Putamen stets größer als das Caudatum. Bei Halbaffen ist dagegen das Putamen kleiner als das Caudatum (Galago, HARMAN und CARPENTER; Tarsius, von BONIN und SHARIFF; Lemur catta, HOPF) oder gleich groß (Periodicticus potto, HARMAN und CARPENTER).

An dem eigenen Material fand sich keine strenge *Korrelation* zwischen Striatumvolumen einerseits und Cortex- bzw. Hemisphären-Volumen andererseits. Dies dürfte durch zwei „Ausreißer“ mitbedingt sein.

Eine stärkere Korrelation zeigt eine von KRETSCHMANN (1971) veröffentlichte Kurve.

Der relative Anteil des Nucleus caudatus am Hemisphärenvolumen beträgt nach JUNGKLAASS und ORTHNER (1960) 0,76%, des Putamen 0,85%, des Fundus striati 0,175%, des Gesamtstriatum 1,785%. Bei einem größeren Material ergab sich später (ORTHNER, 1974) ein Anteil des Gesamtstriatum an der Hemisphäre von 1,83%. Unsere eigenen Werte liegen geringfügig über diesen Werten (Striatum ♂ 1,87%, ♀ 1,97%; Nucleus caudatus ♂ 0,87%, ♀ 0,92; Putamen ♂ 0,99%, ♀ 1,05%).

<sup>1)</sup> Alle Werte wurden aus den Volumenangaben der Autoren berechnet.

Erwartungsgemäß nimmt der relative Anteil des Striatum am Hemisphärenvolumen infolge des stärkeren Wachstums des Cortex ab, wie mehrere Autoren gezeigt haben.

Eindrucksvoll sind die Daten von STEPHAN (1967) bei 19 Prosimier- und 11 Simier-Arten. Aus ihnen ergibt sich, daß, bezogen auf einen typischen basalen Insektivoren gleichen Körpergewichts, das Striatum beim Menschen um das 20,4fache größer ist, der Neocortex aber um das 214fache.

Bestimmungen der *numerischen Zelldichte* können zu unrichtigen Ergebnissen führen, wenn bestimmte methodische Voraussetzungen nicht beachtet werden. Je größer die Zellen im Verhältnis zur Schnittdicke sind, um so mehr entfernt sich das Ergebnis von der tatsächlichen Zelldichte nach oben. Es bedarf einer Korrektur (AGDUHR, FLODERUS, ABERCROMBIE, WARIDEL, HAUG, TREFF). Auf Grund des erwähnten methodischen Fehlers wurde das Verhältnis von großen zu kleinen Nervenzellen von FOIX und NICOLESCO (1925) und von PEELE (1961) mit 20:1 zu niedrig angegeben. Auch NAMBA (1957) kommt mit 53:1 in lateralen und 54:1 in medialen Anteilen des Putamen und Caudatum zu einem zu niedrigen Verhältnis. Das gleiche gilt für TREFF (1964), der einen Wert von 52:1 fand.

Wir gelangten bei Zählung von Zellen mit Nucleoli, wie es HAUG (1955) empfahl, weil hier ein günstiges Verhältnis zwischen Größe des gezählten Strukturelements und der Schnittdicke besteht, zu einem Mittelwert von 175:1 kleinen zu großen Nervenzellen bei einer Schwankungsbreite von 130:1 bis 260:1. Eine ziemlich gute Übereinstimmung besteht mit den Ergebnissen von DOM (1973), der für vier Normalfälle die Einzelwerte 1:103, 1:169, 1:183, 1:186 und einen Mittelwert 1:145 angibt.

Etwas höher sind die Werte von TABUCHI (1969), der 25 µm dicke Schnitte von Celloidinserien auswertete (drei männliche und zwei weibliche Fälle im Alter von 22 bis 45 Jahren).

Er fand ein Verhältnis von 270:1 bei einer Schwankungsbreite von 193:1 bis 389:1. Die numerischen Dichten gibt er für die kleinen Nervenzellen mit Werten zwischen  $22,6 \pm 2,8$  und  $32,5 \pm 3,0 \cdot 10^3/\text{mm}^3$  und für die großen Nervenzellen mit Werten von  $76 \pm 25$  bis  $144 \pm 39/\text{mm}^3$  an. Als Mittelwerte finden sich bei ihm für die kleinen Nervenzellen  $29,2 \pm 1,7 \times 10^3/\text{mm}^3$  und für die großen Nervenzellen  $110 \pm 16/\text{mm}^3$ . Diese Werte stimmen in etwa mit unseren

unkorrigierten Schnittserienwerten überein (Tabelle 4). Das gleiche gilt für die Ergebnisse von DOM (1973) mit Mittelwerten von 29558 kl. Nz/mm<sup>3</sup> und 198 gr. Nz/mm<sup>3</sup>.

Ohne genaue Angaben über das Material nennt TREFF (1964) folgende numerische Daten für das Caudatum mediale: Kleine Nervenzellen 35000/mm<sup>3</sup>, große Nervenzellen 690/mm<sup>3</sup>, Gliazellen 69000/mm<sup>3</sup>. Diese Werte stimmen nur für die Gliazellen annähernd mit unseren unkorrigierten Werten für Schnittserien überein. Die numerische Dichte der kleinen Nervenzellen hat er um 60% höher veranschlagt als wir, bei den großen Nervenzellen liegt sein Wert sogar 5,3mal höher als unserer. Die Differenz erklären wir dadurch, daß TREFF wahrscheinlich alle Zellanschnitte gezählt und korrigiert hat, während wir nur die Nucleoli gezählt haben. Die unterschiedliche Zählweise muß sich bei den größten Zellarten (= große Nervenzellen) am stärksten auswirken. Wir halten TREFFS Werte der numerischen Nervenzelldichten für zu hoch. So kommt es, daß sein Gliaindex, den er mit 2 Gliazellen/Nervenzelle angibt, wesentlich kleiner ist als bei uns (3,7 Gliazellen/Nervenzelle). TREFF macht auch Angaben über volumetrische Zelldichten. Er fand für die kleinen Nervenzellen eine volumetrische Dichte von 4,4 Vol.-%, für die großen Nervenzellen von 1,02 Vol.-% und für die Gliazellen von 0,35 Vol.-%. Unser Wert für große und kleine Nervenzellen zusammen beträgt 4,06 Vol.-%. Wieder fehlen methodische Hinweise bei TREFF, so daß wir den genauen Grund seiner höheren Werte nicht angeben können.

Messungen der Größe der Nervenzellen des Striatums haben TREFF (1963), TABUCHI (1969) und DOM (1973) vorgenommen.

TREFF fand einen mittleren Längsdurchmesser von  $14,2 \mu\text{m} \pm 0,7$  und eine Breite von  $10,4 \mu\text{m} \pm 0,5$  für die kleinen Nervenzellen, sowie eine Länge von  $29,0 \mu\text{m} \pm 1,7$  und eine Breite von  $20,6 \mu\text{m} \pm 0,7$  bei den großen Nervenzellen im Caudatum mediale.

TABUCHI ermittelte etwas höhere Werte für die Nervenzellen im Caudatum als im Putamen. Die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant. Die Längen und Breiten (in µm) betragen für große Nervenzellen im Caudatum  $29,7 \pm 3,15$  und  $21,1 \pm 3,62$ , im Putamen  $27,9 \pm 3,42$  und  $18,5 \pm 1,49$ ; für kleine Nervenzellen im Putamen  $15,4 \pm 1,54$  und  $10,8 \pm 2,21$ . Mit der Methode von DEWULF (1971) kam DOM (1973) zu niedrigeren Werten. Der mittlere Durchmesser der kleinen Nervenzellen betrug  $8,5 \mu\text{m}$ .



Diese Werte sind mit unseren Ergebnissen nicht ohne weiteres vergleichbar, da wir nur Kerndurchmesser bestimmt haben. Es fand sich ein Mittelwert von 8,7  $\mu\text{m}$ .

TREFF (1964) gibt das Einzelvolumen der kleinen Nervenzellen mit 1340  $\mu\text{m}^3$  an. Für unsere Gehirne fanden wir approximiert ein mittleres Frischvolumen von 3600  $\mu\text{m}^3$ . Unser unkorrigierter Mittelwert beläuft sich auf ca. 1800  $\mu\text{m}^3$ .

## 5. Zusammenfassung

1. An 15 Hemisphären von 13 menschlichen Normalgehirnen wurde das Striatum einer morphometrisch-statistischen Analyse unterzogen.

2. Ein Vergleich der an Schnittserien ermittelten Volumina und Zelldichten ist nur dann sinnvoll, wenn die Werte mit den interindividuell stark schwankenden Schrumpfungsfaktoren korrigiert werden.

3. Der Mittelwert des Striatumfrischvolumens lag bei Männern mit 10,2  $\text{cm}^3$  um 12% höher als bei Frauen mit 9,0  $\text{cm}^3$ . Der Unterschied war aber statistisch nicht signifikant: Das Putamen war im Durchschnitt um 13% größer als der Nucleus caudatus. Die Größen von Putamen und Nucleus caudatus waren streng miteinander korreliert ( $r = 0,81$ ).

4. Der relative Anteil des Striatums am Hemisphärenvolumen betrug 1,87% bei Männern und 1,97% bei Frauen, der relative Anteil des Putamens 0,99% bei Männern und 1,05% bei Frauen, des Nucleus caudatus 0,87% bzw. 0,92%.

5. Der durch den Schrumpfungsfaktor korrigierte Mittelwert der numerischen Dichte der kleinen Nervenzellen beträgt 11000  $\text{Nz}/\text{mm}^3$ . Sichere Geschlechtsunterschiede oder Einflüsse des Alters waren nicht erkennbar.

6. Die korrigierte numerische Dichte der großen Nervenzellen ergab einen Mittelwert von 65  $\text{Nz}/\text{mm}^3$  bei einer großen Schwankungsbreite von 49–78  $\text{gr. Nz}/\text{mm}^3$ . Ein Einfluß von Alter oder Geschlecht war nicht nachweisbar.

7. Das Verhältnis der kleinen zu den großen Nervenzellen beträgt durchschnittlich 175:1 bei einer Schwankungsbreite zwischen 130 und 258:1.

8. Der Mittelwert der korrigierten numerischen Gliadichte wurde mit 41000  $\text{Gliazellen}/\text{mm}^3$  ermittelt bei einer Schwankungsbreite von 34500 bis 49200. Ein Geschlechtsunterschied oder eine Altersabhängigkeit waren nicht erkennbar.

9. Der Gliaindex (Gliazellen pro Nervenzelle) zeigte einen Mittelwert von 3,7:1 bei einer Variationsbreite von 4,7 bis 3,2.

10. Als absolute Zahl an kleinen Nervenzellen im Striatum wurde ein Mittelwert von 110 Millionen bei Männern und von 105 Millionen bei Frauen errechnet. Bei den großen Nervenzellen lauten die Zahlen 670000 und 570000. Die Geschlechtsdifferenzen sind nicht signifikant.

11. Die absolute Zahl der Gliazellen vermindert sich mit dem Alter. Die Mittelwerte liegen bei Männern mit 407,9 Millionen um 7%, jedoch insignifikant höher als bei Frauen (380,1 Millionen).

12. Die volumetrische Nervenzelldichte beträgt bei Männern 4,03 und bei Frauen 4,14 Vol.-%.

13. Bei der Berechnung des Einzelfrischvolumens der kleinen Nervenzellen im Striatum ergab sich ein Mittelwert von rund 3600  $\mu\text{m}^3$  bei einer Schwankungsbreite von 2600 bis 4600  $\mu\text{m}^3$ .

14. Als Gesamtvolumen aller Nervenzellen im Striatum wurden 423  $\text{mm}^3$  bei Männern und 374  $\text{mm}^3$  bei Frauen errechnet.

15. Der Mittelwert der Kerndurchmesser der kleinen Nervenzellen betrug bei Männern 8,64  $\mu\text{m}$  und bei Frauen 8,70  $\mu\text{m}$ .

## Summary

1. A morphometric-statistical analysis was carried out of fifteen hemispheres of thirteen normal brains of human adults.

2. A comparison of the volumes and the cell densities studied in serial sections is only meaningful if the results are corrected for shrinkage, which varies interindividually to a great extent.

3. The mean of the fresh volume of the striatum of the male subjects (10.2  $\text{cm}^3$ ) was 12% higher than that of the female subjects (9.0  $\text{cm}^3$ ), the difference not being significant. The putamen was 13% bigger on the average than the caudate nucleus. The size of the two nuclei was strictly correlated ( $r = 0.81$ ).

4. The relative volume of the striatum in percent of the hemisphere volume amounted to 1.87% in males and 1.97% in females, of the putamen 0.99% (male) and 1.05% (female), of the caudate nucleus 0.88% and 0.92%, respectively.

5. The mean of the numerical density of small striatal nerve cells (kl. Nz) — corrected for shrinkage — came to 11000 kl.  $\text{Nz}/\text{mm}^3$ , without evidence of being dependent of sex or age.

6. The corrected numerical density of the large striatal nerve cells (gr. Nz) had a mean of 65 gr.  $\text{Nz}/\text{mm}^3$  with a wide range of 49 to 78 gr.  $\text{Nz}/\text{mm}^3$ , without a significant influence of sex or age.

7. The relation of kl. Nz/gr. Nz was on an average of 175:1 with a range of 130:1 to 258:1.

8. The mean of the corrected numerical density of glial cells (Gz) was found to be 41000  $\text{Gz}/\text{mm}^3$  with a range of 34500 to 49200. Neither a difference between sexes nor a dependency of age was found.

9. The glia index (Gz/Nz) showed a mean of 3.7:1 with a range of 3.2:1 to 4.7:1.

10. The total number of small striatal cells averaged 100 million for males and 105 Million for females; for the large striatal cells the means were 670 thousand (male) and 570 thousand (female). Differences due to sex failed to be significant.

11. The total number of glial cells decreases with age. The mean of 408 million for males exceeded the mean of 380 million for females by 7% but without significance.

12. The volumetric density of nerve cells of males (4.03 Vol.-%) and females (4.14 Vol.-%) differed very little.

13. The mean fresh volume of a single small nerve cell in the striatum was calculated to be about 3600  $\mu\text{m}^3$ , ranging from 2600 to 4600  $\mu\text{m}^3$ .



14. The striatal nerve cells reached a total volume of 423 mm<sup>3</sup> in males and 374 mm<sup>3</sup> in females.

15. The mean of the diameter of the nucleus of the small nerve cells was calculated to be 8.64 µm in males and 8.70 µm in females.

## 6. Literatur

- ABERCROMBIE, M.: Estimation of nuclear population from microtomic sections. *Anat. Rec.* **94**, 239–247 (1946).
- AGDUHR, E.: Beitrag zur Technik für die Bestimmung der Anzahl Nervenzellen je Volumeneinheit Gewebe. *Anat. Anz.* **91**, 70–81 (1941).
- AKIRA, zitiert nach BLINKOV und GLEZER (1968).
- APEL, F. W., und E. M. APEL: Intracranial variation in the weight of the human brain. *Hum. Biol.* **14**, 48–68 (1942), 235–250 (1942).
- BAUCHOT, R.: Les modifications du poids encéphalique au cours de la fixation. *J. Hirnforsch.* **9**, 253–286 (1967).
- BLINKOV, S. M., und J. GLEZER: Das Zentralnervensystem in Zahlen und Tabellen. VEB G. Fischer Verlag, Jena, 1968.
- BONIN, G. V., und G. A. SHARIFF: Extrapyrämidal nuclei among mammals: A quantitative study. *J. Comp. Neur.* **94**, 427–439 (1951).
- BROCKHAUS, H.: Zur feineren Anatomie des Septum und des Striatum. *J. Psychol. Neurol.* **51**, 1–56 (1942).
- BUCHSTAB, J. B.: Angaben über Gewicht, Volumen und relatives Gewicht des Gehirns (russ.). Petersburg, 1884. Zitiert nach BLINKOV und GLEZER, 1968.
- CHALKLEY, H. W.: Method for the quantitative morphologic analysis of tissues. *J. Nation. Cancer Inst.* **4**, 47–54 (1943).
- DANILEWSKY, B.: Die quantitativen Bestimmungen der grauen und weißen Substanz im menschlichen Gehirn. *Zbl. med. Wiss.* **18**, 241–245 (1880).
- DEWULF, A.: Anatomy of the Normal Human Thalamus. Topometry and Standardized Nomenclature. Elsevier Publishing Co., Amsterdam (1971).
- DOM, R., F. BARO und J. M. BRUCHER: A Cytometric Study of the Putamen in Different Types of Huntington's Chorea. *Neurology*, Vol. 1, 369–385 (1973).
- DONALDSON, H. H.: The growth of the brain: A study of the nervous system in relation to education. London, 1895.
- FENNER, G.: Das Genauigkeitsmaß von Summen, Produkten und Quotienten der Beobachtungsreihen. *Naturwissenschaften* **19**, 310 (1931).
- FLODERUS, S.: Untersuchungen über den Bau der menschlichen Hypophyse mit besonderer Berücksichtigung der quantitativen mikro-morphologischen Verhältnisse. *Acta path. microbiol. scand. Suppl.* **53** (zit. nach HAUG).
- FOIX, CH., und J. NICOLESCO: Anatomie cerebrale. Les noyaux gris centraux et la région mesencephalo-sous-optique. Masson, Paris, 1925.
- FRONTERA, J. G.: Evaluation of the immediate effects of some fixatives upon the measurements of the brains of macaques. *J. Comp. Neur.* **109**, 417–438 (1958).
- HACKL, M.: Untersuchungen über das spezifische Gewicht des Gehirns. *Psychiat. Neurol. med. Psychol.* **17**, 330–332 (1965).
- HARMAN, P. J., and M. B. CARPENTER: Volumetric comparisons of the basal ganglia of various primates including man. *J. Comp. Neurol.* **93**, 125–137 (1950).
- HAUG, H.: Die Treffermethode, ein Verfahren zur quantitativen Analyse im histologischen Schnitt. *Z. Anat.* **118**, 302–312 (1955).
- HAUG, H.: Bedeutung und Grenzen der quantitativen Meßmethoden in der Histologie. *Medizinische Grundlagenforschung*, Bd. IV, 299–344 (1962).
- HAUG, H.: Probleme und Methoden der Struktur-zählung im Schnittpräparat. In: *Quantitative Methoden in der Morphologie* (Hrsg.: E. R. WEIBEL und M. ELIAS), Springer-Verlag, Berlin, 1967.
- HEINZE, G.: Größenbestimmung und Darstellung von Rindenzellen. *J. Hirnforsch.* **1**, 199–205 (1954).
- HOPF, A.: Volumetrische Untersuchungen zur vergleichenden Anatomie des Thalamus. *J. Hirnforsch.* **8**, 25–38 (1965).
- HOPF, A., und C.-P. CLAUSSEN: Comparative Studies on the Fresh Weights of the Brains and Spinal Cord of *Theropithecus gelada*, *Papio hamadryas* and *Cercopithecus aethiops*. *Proc. 3rd. int. Congr. Primat.*, Zürich 1970, Vol. 1, 115–121 (Karger, Basel, 1971).
- JAEGER, R.: Planimetrische Messungen der Rinden- und Marksubstanz des Großhirns. Versuch einer Volumenbestimmung. Inaug.-Diss., Halle—Wittenberg 1910.
- JAEGER, R.: Inhaltsberechnungen der Rinden- und Marksubstanz des Großhirns durch planimetrische Messungen. *Arch. f. Psychiat.* **54**, 261–272 (1914).
- JENSEN, J.: Untersuchungen über die Beziehung zwischen Großhirn und Geistesstörung an sechs Gehirnen. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **5**, 587–757 (1875).
- JUNGKLAASS, F. K., und H. ORTHNER: Über quantitative Beziehungen im Stammhirn. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **181**, 62–70 (1960).
- KIRSCHKE, W.: „Geleitwort“ in S. M. BLINKOV und I. I. GLEZER: Das Zentralnervensystem in Zahlen und Tabellen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1968.
- KRAUS, C.: Veränderungen der Hirnschnitte durch Mikrotomieren und das nachfolgende Aufziehen. *J. Hirnforsch.* **5**, 23–28 (1962).
- KRETSCHMANN, H.-J.: Biometrische Untersuchungen der Frischvolumina menschlicher Hirnregionen. *Verh. Anat. Ges.* 65. Versammlung Würzburg. VEB Fischer Verlag Jena (1971), 139–146.
- KROGMAN, W. M.: Growth of Man. *Tabulae Biologicae* **XX**, 639–654 (1941).
- LORCH, I.: Volumenbestimmung der Hirnrinde bei seniler Demenz. *Med. Diss.*, Göttingen, 1949.
- LORENZ, K.: Beitrag zur Volumenbestimmung der Hirnrinde. *Med. Diss.*, Göttingen, 1949.
- MINAGAWO, M.: Vergleichende Anatomie des Corpus Striatum der Raubtiere. *Bull. Kobe Med. Coll.* **22**, 728–754 (1961).
- NAMBA, M.: Cytoarchitektonische Untersuchungen am Striatum. *J. Hirnforsch.* **3**, 24–48 (1957).
- ORTHNER, H., und W. SENDLER: Einige Ergebnisse makroskopisch-quantitativer Hirnforschung. *Verh. Deutsch. Ges. Path.* **52**, 243–253 (1968).
- ORTHNER, H.: Persönliche Mitteilung, 1974.

- PAUL, F.: Biometrie der Frischvolumina der Großhirnrinde und des Prosencephalon von 31 menschlichen, adulten Gehirnen. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **133**, 325—368 (1971).
- PEELE, T. L.: The neuroanatomic basis for clinical neurology. McGraw-Hill, 395—430, New York, 1961.
- REICHARDT, M.: Untersuchungen über das Gehirn. *Arb. psychiatr. Klin. Würzburg* **8**, 466 ff. (1914).
- ROMEIS, B.: *Mikroskopische Technik*. 16. Aufl. R. Oldenbourg-Verlag München, Wien, 1968.
- ROSE, M.: Die Volumenbestimmung der architektonischen Zentren im Vorderhirn des Menschen mittels der Waage. *J. Psychol. u. Neurol.* **45**, 277—290 (1933).
- SACHS, L.: *Statistische Auswertungsmethoden*. Springer-Verlag Berlin—Heidelberg—New York, 1968.
- SACHS, L.: *Statistische Methoden*, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin—Heidelberg—New York, 1972.
- SAITO, H.: Comparative anatomical studies on the corpus striatum of the ungulates. *Bull. Kobe Med. Coll.* **18**, 791—815 (1960).
- SCHLENSKA, G.: Messungen der Oberfläche und der Volumenanteile des Gehirns menschlicher Erwachsener mit neuen Methoden. *Zschr. Anat. Entwickl. Gesch.* **128**, 47—59 (1969).
- SHARIFF, G. A.: Cell counts in the primate cerebral cortex. *J. comp. Neurol.* **98**, 381—400 (1953).
- SPANN, W., und H. O. DUSTMANN: Das menschliche Hirngewicht und seine Abhängigkeit von Lebensalter, Körperlänge, Todesursache und Beruf. *Dtsch. Z. gerichtl. Med.* **56**, 229—317 (1965).
- STELMASIAK, M.: Correlation between Volumes and Surfaces of the Striatum Nuclei in Man (polnisch). *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin — Polonia VII*, 13 Sectio D, 223—246 (1952).
- STEPHAN, N.: Methodische Studien über den quantitativen Vergleich architektonischer Struktureinheiten des Gehirns. *Z. wiss. Zool.* **164**, 143—173 (1960).
- STEPHAN, N.: Vergleichend anatomische Untersuchungen am Insectivorengehirn. *Acta anat. Basel* **44**, 12—59 (1961).
- STEPHAN, N.: Zur Entwicklungshöhe der Primaten nach Merkmalen des Gehirns. In: *Neue Ergebnisse der Primatologie* (Hrsg.: D. STARK, R. SCHNEIDER, H.-J. KUHN). Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1967.
- STOWELL, R. E.: Effect on tissue volume of various methods of fixation, dehydration and embedding. *Stain Techn.* **16**, 67—83 (1941).
- TABUCHI, K.: Zytoarchitektonische Untersuchungen des Corpus striatum beim Menschen. *J. Hirnforsch.* **11**, 325—332 (1969).
- TABULAE BIOLOGICAE XX s. KROGMAN, W. M. (1941).
- TREFF, W. M.: Größenbestimmung der Nervenzellen und Gliazellen im Caudatum mediale bei unterschiedlicher Schnittdicke im histologischen Präparat. *J. Hirnforsch.* **6**, 123—136 (1963b).
- TREFF, W. M.: Numerische und Volumenzellichte im Caudatum Mediale: Mit besonderer Berücksichtigung des quantitativen Auswertungsfehlers bei Zellzählung. *Progress in Brain Research* **6**, 139—146 (1964).
- TREFF, W. M.: Quantitative Untersuchungen der Cytoarchitektur des menschlichen Striatum und Pallidum. *Zbl. ges. Neurol.* **182**, 219 (1965).
- TREFF, W. M., und C. KRAUS: Zur Formalinfixation des Gehirns. *Psychiat. Neurol. Neurochir.* **63**, 116—124 (1960).
- VOGT, O.: Über nationale Hirnforschungsinstitute. *J. Psychol. Neurol.* **50**, 1—10 (1940).
- WARIDEL, H.: Pour une histologie analytique. Thèse de l'Université Lausanne. Lausanne, Imprimerie C. Risold et Fils, 1948 (zit. nach HAUG).
- WEIL, A.: The measurement of cerebral and cerebellar surfaces. The determination of the shrinkage of the surface of different vertebrate brains. *Arch. Neurol. Psychiat.* **20**, 834—835 (1928).
- WESSELY, W.: Biometrische Analyse der Frischvolumina des Rhombencephalon, des Cerebellum und der Ventrikel von 31 adulten menschlichen Gehirnen. *J. Hirnforsch.* **12**, 11—28 (1970).
- ZELIGMANN, S. B.: Die Veränderung des Hirngewichts bei Fixierung in Formalin verschiedener Konzentration (russ.). *Tr. Doneckogo med. in-ta*, 9—12 (1946), zit. nach BLINKOV und GLEZER, 1968.
- ZILLES, K.: Biometrische Analyse der Frischvolumina verschiedener prosencephaler Hirnregionen von 78 menschlichen adulten Gehirnen. *Gegenbauers morph. Jahrb., Leipzig*, **118**, 234—273 (1972).

*Anschrift der Autoren:*

C. und O. Vogt-Institut  
für Hirnforschung der Universität  
4 Düsseldorf, Moorenstraße 5  
Gebäude 22.03.05