

Aus der Neurochirurgischen Universitätsklinik Freiburg im Breisgau
(Direktor: Prof. Dr. T. RIECHERT)

Der operative Zugangsweg bei stereotaktischer Pallidotomie mit encephalographischen und klinischen Untersuchungen zur Bestimmung einer optimalen Winkelposition der Elektrode

Von
P. POTTHOFF und F. MUNDINGER

Mit 6 Textabbildungen

(Eingegangen am 6. August 1960)

Mit dem stereotaktischen Verfahren zur symptomatischen Therapie extrapyramidaler Bewegungsstörungen, im besonderen des Parkinsonismus, haben wir bei einer Gesamtzahl von 1082 (5. 8. 1960) stereotaktischen Operationen in 463 Fällen eine umschriebene Destruktion im Pallidum internum (= GPI), in 367 Fällen im oralen Ventralkern des Thalamus (nach HASSLER) ausgeführt (RIECHERT u. MUNDINGER, zusammen mit HASSLER^{4-11,14-25}).

Unser Vorgehen besteht in der Befestigung des Zielgerätes^{22,25} am Schädel des Patienten. Von dessen Zielbügel aus wird die starre, gerade Sonde durch ein parasagittal, im Bereich der Stirn-Haargrenze gelegenes, kleines Trepanloch bis an den präoperativ festgelegten Zielpunkt im Läsionssubstrat vorgeschoben. Die exakte Lage der Sondenspitze im Zielpunkt wird durch orthograde Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen, durch Reiz- und EEG-Ableitungen überprüft. Nach dieser Kontrolle wird mit dem Hochfrequenzstrom das Zielsubstrat ausgeschaltet. Neben dieser Elektrokoagulation benutzen wir in besonderen Fällen Radio-Isotopen oder/und zusätzlich mechanische Dissektion zur Ausschaltung des Zielsubstrates.

Es ergab sich bei diesem Vorgehen für uns die operationstechnische Fragestellung, ob sich für den Zugangsweg zum Globus pallidus internus eine optimale Winkleinstellung der Penetrationsachse der Elektrosonde bei stereotaktischer Pallidotomie aufstellen läßt. Unsere Untersuchungen erstrecken sich auf ein früheres Kollektiv Parkinson-kranker Patienten, die in den Jahren 1956 bis Mitte 1958 operiert wurden. Die erhobenen Befunde dieser Untersuchungen haben wir in der Folgezeit in unserer Methodik bei stereotaktischer Pallidotomie berücksichtigt. Wir konnten dadurch die klinischen Resultate verbessern und unbeabsichtigte Nachbarschaftsiritationen weitgehend vermeiden.

Wir untersuchten aus dem oben genannten Zeitraum an einem Kollektiv von 92 ausgewählten Pallidotomien die stattgehabten Winkellagen

der Elektrosonde, die operativen Besserungseffekte und die operativen Nebeneffekte in ihrer Zuordnung zur anatomischen Struktur des GPI.

Die Winkellage der Elektrosonde ist durch Messung in zwei senkrecht aufeinanderstehenden Ebenen determinierbar. Diese Ebenen sind gegeben durch die antero-posteriore (medio-sagittale) und die laterale Röntgenaufnahme des Schädels, die vor der Koagulation bei liegender Sonde zur Bestätigung exakter Nadellage — d.i. Sondenspitze im präoperativ festgelegten Zielpunkt — ausnahmslos hergestellt werden. *Im ant.-post Röntgenogramm* wurde der Winkel zwischen Elektrosonde und einer, durch den Zielpunkt im GPI gelegten Vertikalen gemessen; *im lateralen Röntgenogramm* der spitze Schnittwinkel von Elektrosonde und Basislinie* bzw. deren Verlängerung. Diese Winkellagen wurden in unser methodisches Vorgehen einbezogen, mit dem wir die individuellen Durchdringungszonen der Elektrosonde in einem lateralen Projektionsbild des GPI rekonstruierten und die einzelnen Koagulationsorte zu operativen Besserungseffekten¹¹ und zu operativen Nebeneffekten (siehe unten) in Vergleich setzen konnten.

Die operativ-klinische Absicht jedes stereotaktischen Eingriffes zielt auf optimalen Besserungseffekt bei minimaler Hirnläsion. Diese Absicht analysiert sich bei stereotaktischer Pallidotomie zur Therapie des Parkinsonismus in drei, voneinander abhängige Fragestellungen:

1. In welchem Ausmaß muß der GPI anatomisch destruiert werden, um einen zufriedenstellenden Besserungseffekt zu erreichen?
2. Welche Möglichkeiten bestehen zur Vermeidung von Nachbarschaftsreaktionen in angrenzenden Substraten bei dieser Läsion im GPI?
3. Wie sollte — unter Abwägung der vorstehenden Gesichtspunkte — schließlich die Elektrosonde von der Hirnperipherie her in den GPI eingebracht werden?

1. Anatomie der pallidären Destruktion

Bei der Frage nach dem Ausmaß der anatomischen Destruktion im GPI interessiert hier zunächst ausschließlich dessen Struktur ohne Berücksichtigung angrenzender Hirngebiete.

Wir konnten in einer früher in dieser Zeitschrift dargelegten, korrelierenden encephalographisch-klinischen Untersuchung (MUNDINGER u. POTTHOFF 1960¹¹) die Annahme (VOGT, HASSLER u. RECHERT) einer somato-topischen Gliederung des GPI bestätigen und diese vom funktionellen Besserungseffekt der Rigorlösung bei stereotaktischer Pallidoto-

* *Basislinie*. Lineare Verbindung zwischen den — im lateralen Encephalogramm dargestellten — Markierungen des hinteren, unteren Randes der übereinanderprojizierten Foramina Monroi und der Commissura posterior. Auf der Basislinie werden die Referenzkoordinaten der horizontalen und vertikalen Dimension für die Zielpunktbestimmung aufgebaut.

mie her umreißen. Wir fanden in den vordersten Anteilen des GPI die Repräsentation der Hals-Kopf-Muskulatur, in der frontalen Hälfte des GPI die Repräsentation der oberen, in der caudalen Hälfte die Repräsentation der unteren Extremität (Abb. 1). Damit in Übereinstimmung steht die klinische Erfahrung, daß eine Beeinflussung der Parkinson-Symptomatik, sofern sie sich ausgeprägt über das gesamte Körperschema Kopf, Arm, Bein erstreckt, eine Läsion des gesamten betreffenden GPI für die kontralaterale Körperhälfte erfordert. Wir wissen jedoch gleichzeitig, daß eine beidseitige Pallidotomie erhebliche Gefahren birgt^{2,6,19}, und beschränken daher die totale GPI-Läsion auf die *einseitige*

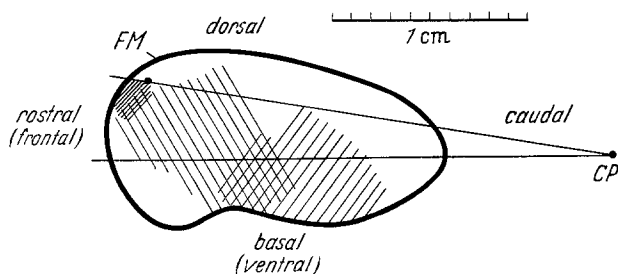


Abb. 1. Schematische Darstellung der Bezirke isolierter Rigorlösung bei gestufter stereotaktischer Pallidotomie im lateralen Projektionsbild des GPI. FM — CP Strecke der Basislinie
 ▨ Kopf; ▤ Arm; ▧ Bein

Pallidotomie, die zweckmäßig jeweils für die besonders vom Rigor schwerer betroffene Körperhälfte im kontralateralen GPI erfolgt. Bei ausgeprägter beidseitiger Parkinson-Symptomatik ist es seit Jahren unser gebräuchliches Vorgehen, zweiseitig durch Pallidotomie für die eine und Thalamotomie im oralen Ventralkern (nach HASSLER) für die andere Körperseite eine beidseitige symptomatische Besserung herbeizuführen. Für die Fälle, in denen die Parkinson-Symptomatik auf beiden Körperseiten lediglich einzelne Abschnitte des Körperschemas erfaßt hat, haben wir in Einzelfällen unter Beachtung der Somatotopik des GPI durch beidseitige Teilläsion des GPI (partielle, nicht symmetrische Pallidotomie) allein bzw. durch Thalamotomie im oralen Ventralkern kombiniert mit seitengleicher partieller Pallidotomie, optimale Besserungseffekte erzielen können.

In vielen Fällen jedoch überwiegt bei Parkinson-Kranken die Symptomatik einer Körperhälfte; das Körperschema Kopf, Arm, Bein ist dabei meistens annähernd gleichmäßig betroffen. Daher bleibt es — abgesehen von den obigen Destruktionsindikationen — derzeitiges Ziel der stereotaktischen Pallidotomie, bei ausgeprägter Parkinson-Symptomatik die anatomische Struktur des kontralateralen GPI so vollkommen wie möglich zu zerstören. Die Verwirklichung dieser Absicht verlangt für jede der

angewendeten Läsionstechniken eine überlegte Abstimmung auf die anatomische Struktur des GPI.

Der Globus pallidus internus ist ein etwa mandelgroßes, ähnlich geformtes Gebilde von ca. 17 mm Längenausdehnung. Er ist an seinem rostralen Ende kolbenförmig aufgetrieben und verjüngt sich in caudaler Richtung. Ein Frontalschnitt durch die caudale Hälfte des GPI zeigt „Tropfenform“, d.h. die Breite des GPI ist hier basal größer als dorsal. Wichtig ist die Einstellung des GPI zur Mittelsagittalebene des Gehirnes: Seine Längenausdehnung liegt dieser nicht parallel. Das rostrale Ende des GPI ist der Mittelsagittalen auf ca. 10 mm angenähert, sein caudales Ende ca. 18 mm von dieser entfernt: Dieser rostral-caudale Schrägverlauf des GPI in bezug auf die Mediosagittale entspricht topographisch-anatomisch durchschnittlich einem Winkel von 35°.

Dieser anatomischen Situation des GPI muß die Läsionstechnik Rechnung tragen. Bei unserer Methodik der „gestuften Koagulation“ wird die von frontal her in das Gehirn eingebrachte Sonde so placiert, daß die (2 oder 4 mm) isolationsfreie Sondenspitze exakt am präoperativ festgelegten Zielpunkt im vorderen Drittel des GPI zentriert ist. Diese gerade Sonde wird dann gestuft, d.h. in Millimeterabständen, vorgeschoben bzw. zurückgezogen (Durchdringungszone der Elektrosonde), und an den einzelnen Punkten mit einem hochfrequenten, in den letzten Jahren ungedämpften sinusförmigen Strom beschickt, wobei neuerdings eine gleichzeitige Kontrolle der Koagulationstemperatur an der Sondenspitze vorgenommen wird (MUNDINGER, RIECHERT, GABRIEL 1960). Es entsteht so ein „Nekrosenkorridor“ geradlinig hintereinander gelagerter Läsionen, dessen Verlauf in der Penetrationsachse der Elektrosonde liegt. Bei einem Durchmesser der Sondenspitze von 2 mm und Verwendung eines hochfrequenten, ungedämpften sinusförmigen Stromes beträgt — nach Tierversuchen und autoptischen Befunden* — der Nekrosenradius ca. 3 mm. Die *gesamte* Destruktion bei stereotaktischer Pallidotomie unserer Methodik hat damit die Form eines Zylinders von ca. 6 mm \varnothing und einer Länge, die die pallidäre Durchdringungszone der Elektrosonde am dorsalen Ende dieser Durchdringungszone um ca. 1 mm, am frontalen Ende um 3 bzw. 5 mm (je nach Länge der isolationsfreien Sondenspitze) überragt. Dabei verstehen wir unter Durchdringungszone diejenige Strecke in Millimetern, über die die Sondenspitze im Läsionssubstrat vorgeschoben und zurückgezogen wird. Um eine möglichst vollständige Destruktion des GPI zu erreichen, wird es daher operationstechnische Absicht sein, die Penetrationsachse der Sonde so weit wie möglich in der — oben dargestellten — Längenausdehnung des GPI von

* Professor Dr. R. HASSLER, Direktor der neuroanatomischen Abteilung des Max Planck-Instituts für Hirnforschung, Freiburg.

rostral-medial nach caudal-lateral einzurichten, um die Durchdringungszone der Elektrosonde und damit die cylinderförmige Nekrose weitgehend in die anatomische Struktur des GPI einzupassen. Die Möglichkeiten und Hindernisse zur Verwirklichung dieser Absicht werden in der nachfolgenden Diskussion unter 3. dargelegt.

2. Nachbarschaftsreaktionen

Die Längenbegrenzung der Nadeldurchdringungszone und damit der Nekrose ist — bei weitgehender Destruktion des GPI — durch die Forderung gegeben, angrenzende Hirnbereiche nicht unabsichtlich zu schädigen. Von den drei wesentlichen unmittelbaren Nachbarstrukturen des GPI — Globus pallidus externus, Capsula interna, Tractus opticus — ist eine Affektion des Globus pallidus externus nach unseren heutigen Operationserkenntnissen weitgehend irrelevant, ein Vortragen der Nekrose in die Capsula interna und den Tractus opticus von erheblicher klinischer Bedeutung. *Capsula interna und Tractus opticus stellen auf Grund ihrer anatomischen Situation die meistgefährdeten Hirnstrukturen bei stereotaktischer Pallidotomie dar.*

Topographisch-anatomisch liegt der GPI in der Capsula interna von lateral her wie in einem nach medial gerichteten Trichter, in dessen Mündung sich die fronto-mediale Auftreibung des GPI einschmiegt. Die basale Circumferenz dieses „Trichters“ wird im frontalen Bereich dargestellt durch die ansa lenticularis. Im dorso-caudalen Bereich ist sie aufgehoben und gibt hier Raum für eine direkte Nachbarschaftsbeziehung zwischen GPI und Tractus opticus. Dieser unterläuft von fronto-medial herkommend die ansa lenticularis und zieht unter der caudalen Hälfte des GPI in fast unmittelbarem Kontakt zu diesem nach latero-dorsal.

Um eine Läsion dieser Strukturen zu vermeiden, wird es daher operationstechnische Absicht sein, mit der Durchdringungszone der Elektrosonde (und damit dem Nekrosencylinder) diesen Strukturen auszuweichen. Dies macht es notwendig, annähernd die Gefahrenzonen zu umreißen, in denen das Risiko einer solchen Läsion wächst, und die operationstechnischen Umstände auf die Möglichkeit der Vermeidung solcher Nebeneffekte zu untersuchen. Mit einer eigenen, an anderer Stelle beschriebenen¹¹ Methodik haben wir die individuelle Durchdringungszone der Elektrosonde im GPI nach stereotaktischer Pallidotomie rekonstruiert und in einem lateralen Projektionsbild des GPI dargestellt, um operative Besserungseffekte und ebenso operative Nebeneffekte den einzelnen Koagulationsorten in der Struktur des GPI zuzuordnen, speziell die bei der stereotaktischen Pallidotomie aufgetretenen Capsula-interna-Irritationen. Bei diesen schon während der Reizung und während einer Koagulation mit einem nicht sinusförmigen Hochfrequenzstrom (den wir seit 2 Jahren zugunsten eines sinusförmigen ungedämpften Hochfrequenzstromes verlassen haben) auftretenden „Kapseleffekten“ handelt

es sich klinisch um Zuckungen im Bereich der kontralateralen Extremitäten oder/und des Facialis, die von feinen Myoklonien bis zu einer, Sekundenbruchteile dauernden, tonischen Verkrampfung der gesamten betreffenden Körperhälfte führen können. Hiernach trat nach der Koagulation sehr selten eine latente bis apparente Parese ($< 2\%$) auf, die sich jedoch in der Regel wenige Tage post op. völlig zurückbildete.

Als — nicht in jedem Einzelfall abzuklärende — Ursachen dieser Capsula-interna-Irritationen sind zu diskutieren: direktes Eindringen der Sonde in die Capsula interna; Nachbarschaftsreaktionen der Capsula interna, hervorgerufen durch Stromschleifen um die Sondenspitze; thermische Nachbarschaftsreaktionen der Capsula interna; Alteration (Spasmen?) der Capsula-interna-Gefäße, fortgeleitet über einen vaso-vasalen Reflexmechanismus vom Ort der direkten Gefäßschädigung im GPI; collaterales Ödem der Capsula interna.

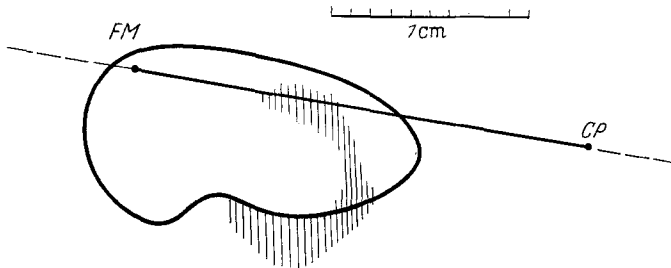


Abb. 2. Schematischer Lagebereich der Kapseleffekte zum lateralen Projektionsbild des GPI. Capsula-interna-Irritationen bei stereotaktischer Pallidotomie finden sich vorzugsweise bei Koagulation im dorsalen Bereich des caudalen GPI sowie im caudo-basalen Grenzbereich des GPI zur inneren Kapsel (schraffierte Zone). FM — CP Strecke der Basislinie

Ohne also in jedem Fall als Ursache eines Kapseleffektes den direkten Kontakt der Sondenspitze mit der Capsula interna anzunehmen, läßt sich in gewissen Grenzen der Risikobereich für gehäufte Kapseleffekte umreißen. In dem Kollektiv von 92 Pallidotomien aus den Jahren 1956 bis Mitte 1958 wurden bei insgesamt 1281 Einzelkoagulationen 36 mal Kapseleffekte registriert. (Die Beobachtung dieser „Kapseleffekte“ war seinerzeit deshalb möglich, weil wir — wie erwähnt — einen hochfrequenten Strom ohne ungedämpfte Sinus-Wellenform [Funkenstreckenkoagulator] verwendeten. Bei den später durchgeführten Koagulationen war infolge der Reizfreiheit des Stromes diese Beobachtung nicht mehr möglich.)

Die Zuordnung dieser Kapseleffekte zu unserem lateralen Projektionsbild des GPI zeigt Abb. 2. In strichförmiger Markierung ist dieser Bereich gehäufter Kapseleffekte schematisch dargestellt. Dieser Risikobereich der Kapseleffekte ist hufeisenförmig, mit Aussparung der gesamten frontalen Hälfte und der basalen (ventralen) Anteile der caudalen Hälfte des GPI. Diese Anteile des GPI weisen eine genügende substantielle

Dicke auf („Kolbenform“ des frontalen GPI, „Tropfenform“ des caudalen GPI), um der durch die Sonde gesetzten Nekrose von ca. 6 mm \varnothing innerhalb der anatomischen Grenzen des GPI Raum zu gewähren. Der dorsale Bereich des caudalen GPI ist jedoch schmaler, so daß hier bei einer Koagulation mit gleicher Elektrodenoberfläche eine Irritation der Capsula interna zustandekommen kann. Im basalen (ventralen) Grenzbereich des GPI besteht wiederum die unmittelbare Nachbarschaft der Capsula interna („Trichterform“). Die Lage und Gestalt des Risikobereiches für Capsula-interna-Irritationen erklärt sich somit schlüssig aus der anatomischen Beziehung zwischen GPI und innerer Kapsel.

Als zweites, bei der Pallidotomie gefährdetes Nachbargewebe des GPI wurde der Tractus opticus erwähnt. Die Irritation dieser Struktur ist anatomisch nur lateral im basal-caudalen Grenzbereich des GPI möglich, d.h. bei einer stark von medio-frontal nach latero-caudal gerichteten Penetrationsachse der Elektrosonde. (Wir konnten zu diesen Gesichtspunkten einige markante Einzelfälle darstellen¹³, auf deren Wiedergabe an dieser Stelle verzichtet wird.)

3. Optimale Winkeleinstellung und Durchdringungszone der Elektrosonde bei stereotaktischer Pallidotomie

Wir betonten unter 1., daß diese Durchdringungszone so weitgehend wie möglich dem anatomischen Verlauf des GPI von frontal-medial nach caudal-lateral angepaßt werden sollte, um die anatomische Struktur und damit die somato-topische Repräsentation des Körperschemas im GPI voll zu erfassen. Diese „ideale“ Einstellung in einem nach dorsal offenen Winkel von annähernd 35° zur Mediosagittalen des Gehirnes — d.h. derart, daß die Penetrationsachse der Elektrosonde in die normale Schräglage und anatomische Längenausdehnung des GPI eingestellt wird — vorzunehmen, ist jedoch deshalb nicht möglich, da in diesem Fall der frontale Zugangsweg von der Gegenseite her erfolgen müßte. Dabei läge die Penetrationsachse der Elektrosonde in riskanter Nachbarschaft des Sinus sagittalis inferior, des Fornix und der Commissura anterior. Ein occipitaler Zugangsweg von der gleichen Seite, bei dem die Elektrosonde in Richtung der anatomischen Längenausdehnung des GPI von dorsal her in diesen eingebracht und entsprechend in einem Winkel von 35° zur Mediosagittalen des Gehirnes vorgeschoben wird, birgt ähnliche Gefahren: Tentorium-Läsion, Eröffnung des Seitenventrikels in Nähe des Plexus chorioideus und ebenfalls Läsion des Fornix bzw. der fimbriae fornicis. Es verbleibt daher, daß eine optimale Nadellage für stereotaktische Elektrokoagulation im GPI mit gerader Elektrosonde sich der anatomischen Längenausdehnung des GPI so weit anzunähern hat, wie dies bei einem komplikationsarmen, gleichseitigen frontalen Zugangsweg und geringster Beteiligung der Nachbarstrukturen des GPI

möglich ist. In unserer Methodik benutzten wir bisher ausschließlich den gleichseitigen, frontalen Zugangsweg.

Zur Frage des Zugangsweges verweisen wir auch auf die Techniken von GUIOT, TALAIRACH u. OBRADOR. GUIOT¹ erreicht den GPI von gleichseitig occipito-dorsal unter Durchstoßung der Capsula interna. Ein gleichseitiger temporaler Zugangsweg, wie er von TALAIRACH²⁷ und ebenfalls von OBRADOR¹² angegeben wurde, führt bei Penetration der dominanten Hemisphäre in die Nachbarschaft der temporalen Sprachzentren.

Die Lage der in der gleichseitigen Hirnhälfte geführten Elektrosonde hat aber zu berücksichtigen:

a) die anatomische Struktur des GPI: Um diese weitgehend zu erfassen, sollte die Sonde möglichst nahe dem Sinus sagittalis superior von frontal her in die Tiefe vordringend so eingeführt werden, daß sie im vorderen Drittel auf die laterale Hälfte des GPI trifft, um dann, dem anatomischen „Gefälle“ des GPI folgend, diesen zu penetrieren.

b) die Vermeidung von Capsula-interna-Effekten: Dazu sollte die Sonde die frontale Hälfte des GPI so durchdringen, daß sie beim Verschieben nach caudaler Richtung flach in den basalen Anteilen des GPI verläuft.

c) die Vermeidung einer Tractus-opticus-Läsion: Zu diesem Zweck darf der Verlauf der Nadel weder zu steil noch zu stark von fronto-medial nach caudal-lateral ausgerichtet sein.

Die *optimale Winkelposition*, die wir unter Berücksichtigung dieser Forderungen auf Grund der encephalographischen Messungen und der Zusammenschau der klinischen Befunde festgestellt haben, ergibt in konkreten Winkelwerten ausgedrückt:

Für den im *ant.-post. Röntgenogramm* zu messenden Winkel zwischen Elektrosonde und Sagittalebene durch den Zielpunkt im vorderen GPI 0–5° *Medialabweichung*, für den im *lateralen Röntgenogramm* zu messenden spitzen Winkel zwischen Elektrosonde und Basislinie bzw. deren Verlängerung *annähernd 20°*.

Diese optimale Winkelposition der Elektrosonde bei stereotaktischer Pallidotomie muß — *unter Betonung einer jeweiligen individuellen Zielpunktberechnung* — auf eine annähernd genau umrissene Normlage des Zielpunktes im GPI bezogen werden. Dieser liegt in unserem Modellgehirn — dessen Maße in die individuelle Zielpunktberechnung einbezogen werden²² — 5 mm hinter dem Foramen Monroi (entlang der Basislinie), mindestens 3, gewöhnlich 4 mm senkrecht unterhalb der Basislinie. Der senkrechte Lateralabstand zum 3. Ventrikelrand beträgt 17 mm. Ein Vorgehen von diesem Zielpunkt aus gestattet, unter der angegebenen Winkelposition der Elektrosonde, eine Ausdehnung der Nadeldurchdringungszone von –2 mm bis +5 mm [bezogen auf die Verschiebung der 4 mm blanken Elektroden-Spitze, bei der der Nekrosenzylinder bis mindestens 4 mm, in der Regel 5 mm hinter die Spitze

zurückreicht. In diesem Falle beträgt die Gesamtausdehnung des Nekrosencylinders ca. 12 mm, von + 6 mm (caudal vom Zielpunkt) bis - 6 mm (frontal vom Zielpunkt). Bei Verwendung einer 2 mm blanken Elektrodenspitze vergrößert sich die Durchdringungszone nach frontal um 2 mm, d. h. auf - 4 mm (frontal vom Zielpunkt) bis + 5 mm (caudal vom Zielpunkt)]. Der bei einer solchen Durchdringungszone entstehende „Nekrosenkorridor“ verbleibt mit großer Sicherheit innerhalb der Struktur des GPI und gewährleistet eine ausreichende Läsion des GPI mit einem optimalen klinischen Effekt, wie unsere Operationserfahrungen bei den letzten 250 Pallidotomien bestätigt haben.

Wir betonen jedoch, daß uns die hier dargelegte Durchdringungszone hauptsächlich Anhalt für unser operationstechnisches Vorgehen ist, den maßgeblichen Gesichtspunkt für dieses Vorgehen jedoch in jedem Einzelfall der erreichte klinische Besserungseffekt darstellt. Falls dieser nach Elektrokoagulation über die angegebene Durchdringungszone nicht ausreichend erscheint, vergrößern wir in Einzelfällen mit Sonden von geringerer Elektrodenoberfläche (2 mm blanke Sondenspitze) die Durchdringungszone um weitere 1—2 mm unter laufender Reizkontrolle der Struktur vor der Ausschaltung, zum Zwecke der Vermeidung einer irreparablen Tractus-opticus- oder Capsula-interna-Schädigung.

Die Abb. 3, 4 und 5 zeigen schematisch die Lage der Nadeldurchdringungszone bei der oben angegebenen, optimalen Winkelposition (für 4 mm blanke Elektrodenspitze), in ihrer Projektion, und zwar bei der Abb. 3 in die Grenzen des lateralen Projektionsbildes des GPI (entsprechend der Projektion im lateralen Schädelröntgenogramm), bei der Abb. 4 in die Frontalebene (entsprechend der Projektion im ant.-post. Schädelröntgenogramm) und bei der Abb. 5 in die Horizontalebene. Die Nadeldurchdringungszone ist als durchbrochene Linie gezeichnet, der Zielpunkt (*Zp*) als Querstrich auf dieser Linie markiert. In Abb. 3 beträgt der — im lateralen Schädelröntgenogramm zu messende — Einfallswinkel der Elektrosonde zur Basislinie 20°. Die Abb. 4 zeigt als Punkte-Linie die Projektion der Grenzen des GPI in die Frontalebene. Hierbei ist zu beachten, daß der GPI lediglich in seinem frontalen Bereich die Dicke aufweist, die die Größe seiner Projektion in die Frontalebene bedingt. In der caudalen Hälfte ist der GPI wesentlich schmaler; wir haben daher den Frontalschnitt des GPI in diesem Bereich als durchgezogene Linie hervorgehoben. Die Abb. 5 zeigt zur weiteren Veranschaulichung die Projektion des GPI auf die Horizontalebene. In dieser Richtung stellen wir kein Röntgenbild des Schädels her, da die räumliche Situation durch Aufnahmen in zwei, senkrecht zueinanderstehenden Ebenen voll erfaßt wird, und alle Beziehungen für eine evtl. Horizontalprojektion sich aus dem lateralen und ant.-post. Röntgenbild ableiten lassen. Durch geometrische Konstruktion ermittelten wir den

Einfallswinkel der Elektrodensonde in der horizontalen Projektion mit angenähert $2,5^\circ$ nach medial (bei 5° und 20° Winkeleinstellung der Elektrosonde in den anderen Projektionsebenen). In dieser Projektion

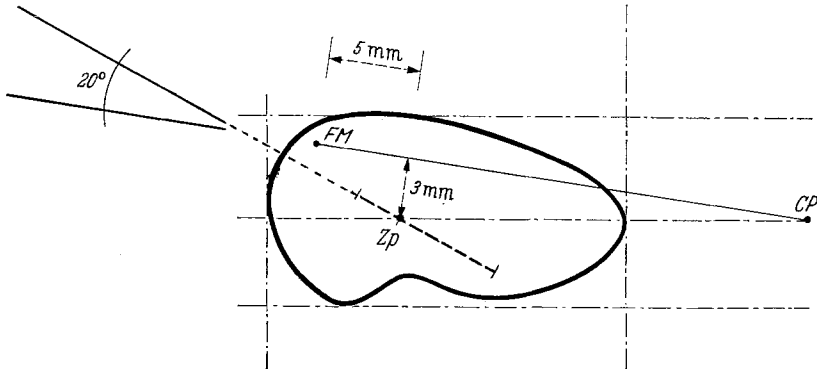


Abb. 3. Laterale Projektion des GPI. *FM*—*CP* Strecke der Basislinie: Foramen Monroi-Commissura posterior, *Zp* Standardzielpunkt an unserem Modellgehirn, dessen Maße (5 mm hinter dem Foramen Monroi; mindestens 3, gewöhnlich 4 mm unterhalb der Basislinie) in die individuelle Zielpunktberechnung einbezogen werden. 20° = Optimale Winkelposition der Elektrosonde zur Basislinie in lateraler Projektion

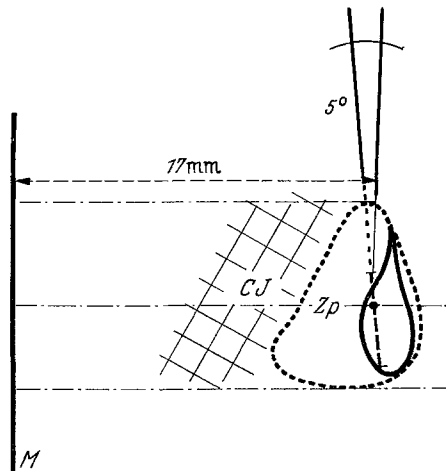


Abb. 4. Antero-posteriore, schematische Projektion des GPI (Punkte-Linie). Schmäler caudaler Bereich des GPI als durchgezogene Linie. *Zp* Zielpunkt (siehe Legende zu Abb. 3) 17 mm lateral des 3. Ventrikelrandes; *M* Mediosagittale des Gehirnes; *CJ* Capsula interna; 5° = Optimale Winkelposition der Elektrosonde in ant.-post. Projektion

zeigt sich aber deutlich die enge Nachbarschaft der Nadeldurchdringungszone zur Capsula interna bei Koagulation im caudalen GPI, ohne daß jedoch die innere Kapsel durch die Nadel erreicht wird. Weiterhin zeigt diese Projektion, daß der mediale Grenzbereich der rostralen Auftriebung des GPI wegen seines Abstandes zur Nadeldurchdringungszone

möglicherweise bei Koagulation mit der geraden Elektrosonde nicht ausreichend lädiert wird. Hier nehmen wir daher bei klinisch nicht ausreichendem Besserungseffekt — speziell im Arm-Schulter-Gesichtsbereich und in Fällen grober Sprachbehinderung — eine Anwendung der Saitenelektrode* nach medial vor.

Zusammenfassend zeigen diese Projektionsschemata, daß bei Berücksichtigung obiger Winkelposition die Nadeldurchdringungszone

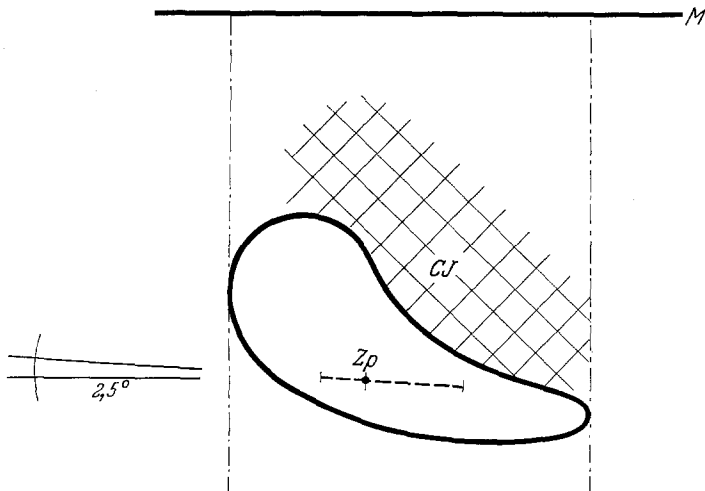


Abb. 5. Schematische Projektion des GPI auf die Horizontalebene. *M* Mediosagittale des Gehirnes; *CJ* Capsula interna; *Zp* Zielpunkt (siehe Legende zu Abb. 3). Die angegebene optimale Winkelposition stellt sich in der horizontalen Projektion als ein nach medio-frontal geöffneter Winkel von ca. 2,5° dar

Abb. 3—5. Darstellung der ermittelten optimalen Winkelposition der Elektrosonde bei gestufter stereotaktischer Pallidotomie. Darstellung der entsprechenden Durchdringungszone für eine Elektrosonde mit 4 mm isolationsfreier Spitze: Vom Zielpunkt (*Zp*) im vorderen Globus pallidus internus Vorschieben der Sondenspitze nach caudal bis +5 mm und Zurückziehen nach frontal bis —2 mm vom Zielpunkt. (Bei Elektrokoagulation mit 2 mm blanker Elektrode ist — wegen der geringeren retrograden Nekroseausdehnung — ein weiteres Zurückziehen der Sondenspitze auf —4 mm frontal vom Zielpunkt erforderlich.) Bei ungenügendem klinischen Effekt erfolgt in Einzelfällen weiteres Vorschieben einer Sonde mit geringerer Elektrodenoberfläche auf +6 (+7) mm caudal vom Zielpunkt, mit fortlaufender Reizkontrolle vor der Koagulation zur Vermeidung von Capsula-interna- und Tractus-opticus-Schädigungen

1. den GPI in den Bereichen der somato-topischen Repräsentation weitestgehend erfaßt;

2. durch einen geringgradig von der Parasagittalen abweichenden, von fronto-dorso-medial nach caudal-basal-lateral gerichteten Verlauf den Risikobereich für Capsula-interna-Irritationen im dorso-caudalen Bereich des GPI meidet und an der basalen wie medialen Grenze des GPI lediglich in die Nähe der Capsula interna gerät;

* Saitenelektrode (MUNDINGER), die mittels einer ausgefahrenen Metallsaite Koagulationen auch in Bereichen gestattet, die nicht in der Penetrationsachse der gewöhnlichen, starr-geraden Elektrosonde liegen.

3. durch ihre nur geringe Lateralrichtung und flachen Verlauf die Gefahr eines Vordringen an den Tractus opticus in den basal-caudalen Abschnitten des GPI weitgehend gemindert ist.

Die operative Durchführbarkeit dieser optimalen Winkeleinstellung der Elektrosonde bei stereotaktischer Pallidotomie stellt sich bei Erfüllung der Forderungen a) eines, im ant.-post. Röntgenogramm zu messenden Sondeneinfallswinkel von $0-5^\circ$ Medialabweichung der Elektrosonde zur

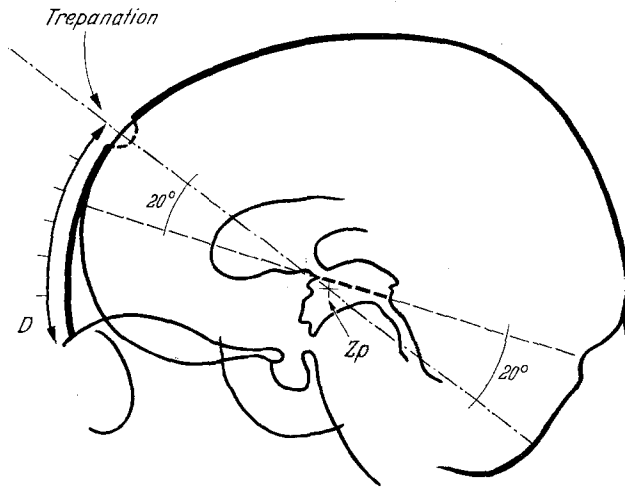


Abb. 6. Lage der Trepanationsöffnung bei gestufter stereotaktischer Pallidotomie. Dicht parasagittal am Sinus sagittalis superior, am Schnittpunkt lamina externa — freier Winkelschenkel (20° zur Basislinie) durch den Zielpunkt im vorderen GPI. D Abstand des oberen Orbitalrandes zum Trepanloch entlang der Schädelkonvexität

Parasagittalen durch den Zielpunkt, b) eines im lateralen Röntgenogramm zu messenden, spitzen Einfallswinkel von annähernd 20° zur Basislinie, wie folgt dar:

a) Das Trepanloch wird so weit wie möglich nach medial an den Sinus sagittalis (longitudinalis) superior herangelegt, ohne das Risiko seiner Läsion einzugehen. Das Urteil, wie weit diese Plazierung nach medial erfolgen darf, trifft der Operateur am Patienten. Mit der „gezielten“ Trepanation in Nadelrichtung (RIECHERT u. MUNDINGER 1959) können wir bis auf 3—4 mm an den Sinusrand herangehen.

b) Außerdem ist das Trepanloch so zu legen, daß die von hier aus vorgeschobene, gerade Elektrosonde in einem Winkel von ca. 20° zur Basislinie den Zielpunkt im vorderen GPI erreicht (Abb. 6). Bei Verwendung des seitengleichen oberen Orbitalrandes als Markierung muß also das Trepanloch in einer bestimmten Entfernung zu diesem, wenig parasagittal der Medianebene, liegen. Dieser Abstand ist einfach zu bestimmen: Sobald im präoperativen Encephalogramm Basislinie und Zielpunkt

markiert sind, wird die Verlängerung der Basislinie nach frontal ausgezogen, vom Zielpunkt im GPI ein Winkel von ca. 20° auf diese verlängerte Basislinie gefällt und der vom Zielpunkt aus die Basislinienebene schneidende, freie Schenkel dieses Winkels nach frontal bis an die Konvexität des Schädels verlängert. Der Schnittpunkt dieses freien Schenkels mit der äußeren Schädelkonvexität (*lamina externa*) wird im Encephalogramm markiert — später liegt hier das Trepanloch — und die Entfernung dieser Markierung bis zum, röntgenologisch sichtbaren, oberen Orbitalrand ausgemessen (Abb. 6: *D*). Diese Messung (die zweckmäßig durch ein, dem Schädel seitengleich parasagittal angelegtes, flexibles, röntgenkontrastierendes Bandmaß erfolgt) ist längs der Konvexität — nicht in geradliniger Verbindung beider Punkte — auszuführen. Die Meßmarkierung des Bandmaßes unterliegt der gleichen Röntgenverzeichnung wie die abgebildeten cranio-cerebralen Strukturen, daher kann bei Verwendung dieses röntgenkontrastierenden Bandmaßes ein direktes Ablesen der Distanz *D* erfolgen. Ohne dieses Bandmaß ergibt rechnerische Korrektur der Röntgenverzeichnung der Distanz *D* deren reale Länge. Sie wird vor der Operation am Schädel des Patienten abgetragen, wobei wiederum der seitengleiche obere Orbitalrand als Ausgangsmarkierung dient. Die praktisch-operative Durchführung wird durch unseren (in dieser Zeitschrift näher beschriebenen²⁴ kombinierten Zielbügel mit Bohraggregat gewährleistet.

Zusammenfassung

Auf Grund von encephalographisch-klinischen Untersuchungen an einem, unter über 1000 stereotaktischen Eingriffen ausgewählten Kollektiv von 92 stereotaktischen Pallidotomien, die zur symptomatischen Therapie des Parkinsonismus durchgeführt wurden, haben wir eine optimale Winkelposition der Elektrosonde bei gestufter Elektrokoagulation des Pallidum internum festgelegt. Unter Berücksichtigung einer ausreichenden pallidären Läsion und zur weitgehenden Vermeidung von Nachbarschaftsreaktionen beträgt diese auf einen Zielpunkt im vorderen Pallidum internum bezogene Winkelposition: 0° bis 5° Medialabweichung der Elektrosonde zur Sagittalebene durch den Zielpunkt, gemessen im antero-posterioren Röntgenogramm, bei einem gleichzeitigen Einfallswinkel von annähernd 20° zur Basislinie: Foramen-Monroi-Commissura posterior, gemessen im lateralen Röntgenogramm. Die operationstechnische Durchführung dieser optimalen Einstellung der Elektrosonde wird dargelegt.

Literatur

- ¹ GUIOT, G.: Le traitement des syndromes parkinsoniens par la destruction du pallidum interne. *Neurochirurgia* **1**, 94—98 (1958).

- ² HARTMANN, K.: Halluzinosen nach doppelseitiger stereotaktischer Operation bei Parkinson-Kranken. Arch. Psychiat. Nervenkr. **199**, 477—486 (1959).
- ³ HARTMANN, K.: Das Parkinson-Syndrom. Basel, New York: Karger 1960.
- ⁴ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Indikationen und Lokalisationsmethode bei gezielten Hirnoperationen. Nervenarzt **25**, 441—447 (1954).
- ⁵ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Klinische Effekte bei Reizung einiger Thalamuskern am Menschen. Nervenarzt **26**, 35—40 (1955).
- ⁶ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Über die Symptomatik und operative Behandlung extrapyramidaler Bewegungsstörungen. Med. Klin. **53**, 817—824 (1958).
- ⁷ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Klinische und anatomische Befunde bei stereotaktischen Schmerzoperationen im Thalamus. Arch. Psychiat. Nervenkr. **200**, 93—122 (1959).
- ⁸ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Wirkungen der Reizungen und Koagulationen in den Stammganglien bei stereotaktischen Hirnoperationen. Nervenarzt (im Druck) (1960).
- ⁹ HENSCHEN C., J. KLINGLER u. T. RIECHERT: Kraniocerebrale Korrelations-topographie thalamo-frontaler Bahnen und gezielte Hirnoperationen. Langenbecks Arch. klin. Chir. **273**, 548—565 (1953).
- ¹⁰ MUNDINGER, F., T. RIECHERT u. E. GABRIEL: Untersuchungen zu den physikalischen und technischen Voraussetzungen einer dosierten Hochfrequenzkoagulation bei stereotaktischen Hirnoperationen. Zbl. Chir. **85**, 1051 (1960).
- ¹¹ MUNDINGER, F., u. P. POTTHOFF: Encephalographische und klinische Untersuchungen zur funktionellen Somatotopik des Pallidum internum bei stereotaktischen Pallidotomien. Arch. Psychiat. Nervenkr. (im Druck) (1960).
- ¹² OBRADOR, S., y G. DIERSSEN: Cirurgia de la region palidal en el sindrome de Parkinson. Rev. clin. esp. **17**, 229—237 (1956).
- ¹³ POTTHOFF, P.: Encephalographische und korrelierende topographisch-klinische Untersuchungen zur stereotaktischen Pallidotomie. Inaug. Diss.: Freiburg 1959.
- ¹⁴ RIECHERT, T.: Die Durchschneidung thalamofrontaler Bahnen bei unbeeinflussbaren chronischen Schmerzzuständen. Med. Klin. **44**, 689—692 (1949).
- ¹⁵ RIECHERT, T.: Die Entfernung von tiefsitzenden Hirnstecksplittern mit Hilfe des stereotaktischen Operationsverfahrens. Z. Neurochir. **15**, 159—164 (1955).
- ¹⁶ RIECHERT, T.: Die stereotaktische Hypophysenoperation. Acta neurochir. (Wien) Suppl. III, 91—97 (1956).
- ¹⁷ RIECHERT, T.: Stereotaktische Operationen bei Bewegungsstörungen. Dtsch. Z. Nervenheilk. **175**, 511—519 (1957).
- ¹⁸ RIECHERT, T.: Die chirurgische Behandlung des Parkinsonismus. Langenbecks Arch. klin. Chir. **287**, 660—666 (1957).
- ¹⁹ RIECHERT, T.: Die stereotaktischen Hirnoperationen. Dtsch. med. Wschr. **84**, 1669—1683 (1959).
- ²⁰ RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Über ein neues Zielgerät zur intrakraniellen Ableitung und Ausschaltung. Arch. Psychiat. Nervenkr. **186**, 225—230 (1951).
- ²¹ RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Die Entwicklung und klinische Bedeutung der gezielten Hirnoperationen. Med. Klin. **46**, 609—611 (1951).
- ²² RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Beschreibung und Anwendung eines Zielgerätes für stereotaktische Hirnoperationen (II. Modell). Acta neurochir. (Wien) Suppl. III, 308—337 (1956).

- ²³ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Erfahrungen der stereotaktischen Hypophysenoperation mit Radio-Isotopen. *Chirurg.* **28**, 145—151 (1957).
- ²⁴ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Ein kombinierter Zielbügel mit Bohraggregat zur Vereinfachung stereotaktischer Hirnoperationen. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **199**, 377—385 (1959).
- ²⁵ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Stereotaktische Geräte. In: SCHALTENBRAND, G., u. P. BAILEY: Einführung in die stereotaktischen Operationen. Stuttgart: Thieme 1959.
- ²⁶ SPIEGEL, E. A., and H. T. WYCIŚ: Stereoccephalotomy, Part I: Methods and stereotaxic atlas of the human brain. New York: Grune & Stratton 1952.
- ²⁷ TALAIRACH, J., H. HECAEN, M. DAVID, M. MONNIER et J. DE AJURIAGUERRA: Recherches sur la coagulation thérapeutique des structures sous-corticales chez l'homme. *Rev. neurol.* **81**, 4—24 (1949).

Priv.-Doz. Dr. FRITZ MUNDINGER, Dr. PETER POTTHOFF,
Neurochirurgische Universitätsklinik, Freiburg i.Br., Hugstetterstr. 55