

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

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

II. Pallidum

Von

G. THÖRNER, H. LANGE und A. HOPF

Mit 7 Abbildungen und 18 Tabellen

(Eingegangen am 20. Dezember 1974)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung, Material, Methodik
- 1.1. Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole
2. Ergebnisse
- 2.1. Frischvolumen
- 2.2. Korrigierte numerische Nervenzelldichte
- 2.3. Korrigierte numerische Gliazelldichte
- 2.4. Gliaindex
- 2.5. Absolute Zahl der Nervenzellen
- 2.6. Absolute Zahl der Gliazellen
- 2.7. Korrelation der Nerven- und Gliazellzahlen
- 2.8. Volumetrische Nervenzelldichte
- 2.9. Volumetrische Gliakernsdichte
- 2.10. Korrigiertes absolutes Nervenzellvolumen
- 2.11. Korrigiertes absolutes Gliakernvolumen
- 2.12. Korrigiertes mittleres Nervenzellvolumen
- 2.13. Korrigiertes mittleres Gliakernvolumen
- 2.14. Korrelationen
- 2.14.1. Korrelation zwischen Pallidum und Hemisphäre
- 2.14.2. Korrelation zwischen Pallidum und Striatum
3. Diskussion
4. Zusammenfassung
5. Zitierte Literatur

1. Einleitung, Material und Methodik

Mit der in einer vorangegangenen Arbeit (SCHRÖDER et al., 1975) detailliert beschriebenen Methodik wurde an demselben Material (jedoch ohne das Gehirn A 100) eine Strukturanalyse des Pallidum laterale und mediale vorgenommen.

13 Hemisphären von 11 Normalgehirnen (8 ♂ und 3 ♀ im Alter von 24 bis 99 Jahren) wurden untersucht. Die

Fixierung erfolgte mit Formalin, die Einbettung in Paraffin. Die Schnitte waren 20 µm dick. Die Volumenbestimmungen wurden an Markscheidenpräparaten ausgeführt, die Zellzählungen an Kresylechtviolett-Präparaten.

Alle in den Serienschnitten erhobenen Werte wurden mit dem Schrumpfungsfaktor korrigiert und auf Frischwerte umgerechnet. Getrennt für das Pallidum laterale und mediale wurden ermittelt: Volumen, numerische Dichte und Volumenzelldichte der Nerven- und Gliazellen. Aus diesen Größen ließen sich errechnen: Die absolute Zahl der Nerven- und Gliazellen, das absolute Volumen und das mittlere Einzelvolumen der Nerven- und Gliazellen, sowie das numerische Verhältnis von Glia zu Nervenzellen (Gliaindex).

Außerdem wurden die Korrelationen des Pallidum laterale und mediale mit dem Striatum und seinen beiden Anteilen (Putamen und Caudatum) sowie mit der Hemisphäre und dem Cortex studiert.

Zur Bestimmung der numerischen Nervenzelldichte wurden beim Pallidum laterale und mediale je 100 bis 300 Gesichtsfelder auf Nukleoli durchmustert, um die Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}$ auf 10% vom Mittelwert $\bar{x}$ zu bringen. Für die numerische Gliazelldichte mußten nur je 12 Gesichtsfelder pro Kerngebiet und Gehirn gezählt werden, um den gleichen prozentualen Fehler zu erhalten.

Die untersuchten Areale wurden mäanderförmig durchmustert, wobei der Abstand der einzelnen Gesichtsfelder so gewählt wurde, daß sie gleichmäßig über das ganze Kerngebiet verteilt waren. Auf diese Weise wurde eine willkürliche Verteilung ohne Überschneidung oder Doppelzählung erreicht.

Die volumetrische Zelldichte wurde mit der Treffermethode von HAUG und dem HAUGschen Zählgitter mit 169 Schnittpunkten ermittelt. Wegen der geringen

Nervenzelldichte im Pallidum war für eine relative Standardabweichung $s_{\bar{x}} = 10\%$ von $\bar{x}$ bei der volumetrischen Nervenzelldichte ein Stichprobenumfang von 1000 Gesichtsfeldern pro Gehirn und Griseum erforderlich. Bei der volumetrischen Gliazelldichte genügten 250 Gesichtsfelder.

Wegen der immensen Zahl an Gesichtsfeldeinstellungen — allein bei den Nervenzellen fielen insgesamt über 25 000 Daten an — benutzten wir als Stichprobenmikroskop für Pallidum laterale und mediale ein LEITZ-Orthoplan mit Grob-Scanningtisch. Der Grob-Scanning-Tisch gestattet jedoch nur ein Arbeiten mit Kondensorobjektiven einer Apertur bis maximal 0,60. Er wurde daher von uns dahingehend umgebaut, daß wir den zentralen Durchlaß erweiterten, um so mit einem achromatisch-aplanatischen Systemkondensor Apt. Öl 1,25 arbeiten zu können, wie er für hochkorrigierte Ölimmissionen und das Mikroskopieren im feinplasmatischen Bereich erforderlich ist.

Bei einem Okular mit 12,5-facher und einem Objektiv mit 100facher Vergrößerung sowie einer Apertur von 1,32 betrug die objektive Tiefenschärfe $T = 0,527 \mu\text{m}$ und bei einem Sehabstand S_1 von 130 000 μm die subjektive Tiefenschärfe $T' = 0,446 \mu\text{m}$; die Gesamttiefenschärfe T_g somit $0,974 \mu\text{m}$. Damit war die Forderung, daß die Gesamttiefenschärfe maximal $1 \mu\text{m}$ betragen darf (HAUG), erfüllt.

Mit Hilfe des Grob-Scanning-Tisches und seiner in x - und y -Richtung angebrachten Schrittmotoren wurden Pallidum laterale und mediale nach vorgewähltem Schrittabstand mäanderförmig per Knopfdruck durch-

fahren. Die Gesichtsfelder wurden gleichmäßig über vier Schnitte verteilt. Die anfallenden Daten wurden direkt vom Mikroskop per Hand auf Lochstreifen übertragen und dann vom Computer ausgewertet (Abb. 1).

1.1. Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

Abkürzungen:

Gz	= Gliazelle
L	= linke Hemisphäre
lat.	= lateral
med.	= medial
Nz	= Nervenzelle
R	= rechte Hemisphäre

Statistische Symbole:

n	= Stichprobenumfang
$\bar{x}$	= Mittelwert
s_x	= Standardabweichung
$s_{\bar{x}}$	= Standardabweichung des Mittelwerts
95% VB	= 95%-Vertrauensbereich
p	= Irrtumswahrscheinlichkeit
*	= $0,05 \geq p > 0,01$ 5%-Niveau 95%-Sicherheit
**	= $0,01 \geq p > 0,001$ 1%-Niveau 99%-Sicherheit
***	= $0,001 \geq p$ 0,1%-Niveau 99,9%-Sicherheit
r	= Korrelationskoeffizient der Produkt-Moment-Korrelation

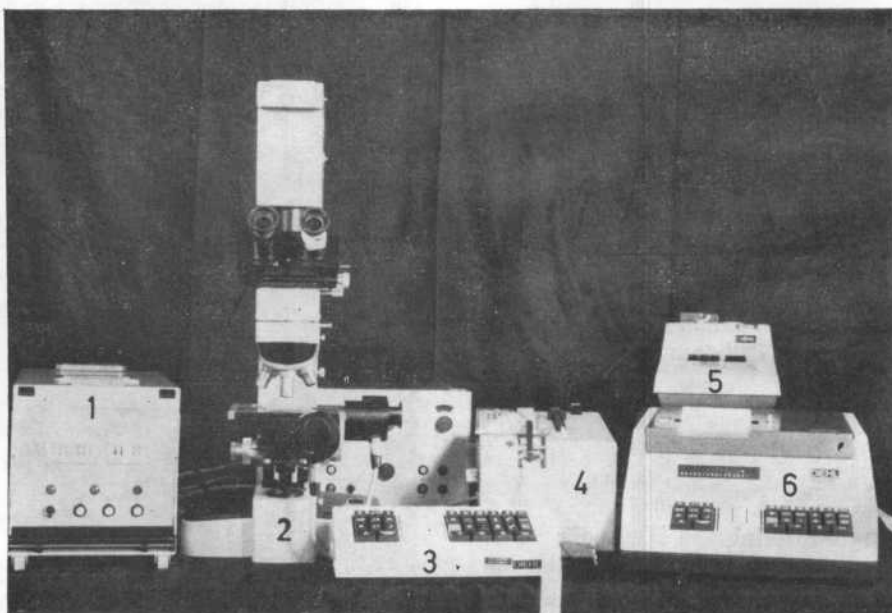


Abb. 1. Arbeitsplatz für morphometrische Untersuchungen.

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Steuereinheit des Scanningtisches | 4. Lochstreifenstanzer |
| 2. LEITZ-Orthoplan mit Fotoautomatik | 5. Lochstreifenleser |
| 3. Externe Tastatur (Eingabe der Werte) | 6. DIEHL-Tischrechner |

2. Ergebnisse

2.1. Frischvolumen

Die Schnittserienvolumina des Pallidum laterale und mediale sind auf Tabelle 1, die Mittelwerte der Frischvolumina auf Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 1. Schnittserienvolumina (mm³)

	Pallidum lat.	Pallidum med.
A 58 R	656	289
L	560	238
A 85 L	556	258
A 77 L	414	174
A 61 L	623	325
A 97 L	691	290
A 74 L	691	286
A 65 L	566	202
A 102 L	689	281
A 56 R	621	297
A 88 L	688	251
A 64 R	569	219
L	477	194
A 76 L	404	160

Tabelle 2. Frischvolumina des Pallidum (mm³)

	Pallidum lat.	Pallidum med.
♂ $\bar{x}$	1220	520
s_x	142	78
$s_{\bar{x}}$	45	25
95% VB	± 102	± 56
♀ $\bar{x}$	1065	430
s_x	181	79
$s_{\bar{x}}$	91	40
95% VB	± 287	± 126

den früher beschriebenen Frischvolumina (Hemisphäre, Cortex, Striatum).

Der Korrelationskoeffizient r zwischen Pallidum laterale und mediale beträgt 0,798 und ist auf dem 0,1%-Niveau signifikant. Die Gleichung lautet

$$y = (0 \pm 0,1) + (0,42 \pm 0,07) x,$$

x = Pallidum lat., y = Pallidum med.

Als Näherungsformel läßt sich $y = 0,4x$ verwenden, d. h. das Pallidum med. besitzt nur rund 40% des Volumens des Pallidum lat.

2.2. Korrigierte numerische Nervenzelldichte

Die an den Schnittserien ermittelten numerischen Zelldichten sind auf den Tabellen 3 und 4 angegeben, die Mittelwerte der mit den Schrumpfungsfaktoren korrigierten Nervenzelldichte auf Tabelle 5. Die

Tabelle 3. Pallidum laterale

Mittelwerte $\bar{x}$ mit Standardabweichung der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$)

	numerische Zelldichte		volumetrische Zelldichte	
	$\frac{Nz}{mm^3}$	$\frac{10^3 Gz}{mm^3}$	$\frac{Nz}{10^{-3}\%}$	$\frac{Gz}{10^{-3}\%}$
A 58 R	763 (74)	124 (3)	290 (36)	450 (17)
L	994 (79)	132 (4)	380 (50)	620 (20)
A 85 L	844 (73)	110 (5)	500 (57)	450 (15)
A 77 L	750 (67)	159 (6)	220 (30)	360 (14)
A 61 L	625 (59)	134 (3)	230 (31)	410 (16)
A 97 L	956 (80)	137 (5)	310 (37)	350 (15)
A 74 L	1119 (77)	119 (6)	670 (71)	620 (22)
A 102 L	906 (74)	98 (4)	340 (43)	250 (11)
A 56 R	1125 (90)	167 (11)	300 (38)	460 (16)
A 88 L	900 (82)	130 (5)	390 (46)	390 (14)
A 64 R	944 (80)	134 (11)	390 (47)	480 (17)
L	750 (70)	155 (13)	310 (39)	350 (14)
A 76 L	744 (74)	148 (11)	300 (39)	340 (14)

Zwischen dem Mittelwert der männlichen Normalgruppe und dem der weiblichen besteht eine Differenz, die beim Pallidum laterale 13%, beim Pallidum mediale 17% beträgt, aber in beiden Fällen knapp unter dem 5%-Niveau bleibt. Dennoch entspricht sie in ihrem Trend und ihrer Größenordnung dem geschlechtsbezogenen Dimorphismus und damit auch den Verhältnissen bei

Mittelwerte bei Männern und Frauen sind praktisch identisch. Auch eine Altersabhängigkeit der Werte ließ sich nicht feststellen. Die numerische Nervenzelldichte im Pallidum laterale ist höher als im Pallidum mediale. Die numerischen Nervenzelldichten des Pallidum laterale und des Pallidum mediale verhalten sich wie 1:0,76. Dieser Befund ist auf dem 0,1%-Niveau signifikant.

Tabelle 4. Pallidum mediale

Mittelwerte $\bar{x}$ mit Standardabweichung der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$)

	numerische Zelldichte		volumetrische Zelldichte	
	$\frac{Nz}{mm^3}$	$\frac{10^3 Gz}{mm^3}$	$\frac{Nz}{10^{-3} mm^3}$	$\frac{Gz}{10^{-3} mm^3}$
A 58 R	625 (62)	118 (4)	210 (34)	510 (18)
L	588 (58)	120 (5)	270 (44)	580 (19)
A 85 L	568 (56)	120 (4)	360 (47)	490 (18)
A 77 L	654 (53)	180 (9)	310 (41)	420 (15)
A 61 L	525 (51)	125 (3)	250 (39)	360 (15)
A 97 L	831 (75)	127 (3)	270 (45)	370 (15)
A 74 L	581 (59)	112 (4)	340 (54)	570 (19)
A 102 L	606 (58)	102 (4)	370 (53)	340 (14)
A 56 R	850 (84)	131 (15)	310 (42)	360 (15)
A 88 L	706 (62)	121 (7)	290 (40)	330 (13)
A 64 R	694 (69)	124 (6)	370 (46)	470 (16)
L	625 (62)	127 (11)	340 (45)	420 (16)
A 76 L	700 (72)	122 (6)	280 (43)	350 (14)

Tabelle 5. Korrigierte numerische Nervenzelldichte (Nz/mm^3)

	Pallidum lat.	Pallidum med.
♂ $\bar{x}$	438	328
s_x	90	60
$s_{\bar{x}}$	28	19
♀ $\bar{x}$	435	324
s_x	76	3,2
$s_{\bar{x}}$	44	1,8
♂ + ♀ $\bar{x} \pm 95\% VB$	437 $\pm$ 51	327 $\pm$ 31

2.3. Korrigierte numerische Gliazelldichte

Die Schnittserienwerte sind den Tabellen 3 und 4, die Mittelwerte der Tabelle 6 zu entnehmen.

Die Geschlechtsunterschiede sind weder im Pallidum lat. (♀ -10%) noch im Pallidum med. (♀ -5%) signifikant. Ebenso wenig ist eine Altersabhängigkeit der Werte deutlich. Die numerischen Gliazelldichten von Pallidum lat. und med. zeigen einen Korrelationskoeffizienten r von 0,55. Im gepaarten t -Test nach STUDENT ergibt sich für eine statistische Sicherheit von 95% eine höhere Gliazelldichte im Pallidum lat. Die Gliazelldichten im Pallidum lat. und med. verhalten sich wie 1:0,93.

Tabelle 6. Korrigierte numerische Gliazelldichte ($10^3 Gz/mm^3$)

	Pallidum lat.	Pallidum med.
♂ $\bar{x}$	67,9	62,9
s_x	6,4	7,7
$s_{\bar{x}}$	2,0	2,4
♀ $\bar{x}$	61,1	59,8
s_x	8,6	7,2
$s_{\bar{x}}$	5,0	4,2
♂ + ♀ $\bar{x} \pm 95\% VB$	66 $\pm$ 4	62 $\pm$ 4

2.4. Gliaindex

Die Zahl der Gliazellen pro Nervenzelle ist auf Tabelle 7 angegeben. Geschlechtsunterschiede (Pallidum lat. ♀ -9%, Pallidum med. ♀ -7%) sind

Tabelle 7. Gliaindex (Gz/Nz)

	Pallidum lat.	Pallidum med.
♂ $\bar{x}$	161	198
s_x	37,3	35,6
$s_{\bar{x}}$	11,8	11,2
♀ $\bar{x}$	146	185
s_x	47,3	23,4
$s_{\bar{x}}$	27,3	13,5
♂ + ♀ $\bar{x} \pm 95\% VB$	158 $\pm$ 23	195 $\pm$ 20

nicht signifikant, Altersunterschiede nicht erkennbar. Der gepaarte t -Test nach STUDENT zeigt, daß der Gliaindex im Pallidum mediale mit einer statistischen Sicherheit von 99% größer ist als im Pallidum laterale. Durchschnittlich ist er im Pallidum med. um 23% höher.

2.5. Absolute Zahl der Nervenzellen

Die absolute Zahl der Nervenzellen im Pallidum lat. und med. ergibt sich aus der Multiplikation der Schnittserienvolumina dieser Kerne mit den numerischen Dichten. Die Mittelwerte sind auf der Tabelle 8 eingetragen.

Die weiblichen Normalhemisphären haben im Pallidum lat. durchschnittlich 14% und im Pallidum med. 17% weniger Nervenzellen als die männliche Vergleichsgruppe. Wegen der geringen Anzahl weiblicher Normalhemisphären ($n = 3$) ist die Differenz im t -Test nicht signifikant. Eine Verringerung der absoluten Nervenzellzahl im

Tabelle 8. Absolute Zahl der Nervenzellen (in 10^3)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	540	171
	s_x	153	46
	$s_{\bar{x}}$	48	14
	95% VB	± 109	± 33
♀	$\bar{x}$	465	143
	s_x	162	29
	$s_{\bar{x}}$	93	29
	95% VB	± 401	± 73

Alter ist nur bei den beiden ältesten Gehirnen (84 und 99 Jahre) erkennbar.

In Abbildung 2 ist für die Normalgruppe die absolute Zahl der Nervenzellen von Pallidum laterale (x) und Pallidum mediale (y) mit den

Tabelle 9. Absolute Zahl der Gliazellen (in 10^6)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	82	32
	s_x	11	5
	$s_{\bar{x}}$	3,5	1,6
	95% VB	± 8	± 4
♀	$\bar{x}$	63	26
	s_x	4	6
	$s_{\bar{x}}$	2,3	3,5
	95% VB	± 10	± 15

Fällen (84 und 99 Jahre) ist eine Abnahme der absoluten Gliazellzahl angedeutet. Die Korrelation dieser Zahl zwischen Pallidum lat. und med. ist auf Abbildung 3 dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r liegt mit 0,705 in der gleichen Größen-

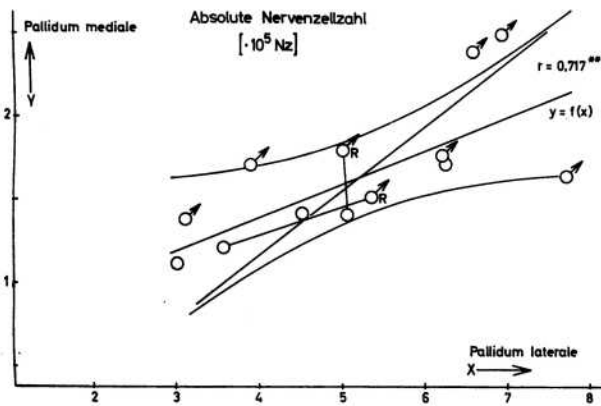


Abb. 2

Hyperbeln des 95%-Vertrauensbereiches für die Regressionsgerade $y = a + bx$ zu sehen. Sie zeigt die enge Korrelation der absoluten Nervenzellzahl des Pallidum laterale mit der des Pallidum mediale. Dieser Zusammenhang kommt durch die Höhe des Korrelationskoeffizienten $r = 0,717^{**}$ ($p < 0,01$) zum Ausdruck.

Das Populationsverhältnis der absoluten Nervenzellzahlen von Pallidum laterale zu Pallidum mediale beträgt 3,2:1.

2.6. Absolute Zahl der Gliazellen

Die absolute Zahl der Gliazellen (in Millionen) ist der Tabelle 9 zu entnehmen.

Ein Geschlechtsdimorphismus ist beim Pallidum lat. (♀ -24%) auf dem 5%-Niveau signifikant; für das Pallidum med. (♀ -19%) wird diese Signifikanz knapp verfehlt. Bei den beiden ältesten

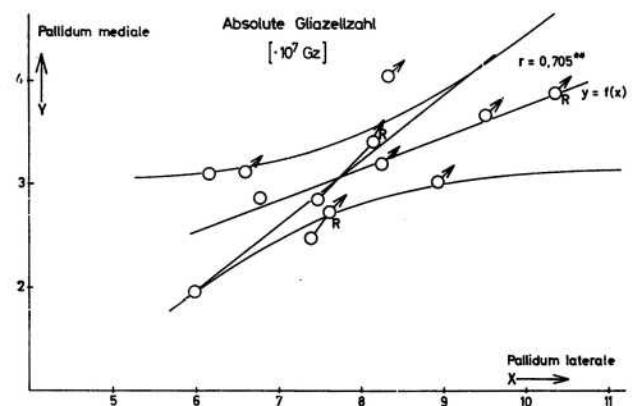


Abb. 3

ordnung wie bei der absoluten Nervenzellzahl (0,717).

Dieser stochastische Zusammenhang trifft bei einer statistischen Sicherheit von 99% zu.

2.7. Korrelation der Nerven- und Gliazellzahlen

In den Abbildungen 4 und 5 sind für das Pallidum laterale und mediale die Korrelationen zwischen der absoluten Nervenzellzahl (x) und der absoluten Gliazellzahl (y) für die Regressionsgerade $y = a + bx$ zusammen mit den Hyperbeln der 95%-Vertrauensbereiche aufgezeichnet.

Korrelationskoeffizienten von $r = 0,636$ für das Pallidum laterale und von $r = 0,734$ für das Pallidum mediale bei einem Signifikanzniveau von 5% bzw. 1% zeigen die enge Abhängigkeit beider Parameter voneinander an.

Die Abbildungen lassen deutlich die Geschlechts-

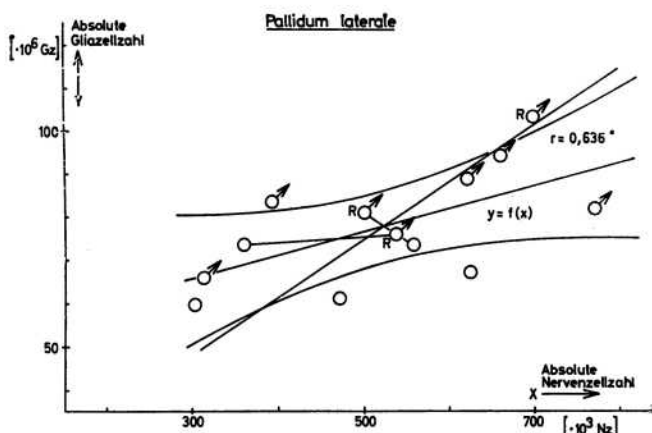


Abb. 4

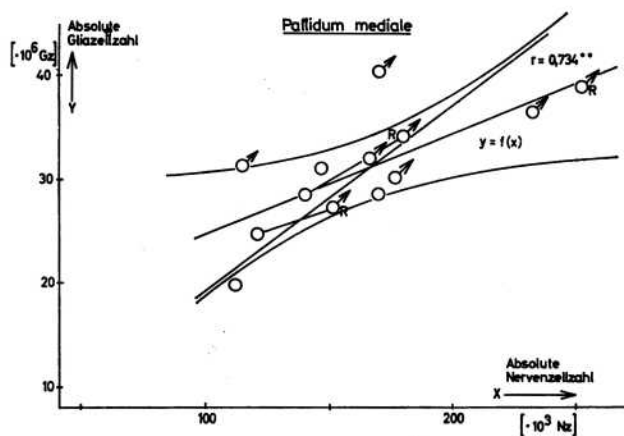


Abb. 5

differenzen sowohl bei der absoluten Nervenzellzahl als auch bei der absoluten Gliazelzahl erkennen.

2.8. Volumetrische Nervenzelldichte

Die Mittelwerte der volumetrischen Nervenzelldichten sind auf Tabelle 10 angegeben. Die etwas höheren Dichten bei den weiblichen Fällen im Pallidum lat. (+9%) und Pallidum med. (+13%) sind statistisch nicht signifikant. Auch

Tabelle 10. Volumetrische Nervenzelldichte (Vol.-%)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	0,35	0,30
	s_x	0,13	0,05
	$s_{\bar{x}}$	0,04	0,02
♀	$\bar{x}$	0,38	0,34
	s_x	0,11	0,05
	$s_{\bar{x}}$	0,06	0,03
♂ + ♀	$\bar{x} \pm 95\% \text{ VB}$	$0,36 \pm 0,07$	$0,31 \pm 0,03$

altersabhängige Veränderungen konnten nicht festgestellt werden. Pallidum lat. und med. unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich ihrer volumetrischen Nervenzelldichte.

2.9. Volumetrische Gliakerndichte

Im Gegensatz zu den Nervenzellen wurde bei den Gliazellen nur die volumetrische Dichte der Zellkerne bestimmt, weil im Kresylechtpräparat infolge schwacher Anfärbung die Grenzen des Zelleibs der Gliazellen meist nicht exakt festzulegen sind. Das gilt besonders für den **schmalen** cytoplasmatischen Saum der Oligodendrogliazellen, die den ganz überwiegenden Teil der Glia-population des Pallidum bilden.

Tabelle 11. Volumetrische Gliakerndichte (in Vol.-%)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	0,45	0,44
	s_x	0,10	0,09
	$s_{\bar{x}}$	0,03	0,03
♀	$\bar{x}$	0,35	0,39
	s_x	0,10	0,10
	$s_{\bar{x}}$	0,06	0,05
♂ + ♀	$\bar{x} \pm 95\% \text{ VB}$	$0,43 \pm 0,06$	$0,43 \pm 0,05$

Die Mittelwerte der volumetrischen Gliakern-dichte sind Tabelle 11 zu entnehmen. Die etwas niedrigeren Werte bei den weiblichen Gehirnen sind nicht signifikant. Pallidum lat. und med. weisen eine gleich große volumetrische Gliakern-dichte auf. Diese Aussage wird auch durch Ab-

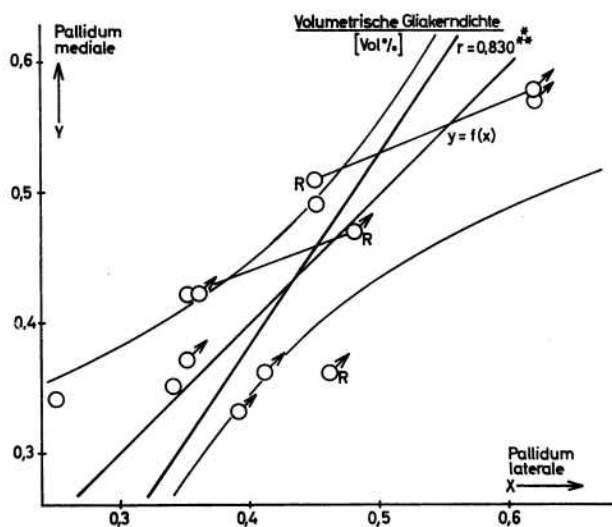


Abb. 6

bildung 6 gestützt, auf der die Korrelation der volumetrischen Gliakerndichten von Pallidum lat. und med. dargestellt ist. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,830^{***}$ zeigt die Stärke dieses Zusammenhangs. Bei einem Regressionskoeffizienten von $b = 1,0$ und einem Achsenabschnitt auf der Ordinate von $a = 0,0$ wird deutlich, daß die Regressionsgerade $x = a + by$ mit der $y = x$ -Achse zusammenfällt.

2.10. Korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen

Multipliziert man die volumetrische Nervenzellendichte mit dem Frischvolumen des Pallidum lat. und med., so erhält man das Gesamtvolumen aller Nervenzellen in diesen Kernen (= korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen).

Tabelle 12. Korrigiertes absolutes Nervenzellenvolumen (in mm^3)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	4,33	1,53
	s_x	1,90	0,30
	$s_{\bar{x}}$	0,60	0,09
	95% VB	$\pm 1,36$	$\pm 0,21$
♀	$\bar{x}$	3,97	1,52
	s_x	1,22	0,51
	$s_{\bar{x}}$	0,71	0,29
	95% VB	$\pm 3,04$	$\pm 1,27$

Tabelle 12 läßt erkennen, daß keine signifikanten Geschlechtsdifferenzen bestehen.

Für die Beziehungen der Werte von Pallidum lat. und med. ergab sich ein Korrelationskoeffizient $r = 0,561^*$.

2.11. Korrigiertes absolutes Gliakervolumen

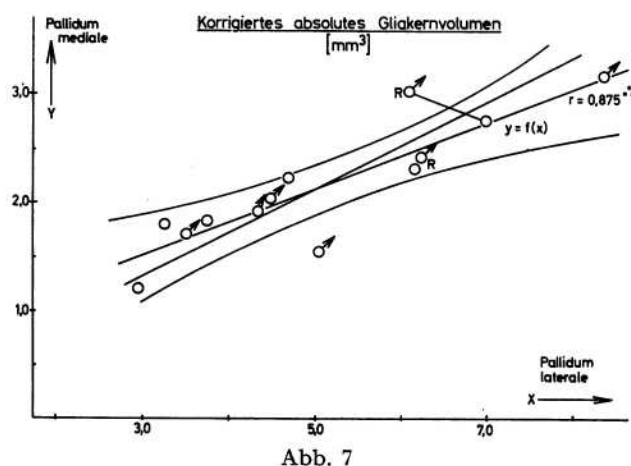
Die in Tabelle 13 angegebenen Werte lassen eine deutliche Geschlechtsdifferenz im Pallidum lat. (♀ - 36%) und med. (♀ - 23%) erkennen. Diese Unterschiede bleiben im t -Test knapp unterhalb des 5%-Niveaus. Die Beziehungen des Gesamtvolumens aller Gliakerne im Pallidum lat. und med. veranschaulicht Abbildung 7.

Der starke Zusammenhang beider Variablen — der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,875$ bei einer statistischen Sicherheit von 99,9% — läßt den Winkel zwischen den Regressionsgeraden

$y = a + bx$ und $x = a' + b'y$ sehr klein und die Hyperbeln des 95%-Vertrauensbereiches fast zur Geraden werden.

Tabelle 13. Korrigiertes absolutes Gliakervolumen (in mm^3)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	5,51	2,28
	s_x	1,55	0,57
	$s_{\bar{x}}$	0,49	0,18
	95% VB	$\pm 1,11$	$\pm 0,41$
♀	$\bar{x}$	3,54	1,75
	s_x	0,79	0,52
	$s_{\bar{x}}$	0,45	0,30
	95% VB	$\pm 1,96$	$\pm 1,30$



2.12. Korrigiertes mittleres Nervenzellvolumen

Dividiert man die Volumenzellendichte ($\mu\text{m}^3 \text{Nz}/\mu\text{m}^3 \text{Pallidum}$) durch die mit dem Schrumpfungsfaktor korrigierte Nz-Dichte, so erhält man das mittlere Frischvolumen einer Pallidum-Nz. Die Werte sind auf Tabelle 14 wiedergegeben.

Signifikante Alters- und Geschlechtsdifferenzen

Tabelle 14. Frischvolumen der Nervenzellen (in μm^3)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	7910	9300
	s_x	1805	2260
	$s_{\bar{x}}$	571	715
♀	$\bar{x}$	8730	10390
	s_x	1720	1590
	$s_{\bar{x}}$	993	919
♂ + ♀ $\bar{x} \pm 95\% \text{ VB}$		8100 ± 1060	9600 ± 1280

liegen nicht vor. Die Feststellung, daß die Nervenzellen des Pallidum med. größer als die des Pallidum lat. sind, trifft nach Prüfung durch den gepaarten *t*-Test mit einer statistischen Sicherheit von 95% zu. Im Durchschnitt ist das Volumen der Nz des Pallidum med. um 19% größer.

2.13. Korrigiertes mittleres Gliakernvolumen

Die Gruppenmittelwerte mit Standardabweichungen des korrigierten mittleren Gliakernvolumens sind Tabelle 15 zu entnehmen. Einem Gliakernvolumen von 65–70 μm^3 entspricht ein Kerndurchmesser von 5,0–5,1 μm .

Tabelle 15. Berechnetes mittleres Gliakernvolumen (in μm^3)

		Pallidum lat.	Pallidum med.
♂	$\bar{x}$	67,4	71,4
	s_x	19,5	19,8
	$s_{\bar{x}}$	6,2	6,3
♀	$\bar{x}$	56,6	65,2
	s_x	13,7	5,8
	$s_{\bar{x}}$	7,9	3,4
♂ + ♀	$\bar{x} \pm 95\% \text{ VB}$	65 $\pm$ 11	70 $\pm$ 11

2.14. Korrelationen

2.14.1. Korrelation zwischen Pallidum und Hemisphäre

Die relativen Volumenanteile des Pallidum an der Hemisphäre sind auf Tabelle 16 angegeben.

Ein Geschlechtsunterschied ist am vorliegenden Material nicht nachweisbar. Zwischen den Volumina der Hemisphäre und des Pallidum bestehen

Tabelle 16. Volumenanteil des Pallidum an der Hemisphäre (in %)

		Pallidum laterale	Pallidum mediale	Gesamt-Palladium
♂	$\bar{x}$	0,224	0,097	0,321
	s_x	0,039	0,020	
	$s_{\bar{x}}$	0,013	0,007	
♀	$\bar{x}$	0,230	0,093	0,323
	s_x	0,036	0,021	
	$s_{\bar{x}}$	0,018	0,010	
♂ + ♀	$\bar{x}$	0,226	0,095	0,321
	s_x	0,037	0,019	
	$s_{\bar{x}}$	0,010	0,005	

keine strengen Korrelationen. Der Korrelationskoeffizient *r* beträgt für das Pallidum lat. 0,215 und für das Pallidum med. 0,288.

2.14.2. Korrelation zwischen Pallidum und Striatum

Die Korrelationskoeffizienten ergeben sich aus Tabelle 17. Die Korrelationen zwischen Striatum und Pallidum lat. sind enger als zwischen Striatum und Pallidum med. Das Putamen weist eine bessere Korrelation mit dem Pallidum auf als der Nucleus caudatus.

Tabelle 17. Korrelationskoeffizienten

	Pallidum laterale			Pallidum mediale		
	Striatum	Caudatum	Putamen	Striatum	Caudatum	Putamen
Frischvolumen	—	0,360	0,489	—	0,289	0,528
Absolutes Nervenzellenvolumen	0,300	—	—	0,152	—	—
Absolute Nervenzellzahl a) *) b)	0,380	0,273	0,431	0,306	0,299	0,327
	0,298	—	0,332	0,320	—	0,317
Absolute Gliazellzahl	0,379	—	—	0,377	—	—
Numerische Nervenzelldichte	0,575*	—	—	0,470	—	—
Volumetrische Nervenzelldichte	0,267	—	—	0,080	—	—
Numerische Gliazelldichte	0,211	—	—	0,588*	—	—

Die Korrelationskoeffizienten der untersuchten Parameter sind entsprechend ihrem Signifikanzniveau mit Sternchen gekennzeichnet. Vom Striatum wurden bei der absoluten Nervenzellzahl und der korrigierten numerischen Nervenzelldichte nur die kleinen Nervenzellen korreliert.

*) a) = kl. Nz, b) = gr. Nz.

Tabelle 18. Volumen von Pallidum laterale und mediale (in cm³)

Autoren	♂ Volumen				♀ Volumen					Härtung Einbettung Messung	Frisch- korrek- tur
	n	P. lat.	P. med.	P. gesamt	Seite	P. lat.	P. med.	P. gesamt	n		
ROSE 1933	1			0,813	?	Geschlecht, Alter?				Formalin Paraffin Waage	nein
HARMAN und CARPENTER 1950	1	1,97	0,98	2,95	?	Geschlecht, Alter?			—	? Celloidin Planimeter	nein
v. BONIN und SHARIFF 1951	1	—	—	1,78	?	Geschlecht, Alter?			—	? ? Planimeter	nein
STELMASIAK 1952	6	1,49 ±0,11 1,53 ±0,05	0,56 ±0,04 0,62 ±0,04	2,05	R L	1,79 ±0,29 1,70 ±0,22	0,63 ±0,10 0,62 ±0,10	2,42	3	Formalin ? Umfang Kegelvolumen	nein
ORTHNER, JUNGKLAASS und SENDLER 1960, 1968, 1974	31	—	—	1,68 ±0,20 1,73 ±0,20	R L	—	—	1,45 ±0,24 1,52 ±0,24	27	Formalin Gelatine Göttinger Mikrotom	ja
MIELKE 1968	2	2,21	1,01	3,22	R + L	1,88	1,24	3,12	2	Formalin Paraffin Schnittserien- volumen	ja
eigene Befunde	10	1,22 ±0,05	0,52 ±0,03	1,74	R + L	1,07 ±0,09	0,42 ±0,04	1,50	4	Formalin Paraffin Schnittserien- volumen	ja

3. Diskussion

Die eigenen Ergebnisse über das Frischvolumen des Pallidum sind auf Tabelle 18 den Daten aus der Literatur gegenübergestellt. Die sicherlich zu hohen Werte von STELMASIAK sind methodisch bedingt. Er untersuchte formalinfixierte Gehirne, die bekanntlich eine Volumenvermehrung gegenüber Frischgehirnen aufweisen (Lit. s. BLINKOV und GLEZER, 1968). Eine Korrektur wurde von dem Autor nicht vorgenommen. Außerdem erklärt die von STELMASIAK vorgenommene Kreis-Transformation seine zu hohe Werte, wie SCHRÖDER et al. 1975 gezeigt haben.

Der an einer menschlichen Hemisphäre ermittelte hohe Wert von HARMAN und CARPENTER dürfte ebenfalls methodisch bedingt sein. Mit den

Werten von ROSE*), von BONIN und SHARIFF, ORTHNER, JUNGKLAASS und SENDLER zeigen die eigenen Ergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung. Eine Differenzierung in Pallidum lat. und med. haben die genannten Autoren jedoch nicht vorgenommen. Mit den Werten von MIELKE bestehen gute Übereinstimmungen sowohl hinsichtlich der Volumina des Pallidum als auch seines medialen und lateralen Anteils mit Ausnahme des Pallidum mediale bei den weiblichen Gehirnen, bei dem MIELKE einen höheren Wert ermittelte. Zum Vergleich müssen die eigenen Werte verdoppelt werden, da MIELKE die Pallidumvolumina beider Hemisphären addierte.

*) Gilt für den Vergleich der unkorrigierten Paraffinschnittserien-Volumina (Vergl. Tabelle 1).

Wesentliche Unterschiede in der Relation Pallidum lat. zu Pallidum med. scheinen nach den Untersuchungen von HARMAN und CARPENTER sowie von MIELKE in der Primatenreihe nicht zu bestehen mit Ausnahme von *Tupaia glis*. Bei dieser Art nimmt das Pallidum laterale einen höheren Anteil ($3/4-4/5$) des Gesamtpallidum ein (MIELKE).

Beim Menschen beträgt nach unseren Untersuchungen der Anteil des Pallidum laterale am Gesamtpallidum rund 70%. Das Pallidum mediale verhält sich im Mittel zum Pallidum laterale annähernd wie 0,4 (genau 0,42):1.

HARMAN und CARPENTER geben für das Pallidum lat. einen Wert von 66,8% des Gesamtpallidum an.

Die eigenen Untersuchungen ergeben bei den weiblichen Gehirnen ein im Mittel um 13% kleineres Pallidum lat. und ein um 17% kleineres Pallidum med. im Vergleich zu der männlichen Gruppe. Die Geschlechtsunterschiede blieben knapp unter dem 5%-Niveau. In dem Material von ORTHNER (1974) betrug die Geschlechtsdifferenz im Mittel 13% für das Gesamtpallidum.

ORTHNER konnte auch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5% ein linksseitig größeres Pallidum feststellen.

Der Anteil des Pallidum an der Hemisphäre beträgt nach eigenen Untersuchungen 0,32%, d. h.

$$\text{rund } \frac{1}{300}$$

JUNGKLAASS und ORTHNER kamen mit 0,27 bis 0,34% bei Männern und bei Frauen 0,24–0,35% zu ähnlichen Werten.

Der relative Anteil des Pallidum an der Hemisphäre nimmt in der aufsteigenden Primatenreihe ab. HOPF (1965) fand bei einem Halbaffen (*Lemur catta*) einen Wert von 1,01%, bei einem Affen (*Macaca*) von 0,71%, bei einem Menschenaffen (*Pongo*) von 0,55% und beim Menschen von 0,31%.

Zwischen den Volumina der Hemisphäre und des Pallidum lat. ($r = 0,215$) bzw. Pallidum med. ($r = 0,288$) bestehen nur schwache Korrelationen. Das telencephale Striatum ist mit dem diencephalen Pallidum am deutlichsten über das Frischvolumen korreliert. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, daß striofugale Fasern sehr zum Volumen der Pallida beitragen. Ein großes Striatum wird mehr Fasern in die und durch die Pallida entsenden, was deren Volumen vergrößert, ohne daß die Zahl der Nervenzellen im ent-

sprechenden Verhältnis zunehmen muß. Daher sind absolutes Nervenzellenvolumen und absolute Nervenzellzahl weniger streng korreliert als das Frischvolumen (vergl. Tab. 18).

Insgesamt betrachtet ist das Striatum besser mit dem Pallidum laterale als mit dem Pallidum mediale korreliert. Innerhalb des Striatum zeigt wiederum das Putamen die engeren Beziehungen zu den Pallida. Eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Zahl der großen Nervenzellen im Striatum und der Nervenzellzahl im Pallidum fand sich nicht.

Exakte und damit vergleichbare Angaben über die korrigierte numerische Nervenzelldichte des Pallidum beim Menschen liegen bisher nicht vor. PAKKENBERG (1963) führte zwar Zellzählungen am Globus pallidus durch, bediente sich aber hierbei der zu ungenauen Methode von ABERCROMBIE (1946) und machte seine Untersuchungen an nur 11 μ m dicken Schnitten. Er berücksichtigte außerdem nicht die unterschiedlichen Nervenzelldichten des Pallidum laterale und mediale, sondern verteilte seine Zählungen über das Gesamtpallidum; eine Frischvolumenkorrektur wurde nicht angewandt. Nach HAUG (1967) beträgt die prozentuale Abweichung von der tatsächlichen Anzahl an Nervenzellen bei Anwendung der Korrekturformel von ABERCROMBIE –15%. Der von PAKKENBERG für die unkorrigierte Nervenzelldichte des Gesamtpallidum angegebene Wert von 588 Nervenzellen/mm³ erhöht sich nach 15%iger Korrektur auf 691 Nervenzellen/mm³ und liegt dann ca. 10% unter unserem für das Gesamtpallidum ermittelten Wert von 768 Nervenzellen/mm³.

Auf die unterschiedliche Nerven- und Gliazelldichte des Pallidum laterale und mediale weist TREFF (1965), allerdings ohne Angaben von Zahlen, hin. Nach unseren Untersuchungen ist das Pallidum laterale dichter mit Nerven- und Gliazellen bevölkert als das Pallidum mediale. MIELKE (1968) kommt bei zwei untersuchten Gehirnen zum gleichen Ergebnis.

MIELKE macht erstmals Angaben über die absolute Zahl der Nervenzellen des Pallidum beim Menschen.

Sie fand bei einem männlichen Gehirn 520 000 Nz im Pallidum lat. und 220 000 im Pallidum med., bei einem weiblichen Gehirn 360 000 Nz im Pallidum lat. und 210 000 im Pallidum med. Unter Berücksichtigung der starken Streuung der Werte sind diese Zahlen mit unseren Ergebnissen gut vergleichbar.

Wir errechneten als Mittelwerte (mit 95%-Vertrauensbereich) für die männliche Gruppe 540000 ± 109000 Nz für das Pallidum lat. und 171000 ± 33000 für das Pallidum med., bei der weiblichen Gruppe 465000 ± 401000 für das Pallidum lat. und 143000 ± 73000 für das Pallidum med. Das Pallidum lat. besitzt danach rund dreimal soviel Nz wie das Pallidum med. Die Zahl der Nervenzellen im Pallidum lat. liegt somit in der gleichen Größenordnung wie die Zahl der großen Nz im Striatum (670000 bei Männern, 570000 bei Frauen; SCHRÖDER et al., 1975), ohne daß strenge Korrelationen zwischen diesen Zahlen bestehen (s. Tab. 17).

Die volumetrischen Nervenzellichten sind nach unseren Untersuchungen im Pallidum lat. mit $0,36 \pm 0,07\%$ und im Pallidum med. mit $0,31 \pm 0,03\%$ extrem niedrig. Nur rund $\frac{1}{300}$ des

Volumens des Pallidum wird von Nervenzelleibern (Perikarya) eingenommen. Die volumetrische Nerven- und Gliazellichte des Pallidum lat. und med. bestimmte SABUNCU (1969) an neun männlichen und zehn weiblichen Hemisphären von Fällen ohne extrapyramidale Bewegungsstörung. Wie wir fand er bei der volumetrischen Dichte der Nerven- und Gliazellen keine Geschlechtsdifferenz, und die volumetrische Gliazellichte zeigte keinen Unterschied zwischen den beiden Pallida. Seine Werte liegen allerdings wesentlich über den unsrigen, möglicherweise infolge einer zu großen Tiefenschärfe bei nicht ausreichender Vergrößerung. Im Unterschied zu uns kommt SABUNCU zu dem Schluß, daß das innere Pallidumglied sowohl volumetrisch als auch numerisch dichter an Nervenzellen ist als das äußere, obwohl numerische Dichten von ihm nicht bestimmt wurden. Wir stellen dagegen fest, daß bei den volumetrischen Nervenzellichten keine signifikanten Differenzen zwischen den beiden Pallida bestehen, andererseits aber die numerische Nervenzellichte des lateralen Pallidum signifikant ($p < 0,01$) höher ist als die des medialen. Mit anderen Worten, die Nervenzellen des Pallidum mediale sind im Mittel größer als die des Pallidum laterale (ca. 20%). Dieses Ergebnis wird auch durch den optischen Eindruck, den man beim Mikroskopieren gewinnt, unterstützt. FOIX und NICOLESCO (1925) wiesen schon auf den Größenunterschied der Nervenzellen des Pallidum laterale und mediale hin, wogegen TREFF (1966) auf Grund von Nervenzellmessungen an drei Gehirnen zu dem Ergebnis kommt, daß in den

beiden Pallida gleichzeitig drei verschiedene Nervenzellarten vorkommen, ohne Aussage über das quantitative Mischungsverhältnis dieser Zellarten in den beiden Pallida zu machen. Wir können die von TREFF (1965) geäußerte Feststellung, daß im Pallidum der mediale und laterale Teil aus morphologisch gleichen Strukturelementen aufgebaut sei, nicht unterstützen.

KLATZO (1947) erwähnt Unterschiede im Entwicklungsgrad der Pallidumzellen bei drei von ihm untersuchten fetalen Gehirnen. Dabei geht die Entwicklung des Pallidum mediale immer der des Pallidum laterale voraus. Er stellt fest, daß der in den fetalen Gehirnen stark ausgeprägte Zellgrößenunterschied sich in geringerem Maße auch bei adulten Gehirnen zeigt.

Auf Grund seiner Angaben berechneten wir ein Größenverhältnis der reifen Nervenzellen lateral zu medial von 1:1,3, welches gut mit dem von uns ermittelten von 1:1,2 übereinstimmt ($8100 \mu\text{m}^3$: $9600 \mu\text{m}^3$). Der von uns und KLATZO biometrisch festgestellte Volumenunterschied der Nervenzellen spricht deutlich gegen eine morphologische Einheitlichkeit der Strukturelemente beider Pallida. Auch fasersystematisch hebt sich das innere Pallidumglied klar vom äußeren ab (HASSLER, 1949) und stellt mit seinen thalamopetal leitenden Fasern ein wesentliches Glied der afferenten Neuronenkette der präzentralen extrapyramidalen Rindenfelder dar, während das äußere Pallidumglied zu den direkt efferenten Zentren des extrapyramidal-motorischen Systems gehört (HASSLER, 1956). Auch wird aus den Untersuchungen von RICHTER (1965) deutlich, daß das Pallidum mediale sich in der Ontogenese des Menschen aus dem embryonalen Nucleus entopeduncularis entwickelt, während das Pallidum laterale seinen Ursprung aus dem vorderen Gebiet des Subthalamuswulstes nimmt. FOX und SCHMITZ (1944) haben schon auf den phylogenetischen Unterschied beider Pallida hingewiesen, indem sie aufzeigten, daß das innere Pallidumglied dem Nucleus entopeduncularis der Nichtprimaten entspricht.

4. Zusammenfassung

1. An 13 Hemisphären von 11 menschlichen Normalgehirnen wurde das Pallidum einer morphometrisch-statistischen Analyse unterzogen.

2. Die an Paraffinschnittserien ermittelten Werte wurden mit den individuell unterschiedlichen Schrump-

fungsfaktoren der Gehirne korrigiert, um vergleichbare Frischwerte zu erhalten.

3. Der Mittelwert des Frischvolumens des Pallidum laterale lag bei Männern mit 1220 mm³ um 13% über dem Mittelwert von 1065 mm³ bei Frauen. Beim Pallidum mediale zeigten die Werte mit 520 mm³, bzw. 430 mm³ eine Differenz von 17%. Der Unterschied blieb knapp unter dem 5%-Niveau. Der Anteil des Pallidum laterale am Gesamt-Pallidum betrug rund 70%.

4. Das Pallidum nimmt 0,32% oder rund $\frac{1}{300}$ des Hemisphärenvolumens ein.

5. Die mit dem Schrumpfungsfaktor korrigierten numerischen Nervenzelldichten zeigten keine sicheren Alters- oder Geschlechtsunterschiede. Es fanden sich Mittelwerte von 437 Nz/mm³ im Pallidum laterale und von 327 Nz/mm³ im Pallidum mediale.

6. Das Pallidum laterale besitzt eine mittlere numerische Gliazelldichte von 66000/mm³, das Pallidum mediale von 62000/mm³. Geschlechtsunterschiede sind nicht signifikant. Dagegen ist die höhere Gliazelldichte im Pallidum laterale gegenüber dem Pallidum mediale (1:0,93) auf dem 5%-Niveau signifikant.

7. Durchschnittlich kommen im Pallidum laterale 158 Gliazellen auf eine Nervenzelle; im Pallidum mediale lautet das Verhältnis 195:1.

8. Der Mittelwert der absoluten Nervenzellzahl beträgt im Pallidum laterale bei Männern 540000 und bei Frauen 465000, im Pallidum mediale bei Männern 171000 und bei Frauen 143000. Die Zahl der Pallidumnervenzellen liegt in der gleichen Größenordnung wie die Zahl der großen Nervenzellen im Striatum (670000 bei Männern, 570000 bei Frauen).

9. Als absolute Gliazellzahlen wurden im Pallidum laterale 82 Millionen bei Männern und 63 Millionen bei Frauen, im Pallidum mediale 32 Millionen bei Männern und 26 Millionen bei Frauen ermittelt.

10. Die absoluten Nerven- und Gliazellzahlen zeigten im Pallidum laterale einen Korrelationskoeffizienten r von 0,636 ($p < 0,05$) und im Pallidum mediale von 0,734 ($p < 0,01$).

11. Die volumetrischen Nervenzelldichten wiesen keine sicheren Geschlechtsunterschiede auf. Sie betrugen im Pallidum laterale 0,36 und im Pallidum mediale 0,31 Vol.-%.

12. Die volumetrischen Gliakerndichten sind mit 0,43 Vol.-% im Pallidum laterale und mediale gleich hoch. Sie sind eng miteinander korreliert ($r = 0,830$).

13. Das mittlere Volumen der Nervenzellen im Pallidum mediale ist mit 9600 μm^3 durchschnittlich um 19% größer ($p < 0,05$) als das der Nervenzellen im Pallidum laterale (8100 μm^3).

14. Das mittlere Volumen der Gliazellkerne im Pallidum laterale und mediale ist nicht signifikant unterschiedlich (65 μm^3 bzw. 70 μm^3).

15. Die verschiedenen morphometrischen Werte lassen eine strengere Korrelation zwischen Striatum und Pallidum laterale als zwischen Striatum und Pallidum mediale erkennen. Das Putamen weist eine bessere Korrelation zum Pallidum auf als der Nucleus caudatus.

Summary

1. The pallidum of 13 hemispheres of 11 human brains of normal adults was studied by morphometric-statistical methods.

2. The values obtained on paraffin-embedded frontal serial sections were corrected individually for shrinkage in order to get comparable fresh values.

3. The mean fresh volume of the pallidum laterale of males (1220 mm³) was 13% higher than that of females (1065 mm³). The corresponding mean values of the pallidum mediale were 520 mm³ (♂) and 430 mm³ (♀), the difference being 17%. The difference between sexes failed to be significant. The lateral segment accounted for about 70% of the total volume of the pallidum.

4. The pallidum occupied 0,32% or ca. $\frac{1}{300}$ of the volume of the hemisphere.

5. The numeric cell densities showed no significant age or sex differences. The mean value of the lateral pallidum was 437 nerve cells/mm³ and of the medial part 327 nerve cells/mm³, the difference being highly significant ($p < 0,001$).

6. The pallidum laterale showed a numerical density of 66000 glial cells/mm³, the medial segment had 62000 glial cells/mm³, the difference just reaching the 5% — level of significance.

7. On the average the ratio of glial cells to nerve cells was 158:1 in the lateral pallidum, and 159:1 in the medial part. The difference was statistically significant ($p < 0,01$).

8. The mean of the total number of nerve cells in the pallidum laterale amounted to 540000 for males and 465000 for females. The corresponding values of the medial part were 171000 (♂) and 143000 (♀). The total number of pallidal nerve cells is just about as high as the number of large striatal nerve cells (670000 (♂) and 570000 (♀)).

9. In the pallidum laterale we calculated the total number of glial cells to be 82 million for males and 63 million for females. In the medial pallidum we found 32 million (♂) and 26 million (♀).

10. The total numbers of nerve and glial cells were well correlated in the lateral as well as in the medial segment ($r = 0,636$ and $r = 0,734$, respectively).

11. The volumetric nerve cell densities showed no significant differences between sexes. The values were 0,36 Vol.-% lateral and 0,31 Vol.-% medial. This difference failed to be significant.

12. The volumetric densities of the glial cell nuclei were equal in both segments, the value being 0,43 Vol.-%. They were strictly correlated ($r = 0,830$).

13. The mean volume of a nerve cell in the medial segment (9600 μm^3) was 19% higher ($p < 0,05$) than in the lateral segment (8100 μm^3).

14. The mean volume of a nucleus of a glial cell showed only insignificant differences, being lateral 65 μm^3 and medial 70 μm^3 .

15. The various morphometric data indicated a closer correlation between striatum and pallidum laterale than

between striatum and pallidum mediale. Within the striatum, the putamen showed a better correlation with the pallidum than the nucleus caudatus.

5. Literatur

- ABERCROMBIE, M.: Estimation of nuclear population from microtomic sections. *Anat. Rec.* **94**, 239—247 (1946).
- BLINKOV, S. M., und J. GLEZER: Das Zentralnervensystem in Zahlen und Tabellen. VEB G. Fischer-Verlag, Jena, 1968.
- BONIN, G. VON, und G. A. SHARIFF: Extrapyramidal nuclei among mammals: A quantitative study. *J. Comp. Neur.* **94**, 427—439 (1951).
- FOIX, CH., und J. NICOLESCO: Anatomie cerebrale. Les noyaux gris centraux et la région mesencephalo-sous-optique. Masson, Paris, 1925.
- FOX, C. A., und J. F. SCHMITZ: The substantia nigra and the entopeduncular nucleus in the cat. *J. Comp. Neur.* **80**, 323—334 (1944).
- HARMAN, P. J., und M. B. CARPENTER: Volumetric comparisons of the basal ganglia of various primates including man. *J. Comp. Neur.* **93**, 125—137 (1950).
- HASSLER, R.: Über die afferenten Bahnen und Thalamuskern des motorischen Systems des Großhirns. II. Mitteilung. *Arch. Psychiat. u. Z. Neurol.* **182**, 786—818 (1949).
- HASSLER, R.: Extrapyramidal-motorische Syndrome und Erkrankungen. Hdb. inn. Med., 4. Aufl., Bd. V, Teil 3, Springer-Verlag, Berlin 1953, 676—904.
- HASSLER, R.: Die extrapyramidalen Rindensysteme und die zentrale Regelung der Motorik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **175**, 233—258 (1956).
- HAUG, H.: Die Treffermethode, ein Verfahren zur quantitativen Analyse im histologischen Schnitt. *Z. Anat.* **118**, 302—312 (1955).
- 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.
- HOPF, A.: Volumetrische Untersuchungen zur vergleichenden Anatomie des Thalamus. *J. Hirnforsch.* **8**, 25—38 (1965).
- JUNGKLAASS, F. K., und H. ORTHNER: Quantitative Hirnforschung. Die Arbeitsweise des Göttinger Hirnmakrotoms und die fotografische Dokumentation des lamellierten Gehirns. *Zbl. allg. Path.* **101**, 127—138 (1959).
- JUNGKLAASS, F. K., und H. ORTHNER: Über quantitative Beziehungen im Stammhirn. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **181**, 62—70 (1960).
- KLATZO, I.: Über das Verhalten des Nucleolarapparates in den menschlichen Pallidumzellen. *J. Hirnforsch.* **1**, 47—59 (1947).
- MIELKE, U. B.: Quantitative und statistische Untersuchungen am Pallidum von Primaten. Inaug. Diss. Düsseldorf, 1968.
- ORTHNER, H., und W. SENDLER: Einige Ergebnisse makroskopisch-quantitativer Hirnforschung. *Verh. Deutsch. Ges. Path.* **52**, 243—253 (1968).
- ORTHNER, H.: Persönliche Mitteilung, 1974.
- PAKKENBERG, H.: Globus pallidus in Parkinsonism. *Acta neurol. scand.* **39**, Supp. 4, 139—144 (1963).
- RICHTER, E.: Die Entwicklung des Globus pallidus und des Corpus subthalamicus. Monographien aus dem Gesamtgebiet der Neurologie und Psychiatrie, Heft 180, Springer-Verlag, Berlin 1965.
- ROSE, M.: Die Volumenbestimmung der architektonischen Zentren im Vorderhirn des Menschen mittels der Waage. *J. Psychol. u. Neurol.* **45**, 277—290 (1933).
- SABUNCU, N.: Quantitative Untersuchungen am menschlichen Pallidum. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **195**, 57—63 (1969).
- SCHRÖDER, K. F., A. HOPF, H. LANGE und G. THÖRNER: Morphometrisch-statistische Strukturanalysen des Striatum, Pallidum und Nucleus subthalamicus beim Menschen. I. Striatum. *J. Hirnforsch.* **16**, 333—350 (1975).
- STELMASIAK, M.: Correlation between Volumes and Surfaces of the Striatum Nuclei in Man (Polnisch). *Annales universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Lublin — Polonia VII*, 13 Sectio D, 223—246 (1952).
- TREFF, W. M.: Quantitative Untersuchungen der Cytoarchitektonik des menschlichen Striatum und Pallidum. *Zbl. ges. Neurol.* **182**, 219 (1965).
- TREFF, W. M.: Morphometrische Untersuchungen an menschlichen Pallidumzellen. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **208**, 107—119 (1966).

Adresse der Autoren:

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