

Aus der neurochirurgischen Universitätsklinik Freiburg i. Br.
(Direktor: Prof. Dr. T. RIECHERT)

Die Pallidotomie beim Parkinsonsyndrom Eine vergleichende anatomo-radiologische Studie

Von
ANDRÉ LÉVY*

Mit 10 Textabbildungen

(Eingegangen am 29. Juni 1959)

Seit der Entdeckung des günstigen Einflusses der Unterbrechung pallidofugaler Fasern auf den Rigor und den Tremor durch R. MEYERS (1940, 1942) haben verschiedene Arbeitsgruppen die Pallidotomie und die Ansotomie zur Operation der Wahl beim Parkinsonismus entwickelt. Erst durch die Einführung stereotaktischer Operationen in die Humanmedizin durch SPIEGEL u. WYCIS (1947) erlangte der Zugang zu diesen tief gelegenen Hirnstrukturen eine Ungefährlichkeit, die ihre breite Anwendung gestattete. Die Eingriffe basierten weitgehend auf empirischen Errungenschaften; der Mechanismus der Unterbrechung pathophysiologischer Vorgänge war zumindest zum Teil unbekannt. Es war deshalb für verschiedene Arbeitsgruppen von Anfang an das Ziel, neben therapeutischen Erfolgen durch die Operationen eine Aufklärung der Pathophysiologie des Parkinsonismus zu erlangen. Hierzu ist es notwendig, daß die Zielsicherheit eine größtmögliche ist und daß die gesetzten Läsionen genau umschrieben sind. Nur dann kann von einer Ausschaltung dieser oder jener Struktur gesprochen werden, die für den gesetzten physiologischen Effekt verantwortlich gemacht werden kann.

Die glücklicherweise niedrige Mortalität der stereotaktischen Eingriffe hat zur Folge, daß alle Autoren nur über vereinzelte Sektionsbefunde verfügen, die über die exakte Lokalisation der ausgeschalteten Gebiete Auskunft geben könnten. Der Nachweis der Zerstörung dieser oder jener Struktur kann somit nur indirekt erfolgen, und zwar durch den Vergleich der Zielpunkte in anatomischen Schnitten von Serien von Gehirnen mit entsprechenden Luftencephalographien. Als Grundlage dienen heute in erster Linie neben Modellgehirnen die stereotaktischen Atlanten von SPIEGEL u. WYCIS (1952) und von TALAIRACH u. Mitarb. (1957). Mit diesem Vorgehen bleibt eine gewisse Ungenauigkeit unvermeidlich, die daraus resultiert, daß Relationsmaße zwischen dem Ventrikelsystem und der Lage und Ausdehnung der Basalganglien nicht voraussehbaren

* Stipendiat der schweizerischen Akademie für medizinische Wissenschaften.

individuellen Streuungen unterliegen. Immerhin sind diese Abweichungen, wenn die Maße des dritten Ventrikels als Basis benutzt werden, dank der engen Korrelation dieses Systems mit den Basalganglien, in einer Größenordnung, die eine genügend genaue Lokalisation des Zielpunktes erlaubt.

Lokalisatorische therapeutische und patho-physiologische Schlüsse aus den Pallidotomien sind wohl am besten daraus zu ziehen, daß die gewählten Zielpunkte und die Ausdehnung der Koagulationen der verschiedenen Arbeitsgruppen miteinander verglichen werden. Dadurch kann ein beträchtliches Patientengut einer einheitlichen Betrachtungsweise unterzogen werden. Ein solches Vorgehen stößt jedoch auf eine entscheidende Schwierigkeit; die uneinheitliche Ausgangslage bei den verschiedenen Autoren. Die Ausgangspunkte im Encephalogramm und ein auf dieses aufgebautes Bezugssystem werden praktisch von jedem Operateur anders gewählt. Dadurch können die Maße der verschiedenen Zielpunkte primär nicht miteinander verglichen werden, da ihnen eine gemeinsame Grundlage fehlt.

Wir haben unsere Arbeit darauf ausgerichtet, diese grundlegende Schwierigkeit für den Vergleich des Krankengutes der verschiedenen Kliniken zu beseitigen. Hierzu war es notwendig, die Angaben der diversen Arbeitsgruppen auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, mit andern Worten, die unterschiedlichen Bezugssysteme durch ein einheitliches zu ersetzen. Zur Veranschaulichung der zu vergleichenden Resultate wurden die Befunde zeichnerisch festgehalten.

Methode

Als gemeinsames röntgenologisches Bezugssystem haben wir das an der hiesigen Klinik angewandte gewählt. Folgende Gründe haben uns hierzu veranlaßt:

1. Es basiert ausschließlich auf intracerebralen encephalographischen Maßen. Es ist somit frei von Ungenauigkeiten, die von der Benutzung von Knochenbezugspunkten resultieren können. Außerdem verwendet es auch nicht die inkonstante und meist auch in unbekanntem Maße unvollständige Verkalkung der Glandula pinealis.

2. Die Bezugspunkte sind so ausgewählt, daß sie in jedem Luftencephalogramm nachweisbar sind, unabhängig davon, ob als Kontrastmittel Luft oder ein jodhaltiges Medikament verwendet wird.

3. Durch die Benutzung von Linien und nicht von einzelnen Punkten und durch die Ausmessung des Ventrikelsystems in allen drei Dimensionen des Raumes wird es möglich, zumindest zum Teil, jedes Patientengehirn individuell zu erfassen. Damit wird die Variabilität der Lage und der Größe der Basalganglien teilweise miterfaßt.

4. Rein statistisch ist die Zuverlässigkeit dieses Bezugssystems in mehreren hundert stereotaktischen Operationen erprobt.

Das technische Vorgehen und die Auswertung der Encephalogramme wurde wiederholt beschrieben (RIECHERT u. WOLFF 1951, HASSLER u. RIECHERT 1954, RIECHERT u. MUNDINGER 1956, 1959). Wir können uns somit darauf beschränken, das Prinzip kurz zu skizzieren.

Auf einer seitlichen Röntgenaufnahme wird zuerst die Basislinie gezogen, und zwar vom hinteren unteren Rand des Foramen Monroe zum weitest nach frontal vorspringenden Teil der Commissura posterior, der sich wenig über dem Aquädukt eingang befindet. Diese Basislinie gibt uns gleichzeitig ein Maß für die antero-posteriore Dimension. In der Mitte dieser Linie wird eine Senkrechte zum Unterrand des Seitenventrikels errichtet. Diese Linie gibt über die Thalamushöhe Auskunft und liefert das Relationsmaß in der vertico-basalen Dimension. Das dritte Maß wird aus der antero-posterioren Röntgenaufnahme gewonnen, indem die Breite des Seitenventrikels gemessen wird, etwa in der Ebene der Commissura posterior die auf dem Röntgenbild dann zu erkennen ist, wenn die Ventrikel bis zum Trigonum durchgefüllt sind — also bis zu dem Punkt, wo das Caudatum an den Seitenventrikel anstößt. Aus dieser Distanz wird das Relationsmaß für die Seitendimension gebildet. Auf diesen drei Maßen beruht das encephalographisch ermittelte Bezugssystem, auf das im folgenden alle anderen Bezugssysteme umgerechnet werden.

In einem x-beliebigen Modellgehirn oder anhand eines stereotaktischen Atlas ist es möglich, jeden Punkt in den verschiedenen interessierenden Basalganglien zu diesem Bezugssystem in Relation zu bringen und in genauen, auf dieses System bezogenen Maßen anzugeben. Werden des weiteren die auf dem Röntgenbild ermittelten Maße der drei Raumdimensionen mit denjenigen des Modellgehirns verglichen, so resultieren daraus Relationskoeffizienten zwischen dem Modellgehirn und dem Röntgenbild des betreffenden Patienten. Die Multiplikation der Maße eines Punktes in den Basalganglien, ermittelt am Modellgehirn (oder stereotaktischen Atlas) mit dem Relationskoeffizienten der entsprechenden Dimension, gestattet die Festlegung des identischen Punktes auf dem Röntgenbild des Patienten. Es ergibt sich von selbst, daß durch Eliminierung der Röntgenverzeichnung von diesem röntgenologisch festgelegten Punkt auf den reellen im Patientengehirn geschlossen werden kann.

Unser weiteres Vorgehen bestand nun darin, anhand eines Modellgehirnes und anhand der stereotaktischen Atlanten von SPIEGEL und WYCIS und von TALAIRACH u. Mitarb. in verschiedenen sagittalen und frontalen Ebenen die Lage und die Größe des Pallidum zu ermitteln. (Die anders gewählten Bezugssysteme in den betreffenden Atlanten mußten in der Berechnung mitberücksichtigt werden.) Dem jeweiligen Pallidumbild haben wir dann das röntgenologische Bild des Seitenventrikels und des 3. Ventrikels superponiert und in realem Maßstab gemeinsam dargestellt. Zeichnerisch wurde hierauf die Lage des Zielpunktes, der von den verschiedenen Arbeitsgruppen angegeben wird in dem entsprechenden Schnitt in das Pallidum mit seiner definierten Beziehung zum superponierten Ventrikelsystem eingetragen.

Wenn von den Autoren die Größe und die Form des ausgeschalteten Bezirkes in den Publikationen angegeben wurden, sind diese Angaben in der Skizze eingetragen worden, wobei der Zielpunkt als Zentrum des Herdes angenommen wurde. Lagen diesbezügliche Beschreibungen vor, so wurde auch der Einführungswinkel der Elektrode oder der Kanüle mitberücksichtigt. Dieser Winkel spielt bei all denjenigen Verfahren eine wichtige Rolle, in denen nicht ein kugeliger Zerstörungsherd gesetzt wird. Dies ist der Fall, wenn zur Ausschaltung nicht eine einfache Elektrode benutzt wird, sondern wie z. B. durch BERTRAND (1958) ein modifiziertes Leukotom. Von noch größerer Bedeutung ist der Einfallswinkel des Instrumentes dann, wenn nicht ein Einzelherd gesetzt wird, sondern durch vorschieben oder zurückziehen der Elektrode der Herd in Richtung der Elektrodenführung erweitert wird. (Gestufte Ausschaltung.)

Die zeichnerischen Schnitte durch das Pallidum wurden so gelegt, daß sie jeweils in der Ebene des Zielpunktes lagen und zwar von jedem Verfahren ein Sagittal- und ein Frontalschnitt. Dadurch wurde auch in jedem Fall die Ebene der größten

Ausdehnung des Zerstörungsherdes dargestellt. Eine räumliche Verfolgung des Herdes war bei dieser zweidimensionalen Darstellung nicht möglich, sie kann jedoch durch die Kombination von Sagittal- und Frontalschnitten abgeleitet werden.

Eine weitere nicht vermeidbare Ungenauigkeit liegt in der Eingrzung der Zerstörungsherde. Wo nicht speziell anders angegeben, haben wir als Ausschaltungsbezirk eine Kugelform angenommen, wobei wir uns bewußt sind, daß sowohl bei der elektrischen Koagulation als auch bei der chemischen Ausschaltung kaum je diese ideale, scharf umschriebene Form realisiert wird. Je nach Gewebeart, Durchblutung usw. werden immer Unregelmäßigkeiten in der Begrenzung des Zerstörungsherdes vorhanden sein.

Resultate

Im folgenden seien die Pallidotomien verschiedener Arbeitsgruppen im Zusammenhang zeichnerisch dargestellt. Sämtliche Maßangaben wurden bereits umgerechnet und auf das gemeinsame Bezugssystem eingetragen, so daß die Ausschaltungsherde direkt miteinander verglichen werden können. Somit erübrigts sich ein größerer Kommentar zu den Zeichnungen.

Die gewählten Basislinien (Foramen Monroe-Commissura posterior und die Senkrechte für die Thalamushöhe auf den seitlichen Skizzen und die Mediosagittallinie auf den Frontalschnitten) haben wir mit kräftigeren Linien durchgezogen. Wo es zur Verständlichung notwendig erschien, haben wir mit feineren Linien das Bezugssystem des jeweiligen Autors mit dargestellt.

Zur Vereinfachung der Skizzen und zur besseren Übersicht haben wir uns darauf beschränkt, in den jeweiligen Schnitten, außer den superponierten Ventrikelformen, nur die Lage und Größe des Pallidum internum und externum darzustellen. Ein Überblick über eventuell interessierende Nachbarstrukturen kann aus jedem anatomischen Atlas gewonnen werden. Auf einige direkt anliegende, zum Teil durch die Koagulation streng zu vermeidende Bahnen werden wir später zu sprechen kommen.

Als Grundlage für die Maße der dargestellten Ventrikelsysteme haben wir das über zwei Jahre an der hiesigen Klinik verwendete normale Modellgehirn (durch die Fixation in den Maßen etwas verkleinert) benutzt. Seine für die Ausmessung interessierenden Basismaße sind:

Foramen Monroe-Commissura posterior	23,5 mm
Thalamushöhe (Mitte Basislinie-Unter-	
rand des Seitenventrikels)	14 mm
Breite des Seitenventrikels	19,5 mm.

Der in diesem Modellgehirn festgelegte Zielpunkt im Pallidum internum anterior, der für stereotaktische Operationen an der hiesigen Klinik verwendet wird, hat folgende Beziehungsmaße zum Ventrikelsystem:

5 mm	occipital vom Foramen Monroe
3—4 mm	basal von der Basislinie
17 mm	lateral vom Ufer des dritten Ventrikels.

Eine typische, von RIECHERT u. HASSSLER (HASSSLER u. RIECHERT 1954, 1956, HASSSLER 1956, HASSSLER u. RIECHERT 1958) entwickelte Pallidum-ausschaltung auf das Modellgehirn bezogen und vom erwähnten Zielpunkt ausgehend haben wir in Abb. 1 dargestellt. Wir haben dabei einen Einfallswinkel der Elektrode zur Basislinie von 23 Grad gewählt und einen solchen zur Mediosagittallinie von 2 Grad. Die Durchsicht von seitlichen Röntgenbildern von etwa 100 Pallidotomien des hiesigen Klinikmaterials

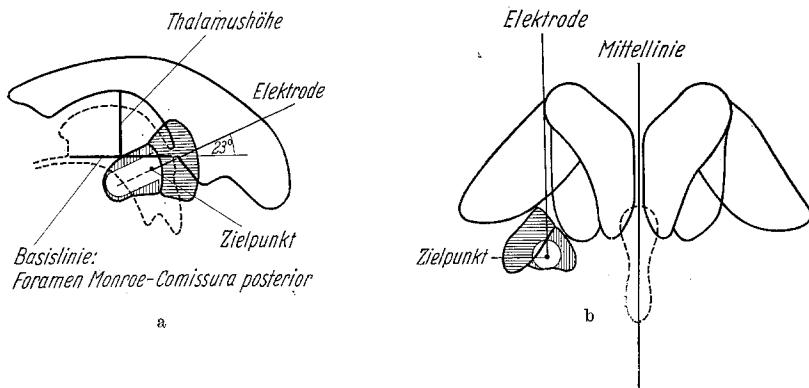


Abb. 1. *Pallidotomie* (T. RIECHERT, R. HASSSLER). Maße für den Zielpunkt: 5 mm occipital vom Hinterrand des Foramen Monroe; 3–4 mm basal von der Basislinie (Foramen Monroe — Commissura posterior); 17 mm lateral vom Ufer des 3. Ventrikels. Diese Maße beziehen sich auf ein Modellgehirn, sie werden durch individuelle Faktoren auf Basis der Ventrikelaße korrigiert. a Sagittalschnitt 19 mm lateral der Mittellinie. Superposition des 3. Ventrikels und des Seitenventrikels vom Röntgenbild,
b Frontalschnitt 5 mm occipital Foramen Monroe

■ Pallidum externum; ▨ Pallidum internum; □ Ausgeschaltete Pallidumpartie

hat uns gezeigt, daß wohl eine beträchtliche Streuung der Einfallswinkel besteht, daß jedoch je ein bedeutender Gipfelpunkt im Bereich von 20–25 Grad und ein kleinerer bei 45–50 Grad besteht. Zur Mediosagittallinie schwankt der Winkel im wesentlichen um 0 Grad. Der Koagulationsradius kann nach Untersuchungen an der hiesigen Klinik mit 3 mm ($\pm 0,5$ –1 mm) angenommen werden. Vom Zielpunkt wurde in diesem Fall die Elektrode um 8 mm vorgeschoben und um 4 mm zurückgezogen, wodurch ein zylinderförmiger Koagulationsherd entstand, der den größten Teil des basalen inneren Pallidums ausgeschaltet hat.

In Abb. 2 haben wir unter den gleichen Bedingungen ein typisches Vorgehen bei steilerem Einfallswinkel der Elektrode (50 Grad in diesem Falle) skizziert. Es ist ersichtlich, daß die gerade Elektrode in einem solchen Fall im Pallidum nur um 6–7 mm vorgeschoben werden kann, und daß die posterioren Pallidumanteile dadurch nicht erreicht werden. Es wird deshalb eine Saitenelektrode verwendet (Beschreibung derselben in RIECHERT u. MUNDINGER 1956, 1959), die in konstanter Bogenform in einem Winkel von etwa 140 Grad (zur Elektrodenhülle) um beliebig viele Millimeter in jeder gewünschten Richtung vorgeschoben werden kann. Wird diese Saitenelektrode in posteriorer Richtung ausgefahren, dann wird es möglich, auch bei steilem Einfallswinkel, die hinteren Pallidumanteile zu koagulieren. Diese

Saitenelektrode hat einen Koagulationsradius von ungefähr 2 mm; im Gegensatz zur geraden Elektrode ist sie nicht bis zur Spitze isoliert, wodurch der ganze ausgefahrene Anteil koaguliert.

Auf dem Frontalschnitt in Abb. 2 haben wir die Möglichkeiten dargestellt, mit der Saitenelektrode den Koagulationsherd nach medial und nach lateral zu erweitern.

TALAIRACH u. Mitarb. (1957) haben eine Serie von 90 Gehirnen nach der von ihnen entwickelten stereotaktischen Methode ausgewertet, Lage und Größe der verschiedenen Basalganglien gemessen und die Resultate in einem stereotaktischen Atlas festgehalten. Ihre Bezugspunkte basieren auf Maße im dritten Ventrikel. Als Grundlinie wurde eine Verbindungsline von der vorderen zur hinteren Commissur gewählt. Dies wurde dadurch ermöglicht, daß eine konstante Darstellung dieser

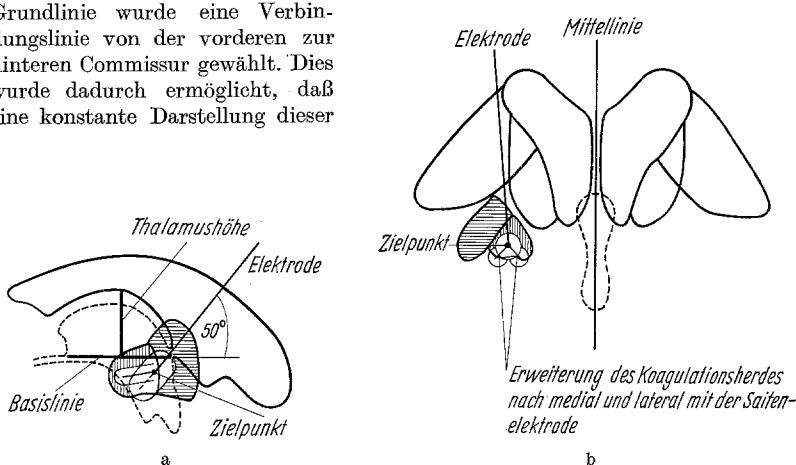


Abb. 2. Pallidotomie (T. RIECHERT, R. HASSLER). a Sagittalschnitt 19 mm lateral der Mittellinie. Anwendung der Saitenelektrode nach occipital bei steilem Winkel, b Frontalschnitt 5 mm occipital Foramen Monroe. ■■■ Pallidumexternum; ■■■ Palliduminternum; □ Ausgeschaltete Pallidumpartie

Strukturen durch die Verwendung jodhaltiger Kontrastmittel gewährleistet wird. (Wir denken hier speziell an die nicht immer leichte Demonstration der Commissura anterior in Luftencephalogrammen.) Diese Autoren schlossen auf Grund ihres anatomischen Materials, daß selbst bei Benutzung des dem Pallidum nahe gelegenen dritten Ventrikels als Bezugssystem, besonders in der frontalen Ebene noch immer eine nicht voraussehbare individuelle Streuung der Lage und Größe des Kernes in mäßigem Grade besteht. Zur Vermeidung unerwünschter Nebeneffekte bei der Koagulation haben sie deshalb empfohlen, Bezirke auszuschalten, die innerhalb von Sicherheitslinien liegen. Dadurch wird die Gewißheit erlangt, daß in jedem einzelnen Fall die Zerstörung innerhalb der gewünschten Struktur erfolgt. Wir haben in Abb. 3 die von TALAIRACH u. Mitarb. empfohlenen Bezirke für die Ausschaltung des Pallidum internum und der Ansa lenticularis auf unser Bezugssystem eingetragen.

Für das Pallidum internum ist ein Kubus vorgesehen, der von der Commissura anterior 4 mm nach occipital reicht, als obere Begrenzung die Linie Commissura anterior. Commissura posterior besitzt, als untere eine zu dieser parallelen Linie 4 mm basal davon. Der Kubus hat seine mediale Begrenzung 10 mm lateral der Mittellinie, seine laterale 14 mm lateral der Mediosagittallinie. Die Ansa lenticularis kann nach diesen Autoren in einem 4 mm langen Dreieck, das occipital dem beschriebenen Kubus anliegt, ausgeschaltet werden. Es liegt zwischen 15—17 mm lateral der Mittellinie.

Der erste anatomische Atlas, der speziell für stereotaktische Operationen publiziert wurde, ist derjenige von SPIEGEL u. WYCIS (1952). Diese Autoren basieren

ihre anatomischen Daten, in Korrelation mit einem Koordinatensystem, auf der Sektion von 30 Normalgehirnen. Die Angaben für Punkte in den Basalganglien nehmen Bezug auf einzelne Punkte im dritten Ventrikel, sei es der Commissura anterior oder der Commissura posterior oder auf der verkalkten Glandula pinealis; sie basieren somit nicht auf Linien. Dadurch werden auch keine Relationen zwischen Länge, Breite und Höhe des Ventrikelsystems zur Ausdehnung der Basalganglien aufgestellt. Zum Ausgleich haben die Autoren tabellarisch Lage und Größe der verschiedenen Basalganglien (Grenzwerte), die in verschiedenen Ebenen vorgefunden

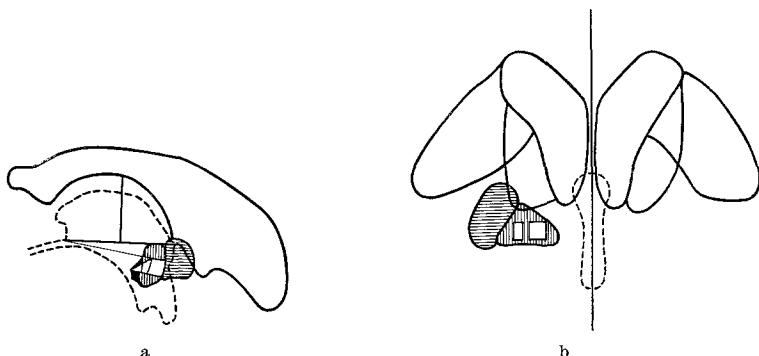


Abb. 3. *Pallidotomie* (J.TALAIRACH). Maße für die Ausschaltungsbezirke im Rahmen von Sicherheitslinien: *Pallidum internum*: Quadrat von Commissura anterior bis 4 mm occipital davon; von Linie Commissura anterior—Commissura posterior bis 4 mm basal davon; 10—14 mm lateral der Mittellinie. *Ansa lenticularis*: Dreieck 4—8 mm occipital der Commissura anterior; von Linie Commissura anterior—Commissura posterior bis 4 mm basal, davon; 15—17 mm lateral der Mittellinie. a Sagittalschnitt 13 mm lateral der Mittellinie, b Frontalschnitt 3 mm occipital des Foramen Monroe.
 Pallidum internum; Ansa lenticularis; Pallidum externum; Ausschaltungsbezirk für Pallidum internum und Ansa lenticularis

werden können, aufgestellt. In späteren Arbeiten (SPIEGEL u. Mitarb. 1952, BAIRD u. Mitarb. 1957) wurden von diesen Autoren zur Vermeidung der Capsula interna bei der Pallidumausschaltung mediale Sicherheitslinien in allen frontalen Schnitten aufgestellt, die so liegen, daß sie für sämtliche Gehirne Gültigkeit besitzen.

SPIEGEL u. WYCIS (1954, 1956) geben zur Pallidumausschaltung zwei Punkte an, die in der gleichen Sitzung angezielt werden. Wir haben in Abb. 4 beide Ausschaltungen dargestellt. Der erste Zielpunkt liegt in der Frontalebene der vorderen Commissur, 2 mm basal von dieser Struktur und 15 mm lateral von der Mediosagittallinie. Der 2. Punkt befindet sich 3 mm occipital vom ersten, 5 mm basal von der vorderen Commissur und 17 mm lateral von der Mittellinie. Für beide Ausschaltungen wird die Elektrode mit einem Winkel von 20 Grad Neigung zur Vertikalen eingeführt. Die Elektrode wird nicht über den Zielpunkt hinaus vorgeschoben; eine Erweiterung des Herdes erfolgt jedoch mit einer Stylettelektrode, die rosettenförmig in jeder beliebigen Richtung ausgefahren werden kann. In den beiden Frontalschnitten in Abb. 4 haben wir für die jeweilige Ebene, die von den Autoren festgelegten medialen Sicherheitslinien zur Vermeidung der inneren Kapsel mit einem senkrechten Strich eingezeichnet.

GUIOT u. BRION (1952, 1953, 1955) haben eine vollständig andere Technik entwickelt, die ohne stereotaktischen Apparat auszukommen vermag. (Lediglich bei alten Patienten wird eine stereotaktische Apparatur verwendet.) Bei den ersten offenen Operationen erfolgte die Orientierung anhand des Olfactorius, des Tractus opticus und des Temporalpols. Nunmehr basieren auch diese Autoren ihre

Operationen auf einem Encephalogramm. Folgende Angaben wurden über den Zielpunkt publiziert:

Dieser soll im Verlauf des Trigonums liegen, was im Encephalogramm einer Geraden entspricht, die von der Commissura anterior zum Corpus mammillare zieht. Der Zielpunkt selbst liegt auf dieser Linie, und zwar 3 mm basal von der Commissura

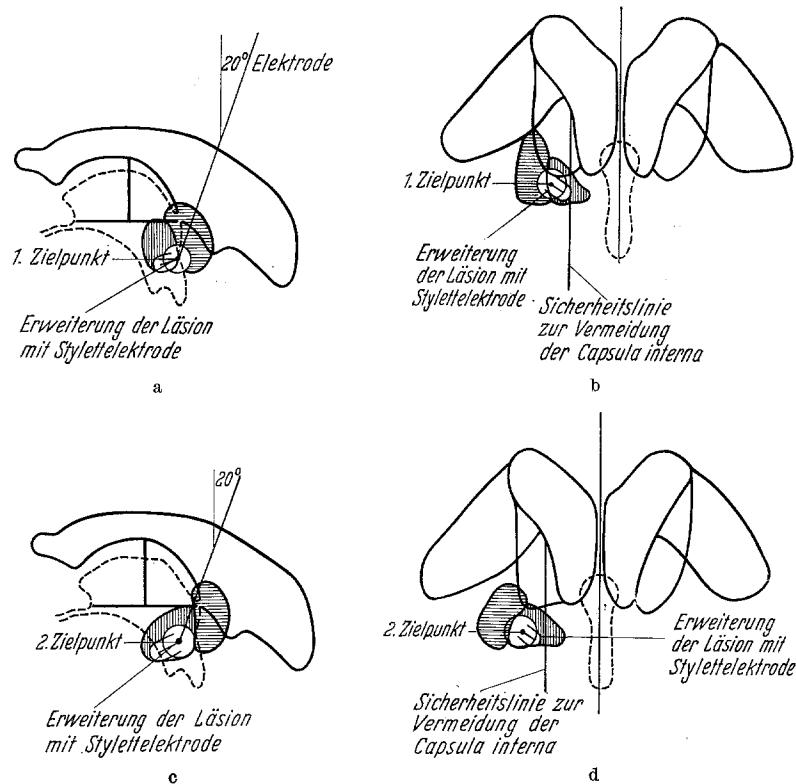


Abb.4. *Pallidotomie* (E. A. SPIEGEL, H. T. WYCIS). a u. b Maße für 1. Zielpunkt: vordere Commissur; 2 mm unter vorderer Commissur; 15 mm lateral der Mittellinie; a Sagittalschnitt 15 mm lateral der Mittellinie; b Frontalschnitt auf Höhe Commissura anterior; c u. d Maße für 2. Zielpunkt: 3 mm occipital von vorderer Commissur; 5 mm basal von vorderer Commissur; 17 mm lateral der Mittellinie; c Sagittalschnitt 17 mm lateral der Mittellinie; d Frontalschnitt 3 mm occipital Foramen Monroe

anterior, wodurch er 5—8 mm dorsal vom Tractus opticus zu liegen kommt. In dieser Ebene nehmen die Autoren die mediale Pallidumspitze 10 mm lateral vom Ufer des dritten Ventrikels an, hinzu rechnen sie einen Sicherheitsfaktor von 5 mm zur Vermeidung der inneren Kapsel. Nach ihren Angaben produziert ihre Elektrode einen Zerstörungsherd mit einem Radius von 5 mm. Nach Summation dieser drei Faktoren wird ihr Zielpunkt 20 mm lateral vom seitlichen Rand des dritten Ventrikels gewählt. Die Größe des Ausschaltungsbezirkes erlaubt es ihnen, sich mit einer einzigen Koagulation am Zielpunkt zu begnügen. Wir haben die Lokalisation und den Ausschaltungsbereich in Abb.5 auf unser Bezugssystem übertragen, wobei wir die von den Autoren gewählte Basislinie, Commissura anterior—Corpus mammillare als Hilfslinie eingetragen haben.

Eine nochmals vollständig differente Methode, sowohl was die stereotaktische Apparatur, die Technik zur Ausschaltung als auch das Bezugssystem betrifft, hat LEKSELL (1949, 1957) entwickelt. Leider wurden anatomo-radiologische Angaben detailliert noch nicht publiziert. Wir stützen uns deshalb in unseren Aufzeichnungen auf eine persönliche Mitteilung eines Schülers von LEKSELL, Herrn REICHENBACH (1959). Gleich wie TALAIRACH benutzt auch LEKSELL als Basislinie eine Gerade zwischen der Commissura anterior und der Commissura posterior. Allein mit lumbaler oder suboccipitaler Luftfüllung gelingt es nach diesen Angaben in allen

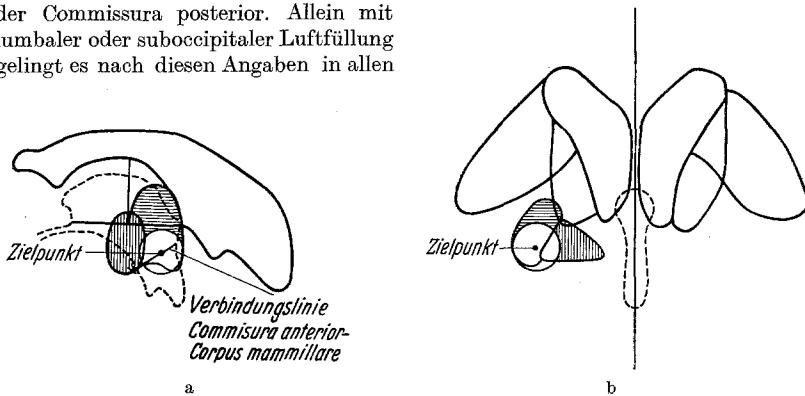


Abb. 5. Pallidotomie (G. GUIOT, S. BRION). Maße für den Zielpunkt: Punkt auf Verbindungslinie Commissura anterior—Corpus mamillare; 3 mm basal der Commissura anterior; 20 mm lateral vom lateralen Rand des 3. Ventrikels. a Sagittalschnitt 22 mm lateral der Mittellinie; b Frontalschnitt 3 mm occipital Foramen Monroe

Fällen eine saubere Darstellung dieser Strukturen zu erhalten. Die Halbierung dieser Grundlinie liefert die Frontalebene für den Zielpunkt. In dieser Ebene liegt der Punkt basal von der Basislinie, und zwar um 10% der Länge der Grundlinie. Für die dritte Dimension wird eine Distanz des Zielpunktes von 20 mm lateral von der Mediosagittallinie angegeben. LEKSELL verwendet zur Ausschaltung eine bipolare Elektrode mit einer Distanz von 8 mm zwischen den Elektrodenspitzen. In deren Mitte befindet sich zur Kontrolle ein Thermoelement, wodurch eine konstante thermische Ausschaltung ermöglicht wird. Diese Elektrode wird in einem Winkel mit einer Neigung von 30 Grad zur frontalen Vertikalen eingeführt und mit einem solchen von 15 Grad zur Mediosagittallinie. Mit einer einzigen Koagulation wird ein Bezirk von einem Quadratzentimeter in der Breite ausgeschaltet. Wir haben in Abb. 6 die von LEKSELL entwickelte thermische Koagulation dargestellt. Wie schon die Methode von RIECHERT u. HASSSLER geht auch dieser Autor von Linien im Bereich des dritten Ventrikels und nicht von den Punkten aus, wodurch er eine Anpassung an die individuellen Verhältnisse in jedem Gehirn anzustreben vermag.

OBRADOR (1956, 1957) führt seine Pallidumausschaltungen sowohl durch frei-händige Orientierung am Schädelknochen als auch mit einem stereotaktischen Apparat nach LISTER u. SHERWOOD (1955) aus. Für beide Methoden wird der gleiche Zielpunkt gewählt. Obwohl zuvor meist ein Encephalogramm ausgeführt wird, basieren die publizierten Angaben für den Zielpunkt auf der Glandula pinealis. Er liegt 25–27 mm rostral von der Pinealis, 5–7 mm basal von dieser Struktur und 13–15 mm lateral von der Mediosagittallinie. Auf Grund der Ausmessungen von SPIEGEL u. WYCIS haben wir das Zentrum der Glandula pinealis 5 mm occipital und 2 mm dorsal vom Zentrum der hinteren Commissur angenommen. Zur Ausschaltung des Pallidum benutzt OBRADOR ein leukotomähnliches Instrument. Leider haben wir keine Angaben über Form und Größe der gesetzten Läsionen gefunden.

RÉMOND (1958), der ebenfalls einen eigenen stereotaktischen Apparat entwickelt hat, geht von einem Bezugssystem im dritten Ventrikel aus, das ausschließlich dessen rostrale Partie berücksichtigt. Durch diese Beschränkung genügen ihm $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ cm³ Lipiodol zur Ventrikeldarstellung und zur Konstruktion des Bezugssystems. Die Basislinie (Abb. 7) wird aus der Verbindung des Unterrandes der vorderen

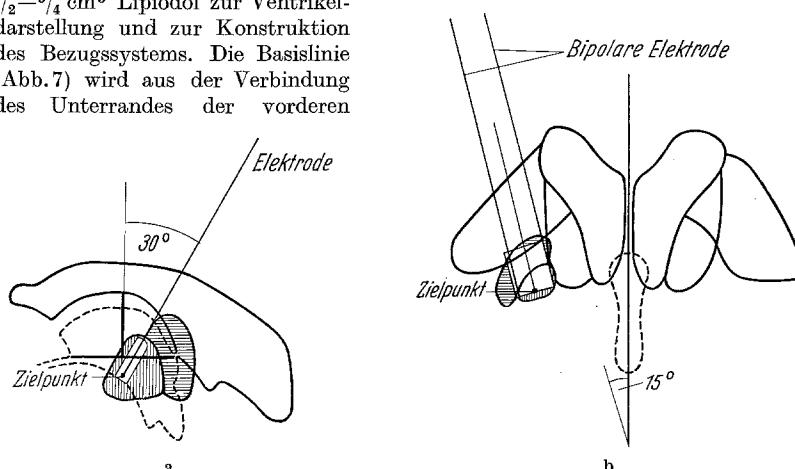


Abb. 6. *Pallidomie* (L. LEKSELL). Maße für den Zielpunkt: Hälften einer Verbindungsline Commissura antero—posterior; 10% der Länge obiger Linie basal dieser Linie; 20 mm lateral der Mittellinie. a Sagittalschnitt 20 mm lateral der Mittellinie; b Frontalschnitt 11 mm occipital Foramen Monroe

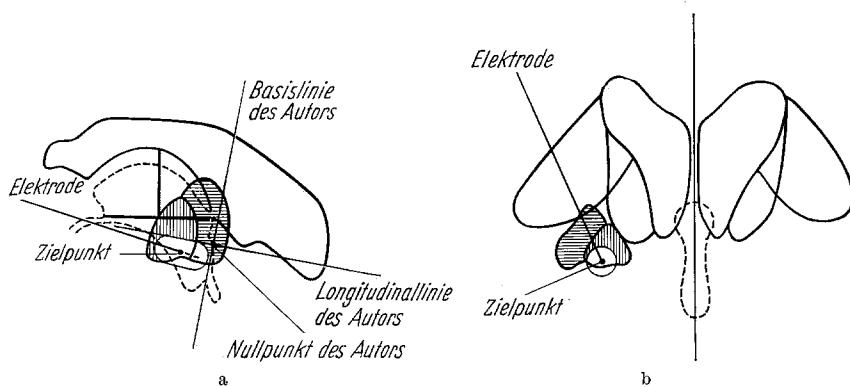


Abb. 7. *Pallidotomie* (A. RÉMOND). Bezugssystem: 0-Punkt: Übergang Commissura anterior — Vorderrand 3. Ventrikel. Basislinie: Verbindung Unterrand vordere Commissur — Schnittpunkt Hinterwand Recessus infundibularis Recessus chiasmatis. Longitudinallinie: In der Medio-Sagittal-ebene Senkrechte auf Basislinie durch den Nullpunkt. Transversallinie: Transversale Senkrechte auf beide vorigen Linien durch den Nullpunkt. Maße für den Zielpunkt: Auf Longitudinallinie: 5 mm occipital des 0-Punkt. Auf Basislinie: 4 mm basal des 0-Punkt. Auf Transversallinie: 20 mm lateral des 0-Punkt. Elektrode von occipital durch typisches Ventrikulographie-Trepanloch eingeführt. a Sagittalschnitt 20 mm lateral der Mittellinie; b Frontalschnitt 6 mm occipital Foramen Monroe

Commissur mit dem Schnittpunkt Hinterwand Recessus infundibularis — Vorderwand Recessus chiasmaticus konstruiert. Der Nullpunkt auf dieser Linie liegt am Übergang Commissura anterior zur Vorderwand des dritten Ventrikels. Senkrecht auf die Basislinie, durch den Nullpunkt gehend, in der Mediosagittalebene

verlaufend, wird die Longitudinallinie errichtet. Die dritte Dimension basiert auf einer Transversallinie, die eine Senkrechte durch den Nullpunkt zu den beiden erstgenannten Linien repräsentiert. Der von RÉMOND angezielte Punkt für die Pallidotomie hat in dem von ihm errichteten System folgende Koordinaten:

- Auf der Longitudinallinie: 5 mm occipital vom Nullpunkt
- Auf der Basislinie: 4 mm basal vom Nullpunkt
- Auf der Transversallinie: 20 mm lateral vom Nullpunkt.

Dieser Punkt wird mit einer Elektrode von einem in typischer Lage befindlichen Ventrikulographie-Trepanloch von occipital her erreicht. Zur Ausschaltung wird an drei Orten koaguliert, und zwar am Zielpunkt, 3 mm occipital und 3 mm rostral von diesem. Auf diese Weise wird ein pallido-basal gelegener zylindrischer Be-

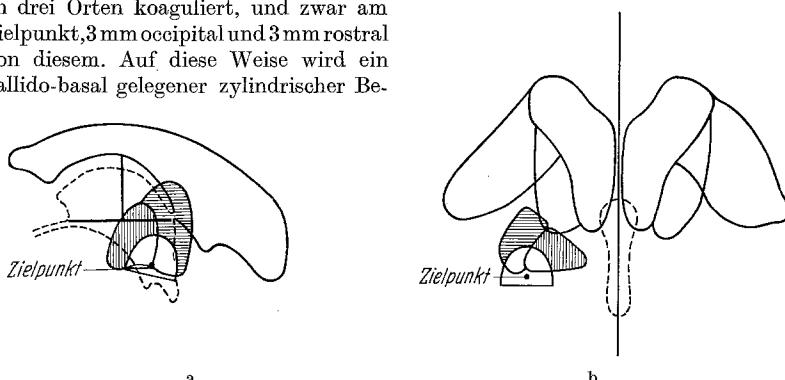


Abb. 8. *Pallidotomie* (C.M. BERTRAND). □ Ausschaltung von Pallidum und pallidofugaler Fasern mit modifiziertem Leukotom. Maße für den Zielpunkt: 0—5 mm occipital vom Zentrum des Foramen Monroe; 8—12 mm basal vom Zentrum des Foramen Monroe; 15—22 mm lateral von der Mittellinie, a Sagittalschnitt 20 mm lateral von der Mittellinie; b Frontalschnitt 3 mm occipital Foramen Monroe

zirk durch die Koagulation ausgeschaltet. Die zeichnerische Darstellung des Herdes, bezogen auf unser Koordinatensystem ist aus Abb. 7 ersichtlich.

BERTRAND (1958) basiert seine stereotaktischen Eingriffe am Pallidum ebenfalls auf Punkte im dritten Ventrikel, insbesondere bezieht er sich auf das Zentrum des Foramen Monroe. Er wählt einen tief basal liegenden Punkt, um möglichst vollständig die pallidofugalen Bahnen auszuschalten. Er gibt folgende Maße für seinen Zielpunkt an:

0—5 mm occipital vom Zentrum des Foramen Monroe (in seltenen Fällen geht er bis 10 mm hinter das Foramen). Als optimale Größe für die vertikale Dimension hat er einen Punkt, der 8—12 mm basal vom Foramen Monroe liegt, gefunden. Die Mitte des dritten Ventrikels dient als Ausgang für die laterale Distanz, der Zielpunkt soll 15—22 mm lateral von dieser Mittellinie liegen.

Die Ausschaltung geschieht mechanisch mit Hilfe eines eigens konstruierten modifizierten Leukotoms. Damit wird eine Läsion gesetzt, die die Form eines umgekehrten Topfes aufweist. Sie hat einen Durchmesser von 12 mm. Zielpunkt und Ausschaltungsbezirk nach den Angaben von BERTRAND sind in Abb. 8 dargestellt.

Den bisher beschriebenen Methoden nur bedingt vergleichbar sind die Chemopallidektomien, die von NARABAYASHI u. Mitarb. (1953, 1955, 1956) (von diesen Autoren waren uns leider keine genauen Angaben über ihre Zielpunktberechnung zugänglich) und von COOPER (1955, 1956) ausgeführt werden. Die Operationen von COOPER sind auf craniellen Orientierungspunkten aufgebaut, die mit einem Bezugsystem im dritten Ventrikel kaum verglichen werden können. Immerhin benutzt auch dieser Autor zur Orientierung ein Luftencephalogramm und hat im Laufe der Entwicklung seiner Methode einen Punkt in Korrelation zum Ventrikelsystem

gefunden, dessen Anzielung nunmehr angestrebt wird. Wir haben uns deshalb in unserer Darstellung auf diesen Punkt bezogen; er wurde von COOPER u. POLOUKHINE (1956) beschrieben. Eine weitere Schwierigkeit für einen gültigen Vergleich mit andern Methoden liegt in der Art der Ausschaltung. Der Autor verwendet zur Zerstörung die Injektion eines neurolytischen Agens (95%iger Alkohol oder eine Mischung von 95% Alkohol mit 5% Celloidin). Das injizierte Quantum richtet sich nach dem klinischen Effekt, wiederholte Reinjektionen in den der Operation folgenden Tagen sind meist notwendig. Dadurch wird es kaum möglich sein, die Größe der Zerstörungsherdes abzuschätzen, umso mehr als möglicherweise durch

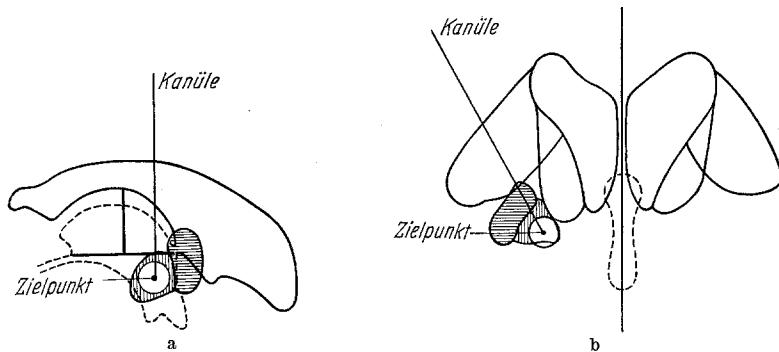


Abb. 9. *Pallidotomie* (I. S. COOPER). Maße für den Zielpunkt: 5 mm occipital vom Hinterrand des Foramen Monroe, wenig über der Mitte der Höhe des 3. Ventrikels, 2 mm medial von einer Senkrechten vom lateralen Rand des Seitenventrikels. Maße mit den graphischen und röntgenologischen Darstellungen des Autors verglichen. a Sagittalschnitt 17 mm lateral der Mittellinie; b Frontalschnitt 5 mm occipital Foramen Monroe

Diffusion entlang von Faserzügen eine unregelmäßige Ausdehnung des Herdes bewirkt wird. Um trotzdem einen Vergleich zu ermöglichen, haben wir auch hier einen mittelgroßen kugeligen Herd mit einem Radius von etwa 3 mm angenommen.

Der Zielpunkt für eine Chemopallidectomy wird wie folgt angegeben (er muß jedoch nicht unbedingt erreicht werden, wenn physiologische Teste (Injektion von Novocain) einen anderen Punkt therapeutisch günstig erscheinen lassen):

Auf dem *a-p* Röntgenbild wird in der halben Höhe des dritten Ventrikels eine Horizontale gezogen. Eine Senkrechte auf diese horizontale Linie geht vom lateralen Rand des Seitenventrikels aus. Der Schnittpunkt dieser beiden Linien bildet nach den Erfahrungen des Autors die ungefähre Grenze zwischen innerem und äußeren Pallidumglied. Der Zielpunkt soll 2 mm medial von diesem Schnittpunkt liegen und wenig über der Horizontalen. In antero-posteriore Richtung soll der Punkt 5 mm occipital vom Foramen Monroe liegen. Zeichnerische Darstellungen von Sektionsbefunden aus der Cooperschen Klinik decken sich weitgehend mit diesem theoretisch geforderten Zentrum des Ausschaltungsherdes. Der Zugang erfolgt, nach früheren andern Versuchen, nummehr von der parietalen Konvexität her von einem Punkte auf Höhe des Foramen Monroe, 6 cm lateral von der Mittellinie. Die Kanüle wird in Richtung des inneren Augenwinkels vorgeschoben. In Abb. 9 haben wir eine Chemopallidectomy nach Angaben von COOPER dargestellt.

Diskussion

Überblicken wir nochmals die verschiedenen dargestellten Methoden, so kristallisiert sich ein wesentlicher gemeinsamer Gesichtspunkt heraus (unabhängig davon ob die Strukturausschaltung stereotaktisch oder

durch andere Verfahren erfolgt): die Vernachlässigung von Knochenstrukturen als Bezugspunkte zur Anzielung des Pallidum. Die Methode der stereotaktischen Ausschaltung tief gelegener Hirnstrukturen wird seit 1908, seit der Einführung des Horsley-Clarke-Apparates im Tierexperiment durchgeführt. Dort bieten Schädelpunkte als Beziehungssystem eine genügende Genauigkeit. Wie verschiedene Autoren (SPIEGEL u. WYCIS 1952, TALAIRACH u. Mitarb. 1952, 1954, 1955) nachweisen konnten, ist die Übertragung einer solchen Methode in die Humanmedizin ungenügend, da die Variabilität von Größe und Form des Schädels in keiner Beziehung zu den Basalganglien steht. Abgesehen davon existieren beim Menschen nur selten symmetrische Schädelformen. TALAIRACH (1957) konnte z.B. bei der Ausrechnung der Maße bei einer Serie von Normalgehirnen feststellen, daß die Länge des Schädels in keiner Beziehung steht mit der Länge einer Basislinie im dritten Ventrikel; das Gleiche gilt für die Schäeldicke und der Thalamushöhe. Es können bei extrem verschiedenen Schädelmaßen identische Maße des Ventrikelsystems und der Basalganglien gefunden werden. Es bestand deshalb bei allen Arbeitsgruppen auf diesem Gebiet die Tendenz, ein Bezugssystem aufzustellen, das den Basalganglien möglichst nahe liegt. Es ist nicht verwunderlich, daß unabhängig voneinander verschiedene Autoren ihr Augenmerk dem dritten Ventrikel zugewendet haben, dessen Begrenzung zum Teil von diesen basalen Strukturen direkt gebildet wird oder doch zumindest den Basalganglien nahe liegt und in seinen Dimensionen mit ihnen in direkter Beziehung steht.

Ebenso wenig wie auf Schädelknochenmaßen lassen sich durch Ausmessungen der Hemisphären auf Leeraufnahmen konstante Korrelationen zu den Basalganglien herstellen. So errechneten SPIEGEL u. Mitarb. (1952), daß ein Relationsfaktor zwischen Hemisphärenbreite und Abstand des inneren Pallidumrandes zur Mediosagittallinie eine Streuung von 4,6—5,7 aufweist. Solche Hemisphärenausmessungen genügen somit der geforderten Genauigkeit für eine Stereotomie ebenfalls nicht.

Die geschilderten Berechnungsverfahren, die den verschiedenen Ausschaltungsoperationen zugrunde gelegt werden, lassen sich in drei Gruppen einteilen:

1. Es wird ein absolutes Maß für den Zielpunkt, bezogen auf einen Punkt im dritten Ventrikel oder auf die Glandula pinealis festgesetzt. Dabei müssen praktisch individuelle Streuungen unberücksichtigt bleiben.
2. Es werden, wiederum bezogen auf das Ventrikelsystem, Sicherheitslinien aufgestellt, innerhalb welcher die Zielpunktberechnung und die Strukturausschaltung erfolgen muß. Dadurch soll der Gefahr entgegengetreten werden, die durch die Variabilität der Größe und Lage der Basalganglien besteht.

3. Das Bezugssystem wird auf Linien im Ventrikelsystem für alle drei Raumdimensionen aufgebaut; der Vergleich solcher Linien zwischen einem Modell — und dem Patientengehirn ermöglicht eine individuelle Festsetzung des Zielpunktes und des auszuschaltenden Areals.

Unterziehen wir kurz die drei aufgezeichneten Methoden einer kritischen Betrachtung:

Der erste stereotaktische Atlas, derjenige von SPIEGEL u. WYCIS enthält in tabellarischer Zusammenstellung die extremen Variationen der Maße, die der Globus pallidus in den drei Dimensionen aufweist, und zwar bezogen auf verschiedene Punkte innerhalb des dritten Ventrikels. Daraus wird ersichtlich, daß die Maße bis zu mehreren Millimetern, je nach Schnittebene, variieren können. Damit sind die Variationen jedoch noch nicht erschöpft, denn die Struktur kann sich auch als Ganzes im Raum, also in Bezug zum Ventrikelsystem, in verschiedener Lage befinden. So konnten z. B. BAIRD u. Mitarb. (1957) feststellen, daß 5 mm lateral vom medialen Pallidumrand die vertikale Ausdehnung des Pallidum 5—8 mm beträgt (von praktischer Bedeutung sind die Minimalmaße); dies bedeutet, daß bei ventraler Lage des Pallidum in der frontalen Ebene der Corpora mammillaria die Koagulation bis 6,5 mm basal von der Verbindungsline vordere-hintere Commissur noch im Pallidum erfolgt. Hat das Pallidum jedoch eine dorsale Lage, so darf bei sonst gleichen Bedingungen die Ausschaltung nur bis 1,5 mm basal von dieser Commissurenlinie durchgeführt werden. Solche Beispiele könnten für alle drei Raumdimensionen beigebracht werden. Es ist deshalb, unseres Erachtens, wenn eine ausgedehnte Ausschaltung des Pallidum geplant ist, ungenügend, die auszuschaltende Struktur nur in Beziehung mit einem einzelnen Punkt zu setzen. Dies, wie das Beispiel lehrt, auch dann, wenn günstig gelegene, zentrale Beziehungspunkte gewählt werden.

Mit der zweiten Methode, der Aufstellung von Sicherheitslinien, wird diesen hindernden lokalisatorischen Gegebenheiten weitgehend Rechnung getragen. Die doppelte, voneinander unabhängige, Variationsmöglichkeit, nämlich diejenige der Strukturgröße und diejenige der Lage des Kernes im Raum, bedingt jedoch eine beträchtliche Einengung des für alle Gehirne zulässigen Ausschaltungsbezirkes. Die Sicherheitslinien müssen somit innerhalb enger Grenzen gezogen werden, was einen bedeutenden Nachteil in sich schließt. Die meisten Operateure, die sich mit der Pallidotomie beschäftigen, sind sich darüber einig, daß der Erfolg des Eingriffes nicht nur von einem spezifischen ausgeschalteten Gebiet innerhalb der Struktur abhängt, sondern auch ein quantitatives Problem darstellt. Nach den Erfahrungen der letzten Jahre sind Rezidive am ehesten dann zu vermeiden, wenn ein größtmögliches Areal innerhalb des Pallidum ausgeschaltet wird. Dieser Forderung kann selbstverständlich eine Ausschaltung innerhalb eng gezogener Sicherheitslinien nicht gerecht

werden. Dieser Schwierigkeit muß dadurch entgegengetreten werden, daß vor der Vornahme einer Ausdehnung des Zerstörungsherdes über die Sicherheitslinien hinaus, durch elektrische Stimulation das Gebiet abgetastet wird, wodurch die Koagulation nicht erwünschter benachbarter Bahnen vermieden werden sollte.

Das dritte Vorgehen, das speziell von RIECHERT u. HASSLER ausgearbeitet wurde, vermag diese Schwierigkeit bis zu einem gewissen Grad zu meistern. Nach den Ausmessungen von TALAIRACH u. Mitarb. (1957) geht die Längsausdehnung des Pallidum mit nur geringen Abweichungen mit der Distanz Commissura anterior-Commissura posterior parallel. Gleiches gilt für die vertikale Dimension, die durch die Distanz Basislinie-Unterrand des Seitenventrikels für die Thalamushöhe sogar ein direktes Maß liefert. Durch die meist gleichzeitige Darstellung der basalen Zisternen gewinnt man für das Pallidum und vor allem für seine basal davon liegenden pallidofugalen Bahnen und für den Tractus opticus ein zusätzliches Maß für die vertikale Ausdehnung dieser Struktur. Die Aufstellung von Relationsfaktoren in diesen beiden Dimensionen bietet somit die Möglichkeit, Pallidumlage und -größe in jedem Gehirn mit befriedigender Genauigkeit festzulegen. Mehr Schwierigkeiten bietet die dritte Dimension, für die der Relationsfaktor aus dem a—p Röntgenbild gewonnen wird, und zwar durch Ausmessung der Weite des Seitenventrikels. Dieses Maß vermag großen Schwankungen zu unterliegen, da gerade bei cerebral-sklerotischen Patienten ein beträchtlicher Hydrocephalus internus bestehen kann. Für die laterale Dimension berücksichtigt diese Methode auch die Breite des dritten Ventrikels, indem nicht von der Mediosagittallinie sondern vom Ufer des dritten Ventrikels für die Zielpunktabmessung ausgegangen wird.

Trotz dieser zweifachen Verwertung der Ventrikelweite in der Berechnung ist eine gewisse Unsicherheit in dieser Dimension unvermeidlich. Nach den Untersuchungen von TALAIRACH u. Mitarb. (1957) besteht bei Hydrocephalie nur in einem gewissen Prozentsatz eine Korrelation zwischen der Ausweitung der Seitenventrikel und des dritten Ventrikels und der lateralen Verschiebung der Basalganglien, im hier konkreten Fall des Pallidums. Die Versuche von TALAIRACH, die Schwierigkeiten in dieser Dimension dadurch zu überwinden, daß er Relationsmaße aus der Distanz der Mediosagittallinie zu den Temporalhörnern aufstellte, haben ebenfalls zu keinem befriedigenden Resultat geführt. Eine gewisse Gegenregulation zu dieser Fehlerquelle wird einmal dadurch erreicht, daß bei abnormen Ventrikelmaßen ein zusätzlicher Korrelationsfaktor mit der Hemisphärenbreite aufgestellt wird und das andere Mal dadurch, daß der Zielpunkt im lateralen Teil des inneren Pallidumgliedes gewählt wird. Dadurch wird ein gewisser Spielraum für die Ausschaltung gewonnen. Die klinischen Resultate einiger hundert stereotaktischer Operationen an

der Klinik von RIECHERT zeigen, daß trotz der theoretischen Fehlermöglichkeit in dieser Dimension mit der oben beschriebenen Methode ein befriedigendes Resultat erzielt werden kann.

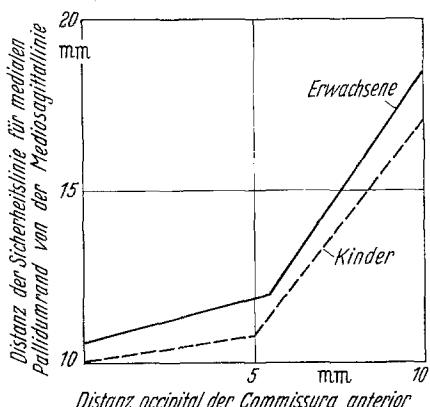
Wir möchten deshalb annehmen, daß auch diese dritte Variante des stereotaktischen Vorgehens noch geringe Fehlerquellen einschließt, daß sie jedoch bei dem heutigen Stand der Kenntnisse noch am ehesten eine individuelle Genauigkeit gewährt. Immerhin soll auch dieser Methode ein physiologischer Test (Stimulation der Struktur bei gleichzeitiger EEG-ableitung) vorausgehen.

Wenden wir uns noch kurz den verschiedenen kritischen Grenzarealen bei der Pallidotomie zu:

Hier ist in erster Linie die Capsula interna zu nennen, die die obere, mediale und medio-posteriore Begrenzung des inneren Pallidumgliedes bildet. Zur Vermeidung unerwünschter postoperativer Paresen, muß die BAIRD u. Mitarb. (1957) haben,

Abb. 10 Laterale Verschiebung der medialen Sicherheitslinie für das Pallidum von frontal nach occipital nach H. W. BAIRD, M. CHAVEZ, J. ADAMS, H. T. WYCIS und E. A. SPIEGEL: *Confin. neurol.* (Basel) 17, 288—299 (1957)

Ausschaltung diese Bahn respektieren. Entsprechend dem Pallidumverlauf von rostral medial nach occipital lateral, für jede frontale Ebene eine Sicherheitslinie aufgestellt. In Abb. 10 haben wir die Entwicklung dieser Sicherheitslinie von anterior nach posterior in einem Diagramm wiedergegeben. Betrachten wir nochmals die Aufzeichnungen der Pallidotomien der verschiedenen Autoren so sehen wir, daß sämtliche Herde lateral dieser medialen Sicherheitslinie liegen, wobei allerdings einzelne Operateure sehr satt an die Linie herangehen. Schwieriger wird die Situation dann, wenn eine von frontal eingeführte Elektrode, zur Erweiterung des Ausschaltungsbezirkes über den Zielpunkt hinaus nach occipital vorgeschoben wird. Liegt in solchen Fällen das Einführungstropenloch nicht sehr median, so hat die Elektrode eine parasagittale Führung oder nimmt gar einen Verlauf, der von frontal lateral nach occipital medial hinzieht. Dadurch folgt eine solche Elektrode nicht der antero-posterioren Pallidumentwicklung und gelangt dann leicht beim Vorschlieben über den Zielpunkt im posterioren Bereich in die innere Kapsel. Dies kann im konkreten Beispiel dadurch vermieden werden, daß entweder jeder Koagulation eine Stimulation vorausgeht, oder daß zur Ausschaltung eine Stromform verwendet wird, die auch einen gewissen Reiz setzt und somit in kritischen Lagen warnende Kapsel-



effekte provoziert. Gleiches gilt auch dann, wenn der Herd nach medial erweitert werden soll, sei es mit einer Stylettelektrode nach SPIEGEL u. WYCIS oder mit der Saitenelektrode von RIECHERT u. MUNDINGER.

Mit Sicherheit kann natürlich die innere Kapsel dadurch vermieden werden, daß nicht das innere sondern das äußere Pallidumglied angezielt wird. Gerade dann besteht jedoch vom patho-physiologischen Gesichtspunkt aus ein entscheidender Unterschied. Wie in verschiedenen Arbeiten gezeigt werden konnte (HASSLER 1949, 1953, PAPEZ 1942, RANSON and RANSON 1939, MINKOWSKI 1943) leiten die pallidofugalen Bahnen vom inneren Pallidumglied praktisch ausschließlich zum Thalamus, und zwar zum Nucleus ventralis oralis anterior und zum Nucleus lateropolaris (nach der Nomenklatur von HASSLER), durch deren Vermittlung sie zu corticopetalen Afferenzen zu den parapyramidalen Rindenfeldern werden. Das äußere Pallidumglied hingegen, dessen efferente Bahnen einerseits zum medialen Pallidum ziehen, entsendet andererseits wesentliche absteigende pallidofugale Bahnen (pallido-hypothalamische, pallido-rubrale, pallido-retikuläre usw.) Ihre Unterbrechung wird somit neben dem Einfluß auf die Motorik auch einen solchen auf die vegetative Funktionen zur Folge haben.

Lassen wir nochmals die verschiedenen Ausschaltungsoperationen Revue passieren, so sehen wir, daß mit Ausnahme von GUIOT u. BRION, alle Zielpunkte noch im Bereich des inneren Pallidumgliedes liegen. Durch die verschiedene Lokalisation innerhalb dieser Struktur werden jedoch größere oder kleinere Partien des äußeren Pallidumgliedes bei verschiedenen Ausschaltungsverfahren miterfaßt. Es wird deshalb von besonderem Interesse sein, gleichermaßen wie wir versucht haben auf anatomo-radiologischer Basis einen Vergleich anzustellen, die verschiedenen klinischen Resultate unter gleichen Bedingungen einander gegenüberzustellen. Dadurch würde die Möglichkeit bestehen, direkten Einblick in die humane Patho-Physiologie dieser Gebiete zu gewinnen.

Die Herdlokalisation in antero-posteriorer Dimension muß dabei in gleichem Maße berücksichtigt werden. Aus den verschiedenen Abbildungen geht eindeutig hervor, daß Ausschaltungen, die in der Frontalebene der Commissura anterior oder wenig occipital davon erfolgen, das äußere Pallidumglied betreffen. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Feststellung von BERTRAND (1958), daß Ausschaltungen auf Höhe des Foramen Monroe (also wenig praecommissural) keinerlei Einfluß auf Rigor und Tremor bei Parkinsonisten ausüben.

Ein wesentliches Problem stellt auch die vertikale Dimension dar. Hier bestehen zwei einander entgegengesetzte Tendenzen, die miteinander in Einklang gebracht werden müssen. Nach der Ansicht verschiedener Autoren (MEYERS 1942, SPIEGEL u. WYCIS 1953, 1954, GUIOT u. BRION 1952, 1953, 1955, BERTRAND 1958) spielt für den Erfolg des

Eingriffes die Unterbrechung der Ansa lenticularis eine wesentliche Rolle. Die Forderung zielt somit dahin, die pallidofugalen Bahnen, die basal vom inneren Pallidumglied verlaufen und vor allem aus Efferenzen des äußeren Pallidumgliedes bestehen, zu unterbrechen. Der Herd soll somit die basale Grenze des Globus pallidus überschreiten. Auf der anderen Seite verläuft im Durchschnitt 7—8 mm basal vom inneren Pallidumglied der Tractus opticus, der selbstverständlich keinesfalls mittangiert werden darf. Der Tractus opticus zieht von medial frontal nach lateral occipital; so befindet er sich z.B. auf Höhe des Foramen Monroe durchschnittlich 10 mm lateral der Mittellinie, während er sich 5 mm occipital davon bereits 14 mm lateral der Mediosagittallinie befindet. Eine tief basale Ausschaltung wäre somit am ehesten bei möglichst lateralem Zielpunkt zulässig. In dieser Gegend besteht aber wiederum Gefahr mit den hier verlaufenden größeren basalen Gefäßen in Konflikt zu geraten.

Betrachten wir die verschiedenen Ausschaltungsherde, fällt auf, daß mit Ausnahme von BERTRAND, alle Operateure die basalen Pallidumgrenzen nicht oder nur um wenige Millimeter überschreiten. Eine komplette oder annähernd vollständige Ausschaltung der absteigenden pallidofugalen Bahnen wird somit kaum je erfolgen. Besonderes Interesse verdient der Ausschaltungsbezirk von BERTRAND, da dieser eindeutig basaler liegt, als bei anderen Operateuren. Trotzdem wird von keinen postoperativen Visusstörungen berichtet. Dieser tief basale Zielpunkt wurde von ihm nach früheren ungünstigen Resultaten dorsalerer Ausschaltungen empfohlen. Er konnte die Feststellung machen, daß die Parkinsonsymptomatik bei Ausschaltungen 5—8 mm basal vom Zentrum des Foramen Monroe weiterbestanden, schlagartig jedoch zum Verschwinden kamen, wenn die Elektrode auf 10—12 mm basal vom Foramen Monroe gesenkt wurde. Nach seiner Ansicht spielt in diesem Fall die Unterbrechung pallido-rubraler und pallido-retikulärer Fasern eine entscheidende Rolle.

In den Operationen von RIECHERT u. HÄSSLER werden ebenfalls oft Verbesserungen der Operationsresultate durch eine nach basal ausgefahrenen Saitenelektrode erhalten. Auch hier bietet wiederum die Anwendung einer Stromart, mit zusätzlichem Stimulationseffekt eine gewisse Sicherung, indem ein Tangieren des Tractus opticus beim Patienten sofort visuelle Sensationen (Blitz, Farben usw.) hervorruft und die Koagulation dann rechtzeitig unterbrochen werden kann.

Die mannigfaltigen Erfahrungen mit der Pallidotomie beim Parkinsonsyndrom, die im Laufe der letzten Jahre an verschiedenen Kliniken gewonnen werden konnten, haben gezeigt, daß diese Eingriffe eine wesentliche Erweiterung der therapeutischen Möglichkeiten auf diesem Gebiete darstellen. Aus allen Berichten geht jedoch hervor, daß der Erfolg nicht immer voraussehbar, manchmal auch nicht anhaltend ist und besonders,

daß der Tremor durch diese Eingriffe bedeutend schlechter beeinflußbar ist als der Rigor. An der hiesigen Klinik wird deshalb seit Jahren, nach dem Vorschlag von HASSLER (HASSLER u. RIECHERT 1954, HASSLER 1956) bei vorherrschendem Tremor statt der Pallidotomie die Thalamotomie ausgeführt. Dabei soll der Nucleus ventralis oralis anterior thalami (V.o.a.) mit seinen pallidären Afferenzen und der Nucleus ventralis oralis posterior (V.o.p.) mit seinen cerebellären Afferenzen über die Brachia conjunctiva ausgeschaltet werden. Diese Kerne projizieren bekanntlich zu den motorischen und prämotorischen Rindenfeldern (HASSLER 1949, 1956, FREEMAN and WATTS 1947, WALKER 1938). Statt der früher gehabten Pyramidenbahnunterbrechung wird der motorische Cortex durch diese Eingriffe eines Teiles seiner afferenten erregenden Zuflüsse beraubt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß speziell die Koagulation des V.o.p. den Tremor oft schlagartig zum Verschwinden bringt. Ein anatomo-radio-
logischer Vergleich auf breiter Basis dieses patho-physiologisch sehr interessanten Zielpunktes ist zur Zeit noch nicht angezeigt, da unseres Wissens außer der hiesigen Klinik einzig noch COOPER (1958, 1959) über Ausschaltungen in diesem Gebiet berichtet hat.

Zusammenfassung

Durch die Aufstellung eines radiologisch ausmeßbaren ventrikulären Bezugssystems werden präzise Angaben über den Zielpunkt der Pallidotomie ermöglicht. Das Bezugssystem, das in mehreren hundert stereotaktischen Eingriffen an der hiesigen Klinik erprobt wurde, ist so beschaffen, daß Pallidotomien verschiedener Arbeitsgruppen mit verschiedenen Methoden zu diesem in Beziehung gesetzt werden konnte. Durch die Umrechnung der verschiedenen Angaben auf ein gemeinsames Korrelationssystem wurde es möglich, die verschiedenen Zielpunkte und Ausschaltungsherde miteinander direkt zu vergleichen. Zur besseren Übersicht wurden die verschiedenen Methoden zeichnerisch festgehalten. Dieser anatomo-radiologische Vergleich soll als Basis dienen, um ein größeres Krankengut einer gemeinsamen therapeutischen und patho-physiologischen Betrachtung zu unterziehen. Die verschiedenen Vorgehen und die Lage der Ausschaltungsbezirke innerhalb des Pallidums und in Beziehung zu angrenzenden Strukturen wurden vergleichend diskutiert.

Literatur

- BAIRD, H. W., M. CHAVEZ, J. ADAMS, H. T. WYCIS and E. A. SPIEGEL: Studies in Stereoencephalotomy VII. Topical relationships of subcortical structures to the posterior commissure. *Confin. neurol.* (Basel) **17**, 288—299 (1957). — BERTRAND, C. M.: A pneumotaxic technique for producing localized cerebral lesions and its use in the treatment of Parkinsonian's disease. *J. Neurosurg.* **15**, 251—264 (1958). — COOPER, I. S.: The neurosurgical alleviation of Parkinsonism. Springfield, (Ill.): Charles C. Thomas, 1956. — Chemopallidectomy and Chemothalamectomy for Parkinsonism and Dystonia. *Proc. roy. Soc. Med.* **52**, 47—60 (1959). — COOPER,

I. S., and G. BRAVO: Chemopallidectomy and Chemothalamectomy. *J. Neurosurg.* **15**, 244—250 (1958). — COOPER, I. S., and N. POLOUKHINE: Chemopallidectomy: A neurosurgical technique useful in geriatric parkinsonians. *J. Amer. Geriat. Soc.* **3**, 839—859 (1955). — The Globus pallidus as a surgical target. *J. Amer. Geriat. Soc.* **4**, 1182—1207 (1956). — COOPER, I. S., N. POLOUKHINE and A. MORELLO: Surgical alleviation of Parkinsonism. *J. Amer. med. Ass.* **160**, 1444—1447 (1956). — FREEMAN, W., and J. W. WATTS: Retrograde degeneration of thalamus following prefrontal lobotomy. *J. comp. Neurol.* **86**, 65—93 (1947). — GUIOT, G., et S. BRION: Traitement neuro-chirurgical des syndromes choréo-athétosiques et parkinsonien. *Sem. Hôp. Paris* **28**, 2095—2099 (1952). — Traitement des mouvements anormaux par la coagulation pallidale. Technique et résultats. *Rev. neurol.* **89**, 578—580 (1953). — La chirurgie pallidale dans les dyskinésies. *Sem. Hôp. Paris* **31**, 1838 bis 1845 (1955). — HASSSLER, R.: Über die afferenten Bahnen und Thalamuskerne des motorischen Systems des Großhirns. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **182**, 759—818 (1949). — Extrapiramidal motorische Syndrome und Erkrankungen. *Hdb. d. inneren Medizin*, 676—904. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953. — Die extrapiramidalen Rindensysteme und die zentrale Regelung der Motorik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **175**, 233—258 (1956). — HASSSLER, R., u. T. RIECHERT: Indikationen und Lokalisationsmethode der gezielten Hirnoperationen. *Nervenarzt* **25**, 441—447 (1954). — Über die Symptomatik und operative Behandlung der extrapiramidalen Bewegungsstörungen. *Med. Klin.* **53**, 817—824 (1958). — HORSLEY, V., and R. H. CLARKE: The structure and functions of the cerebellum examined by a new method. *Brain* **31**, 45—124 (1908). — LEKSELL, L.: A stereotaxic Apparatus for intracerebral surgery. *Acta chir. scand.* **99**, 229—233 (1949). — LEKSELL, L.: Gezielte Hirnoperationen. *Hdb. d. Neurochirurgie*. Bd. 6, 178—199. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1957. — LISTER, W. G., and S. L. SHERWOOD: A lightweight stereotaxic instrument. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **7**, 311—314 (1955). — MEYERS, R.: Surgical procedure for postencephalitic tremor with notes on the physiology of premotor fibers. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago)* **44**, 455—457 (1940). — Surgical interruption of the pallidofugal fibers; its effect on the syndrome of paralysis agitans and technical considerations in its application. *N.Y. St. J. Med.* **42**, 317—325 (1942). — The modification of alternating tremor, rigidity and festination by surgery of the basal ganglia. *Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis.* **21**, 602—665 (1942). — MINKOWSKI, M.: Zur Kenntnis des Verlaufs, der Verbindungen und des Aufbaus der extrapiramidalen Bahnen, besonders in ihren Beziehungen zum Vestibularapparat im Zusammenhang mit physiologischen Versuchen von W. R. HESS. *Schweiz. Arch. Neurol. Psychiat.* **51**, 99—138 (1942). — NARABAYASHI, H., and T. OKUMA: Procaine-Oil Blocking of the Globus pallidus for the treatment of rigidity and tremor of Parkinsonism. *Proc. Jap. Acad.* **29**, 134—137 (1953). — Some contemplations on the role of the Globus pallidus in Parkinsonism. *Brain and Nerve* **6**, 157—161 (1955). — NARABAYASHI, H., T. OKUMA and S. SHIKIBA: Procaine-Oil Blocking of the Globus pallidus. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago)* **75**, 36—48 (1956). — OBRADOR, S.: Tratamiento quirúrgico de la enfermedad de Parkinson y otras disquinesias por operaciones subcorticales. *Anal. Acad. nac. Med.* **74**, 303—323 (1957). — OBRADOR, S., y G. DIERSSEN: Cirugía de la región pallidal en el síndrome de Parkinson. Técnica personal y resultados inmediatos en los seis primeros casos operados. *Rev. clin. esp.* **61**, 229—237 (1956). — PAPEZ, J. W.: A summary of fiber connections of the basal ganglia with each other and with other portions of the brain. *Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis.* **21**, 21—68 (1942). — RANSON, S. W., and W. RANSON: Pallidofugal fibers in monkey. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago)* **42**, 1059—1067 (1939). — REICHENBACH, W.: Persönl. Mitteilung über die Methode von LEKSELL (1959). — RÉMOND, A., R. HOUDART, R. LECASBLE,

M. DANDEY et P. AUBERT: Recherches sur l'approche stéréotaxique des structures pallidales et sur l'exploration de leurs voies d'abord. Rev. neurol. **99**, 355—384 (1958). — RIECHERT, T.: Stereotaktische Operationen bei Bewegungsstörungen. Dtsch. Z. Nervenheilk. **175**, 511—519 (1956). — 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“, in Atlas des menschlichen Gehirns, von G. SCHALTENBRAND, P. BAILEY Textband 427—459. Stuttgart: Thieme 1959. — RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Über ein neues Zielgerät zur intrakraniellen elektrischen Ableitung und Ausschaltung. Arch. Psychiat. Nervenkr. **186**, 225—230 (1951). — Die technische Durchführung von gezielten Hirnoperationen. Arch. Psychiat. Nervenkr. **190**, 297—316 (1953). — SPIEGEL, E. A., H. T. WYCIS, M. MARKS and A. J. LEE: Stereotaxic apparatus for operations on the human brain. Science **106**, 349—350 (1947). — SPIEGEL, E. A., and H. T. WYCIS: Stereoencephalotomy (Thalamotomy and related procedures) Part I Methods and stereotaxic atlas of the human brain. New York: Grune & Stratton 1952. — Ansotomy in Paralysis agitans. Trans. Amer. Neurol. Ass. **78**, 178—183 (1953). — Ansotomy in Paralysis agitans. Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago) **71**, 598—614 (1954). — Stereoencephalotomy. Principles and methods. Premier congrès international de neurochirurgie. 91—118 Ed. Acta Medica Belgica, Brüssel: 1957. — SPIEGEL, E. A., H. T. WYCIS and H. W. BAIRD: Studies in Stereoencephalotomy I. Topical relationships of subcortical structures to the posterior commissure. Confin. neurol. (Basel) **12**, 121—133 (1952). — TALAIRACH, J.: Les explorations radiologiques stéréotaxiques. Rev. neurol. **90**, 556—584 (1954). — Chirurgie stéréotaxique du thalamus. VI^e Congrès Latino-américain Neurochir. 865—925 Montevideo 1955. — TALAIRACH, J., J. AJURIAGUERRA et M. DAVID: Etudes stéréotaxiques des structures encéphaliques profondes chez l'homme. Presse méd. **28**, 605—609 (1952). — TALAIRACH, J., M. DAVID, P. TOURNOUX, H. CORREDOIR et T. KVASINA: Atlas d'anatomie stéréotaxique. Repérage radiologique indirect des noyaux gris centraux des régions mesencéphalo-sousoptique et hypothalamique de l'homme. Paris: Masson & Cie., Ed. 1957. — WALKER, A. E.: The primate thalamus. University of Chicago Press. (Ill.) 1938. — WYCIS, H. T., and E. A. SPIEGEL: Treatment of certain types of Chorea, Athetosis and Tremor by Stereoencephalotomy. J. int. Coll. Surg. **25**, 202—207 (1956).

Dr. A. Lévy, Basel (Schweiz), Gotthelfstr. 98