

Anatomische Treffsicherheit der stereotaktischen Parkinson-Operationen auf Grund autoptischer Bestimmung*

R. HASSLER

Neuroanatomische Abteilung, Max-Planck-Institut für Hirnforschung,
Frankfurt a. M.

T. RIECHERT und F. MUNDINGER

Neurochirurgische Universitätsklinik, Freiburg i. Br.

Eingegangen am 1. September 1968

The Precision in Anatomical Localization of Stereotactic Parkinson Operations Checked with Data from Autopsies

Summary. The precision in localization of our stereotactic method and instrument was checked in the autopsies of 13 patients who had had between them 18 operations. After excluding 3 operations with avoidable errors, the precision was determined in serial sections of the brain. The mean value of errors for the sagittal coordinate is 1.23 ± 1.48 mm, for the vertical 0.84 ± 0.71 mm, and for the frontal coordinate 1.64 ± 1.20 mm. 0.5 mm for previously found technical errors in X-ray and other methods are included in these deviation values of localization. This precision in the stereotactic electrode placement does not exclude the occasional misplacement, but is reliable enough for therapeutic use. An even greater precision would be expected in a more representative sample of patients treated, i.e. not those selected by mortality. However, the precision should not be identified with the size of the eliminated structures on which the therapeutic effect is dependent.

Key-Words: Stereotactic methods — Precision in anatomical localization — Parkinson syndrome — Clinical autopsy correlations — Thalamotomy — Pallidotomy.

Zusammenfassung. Die Treffgenauigkeit unseres Lokalisationsverfahrens und stereotaktischen Gerätes wurde an 18 stereotaktischen Eingriffen in 13 Parkinson-fällen auf Grund der vorliegenden autoptischen Befunde ausgewertet. Nach Ausschluß der vermeidbaren Lokalisationsfehler wurde der mittlere Gesamtkoordinatenfehler mit Standardabweichung in bezug auf das angezielte anatomische Substrat mit $0,84 \pm 0,71$ mm für die vertikale Koordinate, mit $1,23 \pm 1,48$ mm für die sagittale und mit $1,64 \pm 1,20$ mm für die frontale Koordinate bestimmt. In diesem Gesamtkoordinatenfehler sind die früher ermittelten gerätetechnischen und röntgenographischen Fehler als Teilfehler von etwa 0,5 mm enthalten. Diese anatomische Treffgenauigkeit ist für den therapeutischen Zweck voll ausreichend, zumal von der Auswertung eines nicht durch Mortalität ausgelesenen eher repräsentativen Kollektivs mit normalem Operationsverlauf eine größere Genauig-

* Prof. Dr. W. TÖNNIS zum 70. Geburtstag am 16. Juni 1968 gewidmet.

keit zu erwarten ist. Dennoch ist die Treffgenauigkeit nicht gleichzusetzen mit der Ausdehnung der Ausschaltung und dem davon abhängigen therapeutischen Effekt.

Schlüsselwörter: Stereotaktische Operationsmethode — anatomische Treffgenauigkeit — Parkinson-Syndrom — klinisch-autoptische Korrelationen — Thalamotomie — Pallidotomie.

Seit 1947 sind von SPIEGEL u. WYCIS und anderen Autoren eine Reihe von stereotaktischen Geräten konstruiert und Lokalisationsmethoden entwickelt worden, die es erlauben, vorher festgelegte Zielpunkte in der Tiefe des Gehirns mit einer Sonde zu erreichen, wie die Röntgenkontrolle zeigt.

Mit unserem stereotaktischen Zielgerät (RIECHERT u. WOLFF, 1950/51; RIECHERT u. MUNDINGER, 1956, 1959) und unserer Zielmethodik (HASSLER u. RIECHERT, 1954) ergab sich zunächst röntgenographisch ein mittlerer Fehler von 0,28—0,52 mm nach den Auswertungen von 200 stereotaktischen Operationen (MUNDINGER u. UHL, 1965). Die Treffsicherheit wird bei unserem Verfahren physiologisch durch intraoperative Reizungen nachgeprüft. Allerdings besagt die röntgenologische Genauigkeit nicht, daß die angezielten Hirnstrukturen von der Elektrodenspitze getroffen wurden, obwohl die therapeutischen Erfolge nach der Ausschaltung dafür sprechen. Diese anatomische Zielgenauigkeit kann nur am *anatomischen Präparat* endgültig bestimmt werden. Die dazu erforderlichen autoptischen Befunde liegen vor und sollen zur Überprüfung der Treffsicherheit ausgewertet werden.

Methodik und Material

Den Auswertungen liegen die Autopsien von 13 Parkinson-Patienten aus einer Serie von 2517 Operationen zugrunde, bei denen 18 gezielte Eingriffe gemacht worden sind. Der Stammganglienbereich der meisten dieser Hemisphären (11 von 18) wurde im Verlaufe der über Jahre sich erstreckenden Untersuchungen vollständig in frontale und sagittale Schnittserien von 20 μ Stärke zerlegt und überwiegend mit Kresylviolett und mit Hämatoxylin nach HEIDENHAIN/WOELCKE gefärbt. Die Schrumpfung bzw. Schwellung des Gehirns durch die Paraffinfixierung wurde nicht vor der Herstellung der Schnittserien berücksichtigt. Dies bedingt aber wahrscheinlich keinen größeren Fehler, da die Gehirne mehr als 6 Monate nach der Fixierung geschnitten worden sind.

Methodisch gingen wir so vor, daß zunächst etwaige Abweichungen der Elektrodenspitze auf dem Röntgenbild von dem im Encephalogramm vorausberechneten und im Röntgenbild fixierten Zielpunkt festgestellt wurden. Es wurde die von uns benutzte Basislinie vom Foramen Monroi zur Commissura posterior im Encephalogramm und im anatomischen Präparat festgelegt, gemessen und verglichen (Abb. 1); ebenso wurden die Strecken für die Thalamushöhe und die Breite des Thalamus im Encephalogramm und anatomischen Präparat ausgemessen und verglichen. Damit sollte festgestellt werden, wie weit die benutzten Strecken als Grundlage für ein Lokalisationsverfahren dienen können. Im Koordinatensystem aus diesen drei Bezugslinien wurden numerisch die Koordinaten zu dem beabsichtigten Zielpunkt und dem Punkt, den die Elektrodenspitze anatomisch erreicht hat, bestimmt.

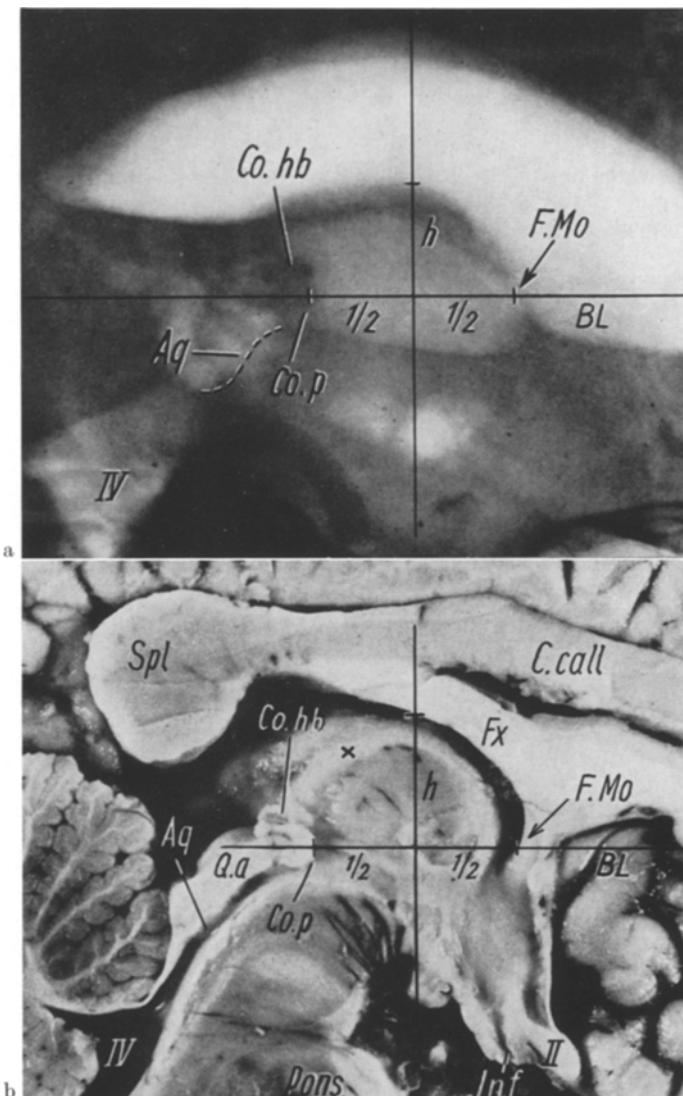


Abb. 1a und b. Das Koordinatensystem des Zwischenhirns für gezielte Operationen.
 a Seitliches Encephalogramm mit gefülltem III. Ventrikel. Die Basislinie des Thalamus (BL) vom Foramen Monroi (F. Mo) zur Commissura posterior (Co. p) bildet die Abszisse des Koordinatensystems. Von der Mitte der Basislinie wird die Höhe des Thalamus (h) bis zu seinem Dorsalrand bestimmt. Der Nullpunkt des Koordinatensystems liegt in der Mitte der Basislinie. Co.hb Commissura habenularum.
 b Die gleichen Strecken in einem Modellgehirn als Grundlage des Zwischenhirn-Koordinatensystems. Die Thalamushöhe (h) wird von der Mitte der Basislinie (BL) gemessen, seine Dorsalfläche ist unterhalb des Fornix (Fx) gerade zu erkennen. Zu beachten ist die Abknickung des Aquaeductus (Aq) und der Hohlraum des IV. Ventrikels, der im Encephalogramm (a) erweitert ist. C. call Corpus callosum mit seinem Wulst (Spl); Q.a Colliculus quadrigeminus anterior; Inf Infundibulum

Dies ist erforderlich, weil die nach ihren architektonischen Merkmalen abgegrenzten Hirnstrukturen eine manchmal nicht unerhebliche Ausdehnung haben, der Zielpunkt aber so gewählt werden muß, daß er möglichst im Zentrum der Struktur liegt.

Die anatomische Bestimmung der Koordinatenwerte der Zielpunkte enthält außerdem die Fehlerquelle, daß durch Koagulation und durch Veränderungen in der Umgebung des Koagulationsherdes auch das Koordinatensystem in seiner Lage und Größe verändert wird (Abb. 1). Dazu mußten noch andere rein röntgen-technische Fehlerquellen berücksichtigt werden (MUNDINGER u. UHL, 1965, 1967) — z. B. Verkantung des Kopfes im Basisring —, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Weiterhin waren die Fehler zu eliminieren, die dadurch entstehen, daß die Zielpunktebene nicht mit der Schnittebene des anatomischen Präparates übereinstimmt. Deswegen wurden die tatsächlichen Winkel der Elektrode zur Basislinie im Röntgenbild auf Millimeterpapier im Maßstab 10:1 aufgetragen und die Ausdehnung des Herdes in den einzelnen anatomischen Schnitten in bezug auf die gleiche Basislinie und die anderen Koordinaten rekonstruiert. Verkürzungen oder Verlängerungen, die sich dadurch ergeben, daß die Elektrode in einem Winkel zu den Auswerteebenen auftritt, haben wir mit Hilfe des Cosinussatzes eliminiert.

Eine Unsicherheit für die Bestimmung der Treffsicherheit ergibt sich auch daraus, daß der Koagulationsherd seine Gestalt, Ausdehnung und Lage zum Koordinatensystem in Abhängigkeit von seinem Alter verändert; dabei spielen Schwellungs- und — mehr noch — Vernarbungsvorgänge eine große Rolle. Deshalb ist auch das anatomische Präparat, selbst wenn es in Serienschnitte zerlegt ist, in seiner Aussagekraft bezüglich der Zielgenauigkeit begrenzt. Infolge dieser Schwellungs- und Vernarbungsvorgänge am Koagulationsherd und seiner Umgebung kann die Abweichung vom Zielpunkt in bezug auf das Koordinatensystem nicht immer genau numerisch bestimmt werden, sondern oft nur auf Grund der architektonischen Struktur. Die Angaben über die Koordinaten des Zielpunktes sind die auf Grund unseres Berechnungsverfahrens für den jeweiligen Patienten individuell umgerechneten Werte eines speziellen Modellgehirns.

Kasuistik

Fall 1. Zielpunkt V.o.a mit den Koordinaten 10,0 mm hinter dem Foramen Monroi, auf der Basislinie (ohne Abweichung nach oben oder unten) und 11,1 mm links von der Wand des III. Ventrikels gelegen.

Die Bezugsstrecke für die nicht koagulierte Hemisphäre verhält sich röntgenologisch zum anatomischen Präparat in der sagittalen Dimension wie 23,6:20,5 mm, für die vertikale 14,4:14,5 mm, für die frontale 19,7:21,5 mm. Dabei besteht eine Differenz hauptsächlich in bezug auf die Länge der Basislinie (sagittale Dimension), die röntgenologisch um 3,1 mm größer ist. — In der Zielpunktebene 10,0 mm hinter dem Foramen Monroi liegt der von der Elektrodenspitze erreichte Punkt *0,3 mm dorsal* von dem röntgenologisch vorausberechneten Zielpunkt (Abb. 2). Die seitliche Koordinate weicht *0,6 mm nach lateral* ab. Diese Abweichung liegt in der Fehlerbreite der Methodik und Meßgenauigkeit. Bei einer Überlebenszeit von 23 Tagen ist noch keine Schrumpfung des koagulierten

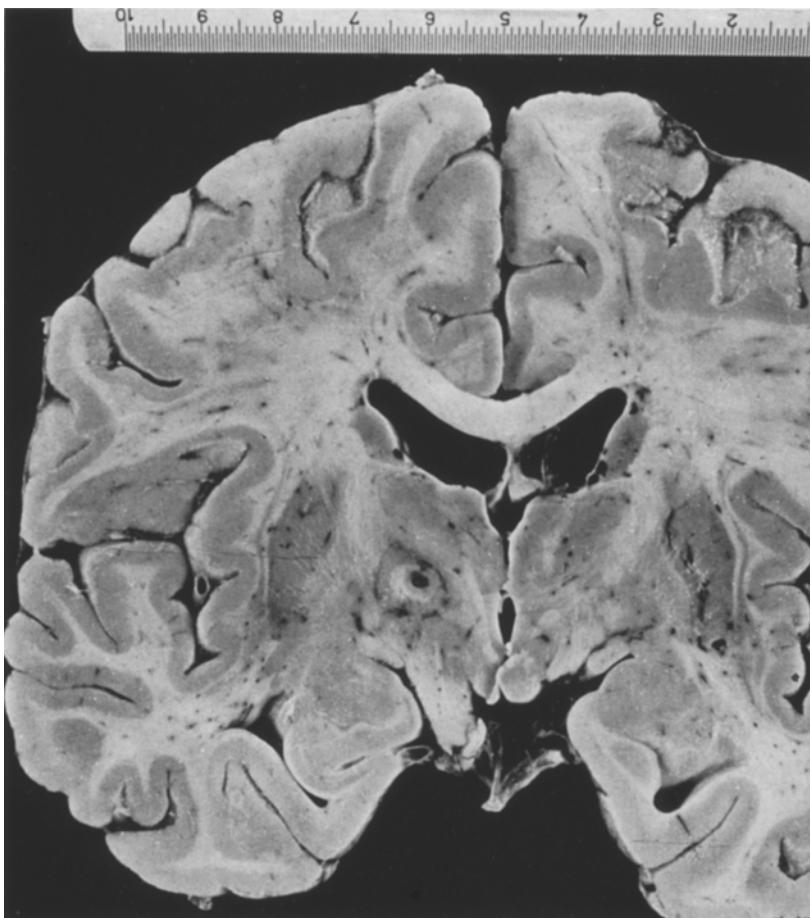


Abb. 2. Ungefärbter Querschnitt durch das Gehirn des Parkinson-Falles 1. Der Mittelpunkt der Koagulation im vorderen oralen Ventralkern des Thalamus (V.o.a) weicht 0,6 mm nach lateral ab. Infolge der größeren Hitzeentwicklung des Hochfrequenzstromes in der Faserstruktur der inneren Kapsel ist der Herd nicht zirkulär-symmetrisch zum Stichkanal, sondern in Richtung auf die innere Kapsel verbreitert

Thalamus eingetreten. Auch eine Schrumpfung durch Formalinfixierung scheidet aus. Durch die Formalinfixierung nimmt aber die Weite der Ventrikel, besonders des III., erheblich ab; auch im vorliegenden Fall beträgt sie autoptisch 7,0 mm gegenüber 9,9 mm im Encephalogramm; das darf aber nicht durch eine „Aufblasung“ während der Encephalographie erklärt werden. — Der Ort der Elektrodenspitze liegt genau im angezielten V.o.a.

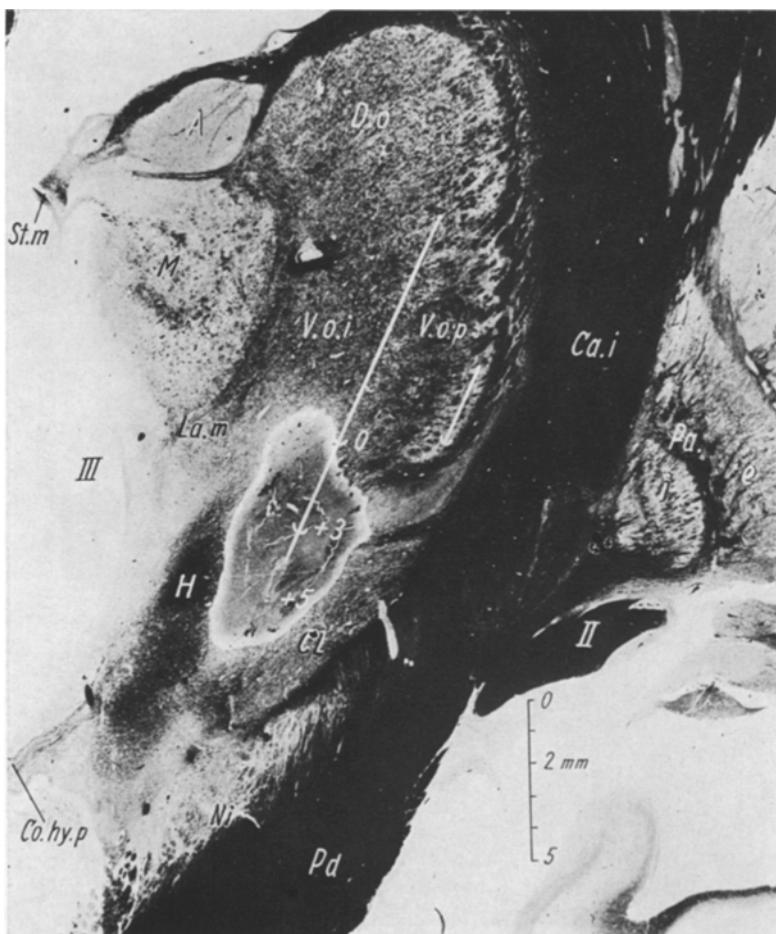


Abb. 3. Koagulationsherd in der Basis der oralen Ventralkerne bei einem postencephalitischen Parkinsonismus (Fall 2c). Im Koagulationsherd ist die Elektrodenlage mit den Positionen + 3 und + 5 eingezeichnet, wo nur koaguliert wurde. Der Herd reicht 3 mm nach ventral und $2\frac{1}{2}$ mm nach dorsal über die beiden Koagulationspositionen hinaus. In der Position 0 wurde nicht koaguliert. Die Elektrodenlage und damit der Koagulationsherd liegt 3,6 mm zu weit medial in der Basislinie. Dort ist die richtige Lage des individuellen Zielpunktes im V.o.p eingetragen. Die Abweichung ist wahrscheinlich durch eine nachträgliche Gewebsaustrocknung und eine Verlagerung der Wand des III. Ventrikels nach lateral bedingt, von der aus der Zielpunkt in der Encephalographie bestimmt wurde. Am Operationstag war infolge der Wiederauffüllung des III. Ventrikels mit Liquor die Lage seiner Wand nicht mehr zu erkennen, so daß die Abtragung von der Mittellinie erfolgen mußte, wobei die Seitverlagerung des Thalamus nicht erkannt werden konnte. Querschnitt in Faserfärbung nach HEIDENHAIN/WOELCKE in vierfacher Vergrößerung. Abkürzungen der Thalamuskerne: A Nucleus anterior; Ce centre médian;

Fall 2. Bei der *ersten Operation* (2a) mit dem Zielpunkt *Pallidum internum* (5,0 sagittal; 4,1 ventral; 16,5 mm links) wurde das angezielte Pallidum internum nach dem anatomischen Befund von der Elektrodenspitze zwar erreicht. Der Ort der Elektrodenspitze liegt aber *3,1 mm dorsal* und *3,5 mm medial* vom Zielpunkt. Es kam zu einem Tremor-Recidiv.

Beim *zweiten Eingriff* (2b mit Zielpunkt *V.o.a/p*: 12,8; 0; 11,0 links) ist der Zielpunkt nach der architektonischen Struktur wiederum erreicht worden. Der Ort der Elektrodenspitze zeigt im anatomischen Präparat keine Abweichung in der Frontalebene, liegt jedoch *2 mm zu weit basal*. Die Abweichungen in der Vertikalen beim 1. und 2. Eingriff sind durch eine starke Vernarbung bedingt, die infolge der beiden Koagulationsserien in der gleichen Hemisphäre nach $3\frac{1}{2}$ Jahren eingetreten ist. Dabei ist durch einen Narbenzug der weiter basal gelegene pallidäre Koagulationsherd nach dorsal, und der weiter dorsal gelegene thalamische Herd nach basal verlagert.

In der rechten Hemisphäre (2c, Zielpunkt *V.o.a/p*: 12,3; 0; 10,6) wurde der angezielte vordere Ventralkern erreicht. Der Ort der Elektrodenspitze weicht aber *3,6 mm nach medial ab* (Abb.3). Für die Abweichungen nach medial beim 1. und 3. Eingriff ist folgende Erklärung möglich: Die Luft im III. Ventrikel in den ersten 48 Stunden nach der Encephalographie wirkt austrocknend auf das umgebende Hirngewebe; dadurch werden die Ventrikel erweitert und die Thalamusstrukturen nach lateral verlagert. Am Operationstag kann die eingetretene Verlagerung der Thalamusstrukturen nach lateral bei der Abtragung der frontalen Koordinate nicht erkannt und berücksichtigt werden, weil zu diesem Zeitpunkt der III. Ventrikel wieder mit Liquor gefüllt ist und daher die frontale Koordinate von der Mittellinie des Schädels aus abgetragen wird. Die seitliche Verlagerung der Zwischenhirnstrukturen wird wahrscheinlich erst einige Tage später wieder ausgeglichen. Trotz dieser Abweichungen um 3,6 mm bzw. 3,5 mm nach medial liegt der Ort der Elektrodenspitze an der angezielten Grenze von *V.o.a* und *V.o.p*, die in der Frontalebene eine Ausdehnung von 5–6 mm hat.

D.im Nucleus dorsalis intermedius; *D.o* Nucleus dorsalis oralis; *D.sf* Nucleus dorsalis superficialis; *G.l* Geniculatum laterale; *H* Forel's Haubenfeld *H*; *H₁* Forel's Haubenfeld *H₁* = Fasciculus thalamicus; *La.m* Lamella medialis; *M* Nucleus medialis; *Pu.ig* Pulvinar intergeniculatum; *V.c* Nucleus ventro-caudalis; *V.c.i* Nucleus ventrocaudalis internus; *V.im.e* Nucleus ventrointermedius externus; *V.o.a* Nucleus ventrooralis anterior; *V.o.i* Nucleus ventrooralis internus; *V.o.p* Nucleus ventrooralis posterior; *Ca.i* Capsula interna; *CL* Corpus Luysi; *Co.hy.p* Commissura hypothalamica posterior; *Pa.e* Pallidum externum; *Pa.i* Pallidum internum; *Pd* Pedunculus cerebri; *St.m* Stria medullaris thalami; *V.d.A* Vicq d'Azyrsches Bündel; *Z.i* Zona incerta



Abb. 4. Koagulationsherd beim Parkinson-Fall 3 im rechten V.o.a. Der Koagulationsherd erreicht bei einem flachen Eintrittswinkel der Elektrode durch den Thalamus die oralen Ventralkerne, ohne auf die Capsula interna überzugreifen. Die Spitze der Elektrode erreicht den abgebildeten Platz nach einer Vorschubung von + 5 mm. Dieser Herd sitzt an der Grenze zwischen V.o.p und intermediärem Ventralkern (V.im.e), so daß auf dem vorliegenden Schnitt beide Kerne getroffen sind. In der angezielten Querschnittsebene + 11,7 hinter dem Foramen Monroi weicht die Elektrodenspitze 0,7 mm nach lateral ab. In der + 5 Stellung hat sie dagegen keine Lateralabweichung mehr. Infolge der 5 Tage nach der Operation durch Lungenembolie eingetretenen Ischämie ist der Koagulationsherd von einem nekrotischen Bezirk überdeckt, der durch ein Konfluieren von Petechien entstanden ist. Die petechialen Blutungen stehen mit einer prall thrombosierten

Im *Fall 3* (Zielpunkt *V.o.a/p*: 11,7; 0 ventral; 9,6 rechts) wurde die angezielte Struktur mit der Elektrodenspitze erreicht (Abb. 4). Die Abweichung beträgt *0,5 mm nach dorsal, 2,7 mm nach rostral und 0,7 mm nach lateral*. Die letztere stimmt mit der Abweichung im intraoperativ angefertigten Röntgenkontrollbild überein, sie wurde während der Operation nicht korrigiert. Die Abweichung in der sagittalen Richtung ist wohl durch die Schwierigkeiten der anatomischen Bestimmung des 0-Punktes der Koagulation bedingt.

Im *Fall 4* (Zielpunkt *V.o.a*: 9,5 mm; 0; 10,6 mm links) wurde der Zielpunkt nicht erreicht. Die Elektrodenspitze saß unterhalb der Basis des *V.o.a*-Kernes im *Pedunculus cerebri*. Dies beruht auf der zu breiten Führungskanüle, die verwendet wurde, um gleichzeitig eine weitere Elektrode für die Tiefenableitung ins *Caudatum* einführen zu können. Durch den größeren lichten Durchmesser wurde die Spitze der dünneren Reiz- und Koagulationselektrode um *3,5 mm nach ventral* verlagert. In der Frontalebene beträgt die Abweichung nur *0,6 mm nach medial*. Die Korrektur unterblieb, weil der Reizeffekt demjenigen des *V.o.a* ähnlich war und eine zusätzliche Hirnschädigung durch einen zweiten Stichkanal vermieden werden sollte. Diese Abweichung beruht nicht auf der Unzulänglichkeit der Lokalisationsmethode.

Im *Fall 5* [1. Eingriff (5a), Zielpunkt *Pallidum internum*: 5,4; 3,1 ventral; 18,3 rechts] lag die Elektrodenspitze weiter lateral als der Zielpunkt, so daß das *Pallidum externum* stärker als das *Pallidum internum* von der Koagulation betroffen wurde. Eine nennenswerte Abweichung in der vertikalen Richtung liegt nicht vor (*0,1 mm*). Die autoptisch ausgemessene Verkürzung der sagittalen Koordinate um 4,4 mm nach rostral und der frontalen Koordinate um 2,8 mm nach medial ist ausschließlich eine Folge des starken Narbenzuges in den Stammganglien. Die tatsächliche Abweichung der Elektrodenspitze nach lateral zum *Pallidum externum* ist möglicherweise mit der starken Erweiterung des III. Ventrikels bei der Encephalographie (13,8 gegenüber autoptisch 7,0 mm) zu erklären, weil sich die durch Luftfüllung bedingte Erweiterung des III. Ventrikels bei der Operation 11 Tage nach der Encephalographie wieder ausgeglichen hatte.

Vene (*Ve*) in Verbindung. In diesem Schnitt sieht diese petechiale Infarktnekrose homogen grau, von schwarzen Blutpunkten durchsetzt, aus, im Gegensatz zu der Koagulationsnekrose, welche teilweise zerfällt. Der Herd reicht nur an den dorsalen Rand des *Corpus Luysi (CL)* heran. Die dentato-thalamische Strahlung ist bei ihrem Austritt aus dem *Nucleus ruber (Ru)* völlig unterbrochen. — Abkürzungen s. Abb. 3; *i* *Nucleus ventrointermedius internus*; *Ni* *Substantia nigra*. Querschnitt des linken Zwischenhirns in Faserfärbung nach HEIDENHAIN/WOELCKE in fünf-facher Vergrößerung

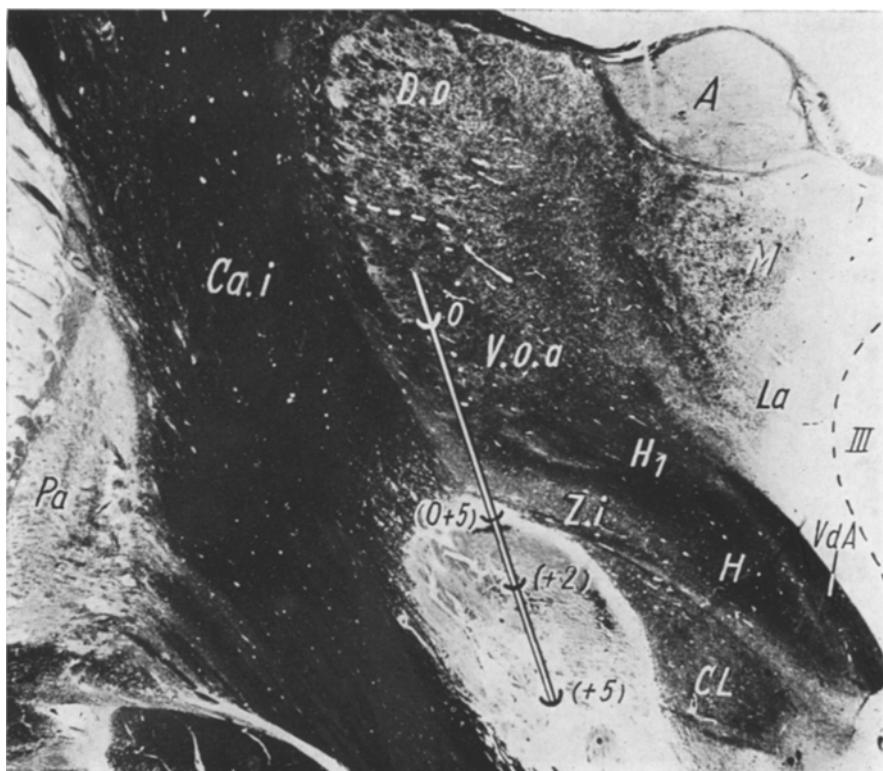


Abb. 5. Koagulationsherd beim Parkinson-Fall 5. Der Koagulationsherd sitzt infolge eines Ablesefehlers 6 mm zu tief im Pedunculus cerebri und Subthalamus. Die 3 Koagulationspositionen 0 + 2 und + 5 sind eingezzeichnet, ebenso der richtige Zielpunkt (0) 6 mm oberhalb des Punktes (0 + 5) im V.o.a. Der Koagulationsherd sitzt asymmetrisch zur Elektrode, da in der Faserstruktur des Pedunculus eine größere Wärmeentwicklung durch den Hochfrequenzstrom erfolgt, als in den Kernstrukturen des Subthalamus. Querschnitt des linken Zwischenhirns in Faserfärbung nach HEIDENHAIN/WOELCKE in fünffacher Vergrößerung.
Abkürzungen s. Abb. 3

In der 2. Operation (5b, Zielpunkt V.o.a: 10,9; 0; 12,4 links) wurde der Zielpunkt wegen eines *Ablesefehlers* der vertikalen Koordinate im Operationsbild um 6,0 mm *nach ventral* verfehlt; abgelesen wurden 50 statt 55 mm vom Nullpunkt des Koordinatensystems am Grundring zum Zielpunkt. Der durch den Ablesefehler veränderte Zielpunkt wurde mit 1 mm *Abweichung* erreicht, so daß er später bei der Röntgenkontrolle nicht entdeckt wurde (Abb. 5).

Im Falle 7a (Zielpunkt V.o.a: 11,2; 1,8 dorsal; 9,1 links) liegt das Zentrum des vernarbten Herdes im angezielten V.o.a. Die Rekonstruk-

tion ergibt eine Abweichung von *0,4 mm nach dorsal* und *0,9 mm nach lateral* $3\frac{1}{2}$ Jahre nach der Operation. Infolge der Vernarbung läßt sich nicht entscheiden, ob schon bei der Operation eine Abweichung tatsächlich bestanden hat; sicherlich ist diese unerheblich, weil im angezielten V.o.a gelegen.

Der 2. Eingriff (7b, Pallidum internum; 4,1; 0,5 dorsal; 15,5 mm rechts) hat die angezielte Struktur exakt neben der Lamella pallidi interna erreicht; soweit bei dem cystischen Herd eine Rekonstruktion möglich ist, lag der Ort der Elektrodenspitze nicht mehr als 0,6 mm ventral, die übrigen Koordinaten stimmen genau mit dem Cystenzentrum überein.

Im *Fall 10* (Zielpunkt V.o.a: 10,1; 1,5 basal; 11,4 links) liegen Abweichungen von 2,6 mm nach dorsal bzw. 2,4 mm nach medial vor. Der Ort der Elektrodenspitze stimmt mit der angezielten anatomischen Struktur überein. Eine numerische Ausmessung ist bei der erheblichen Thalamusschwellung, die durch eine Stirnhirnblutung (Ast der Arteria cerebri anterior) verursacht war, eingeschränkt.

Im *Fall 11* (Zielpunkt V.o.p: 12,4; 1,1 dorsal; 13,0 rechts) war beabsichtigt, die Grenze zwischen vorderem und hinterem oralen Ventralkern zu koagulieren. Der Koagulationsherd befindet sich statt dessen im Pallidum internum (Abb. 6a). Diese Fehllokalisierung beruht nicht auf technischen oder röntgenographischen Fehlern. Sie hat folgende Ursachen: Die Lokalisation des Zielpunktes erfolgte auf Grund des *vor* der Parietalblutung angefertigten Encephalogramms und seiner Übertragung auf Grund knöcherner Referenzpunkte. In den 7 Tagen zwischen Encephalographie und der stereotaktischen Operation war eine subcorticale Blutung im rechten Occipitoparietalhirn spontan aufgetreten (Abb. 6b). Sie äußerte sich klinisch in einem leichten organischen Psychosyndrom mit Paraesthesiaen, das keine Markblutung vermuten ließ. Sie hat einen Teil der Stammganglien in die andere Schädelhälfte verdrängt, so daß die rechte Wand des III. Ventrikels anatomisch 4,5 mm über die Mittellinie in die linke Schädelhälfte verlagert ist, obgleich sie bei der Encephalographie 3,5 mm rechts von der Schädelmitte lag. Da der Zielpunkt intraoperativ von der Schädelmitte abgesteckt wurde, diese aber im Encephalogramm 3,5 mm vom Ventrikelrand des rechten Thalamus entfernt war, hätte ohne Markblutung der Abstand des Zielpunkts von der Schädelmitte $13,0 + 3,5 = 16,5$ mm betragen. Die Differenz von 4,0 mm zu den autoptisch gemessenen 20,5 mm ist durch Stammganglienschwellung erklärt. Bei der Ausmessung bekannter Distanzen im Zwischenhirn bestätigt sich diese Schwellung der rechten Stammganglien um 3–5 mm. Um diese $4,5 + 3,5 + 4,0 = 12,0$ mm war die Elektrodenspitze nach lateral von der Wand des III. Ventrikels verschoben, so daß sie in das Pallidum internum zu liegen kam. Der Ort der Elektrodenspitze liegt

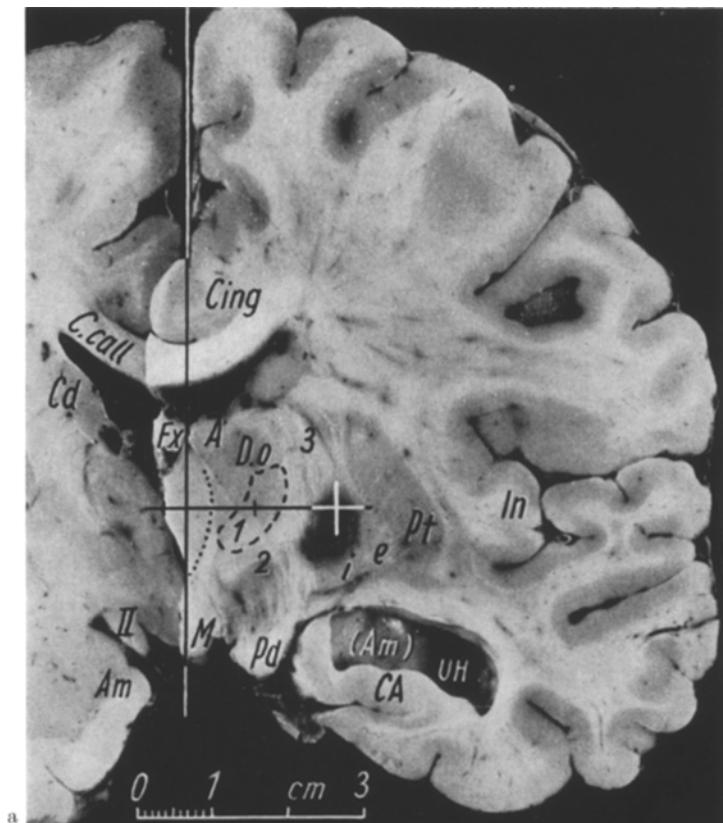


Abb. 6a und b

außerdem durch die blutungsbedingte Balkenpressung 2,3 mm zu weit basal in den Stammganglien (Abb. 6a). Die nicht beabsichtigte Lokalisation des Koagulationsherdes im Pallidum internum ist durch die Schwellung und Verschiebung der Hirnstrukturen infolge der Parietalblutung nach der Encephalographie bedingt. Der Reizeffekt des Pallidum internum entsprach dem vom V.o.a/p erwarteten, da es sich um das direkt vorgeschaltete Neuron handelt.

Im *Falle 12* (Zielpunkt V.o.a/p: 11,4; 0; 10,0 rechts) wurde die angezielte Struktur von der Elektrodenspitze erreicht. Die Abweichung beträgt 0,1 mm nach rostral, 0,6 mm in der Frontalebene nach lateral und 2 mm in der Vertikalen nach basal gegenüber der Vorausberechnung. Die Abweichung in Richtung auf die Schädelbasis ist durch eine Variation der Lage der hinteren Commissur bedingt, die in diesem Fall 4 mm tiefer als üblicherweise im Verhältnis zu den benachbarten Thalamusstrukturen sitzt. Da der Koagulationsherd aber in der Mitte der Basislinie gesetzt ist, ist die Verlagerung des Zielpunktes nur halb so groß. Diese Abweichung ist durch eine anatomische Variabilität der zur Festlegung des Koordinatensystems benutzten Hirnstrukturen bedingt, und kein Fehler des Lokalisationsverfahrens. Ein zweiter, lateral gelegener Herd ist durch die 6 mm nach lateral ausgefahrenen Saitenelektrode hervorgerufen worden und damit erklärt.

Im *Falle 13a* (Zielpunkt V.o.a: 10,7; 0; 11,2 links) wurde die angezielte Struktur erreicht. Der Ort der Elektrodenspitze stimmt mit dem Zielpunkt in allen drei Koordinaten überein, wenn man die ein-

Abb. 6a und b. *Frontalschnitte durch das Gehirn des Parkinson-Falles 11*. Ungefärbierte Präparate. a In der Ebene der *Stammganglien* mit eingezeichneter Mittellinie. Infolge der Occipito-Parietalblutung (b) sind die rechten Stammganglien über die Mittellinie in die linke Schädelhälfte hinein verdrängt. Die Verquellung der Cisterna cinguli tritt besonders hervor. Die Lage der rechten Wand des III. Ventrikels bei der Encephalographie vor der Markblutung ist durch eine Punktreihe angegeben. Sie befindet sich 3,5 mm *rechts* der Mittellinie, während nach der Blutung die *rechte* Ventrikelwand 4,5 mm *links* von der Mittellinie des Schädelns lag. Der berechnete Zielpunkt im V.o.a ist eingezeichnet. Die Grenzen des V.o.a (= 1 in der Abbildung) sind durch eine Strichelung angegeben. Infolge Pressung des Balkens (*C.call*) liegt der Koagulationsherd 2,3 mm tiefer als der Zielpunkt; er ist 20,5 mm von der Schädelmitte und 25,0 mm vom Rand des III. Ventrikels entfernt und zerstört das Pallidum internum (*i*). Durch die Schwellung der rechten Stammganglien sitzt er 4 mm weiter lateral als von der Mittellinie abgetragen wie im Text S. 107 erklärt wurde.

Abb. 6b. *Frontalschnitt* des gleichen Falles 11 caudal vom Balkenwulst zeigt eine *Blutung im Mark* des rechten Occipito-Parietallappens, welche das Hinterhorn nach *basal* verdrängt hat. Abkürzungen s. Abb. 3; *Am* Mandelkern; *C.A* Cornu Ammonis; *Cd* Caudatum; *Cing* Gyrus cinguli; *e* Pallidum externum; *In* Insula; *M.m* Corpus mamillare; *Pt* Putamen; *UH* Unterhorn. 2 Nucleus subthalamicus; 3 Capsula interna

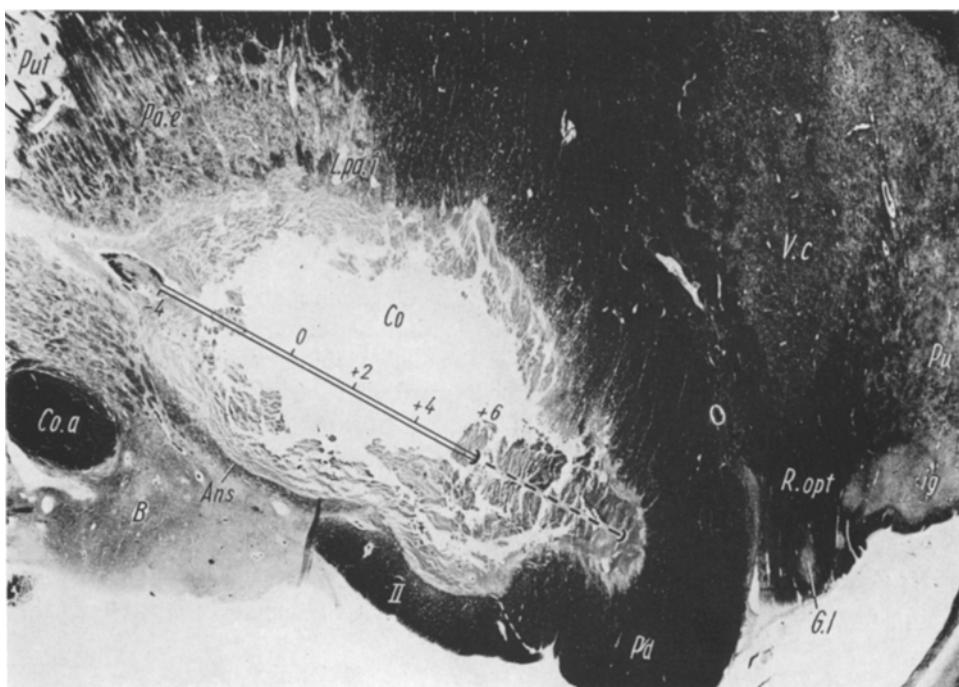


Abb. 7. Koagulationsherd (Co) beim postencephalitischen Parkinson-Syndrom, Fall 14, auf einem Sagittalschnitt vom linken Zwischenhirn in Faserfärbung nach HEIDENHAIN-WOELCKE in 4,5facher Vergrößerung. Der Koagulationsherd ist längs getroffen und sitzt im Pallidum internum. Es wurde eine Koagulation in der Position 0 durchgeführt, wobei die blanke Oberfläche der Elektrode bis -4 reichte. Dort ist der Beginn der inneren Elektrodenhülle an einem linsenförmigen Koagulationsherd mit schwarzer Umrundung zu erkennen. Er sitzt am Ende der Elektrodenspur, die hier noch das Pallidum externum (Pa.e) durchquert. Es wurden 4 Koagulationen bis zur Position $+6$ durchgeführt. Der Koagulationsherd verschmälert sich nach weiteren 2,5 mm und geht dann in eine kleine Aussackung von 1,8 mm Breite über. Dies ist eine Folge davon, daß eine Elektrode ohne Koagulation bis zur Position $+11,7$ vorgeschoben worden war. Die Spitze des Fortsatzes des Koagulationsherdes ist $+11,5$ mm vom Zielpunkt entfernt. Diese Elektrodenstrecke ohne Koagulation ist in Verlängerung der Elektrode gestrichelt wiedergegeben und zwar rechts von der Position $+6$. Der Ort der Elektroden spitze und ihrer Verschiebestrecke weicht nur 0,3 mm von dem beabsichtigten Zielpunkt ab. Durch die Verschiebung über die Position $+4$ hinaus ist eine Koagulation der Randbezirke der Capsula interna und des Pedunculus cerebri (Pd) eingetreten, während der Koagulationsherd sonst an der Lamella pallidi interna (L.pd.i) und Ansa lenticularis (Ans) aufhört und das Pallidum externum (Pa.e) verschont. Auf diesem Schnitt durch die größte Ausdehnung des Koagulationsherdes sind kleine Randpartien des Tractus opticus (II) in die Koagulation einbezogen. Abkürzungen s. Abb. 3; B Basalkern; Co.a Commissura anterior; Put Putamen; R.opt Radiatio optica

getretene Thalamusschrumpfung $1\frac{1}{2}$ Jahre nach der Operation berücksichtigt. Die Abweichung beträgt 1,0 mm nach rostral, 0,8 mm nach dorsal und 0,9 mm nach medial.

Die 2. Operation (13b. Zielpunkt in der Zona incerta: 13,4; 5,7 basal; 9,2 rechts) ergibt eine Abweichung des Ortes der Elektrodenspitze vom Zielpunkt von 0,9 mm nach dorsal und 1,4 mm nach medial. Die Abweichungen nach medial in beiden Hemisphären, allerdings nur um 0,9 und 1,4 mm, sind wieder durch die Austrocknung und Erweiterung des III. Ventrikels bei Luftfüllung bedingt.

Beim *Fall 14* (Zielpunkt Pallidum internum: 5,9; 3,0 basal; 16,1 links) ist der Zielpunkt im Pallidum internum getroffen. Auch der Koagulationsherd beschränkt sich auf die Ausdehnung des Pallidum internum (Abb. 7). Der Ort der Elektrodenspitze war 0,3 mm rostral, 1,1 mm dorsal und 0,3 mm lateral vom errechneten Zielpunkt.

Im *Fall 15* (Zielpunkt V.o.a: 10,4; 0; 10,4 rechts) saß die Elektrodenspitze in der angezielten Hirnstruktur. Die Abweichung der vertikalen Koordinate beträgt 1,0 mm nach ventral, aber der Ort der Elektrodenspitze liegt 4,1 mm zu weit lateral. Die geringe Abweichung nach basal ist durch die Variation des Sitzes der hinteren Commissur erklärt; die seitliche Abweichung beruht auf kleineren Blutungen am Rand des Koagulationsherdes, wodurch die Wand des Thalamus nach medial verdrängt wurde. Wird die frontale Koordinate von der Mittellinie des Gehirns aus bestimmt, so ist die Abweichung nur 1,1 mm.

Im *Fall 16* (Zielpunkt V.o.a: 8,8; 0,8 basal; 9,8 rechts) stimmt der Zielpunkt mit der anatomischen Struktur genau überein. Die Koagulationen zerstören den vorderen oralen Ventralkern bis zu seiner Basis. Die Koordinaten des Zielpunktes sind wegen der auswärtigen Verarbeitung zu einer Sagittalschnittserie numerisch nicht genau zu bestimmen.

Besprechung

Die Zusammenstellung der 13 Autopsien mit 18 Eingriffen erfolgte aus einer Gesamtzahl von 2517 operativen Eingriffen (bis 31. 12. 1967) bei Parkinson-Patienten mit einer Mortalität von 1,08%. Die vorliegende Studie verfolgt ausschließlich den Zweck, die Treffsicherheit unserer stereotaktischen Operationstechnik und Lokalisationsmethodik in bezug auf das erreichte anatomische Substrat festzustellen. Sie ist ein Teil einer ausgedehnten Untersuchung über die Korrelation zwischen klinisch-funktionellen und autoptischen Befunden [HASSLER, MUNDINGER u. RIECHERT, 1965, 1967, 1968 (im Druck)].

Von den 18 auswertbaren Operationen wurde das vorausberechnete Zielpunktsubstrat bei 15 Eingriffen erreicht. Bei einem Eingriff im Pallidum internum lag der Ort der Elektrodenspitze lateral von der Lamella

pallidi interna im Pallidum externum (5a), und bei 3 Eingriffen wurde aus noch zu besprechenden Ursachen der Zielpunkt *nicht* von der Elektrodenspitze getroffen (4, 5b, 11).

Die Entscheidung über das Zielsubstrat erfolgte auf Grund der cyto- und myeloarchitektonischen Merkmale der angezielten Struktur. Beim Falle 11 wurde anstelle des berechneten V.o.a des Thalamus das Pallidum internum mit gutem Rigor- und Tremor-Effekt koaguliert. Die Abweichung ist durch die seitliche Verschiebung und Schwellung der Stammganglien bedingt, die Folge einer spontanen Blutung ins Mark des Occipitoparietalhirns zwischen Encephalographie und der 7 Tage später erfolgenden Operation ist, ohne alarmierende Symptome hervorgerufen zu haben. Wenn man die Verschiebung der Wand des III. Ventrikels um 8,0 mm nach links und 4 mm durch Schwellung abzieht und ebenso 2,3 mm nach basal für die Stammganglienpressung, hätte die Elektrodenspitze das angestrebte Zielsubstrat mit einer zu vernachlässigenden Lateral-Abweichung erreicht. Es ist dies eine ungewöhnliche Ausnahme, wie wir sie sonst unter 3046 subcorticalen stereotaktischen Eingriffen (31. 12. 1967) nie beobachtet haben.

Im anderen Falle (5b) beruhte die Abweichung der Elektrodenspitze 6,0 mm nach basal auf einem *Ablesefehler* der vertikalen Koordinate im seitlichen Röntgenbild des Operationstages. Der Ablesefehler ist die einzige Ursache der Elektrodenabweichung und erklärt diese völlig. Im Falle 5a ist die Fehllokalisation der Elektrodenspitze nach lateral in das Pallidum externum hinein darauf zurückzuführen, daß der III. Ventrikel bei der Encephalographie ungewöhnlich stark, auch im Vergleich zum autoptischen Befund, erweitert war. Bei der Operation 11 Tage nach der Encephalographie war diese füllungsbedingte Ausweitung des III. Ventrikels wahrscheinlich wieder ausgeglichen und daher das Pallidum weiter nach medial gerückt. Die bei der autoptischen Ausmessung resultierende Verlagerung des Ortes der Elektrodenspitze um 2,8 mm — sogar nach medial — ist ausschließlich durch die starke Vernarbung im Laufe der 19 Monate nach der Operation bedingt. Im Fall 4 hat die Benutzung einer zu großen Führungskanüle, um Stammganglienableitungen vorzunehmen, durch das freie Spiel der dünneren Elektrode eine Ventralverschiebung von 3,5 mm bewirkt.

In den 15 übrigen Eingriffen wurde das *architektonisch definierte Substrat erreicht*. — Im Fall 15 ist die Lateralverschiebung des Ortes der Elektrodenspitze um 4,1 mm durch eine Thalamusschwellung bei Randblutungen am Koagulationsherd verursacht, die die Strecke zwischen dem Ventrikelrand und dem Zielpunkt nachträglich verbreitert haben. Die reelle Abweichung ohne die Blutungen wäre nur 1,1 mm nach lateral.

Im Falle 12 liegt infolge des *tiefen Sitzes der hinteren Commissur* (in Beziehung zu den thalamischen Strukturen) unsere Basislinie zu

weit ventral. Dadurch wurde auch der Zielpunkt um 2 mm zu weit ventral angenommen und dementsprechend erreicht. Eine ähnliche Ventralverschiebung durch tiefen Sitz der hinteren Commissur geringeren Ausmaßes liegt im Fall 15 vor.

Kleinere Abweichungen des Sitzes der Elektrodenspitze kommen in unseren Fällen dadurch zustande, daß durch *nachträgliche Vernarbungen in den Stammganglien* die anatomische Bestimmung der Koordinaten numerisch ungenau wird. An der Unsicherheit der anatomischen Festlegung des Ortes der Elektrodenspitze liegt es, daß in 4 von 14 Fällen eine vertikale Abweichung von mehr als 2 mm gemessen wurde, obgleich das Zielsubstrat mit der Elektrode getroffen wurde. Die anatomische Bestimmung der vertikalen Koordinate begegnet ferner der Schwierigkeit, daß infolge des Vorschiebens der Elektrode zu weiteren Koagulationen der primäre Sitz der Elektrodenspitze oft nicht genau zu rekonstruieren ist. In 3 Fällen ist eine *Medialverschiebung* des Ortes der Elektrodenspitze im anatomischen Präparat wahrscheinlich dadurch bedingt, daß sich die Erweiterung des III. Ventrikels einige Tage nach der Encephalographie am Operationstag noch nicht zurückgebildet hatte (Fall 2a, 2c, 5a), wie auf S. 103 ausgeführt.

Die Abweichung der sagittalen Koordinate nach rostral in 4 Fällen (2c, 3, 5a und 13a) um 1,0–4,4 mm läßt sich darauf zurückführen, daß infolge der Verschiebung der Elektrode bei der Koagulation die anatomische Bestimmung des Zielpunktes (0) innerhalb des Koagulationscylinders später schwer zu rekonstruieren ist und daß sich postoperative Veränderungen der Thalamuslänge durch Narbenzug auf diese Koordinate stark auswirken.

Die Lokalisationsfehler des angewendeten Verfahrens erfordern eine genaue Analyse vieler Einzelfaktoren in einem möglichst großen Material. Die große Zahl der Eingriffe von über 3000 bedingt es, daß sich auch vermeidbare Fehler besonders während der Entwicklung eines komplizierten Operationsverfahrens einstellen. Diese werden in einer Zusammenstellung von autoptischen Fällen kumulieren, welche in der Regel nicht für das gesamte Kollektiv repräsentativ sind, sondern in gewissem Umfang eine negative Auslese darstellen.

Ein Teil der festgestellten Fehler läßt sich durch die Benutzung eines auf Präzision ausgearbeiteten Gerätes und Instrumentariums mit satter Elektrodenführung (Fall 4) vermeiden. Ferner ist es bei einem so komplexen Verfahren wie das stereotaktische erforderlich, die Lokalisationsberechnungen und Ablesungen (Fall 5b) doppelt zu kontrollieren. Die Koagulationen müssen unter besonders gewebeschonenden Bedingungen mit eigens daraufhin konstruierten Koagulationsapparaten erfolgen, um kleine und größere Blutungen im Bereich des Koagulationsherdes (Fall 3 und 15) zu vermeiden.

Wird die angezielte Hirnstruktur von der Elektrode getroffen, so besagt das noch nichts darüber, ob der therapeutische Effekt optimal ist. Dies setzt voraus, daß das Substrat möglichst vollständig ausgeschaltet wird und Nachbarstrukturen geschont werden. Daß eine Schädigung der Umgebung nicht immer zu verhüten ist, zeigen die an anderer Stelle von uns mitgeteilten Fälle (HASSSLER, MUNDINGER u. RIECHERT, 1965, 1966, 1968).

In gewissem Maße zu vermeiden sind Lokalisationsfehler, die auf im Röntgenbild erfaßbaren *Anomalien der zur Zielpunktbestimmung herangezogenen Hirnstrukturen* beruhen. Dazu gehört nicht selten der früher bereits von BRIERLEY u. BECK (1959) beschriebene *abnorm tiefe Sitz der hinteren Commissur* in bezug auf die benachbarten thalamischen Strukturen (Fälle 12, 15). Diese Variation der Commissura posterior kann im Encephalogramm daran erkannt werden, daß die Distanz zur Thalamuskontur ungewöhnlich lang ist. Erfahrungsgemäß kann dieser Fehler durch Abmessung der vertikalen Strecke von der Commissura posterior zur Thalamuskontur ausgeglichen werden.

Ferner empfiehlt es sich, bei einer sehr *starken Erweiterung des III. Ventrikels* im anterior-posterioren Encephalogramm, die ein Austrocknungseffekt sein kann, nicht die volle seitliche Koordinate vom Rand des Ventrikels abzutragen, um Abweichungen zu vermeiden (Fälle 2a, 2c, 5a).

Nicht zu vermeiden ist insbesondere ein Lokalisationsfehler durch die *individuelle Variabilität* der Lage- und Größenbeziehungen der einzelnen angezielten Strukturen. Dies gilt, obgleich die hier benutzte Lokalisationsmethode die numerische Abweichung des Zwischenhirns vom Modell- oder Atlasgehirn zum Patienten berücksichtigt und ausschaltet. Einige der numerisch angegebenen Lokalisationsfehler beruhen möglicherweise nicht auf tatsächlichen Abweichungen, da die Veränderung des anatomischen Substrates durch Narben- und Cystenbildung bei langer Überlebenszeit eine genaue Bestimmung des Sitzes der Elektroden spitze nachträglich nicht mehr zuläßt. Diese Fehler sind jedoch bei der folgenden rechnerischen Ermittlung der Zielgenauigkeit in unseren Fällen einbezogen. Herausgelassen sind dabei nur die vermeidbaren Lokalisationsfehler der Fälle 4 (zu weite Führungskanüle) und 5 b (Ablesefehler) sowie des Falles 11 (Occipitoparietalblutung).

Auf Grund der hier beschriebenen autoptischen Befunde kann die Treffsicherheit numerisch ausgedrückt werden, nachdem die vermeidbaren Lokalisationsfehler, aber nicht die durch Vernarbung und Comissuren-Variation bedingten, ausgeschieden sind. Der mittlere Gesamtfehler der Treffgenauigkeit des vorausbestimmten Zielpunktes mit Standardabweichung beträgt in unseren autoptischen Befunden $1,23 \pm 1,48$ mm für die sagittale Koordinate, $0,84 \pm 0,71$ mm für die

vertikale und $1,64 \pm 1,20$ mm für die frontale Koordinate. Bei der Berechnung des Fehlers der sagittalen Koordinate ist berücksichtigt, daß ihr Zahlenwert in den Fällen ohne Serienschnitte graphisch rekonstruiert wurde, aber bisher nicht genau anatomisch abgelesen werden konnte (s. S. 100).

Der mittlere Fehler unseres stereotaktischen Gerätes einschließlich der röntgenographischen Fehler bei vorschriftsmäßiger Anwendung beträgt für einen Focus-Film-Abstand von 3 m und Verkantungswinkel von 1° für die sagittale Koordinate 0,44 mm, für die vertikale 0,28 mm, für die frontale 0,52 mm (MUNDINGER u. UHL, 1965). Während wir früher nur in der Lage waren, den geräte- und röntgentechnischen mittleren Fehler anzugeben, können wir jetzt auf Grund der vorliegenden autoptischen Untersuchungen den mittleren Gesamt-Lokalisationsfehler bestimmen. In diesem ist der Teilfehler der Geräte- und Röntgentechnik schon enthalten. Es ist anzunehmen, daß der Gesamt-lokalisationsfehler kleiner wäre, wenn er an anderen als durch Mortalität ausgelesenen Operationsfällen bestimmt werden könnte.

Literatur

- BRIERLEY, J. B., and E. BECK: The significance in human stereotactic brain surgery of individual variation in the diencephalon and globus pallidus. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* **22**, 287–288 (1959).
- GUIOT, G., J. ROUGERIE, M. SACHS et E. HERTZOG: La stimulation capsulaire chez l'homme. Son intérêt dans la stéréotaxie pallidale pour syndromes parkinsoniens. *Rev. neurol.* **98**, 222–224 (1958).
- HASSLER, R.: Anatomy of the thalamus. In: *Introduction to stereotaxis with an atlas of the human brain*. Edit. SCHALTENBRAND-BAILEY, pp. 230–290. Stuttgart: Thieme 1959.
- Motorische und sensible Effekte umschriebener Reizungen und Ausschaltungen im menschlichen Zwischenhirn. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **183**, 148–171 (1961).
 - F. MUNDINGER, and T. RIECHERT: Correlations between clinical and autoptic findings in stereotaxic operations of Parkinsonism. *Confin. neurol. (Basel)* **26**, 282–290 (1965).
 - — — Functional differentiation of the internal capsule based on stimulation and elimination effects during stereotaxic operations. *Abstracts Europ. Congr. of Neurosurgery, Madrid 1967, Internat. Congr. Series* **139**, Excerpta Med., Nr. 189 (1967).
 - , u. T. RIECHERT: Indikationen und Lokalisationsmethode der gezielten Hirnoperationen. *Nervenarzt* **25**, 441–447 (1954).
 - — Wirkungen der Reizungen und Koagulationen in den Stammganglien bei stereotaktischen Hirnoperationen. *Nervenarzt* **32**, 97–109 (1961).
- KRAYENBÜHL, H., K. AKERT, K. HARTMANN et M. G. YASARGIL: Étude de la corrélation anatomo-clinique chez les malades opérés de Parkinsonisme. *Neuro-Chirurgie* **10**, 397–412 (1964).
- MACCHI, G., G. DALLE ORE e R. DA PLAN: Reperti anatomici in soggetti operati di talamotomia stereotassica. *Sist. nerv.* **16**, 193–223 (1964).

- MARK, V. H., F. R. ERVIN, and P. I. YAKOVLEV: Stereotactic thalamotomy. III. The verification of anatomical lesion sites in the human thalamus. *Arch. Neurol. (Chic.)* 8, 528—538 (1963).
- MARKHAM, C. H., and R. W. RAND: Stereotactic surgery in Parkinson's disease. *Arch. Neurol. (Chic.)* 8, 621—631 (1963).
- MUNDINGER, F., u. T. RIECHERT: Die stereotaktischen Hirnoperationen zur Behandlung extrapyramidaler Bewegungsstörungen (Parkinsonismus und Hyperkinesen) und ihre Resultate. *Fortschr. Neurol. Psychiat.* 31, 1—65, 69—120 (1963).
- — Indikation und Langzeitergebnisse von 1400 uni- und bilateralen stereotaktischen Eingriffen beim Parkinson-Syndrom. *Wien. Z. Nervenheilk.* 23, 147—177 (1966).
- , u. H. UHL: Über die Genauigkeit der röntgenologischen Zielpunktbestimmung bei stereotaktischen Hirnoperationen. *Fortschr. Röntgenstr.* 103, 419—431 (1965).
- — Investigations into possible röntgenographic errors in stereotaxis. *Confin. neurol. (Basel)* 28, 24—28 (1967).
- RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Beschreibung und Anwendung eines Zielgerätes für stereotaktische Hirnoperationen (II. Modell). *Acta neurochir. (Wien)* Suppl. III, 308—337 (1956).
- — Stereotaktische Geräte, (stereotaxic instruments). Introduction to stereotaxis with atlas of human brain. Edit. SCHALTENBRAND-BAILEY, pp. 437—471. Stuttgart: Thieme 1959.
- , u. M. WOLFF: Über ein neues Zielgerät zur intracranialen elektrischen Ableitung und Ausschaltung. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* 186, 225—230 (1951).
- SMITH, M. C.: Stereotactic operations for Parkinson's disease: anatomical observations. *Mod. Trends Neurol.* 4, 21—52 (1967).
- SPIEGEL, E. A., and H. T. WYCIS: Stereoencephalotomy. Part II. Clinical and physiological application. New York: Grune and Stratton 1962.
- — M. MARKS, and A. J. LEE: Stereotaxic apparatus for operations on the human brain. *Science* 106, 349 (1947).

Prof. Dr. R. HASSLER
Max-Planck-Institut für Hirnforschung
Neuroanatomische Abteilung
6000 Frankfurt a. M.
Deutschordenstr. 46

Prof. Dr. T. RIECHERT
Prof. Dr. F. MUNDINGER
Neurochirurgische Klinik
der Universität
7800 Freiburg i. Br.
Hugstetterstraße 55