

Aus der Neurochirurgischen Universitätsklinik und dem Neuropathologischen
Laboratorium der Universitäts-Nervenklinik Freiburg i. Br.

Klinische und anatomische Befunde bei stereotaktischen Schmerzoperationen im Thalamus*

Von

R. HASSSLER und T. RIECHERT

Mit 7 Textabbildungen

(Eingegangen am 20. Juni 1959)

Die operative Therapie der chronischen Schmerzzustände ist trotz des technischen Fortschrittes bei den Eingriffen noch immer mit Enttäuschungen belastet. Es hat dies zum Begriff der therapieresistenten Schmerzzustände geführt. Wenn diese analysiert werden, ergeben sich 2 Gründe für die therapeutischen Mißerfolge:

1. Es ist unter einer falschen Voraussetzung operiert worden: Bei einem großen Teil dieser Patienten sind die Angaben über die Unerträglichkeit der Schmerzen nicht somatisch begründet, sondern sie sind der Ausdruck einer abwegig gearteten Persönlichkeit oder einer abnormalen Erlebnisreaktion. In solchen Fällen können selbstverständlich alle Operationen an den Schmerzleitungssystemen nicht die Ursache beseitigen. Nicht selten gehören zu dieser Gruppe auch Patienten mit einer symptomarmen hypochondrischen Depression. Ein Grund für viele Schmerzoperationen unter falscher Diagnose liegt darin, daß wir kein objektives Kriterium für einen chronischen Schmerzzustand besitzen, so lange dieser eine gewisse Intensität nicht überschreitet.

2. Bei einer zweiten Gruppe mit somatisch begründeten Schmerzzuständen versagt die typische Schmerzbehandlung, weil die erforderliche Operation für einzelne Patienten eine zu große Belastung darstellt (z.B. die Durchschneidung der Schmerzbahnen im oberen Halsmark oder Mesencephalon) oder es sitzt der dem Schmerz zugrunde liegende Prozeß zu weit zentral. In anderen Fällen somatisch bedingter Schmerzen tritt ein Rezidiv ein, weil über eine nicht ausgeschaltete Nebenbahn der Schmerz erneut zentralwärts geleitet werden kann.

Neue Möglichkeiten der operativen Schmerzbekämpfung bei den in der zweiten Gruppe genannten Kranken bieten die stereotaktischen Operationen, die es erlauben, auch an tiefliegenden Hirnstrukturen zu operieren und diese umschreiben, ohne wesentliche Verletzung des darüberliegenden Gewebes, thermoelektrisch auszuschalten.

* Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. KARL KLEIST zum 80. Geburtstag am 31. Januar 1959
in großer Verehrung gewidmet.

Schmerzsysteme und Schmerzentstehung

Die operative Bekämpfung des Schmerzes setzt eine klare Vorstellung über seine Entstehung und über die schmerzleitenden Systeme voraus. Der Schmerz ist ein subjektives Phänomen. Eine Unterbrechung der schmerzleitenden Bahnen garantiert bei pathologischen Schmerzzuständen nicht in jedem Falle eine Befreiung von den subjektiv quälenden Schmerzen. Andererseits ist es möglich, das quälende Schmerzerlebnis zu ändern oder zu beseitigen, ohne daß an den schmerzleitenden Systemen eine operative Unterbrechung erfolgt. Es geschieht dies durch eine Änderung der Reaktions- und Erlebnisweise des Patienten, wie z. B. in der Hypnose. Auf die Dauer kann eine solche veränderte Reaktionsweise auf den Schmerz auch durch den Ausfall bestimmter Hirnstrukturen, z. B. einiger Systeme des Stirnhirns, entstehen. Auf dieser Tatsache beruht die operative Bekämpfung mittels der psychochirurgischen Methoden, wie der Leukotomie. Der Erfolg dieser psychochirurgischen Eingriffe gegen den Schmerz setzt aber eine gewisse Änderung der Persönlichkeit voraus, so daß man sich nur in Ausnahmefällen zu einem solchen Eingriff entschließen wird. Die Technik dieser psychochirurgischen Eingriffe gegen den Schmerz soll daher hier nicht näher behandelt werden. Im Gegensatz zu diesen psychochirurgischen Eingriffen setzen unsere stereotaktischen Operationen, die in Folgendem geschildert werden sollen, an den schmerzleitenden Systemen und zwar innerhalb des Thalamus an. Zum Verständnis der hier geschilderten Eingriffe sei zunächst kurz auf die heutigen Vorstellungen über den Schmerzleitungsmechanismus eingegangen.

Obgleich der Tractus spino-thalamicus sicherlich nicht das einzige schmerzleitende System des Rückenmarks ist, ist er doch die entscheidende Bahn, insbesondere für alle Schmerzoperationen.

Der Tractus spino-thalamicus entspringt aus Neuronen des Hinterhorns des Rückenmarks, die direkt oder über Zwischenneurone von peripheren schmerzleitenden Fasern erreicht werden. Nach seiner Kreuzung in der ventralen Rückenmarkscommissur steigt der Tractus spino-thalamicus im Vorderseitenstrang des Rückenmarks auf und hat bereits im Hirnstamm zahlreiche Nebenschlüsse zur Formatio reticularis. Ein erheblicher Teil verläuft aber beim Menschen durch den Hirnstamm hindurch und findet sein Ende erst in bestimmten Thalamuskernen. Die Endigung der Schmerzfasern liegt nach allgemeiner Übereinstimmung in den caudalen Ventralkernen des Thalamus (VPL und VPM der angelsächsischen Nomenklatur, *V.c* nach unserer Bezeichnungsweise). Strittig ist dabei nur die Frage, ob die Endigungen des Lemniscus medialis und des Tractus spino-thalamicus sich vollständig überdecken oder ob sie differente Endigungsbezirke in den caudalen Ventralkernen des Thalamus haben. Auf Grund von Affenexperimenten von WALKER, CHANG u. RUCH wurde die Ansicht geäußert, daß es keinen Unterschied im Endigungsbezirk zwischen dem protopathischen und epikritischen sensiblen System gibt.

Auf Grund menschlicher Herdfälle und verschiedener Marchidegenerationen kam der eine von uns (HASSSLER) zu dem Ergebnis, daß die Fasern des Tractus spino-thalamicus nur in basalen Anteilen des caudalen Ventralkernes endigen, die sich durch ihre Kleinheit hervorheben (*V.c.pc*). Innerhalb der caudalen Ventralkerne besteht ferner eine gewisse somatotopische Gliederung, die aber in ihren Einzelheiten insbesondere für den Menschen auch noch weiterer Untersuchungen bedarf. Einen wichtigen Aufschluß darüber scheinen die Reizungen in diesen Kerngebieten während der stereotaktischen Schmerzoperationen zu geben.

Es scheint auch Endigungen von Schmerzfasern außerhalb der caudalen Ventralkerne zu geben, insbesondere in solchen Kernen, die nicht mit der Rinde in Verbindung stehen (Nucleus limitans, centre médian). Noch uneinheitlich ist die Auffassung über das dritte Neuron der Schmerzleitung, insbesondere über seine Funktion.

Dieses dritte Neuron beginnt in dem schon erwähnten kleinzelligen Ventralkern des Thalamus und leitet zu bestimmten Rindenbezirken in der hinteren Zentralwindung, möglicherweise aber auch in anderen corticalen Gebieten. Eine Folge dieser Unkenntnis über das dritte Neuron des Schmerzsystems ist es, daß sich Operationen an diesem bisher nicht durchgesetzt haben. Corticale Exstirpationen im Bereich der hinteren Zentralwindung und des Parietallappens gegen den Phantomschmerz (MAHONEY-GUTIERREZ) haben sich auf die Dauer nicht bewährt und sind jetzt verlassen.

Wichtig für die Funktion der zentralen Schmerzsysteme ist es, daß durch Reizungen an der sensiblen Rinde, in der das dritte Schmerzneuron endigt, keine Schmerzen bei bewußtseinsklaren Patienten während der Operation ausgelöst werden können. Im Gegensatz dazu haben die Erfahrungen bei Reizungen im Thalamus gezeigt, daß schwerste Schmerzen hervorgerufen werden können, wenn bestimmte Reizbedingungen und eine bestimmte Lokalisation der differenten Elektrode eingehalten werden. Nach den neueren Beobachtungen können Hemisphärektomierte nach der Operation auf der kontralateralen Seite durchaus Schmerzen empfinden.

Die Entwicklung der zentralen Schmerzoperationen

Die zentralen Schmerzoperationen kommen besonders in solchen Fällen in Frage, in denen die peripheren Eingriffe versagt haben. Wenn sich in solchen Fällen eine Anaesthesia dolorosa entwickelt hat, muß man annehmen, daß der Schmerz zentral von der Unterbrechungsstelle der schmerzleitenden Bahnen zu Stande kommt. Einzelne zentrale Schmerzphänomene, wie der Thalamusschmerz, weisen schon auf eine primäre zentrale Lokalisation der schmerzerzeugenden krankhaften Prozesse hin. Für die Bekämpfung solcher hochsitzender schmerzauslösender Prozesse haben 1938 DOGLIOTTI und mit höherer Schnittführung 1942 WALKER die Mesencephalotomie angegeben, d.h. eine Unterbrechung des zweiten Neurons der Schmerzleitung kurz vor dem Eintritt in den Thalamus.

Auf stereotaktischem Wege haben zuerst SPIEGEL u. WYCIS im Jahre 1949 die schmerzleitenden Bahnen im Mittelhirn durch eine Elektrolyse ausgestaltet (Mesencephalotomie). SPIEGEL u. WYCIS berichten über 16 Patienten mit den verschiedensten Schmerzzuständen (maligne Tumoren, postherpetische Neuralgien, Phantombeschwerden). Von 6 Patienten mit refraktären Trigeminusneuralgien wurden 2 schmerzfrei. TALAIRACH u. Mitarb. haben vor allem bei thalamischen Schmerzzuständen stereotaktische Operationen in den sensiblen Thalamuskernen durchgeführt. Sie haben dabei recht große Koagulationen gesetzt, so daß nachträglich eine Hemianästhesie auf der gegenüberliegenden Körperseite eintrat. Der Erfolg war bei etwa der Hälfte gut. Das therapeutische Resultat ist in Anbetracht der therapierefraktären thalamischen Schmerzzustände vasculärer Genese sehr bemerkenswert.

Auf die verschiedenen Versuche, durch gezielte Operationen an dem mit dem Stirnhirn in Verbindung stehenden Medialkern des Thalamus therapieresistente Schmerzzustände zu beeinflussen, soll hier nicht eingegangen werden, denn es handelt sich nicht um einen Eingriff an den Schmerzsystemen, sondern um einen psychochirurgischen Eingriff, der indirekt das Schmerzerlebnis zu verändern in der Lage ist.

Aus den angeführten Gründen haben wir bei therapieresistenten Schmerzzuständen verschiedener Genese einen Zielpunkt gewählt, der

in dem basalen Abschnitt der sensiblen Thalamuskerne gelegen ist (*V.c.pc* etwa entsprechend dem VPI von CROUCH und WALKER). Wir gingen dabei von der Vorstellung aus, daß die Schmerz- und Temperaturfasern des Tractus spino-thalamicus vorwiegend in den basalen Abschnitten der sensiblen, caudal gelegenen Thalamuskerne endigen. Bei diesen Schmerzoperationen kann man je nach der Körperregion, die vom Schmerz befallen ist, verschiedene Zielpunkte wählen: Für Trigeminusschmerzen einen medialen Zielpunkt, für Schmerzen der oberen Körperhälfte und der Arme einen solchen in der Mitte des *V.c.pc* und bei Beinschmerzen einen lateralen Punkt im gleichen Kern.

Klinische Beobachtungen

Die Erfahrungen mit den stereotaktischen Schmerzoperationen beziehen sich auf 38 Patienten. Hierbei wurden mit unserem Zielapparat 24 Operationen an zentralen Strukturen und 14 am Ganglion Gasseri durchgeführt. Im Folgenden wird nur über die zentralen Schmerzoperationen berichtet. Dabei wird weniger Wert auf eine Darstellung der Technik gelegt, als auf eine genaue Beschreibung der Klinik und auf eine Schilderung der Befunde, die sich bei diesen Schmerzoperationen während der Reizung und nach der Koagulation ergeben haben. Diese Befunde scheinen uns geeignet zu sein, die Anschauungen über einige Probleme der zentralen Schmerzleitung einer Klärung näherzubringen. Besonders ausführlich sollen solche Fälle dargestellt werden, von denen eine Autopsie vorliegt, wodurch eine anatomische Kontrolle der gereizten und ausgeschalteten Substrate möglich war.

Bei der Ausschaltung in den caudalen (sensiblen) Ventralkernen mit Hochfrequenzkoagulation mußte darauf Rücksicht genommen werden, daß durch eine solche Koagulation Nachbarschaftsgebiete mit geschädigt werden. Es soll daher in folgendem zunächst eine Übersicht über die benachbarten Strukturen und die möglichen funktionellen Ausfälle, die bei ihrer Schädigung eintreten, gegeben werden. Bezüglich der Ausdehnung, der Form und der Lage der Kerne — ohne Berücksichtigung ihrer individuellen Variabilität — wird auf die beigegebene Abb. 1 verwiesen.

a) medial. In der medialen Spitze des Nucleus arcuatus liegt nach tierexperimentellen Erfahrungen und nach menschlichen Herdfällen die Geschmacksrepräsentation für die gegenüberliegende Zungenhälfte. Es war daher mit einer Hemiaugeusie bei einer Ausdehnung des Koagulationsherdes nach medial zu rechnen.

b) lateral. Lateral von der Trigeminus-Vertretung liegt die sensible Repräsentation der oberen Körperhälfte und des Armes und anschließend die des Beines. Bei einer Ausschaltung dieses Gebietes durch eine Koagulation entsteht eine Hemihypästhesie oder Hypästhesie unterschiedlicher Ausdehnung. Lateral an das sensible Thalamusgebiet schließt sich der Teil der inneren Kapsel an, durch den die funktionell wichtigsten (dicken) Pyramidenfasern ziehen. Ihre Schädigung kann irreparable Lähmungen mit Vorherrschen der Spastik nach sich ziehen.

c) *dorsal*. Dorsal von der Trigeminus-Repräsentation im sensiblen Gebiet liegt das Centre médian. Tierexperimentell gehört dieser Kern zum unspezifischen Projektionssystem des Thalamus; er leitet insbesondere zum Striatum. Ausfallserscheinungen bei therapeutischen Koagulationen, die auf das Centre médian bezogen werden müßten, sind nicht sicher bekannt. Vielleicht wird dadurch sogar eine subcorticale Nebenleitung des Schmerzsystems ausgeschaltet und die Rezidivmöglichkeit eingeschränkt.

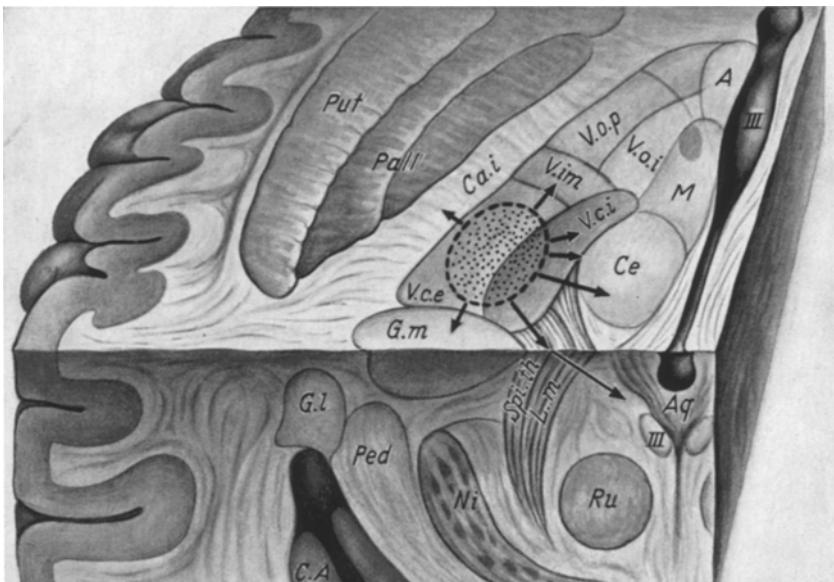


Abb. 1. Schema des Zwischenhirns im horizontalen und des Mittelhirns im frontalen Schnitt zur Darstellung der möglichen Nachbarschaftsschädigungen (Pfeile), die von einem Koagulationsherd in den sensiblen Thalamuskernen (*V.c.e*) ausgehen können. — A Nucleus anterior; Ag Aqueduct; C.A Cornu Ammonis; Cai Capsula interna; Ce centre médian; G.l Geniculatum laterale; G.m Geniculatum mediale; L.m Lemniscus medialis; M Nucleus medialis; Ni Nucleus niger; Pall Pallidum; Ped Pedunculus cerebri; Put Putamen; Ru Nucleus ruber; Spith Tractus spino-thalamicus; V.c.e Nucleus ventro-caudalis externus; V.ci Nucleus ventro-caudalis internus; V.im Nucleus ventro-intermedius; V.o.i Nucleus ventro-oralis internus; V.o.p Nucleus ventro-oralis posterior; III 3. Ventrikkel; III Nucleus N. oculomotorii

d) *ventral*. Ventral von den sensiblen Ventralkernen liegt der caudale Teil der Zona incerta und das Tegmentum mesencephali mit dem Eintritt der sensiblen und der Geschmacks-Bahnen in den Thalamus. Ausfallserscheinungen von der Zona incerta sind nicht sicher bekannt, möglicherweise sind vegetative Störungen darauf zu beziehen. Durch Koagulationsherde, die das Tegmentum mesencephali schädigen, könnten Koordinationsstörungen der Augenmuskeln, schwere, sensible Ausfälle und auch zentrale vegetative Störungen entstehen.

Eine weitere im ventralen Rand des *V.c.pc* verlaufende Faserstruktur ist das Brachium conjunctivum. Durch seine Unterbrechung wird eine (vorübergehende) Ataxie besonders der oberen Extremität bedingt.

e) *rostral*. Rostral von den caudalen Ventralkernen liegt der Nucleus ventro-intermedius, in dem eine vestibulo-reticulo-thalamische Bahn endigt (HASSLER). Ausfallserscheinungen sind, abgesehen von einem subjektiv nicht auffälligen

horizontalen Nystagmus, der nach unseren Erfahrungen nicht länger als 14 Tage anhält, nicht bekannt geworden.

1) caudal. Die caudale Begrenzung der sensiblen Ventralkerne bildet der Nucleus limitans, der Grenzkern des Thalamus gegen das Mittelhirn, durch den die meisten sensiblen Bahnen den Thalamus betreten. Ihre Nachbarschaftsschädigung könnte sensible Ausfälle im Bereich des übrigen Körpers zur Folge haben. Da im Limitans wahrscheinlich Collateralen des Tractus spino-thalamicus endigen, könnte sich seine Ausschaltung günstig gegen Recidive der Schmerzzustände auswirken.

1. Koagulationen bei Trigeminusneuralgie

Bei der Wahl des Zielpunktes zur thalamischen Bekämpfung der Trigeminusneuralgie war die unsichere Kenntnis über die sekundäre Schmerzbahn des Trigeminus aus dem Nucleus tractus spinalis trigemini zu berücksichtigen. Am wahrscheinlichsten ist es, daß sie (Tractus trigemino-bulbo-thalamicus) im Mittelhirn den Tractus spino-thalamicus medial begleitet. Übereinstimmend wird in der Literatur sowohl auf Grund der experimentellen, wie klinisch-anatomischen Beobachtungen die thalamische Repräsentation der Gesichtssensibilität medial von derjenigen des übrigen Körpers angenommen. Es handelt sich dabei im wesentlichen um den Nucleus arcuatus, der in der amerikanischen Literatur als VPM bezeichnet wird und den wir als Teil von *V.c.i* zu bezeichnen vorziehen. In diesem Nucleus arcuatus gibt es einen basalen Abschnitt, der sehr weit nach medial reicht, mit wesentlich kleineren Nervenzellen, als im dorsalen Teil (*V.c.pc.i*). Wir haben versucht, diesen basalen Abschnitt des Nucleus arcuatus bei Patienten mit Trigeminus-Neuralgie mit der Zielnadel zu erreichen.

Stereotaktische zentrale Operationen gegen Schmerzzustände im Trigeminusgebiet haben wir in 8 Fällen durchgeführt. Bei allen Fällen trat zunächst eine Besserung auf. Bei 2 Fällen kam es später zu einer Wiederkehr der Schmerzzustände nahezu in der alten Stärke. In den übrigen Fällen stellten sich nach einem Zeitraum bis zu mehreren Jahren Schmerzfreiheit wieder Beschwerden ein, der Zustand blieb aber deutlich gebessert, so daß keiner dieser Kranken wieder Opiate nahm.

Von den verschiedenen Krankengeschichten werden nur diejenigen gebracht, die uns für die Neurologie der Schmerzzustände bedeutungsvoll erscheinen. Die Lokalanästhesie ermöglichte eine Analyse auch der subjektiven Reiz- und Koagulationseffekte während der Operation.

Fall 1. L., O. (geboren 4. 12. 1884). An Vorkrankheiten ist eine Lues-Infektion 1917 oder 1918 mit positivem Wassermann im Blut von Bedeutung. Mehrere Neosalvarsan- und Penicillin-Kuren. Später Pupillenstörung mit Entrundung li. und leichte Reflexdifferenzen. Die Pat. klagte aber immer wieder über heftige allgemeine Kopfschmerzen auf Grund der Luesinfektion. Im Januar 1944 akuter Herpes zoster im ersten Trigeminusast li. mit „wahnsinnigen“ Schmerzen. Es schließt sich eine Zoster-Neuralgie im ersten Ast an, die weitgehend therapieresistent gegen Vitamin B12, Dolantin, Röntgentiefenbestrahlung des Ganglion Gasseri, eine Exhairese des ersten Trigeminusastes li. und eine spätere Insulinkur war.

Bei der Aufnahme im April 1953 bestanden die schon oben erwähnten leichten neurologischen Ausfallserscheinungen und eine Analgesie im Gebiet des ersten Trigeminusastes li. auf Grund der früheren Exhairese.

Wegen der weiterhin bestehenden Schmerzen in der li. Stirnseite wurde eine Thalamotomie re. mit Koagulation des basalen inneren Anteiles des caudalen Ventralkerns (*V.c.pc.i*) geplant.

Röntgenologisch: Exakte Nadellage.

Reizung. Bei niedrigen Frequenzen schwer zu schildernde Sensationen im Trigeminus, bei 25/ u. 50/sec erhebliche Schmerzsensationen im Trigeminusgebiet li.

Koagulation. Anfänglich äußerst schmerhaft mit heftigsten Neuralgien im li. Trigeminusgebiet für wenige Sekunden. Nach den Koagulationen bestand eine Analgesie im gesamten Gebiet des li. Trigeminus, aber auch eine starke Hypalgesie und Hypästhesie an den ersten drei Fingern der li. Hand. Reizungen am Zielpunkt, die vorher Schmerzen hervorriefen, waren nach der Koagulation wirkungslos. Die Pat. war von ihren Trigeminusschmerzen nach der Operation völlig befreit.

Nachuntersuchung. (Dr. PLAMBECK) 15 Monate nach der Operation: Die Pat. ist noch von ihren Trigeminusschmerzen frei, es besteht aber gelegentlich ein leeres, unangenehmes Gefühl im Kopf und leichte Mißempfindungen an der li. Gesichtsseite sowie an der li. oberen Körperhälfte, so daß sie häufig ungeschickt mit der li. Hand greife, und ihr gelegentlich Dinge aus der Hand fielen. Der erste Trigeminusast nach wie vor analgetisch, das Hautgebiet des zweiten und dritten Astes deutlich hypalgetisch weniger hypästhetisch; an der li. Hand, insbesondere an den ersten 3 Fingern, leichte Hypalgesie, dabei ist der Lagesinn, die Stereognose an der li. Hand intakt. Geringe Ataxie beim Nachzeigen mit der li. Hand. Bei sehr kritischer allgemeiner Einstellung ist die Stimmung etwas gedrückt, ihr Verhalten insgesamt sehr korrekt; die Pat. äußerte, bei Wiederauftreten der früheren Schmerzen würde sie sich ein zweites Mal einer derartigen Operation unterziehen.

4 Monate später gleicher Befund. Nach einem brieflichen Bericht aus dem Jahre 1958 — 5 Jahre nach der Operation — hatte sie noch allgemeine Kopfschmerzen, betonte aber, daß sie keine narkotischen Mittel nehme, weil diese ihr nur für eine $\frac{1}{4}$ Std Schmerzfreiheit verschaffen würden. In der Zwischenzeit wegen ihrer Beschwerden mehrere Kneipp-Kuren und Aufenthalt im Krankenhaus, wobei ein Behandlungserfolg nicht zu verzeichnen war. Keine Klagen, die für ein Thalamus-Syndrom sprechen.

Epidise. Bei einer Zoster-Neuralgie im ersten Trigeminusast, die erfahrungsgemäß gegen alle neurochirurgischen Eingriffe refraktär ist, bringt eine Thalamotomie im basalen Anteil des sensiblen Ventralkerns (*V.c.pc.i*) eine Beseitigung der Trigeminusschmerzen. Die postoperativen Mißempfindungen in der linken oberen Körperhälfte verschwinden nach einer Reihe von Jahren, es treten aber dafür allgemeine Kopfschmerzen auf, die Patientin hält sich jedoch frei von allen starkwirkenden Arzneimitteln.

Fall 2. G., P. (geboren 23. 3. 1888). Seit 1942 Trigeminusneuralgie li., deswegen in einer auswärtigen Klinik Elektrokoagulation des Ganglion Gasseri nach KIRSCHNER. Danach traten trophische Störungen des li. Auges auf, die eine Enucleation erforderlich machten. Bei der Aufnahme im Oktober 1953 wegen fortbestehender Schmerzzustände im li. Trigeminusgebiet wurde eine Facialis- und Zungenparese, eine erhebliche sensible Störung der li. Gesichtsseite, eine Hemihypästhesie der ganzen li. Körperhälfte und eine nichtpastische Hemiparese mit Reflexsteigerung:

festgestellt. Außerdem: Leichter Tremor li. Arm, Drehschwindel nach li. Gangunsicherheit mit Abweichen nach li. 1953 Operation nach FRAZIER li. trotz jetzt vollständiger Anaesthesia Fortdauer der Trigeminusschmerzen.

Am 17. 12. 1953 wurde daher eine Thalamotomie re. durchgeführt und der basale Anteil des caudalen Ventralkernes im Bereich des Nucleus arcuatus mit der Zielnadel eingestellt. Die Röntgenkontrolle bestätigt den Nadelsitz.

Reizung. 1–8 pro Sekunde: Zuckungen im oberen Facialisgebiet der Gegenseite. 8–50 pro Sekunde: Schmerzhafte Sensationen im analgetischen li. Trigeminusgebiet (Oberlippe und Wangengegend).

Koagulation im Zielpunkt: Maximaler Schmerzeffekt mit Aufschreien der Pat. und Verzerrung der li. Gesichtsseite.

Nachträglich gab die Pat. an, daß sie während der Koagulation einen Schmerz in der li. Gesichtshälfte mit Ausdehnung auf die ganze li. Körperhälfte und ein Zusammenkrampfen gespürt habe. Sie vermeinte, sich in einem Eiskeller zu befinden. Am Ende der Operation war die Pat. von ihren Schmerzen im Trigeminusgebiet völlig befreit. Nach der Operation war sie aufgeschlossen und klagte nur auf ausdrückliches Befragen noch gelegentlich über Schmerzen.

Etwa 14 Tage nach der Operation verspürte sie gelegentlich ein elektrisierendes Gefühl, welches im li. Nasenloch begann, sich über das Gesicht, die li. Halsseite, die li. Achsel zum Magen und manchmal bis zur Blase ausbreitete. Dieses Gefühl wurde manchmal durch Sprechen und Essen ausgelöst.

Postoperativ. Eine Analgesie und Anaesthesia am Unterarm und Hand li. bestand, wo vorher nur eine Hypaesthesia vorhanden war. Deutliche Herabsetzung der Tiefensensibilität am li. Bein gegenüber re. Außerdem Adiachokinese und leichte Ataxie mit geringer Herabsetzung der Kraft in der li. Hand.

Die Pat. blieb $1\frac{3}{4}$ Jahre nach der Operation schmerzfrei. Es kam dann zu einem partiellen Rezidiv mit Schmerzen in der li. Stirnseite und im li. Ohr. Der li. Oberkiefer, der früher der Hauptausgangspunkt der Schmerzen war, blieb verschont. Postoperative Paraesthesiae im li. Arm beschränkten sich nach einiger Zeit nur auf die li. Hand. Wollkleider am li. Arm verursachten keine Schmerzen, jedoch hatte sie, wenn der Regenmantel auf dem li. Arm zu liegen kam, „ein wüstes kaltes Gefühl“ in diesem. Zur gleichen Mißempfindung am li. Arm führten Berührungen mit sehr kaltem oder warmem Wasser.

Seit Juni 1955 bestand wieder ein Dauerschmerz in der ganzen li. Gesichtsseite, der von der Wange ausging und bis zum Hinterkopf reichte. Er wurde durch Sprechen und Essen ausgelöst. Die Sensibilitätsstörung war etwas zurückgegangen, kaltes Wasser wurde besonders am li. Arm als schmerhaft empfunden. Wegen der partiellen Wiederkehr der Schmerzen im Trigeminusgebiet li. wird beiderseits eine Infiltration des präfrontalen Marklagers mit physiologischer Kochsalzlösung (8 cm^3) durchgeführt. Nach dem Eingriff war die Pat. wieder schmerzfrei. Bei der Entlassung, 4 Wochen später, gab sie nur auf Befragen Schmerzen in der li. Gesichtsseite an, so daß sie keine besonderen Medikamente benötigte. Abgesehen von einer altersentsprechenden Merkschwäche ließen sich psychoorganische Ausfallserscheinungen nicht feststellen. Nach dem letzten Bericht vom 26. 4. 1958 empfindet die Pat. Schmerzen sowohl auf der li., wie jetzt auch auf der re. Gesichtsseite am Hinterkopf beiderseits, sie nimmt aber keine Medikamente ein. Im Alter von 70 Jahren ist sie in der Lage, sich selbst zu versorgen.

Epikrise. Es handelt sich um eine linksseitige Trigeminusneuralgie, die mit Rücksicht auf die schon vor der Operation bestehenden linksseitigen sensiblen und motorischen Störungen wohl auf einen zentralen Gefäßprozeß zurückzuführen ist. Die früheren typischen Eingriffe hatten zu

keiner Schmerzfreiheit, aber zu einer Anaesthesia dolorosa und einem Verlust des linken Auges geführt. Nach der Koagulation der Schmerzrepräsentation im Thalamus für die linke Gesichtsseite kommt es zu entsprechenden zusätzlichen Sensibilitätsausfällen und zu einer Schmerzfreiheit von $\frac{3}{4}$ Jahren. Danach treten wieder Dauerschmerzen sowohl im linken als später auch im rechten Trigeminusgebiet auf. Bei den schmerzhaften Sensationen im linken Arm ist es nicht zu unterscheiden, ob es sich hierbei um eine Weiterentwicklung des zentralen Gefäßprozesses oder eine Folge der Koagulation im Thalamus handelt.

Eine 2 Jahre nach der ersten Operation durchgeführte Infiltration der Stirnhirne mit Kochsalzlösung bringt keine Schmerzfreiheit, aber eine Besserung der Beschwerden, so daß die Patientin ohne Medikamente auskommt und trotz ihres Alters sich selbst versorgen kann.

2. Zentrale Koagulationen bei Phantomschmerzen

Zweck des Eingriffes ist es, die zentrale Repräsentation der Schmerzempfindung in den Extremitäten innerhalb des Thalamus auszuschalten.

In den sensiblen Thalamuskernen ist die obere und die untere Extremität, lateral vom Trigeminusgebiet, repräsentiert. Der Endbezirk des Tractus spino-thalamicus, der Schmerz- und Temperaturbahn, liegt basal im kleinzelligen Abschnitt des caudalen Ventralkerns (*V.c.pc*). Bei Phantomschmerzen in der oberen Extremität wurde ein Zielpunkt weiter medial und bei solchen in der unteren Extremität weiter lateral im caudalen Ventralkern gewählt.

Aus größeren Untersuchungsreihen (z. B. CRONHOLM) hat es sich ergeben, daß das Erlebnis des Phantoms und auch der Phantomschmerzen in einem großen Prozentsatz vorkommt. Nur bei einem Teil dieser Phantomträger wirkt sich das Phantomerlebnis aber derart aus, daß die Patienten ganz oder teilweise berufsunfähig werden oder zum Mißbrauch von starkwirkenden Arzneimitteln (Opiaten) kommen.

In vielen Fällen trägt wohl eine besondere Persönlichkeitsstruktur dazu bei, daß sich die Mißempfindung des Phantoms zu einer derartigen Stärke steigert. Darin liegt auch eine Schwierigkeit der operativen Behandlung der Phantombeschwerden. Eine weitere Schwierigkeit ist dadurch gegeben, daß es sich meist um ein Kriegsleiden oder um entschädigungspflichtige Unfälle handelt, so daß eine Rentenabhängigkeit bestehen kann. Bei ausgeprägten Persönlichkeitsveränderungen wurde, um die Einstellung auf das Schmerzerlebnis zu beeinflussen, auf der gleichen Seite zusätzlich zur Ausschaltung des sensiblen Gebietes auch eine kleine Koagulation im Medialkern gesetzt, in Analogie zu der von SPIEGEL u. WYCIS durchgeführten Mesencephalo-Thalamotomie.

Fall 3. B., H. (geboren 23. 8. 1926). Phantomschmerzen li. Bein, nach Absetzung des li. Oberschenkels auf Grund einer Verwundung am 2. 2. 1945. Mehrfache Operationen, einschließlich Sympathektomie und Neuromenfernmungen infolge sofort

einsetzender Phantomschmerzen. Trotz erheblicher Intensität der Phantomschmerzen war der Pat. Jahre ohne Opiate ausgekommen. Er litt an einem Phantom des li. Beins, wobei der Oberschenkel verkürzt war. Die Hauptschmerzonen befanden sich am Fußballen, in den Zehen, an der Ferse und in der Wade. Er empfand die Zehen als eingekrallt in die Ballenhaut (Abb. 2).

Operation. Es wird auf Grund einer Encephalographie der basale Anteil des sensiblen Ventralkerns des Thalamus eingestellt.

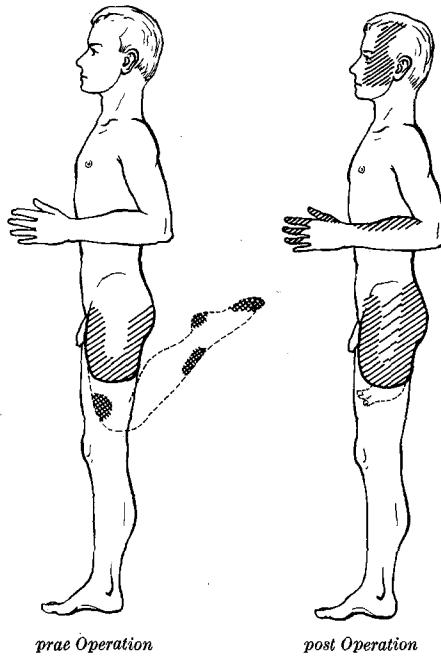


Abb. 2. Phantomschmerzlinkes Bein, Vorder Operation: Die Schmerzonen am Phantom sind gekreuzt schraffiert. Einfache Strichelung der hylaesthetischen Zone am Stumpf. Nach der Operation: Das Phantom ist auf einen Teil des Vorderfußes reduziert, der direkt am Stumpf ansetzt. Zusätzliche hylaesthetische Zonen am Stumpf, linken Unterarm und im Bereich des ersten und zweiten Trigeminusastes

Bei der Entlassung 7 Wochen nach der Operation war der Phantomschmerz im Bereich des li. Beines völlig beseitigt. Das Phantom war auf die große Zehe und die zweite Zehe reduziert, die er ohne Mißempfindungen unmittelbar am Stumpf sitzend verspürte (Abb. 2). Der Pat. ist jetzt 6 Jahre nach der Operation in seinem Beruf tätig und hat nach mehreren beruflichen Prüfungen eine höhere Stellung erreicht. Starkwirkende Schmerzmittel wurden in dieser ganzen Zeit nicht gebraucht. Das Phantomgefühl ist bis auf die erste und zweite Zehe verschwunden, er hat auch keine Phantomschmerzen in der ganzen Zeit mehr gehabt. Geringe lokale Beschwerden, die das Tragen einer Beinprothese erschwerten, ließen sich durch örtliche Eingriffe am Arterienstumpf beseitigen. Sensible Ausfälle an Gesicht und Arm dissoziiert.

Reizung. Einzelreize geringer Stärke: Zuckungen nur des Amputationsstumpfes; bei Steigerung der Reizstärke auch der li. Schulter und der li. Gesichtsseite. Höhere Reize (über 25 sec) lösen ein schmerhaftes Phantomgefühl aus.

Koagulation. Heftige Schmerzen im Phantom und der ganzen li. Körperseite, nach drei Koagulationen ist das Phantom des li. Beines völlig verschwunden.

Postoperativ bestand zunächst eine starke Hypalgesie bis Analgesie sowie Hypaesthesia für Warm und Kalt an der li. Körperseite und eine Facialisschwäche li. mit geringfügiger Parese des li. Armes. Die Hypaesthesia der li. Körperseite verbesserte sich schon nach 4 Tagen, es waren nur noch die li. Handfläche und ein zwiebelschalenförmiger Bezirk in der Umgebung der Nase und des Mundes auf der li. Seite sowie der Amputationsstumpf hypaesthetisch. Der Pat. empfand dort Kribbeln, besonders bei Bewegungen. Die Parese des li. Armes und im Bereich des li. Facialis bildete sich ebenfalls völlig zurück. Da bei Berührung des Stumpfes der Arteria femoralis noch Sensationen im Stumpf ausgelöst werden konnten, wurde diese 3 Wochen später noch reseziert.

Epikrise. Ein schwerer Phantomschmerz des linken Beines wurde durch eine Koagulation in den basalen Anteilen des sensiblen Ventralkerns (*V.c.pc*) beseitigt, wobei auch das Phantomgefühl bis auf die große Zehe und die zweite Zehe auf die Dauer völlig verschwindet. Nach der Thalamotomie, die 6 Jahre zurückliegt, kann der Patient seine Berufstätigkeit voll weiter ausführen und nimmt sogar einen beruflichen Aufstieg, welcher differenzierte Leistungen erfordert.

Der folgende Fall soll vor allem im Hinblick auf die vorliegende Autopsie referiert werden.

Fall 4. P., G. (geboren 2. 11. 1894). 1917 Amputation des re. Oberschenkels nach Kniestockschuß und Gangrän. Die anfänglichen Schmerzen ließen nach der Amputation nach, und er war 14 Jahre nahezu beschwerdefrei. 1931 Bruch des Oberschenkelstumpfes nach Sturz. Seit dieser Zeit besteht eine erhebliche Schmerhaftigkeit des Stumpfes ohne typische Phantomschmerzen. Er war fast dauernd in Krankenhausbehandlung und machte mehrfache Operationen am Stumpf, sowie Sympathicusoperationen und zuletzt eine Chordotomie (1950) durch.

Neurologisch: Hypalgesie vom 11. Thoracalsegment re. abwärts als Chordotomiefolge. Im Bereich des Stumpfes starke Hypaesthesia und Analgesie. Auch die re. Seite des Genitales war hypalgetisch. Von Seiten des Kreislaufes bestand eine Hypertonie von 200/100 mm/Hg mit einer Linkshypertrophie des Herzens und EKG-Veränderungen, vor allem einer Störung der Erregungsrückbildung. Vorbehandlung: Strophantin, Cordalin und Gantrisin.

Gezielte Hirnoperation am 1.4.1957. Zielpunkt in der Schmerzrepräsentation des Beines im li. Thalamus (*V.c.pc.e.*).

Reizung. Einzelreize: Zuckungen des Stumpfes, des re. Armes und der re. Gesichtshälfte im Reizrhythmus. Reizfrequenz 4 u. 8/sec: Elektrisierendes, nicht schmerhaftes Gefühl in der re. Körperseite, insbesondere im Arm und Gesicht. Reizfrequenz mit 25 u. 50/sec: Bereits bei sehr geringer Stromstärke heftige Schmerzen in der re. Körperseite, insbesondere am re. Arm mit Verkrampfung desselben und in geringerem Maße der re. Gesichtsseite, sowie lebhaften Zuckungen des Stumpfes. Den Schmerz schildert Pat. als elektrisierendes Verkrampfungsgefühl, nicht als brennend, er entspricht auch nicht dem Schmerz, den er spontan im Stumpfe hatte.

Koagulation. Äußerst heftiger Schmerz in der re. Körperseite, Aufschreien des Pat. Bereits nach der 3. Koagulation taubes, eingeschlafenes Gefühl im re. Arm. Nach der 9. Koagulation eine Hypalgesie bis Analgesie der ganzen re. Körperseite einschließlich des Stumpfes. Nach Koagulation mit der ausfahrbaren Saitenelektrode besteht kein Spontanschmerz mehr im Stumpf, und dieser kann auch nicht mehr von dem Pat. selbst ausgelöst werden. Es besteht eine leichte Parese des re. Armes mit Absinken beim Vorhalten.

Es wird dann noch ein zweiter zusätzlicher Zielpunkt im li. *Medialkern* eingestellt.

Reizung. Abgesehen von reizrhythmischen Zuckungen in der re. Schulter kommt es zu einer Echolalie und spontanem Lächeln. Auf Befragen gibt er an, er habe ein Gefühl der Betrunkenheit gehabt.

Während der 4 Koagulationen im Medialkern ist das zufriedene Lächeln des Pat. auffällig. Am Tage nach der Operation besteht eine deutliche Herabsetzung der Berührungssempfindlichkeit und völlige Aufhebung der Schmerzempfindung an der ganzen re. Körperseite, einschließlich des Stumpfes.

Am 4. Tage nach der Operation ist der Pat. völlig schmerzfrei, auch im Bereich des Stumpfes. Abgesehen von der ausgeprägten Hypaesthesia der re. Körperseite

für alle Qualitäten besteht eine latente Parese des re. Armes, wobei die Armreflexe seitengleich sind. Auch in den folgenden Tagen bleibt der Pat. schmerzfrei, die Sensibilitätsstörungen an der re. Körperseite bleiben bestehen. Im weiteren Verlauf kommt es zu Temperaturanstieg auf Grund einer eitrigen Parotitis, die incidiert werden muß. Der Pat. fiebert hoch, hinzukommende Lungenkomplikationen lassen

sich auch durch eine Tracheotomie nicht beherrschen. Am 12. Tage nach der Operation Exitus letalis.

Die Sektion ergibt als Todesursache eine schwere konfluierende Bronchopneumonie. Die Hirnsektion zeigt einen deutlichen Hydrocephalus internus und als Nebenbefund zarte Verwachungsstränge am Ausgang des 4. Ventrikels. Im Bereich des *li. Thalamus* sieht man eine etwa erbsengroße *Koagulation des Medialkerns* und einen mit frischen Blutungen durchsetzten *Koagulationsherd im caudalen Ventralkern*, der an die innere Kapsel angrenzt (s. Abb. 3). In der benachbarten Capsula interna ist ein leichtes Ödem zu erkennen.

Epikrise. Bei Stumpfschmerzen im re. Oberschenkel wird der *V.c.pc.e* ausgeschaltet. Postoperativ Schmerzfreiheit. Der Pat. kommt durch eine Parotitis und Lungenkomplikationen ad exitum. Die Sektion zeigt, daß die angezielten Thalamuskerne durch die Koagulation ausgeschaltet sind. Nebenverletzungen sind nicht eingetreten.

3. Zentrale Koagulationen bei Thalamusschmerzen

Der Thalamusschmerz gilt seit 50 Jahren in der Neurologie als Prototyp des zentralen Schmerzes. Er ist meist hervorgerufen durch vasculäre

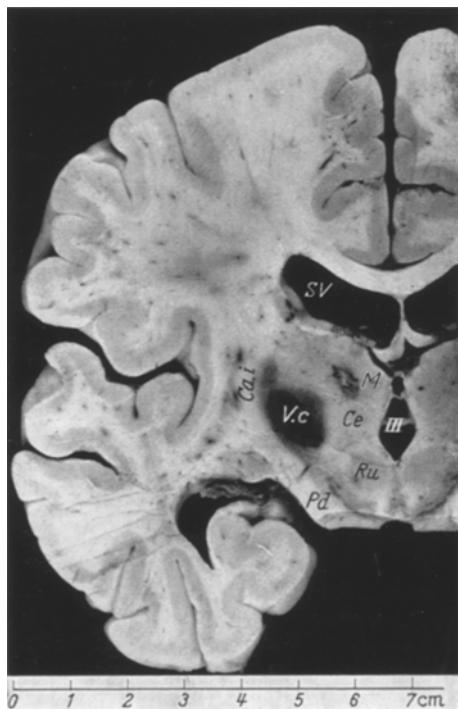


Abb. 3. P., G. Frontalabschnitt durch den Thalamus, 4 mm vor der hinteren Commissur. Herd im Demarkationsstadium, der caudale Ventralkern des Thalamus ist in seinen lateralen Teilen ausgeschaltet, entsprechend der Schmerzausdehnung im Bein, der mediale Teil (Trigeminusrepräsentation) ist gesondert. Ein zweiter, weitaus kleinerer Herd im Nucl. medialis thalami. Mäßiger Hydrocephalus internus. *III* 3. Ventrikel, *V.c.* Herd im caudalen Ventralkern, *M* Nucl. medialis mit kleinem Koagulationsherd, *Ca.i.* Capsula interna, *Ce*. Centre median, *Pd*. Pedunculus cerebri, *Ru*. Nucl. ruber, *SV*. Seitenventrikel

Herde. Neben reinen Fällen, in denen lediglich Sensibilitätsstörungen vorhanden sind, kommen Krankheitsbilder mit weiteren Symptomen vor. Sie sind durch zusätzliche Erweichungen in anderen Thalamuskernen oder benachbarten Fasersystemen bedingt. Ein häufiges Symptom, hervorgerufen durch gleichzeitige Läsion der Fasern des *Brachium conjunctivum*, die in der Basis des (sensiblen) caudalen Ventralkerns verlaufen, ist

eine kontralaterale Ataxie der Extremitäten. Bekannt ist auch die „main thalamique“, die auf zusätzliche Läsionen von extra pyramidalen Systemen in der Nähe des Thalamus beruht. Die den Schmerz bedingenden Herde sitzen in den sensiblen Thalamuskernen, die wir ebenfalls bei thalamischen Schmerzoperationen koagulieren. In diesem Vorgehen liegt scheinbar ein gewisser Widerspruch, auf den später noch näher eingegangen werden soll.

Fall 5. V., O. (geboren 27. 2. 1896). Seit 1951 Diabetes mellitus. 1953 Apoplexie. Er hatte dabei für 2 Std ein pelziges Gefühl im re. Bein und eine mimische Facialisparese re. 2 Monate später trat in der re. Hand — vor allem in den Kuppen des dritten, vierten und fünften Fingers — ein stechender Schmerz auf, der dauernd vorhanden war und sich bei Berührung bis ins Unerträgliche steigerte. Die Schmerzen hielten Tag und Nacht an. Eine stationäre Behandlung in verschiedenen Kliniken einschließlich einer Schlaftherapie und Hypnose waren ohne Erfolg geblieben.

Aufnahmefund. Adipöser Pat. mit einer labilen Hypertonie, Diabetes. Außerdem besteht auf Grund des EKG's der Verdacht einer Coronarinsuffizienz nach abgelaufenem kleinem Infarkt.

Neurologisch. Haltungsstörung der re. Hand, ähnlich einer „main thalamique“ mit Hyperpathie und stechenden Spontanschmerzen. Neben der Zwangshaltung findet sich eine Kraftminderung im re. Arm mit mäßiger Tonuserhöhung und Reflexsteigerung, außerdem angedeuteter Gordon und Oppenheim li. Der leicht pathologische Liquorbefund spricht für einen organischen Gefäßprozeß. Nach der Encephalographie Dekompensation seines Diabetes; deswegen Verlegung in die Medizinische Klinik. Das gleiche tritt auch nach Anlegen eines Trepanloches für die stereotaktische Operation ein. Gleichzeitig verschlechtert sich auch ein schon bestehender Nierenbefund und die arterielle Hypertonie. Trotzdem drängt der Pat. wegen unerträglicher Schmerzen zur Operation.

Nach Rückverlegung und Abheilen der Trepanlücke wird der Nucleus ventrocaudalis parvocellularis in seinem mittleren Anteil angezielt. Bei der Reizung ist der sonst typische Schmerzeffekt nicht zu erzielen. Dagegen kommt es bei der Koagulation zu starken Schmerzen im re. Arm mit Verkrampfung. Bereits nach der 2. Koagulation gibt der Pat. an, daß Berührungen nicht mehr schmerhaft seien und daß die Spontanschmerzen fehlen, die Zwangshaltung verschwindet. Es besteht eine deutliche Herabsetzung der Sensibilität im Bereich des re. Armes und re. Mundwinkels. In der postoperativen Periode klagt der Pat. nicht mehr über Schmerzen, die Haltungsstörung der Hand ist beseitigt. Bereits am Tage nach der Operation kommt es erneut zu einem Blutzuckeranstieg und zu einem Koma, so daß wieder eine Verlegung in die Medizinische Klinik stattfinden muß.

5 Wochen nach der Operation tritt spontan wieder eine Verschlechterung sowohl des Diabetes, wie auch des Nierenbefundes ein, so daß der Pat. wieder in die Medizinische Klinik verlegt werden muß. Dort tritt am 7. 5. 1958 der Tod ein.

Körpersektion. Thrombose der li. Coronararterie mit Herzversagen als Todesursache bei einem fortgeschrittenen Diabetes mellitus (Pathologisches Institut der Universität Freiburg).

Hirnsektion. Starke Arteriosklerose der basalen Gefäße, so daß deren Lumina weit klaffen; auffällige Kleinheit beider Thalami, re. mehr als li., als Folge von Gefäßherden. In der re. Hemisphäre kleiner, gelber Erweichungsherd im Ammons-horn und ein weiterer an der occipitalen Konvexität. Im Bereich der li. Hemisphäre Abflachung des Caudatumkopfes infolge eines kleinen gelben Herdes. Im li. Thalamus und zwar in seinem ventro-caudalen Kern, besteht ein $8,5 \times 4,5$ mm großer

Herd, der 2,5 mm medial von der inneren Kapsel aufhört. Er hat besonders den basalen Teil (*V.c.pc.e*) ausgeschaltet. Ein weiterer Koagulationsherd befindet sich im li. Medialkern von etwa 3×7 mm Größe (Abb. 6).

Epikrise. Wegen therapieresistenter Spontanschmerzen und Hyperpathie der rechten Hand mit Zwangshaltung nach einer Apoplexie werden im linken Thalamus zwei Herde, einer im ventro-caudalen Kern, ein kleiner im Medialkern gesetzt. Über Schmerzen und Hyperpathie wird danach nicht mehr geklagt. Es trat keine zusätzliche Parese an der rechten Körperseite auf. Der Patient kommt später auf Grund eines schweren Diabetes mellitus, einer allgemeinen Arteriosklerose und Coronarsklerose mit Coronarinfarkt ad exitum.

Die Autopsie ergibt einen korrekten Sitz der stereotaktisch gesetzten Herde im linken Thalamus. Die innere Kapsel und das Mittelhirn sind dabei verschont.

4. Zentrale Koagulationen bei andersartigen Schmerzzuständen

Gegen therapieresistente Schmerzen im Bereich des Schädels des Halses und des Schultergürtels, wie sie besonders bei malignen Tumoren und bei Plexusverletzungen entstehen können, ist bisher entweder die hohe Chordotomie oder die Mesencephalotomie versucht worden. Älteren, schon geschwächten Patienten können diese belastenden Eingriffe nicht mehr zugemutet werden. Außerdem kommen auch hier Versager vor. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Eingeweideschmerzen, (Tumoren, Tabes) wo eine doppelseitige, relativ hohe Chordotomie erfolgreich wäre. Wir haben deswegen bei diesen Patienten eine Schmerzbeseitigung mittels der Ausschaltung der Schmerzendigungsstätten im Thalamus versucht.

Hierfür gibt folgender Patient ein Beispiel:

Fall 6. W., F. (geboren 12. 3. 1900). Zustand nach Entfernung eines Plattenepithelcarcinoms des Kehlkopfes durch Radikaloperation, ohne Anhalt für ein Rezidiv. Der Pat. hat aber sehr starke Schmerzen im Gebiet des Trigeminus, des Glossopharyngeus und im Bereich des Halses und der Schulter. Es wird zunächst eine Operation nach Frazier durchgeführt, weil die Schmerzen im Trigeminusgebiet am stärksten sind. Danach besteht eine entsprechende Anaesthesia. Die Schmerzen sind nur für wenige Tage verschwunden, um dann verstärkt — besonders in den nicht denervierten Gebieten — aufzutreten. Deswegen unternimmt der sehr besonnene Pat., bei dem kein Arzneimittelabusus besteht, einen Selbstmordversuch. Es wird daher die Indikation zu einer Koagulation des inneren Teiles des caudalen Ventralkerns gestellt und die Operation durchgeführt. Die Röntgenuntersuchung ergibt die exakte Nadellage.

Reizung. 25—50/sec-Reize: Schmerz im Bereich des re. Armes und der Halsseite. Auch während der Koagulation Schmerzäußerungen. Eine exakte Analyse ist wegen der mangelhaften Verständigung (Exstirpation des Kehlkopfes) nicht möglich.

Postoperativ sind die Schmerzen verschwunden. Ein größerer zusätzlicher analgetischer Bezirk ist wegen der Sprechunfähigkeit nicht sicher feststellbar. Der Pat. wird schmerzfrei entlassen.

Epikrise. Schmerzen im Bereich des Gesichts, Schädels, des Halses und Rachens und der Schulter nach Radikaloperation eines Kehlkopfcarcinoms werden durch eine Koagulation in den medialen Teilen des caudalen Ventralkerns (*V.c.pc.i*) beseitigt. Zusätzliche Störungen treten nicht auf.

Fall 7. R., J. (geboren 22. 9. 1892). Seit dem 18. Lebensjahr eine Kyphose. 1914 luische Infektion mit nur unvollkommener Behandlung. 1931 tabische

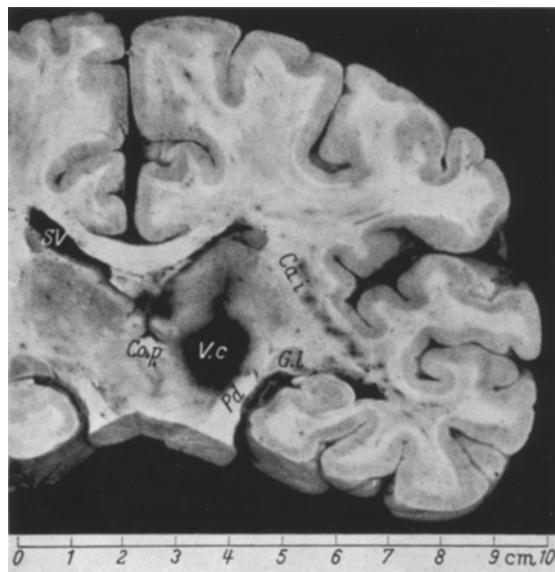


Abb. 4. R., J. Frontalschnitt in der Ebene der Commissura posterior. Frischer Coagulationsherd in der Basis des rechten Thalamus mit Übergreifen auf die Mittelhirnhaube. Über dem Herd Verlauf des Stichkanals. *Co.p.* Comm. post., *V.c.* Herd im caudalen Ventralkern, *Pd.* Pedunculus cerebri, *Ca.i.* Capsula interna, *SV* Seitenventrikel, *G.L* Geniculatum laterale

Schmerzen in beiden Beinen. Behandlung mit Malaria-, Salvarsan- und Schmierkuren. Der Erfolg ist nur mäßig. Der Liquor bleibt positiv. 1943 wird die Diagnose einer Tabes dorsalis einwandfrei gestellt, obgleich die unteren Extremitäten weniger als üblich betroffen sind. Im Laufe der folgenden 10 Jahre Besserung der Beinschmerzen, dafür heftige, krisenartige Schmerzen in der li. Brustseite. 1953 Resektion der Thorakalwurzeln 4–6 li. Danach Zunahme der Schmerzen.

Aufnahmefund. Pupillen lichtstarr und entrundet. Fehlen der Achillessehnenreflexe. Unsicherheit bei den Koordinationsprüfungen. Der Wassermann im Blut und Liquor negativ. Im Liquor leichte Pleocytose und geringe Kolloidveränderungen. Wegen der vorwiegend linksseitigen Krisen der Thorakalgegend wird eine rechtseitige Ausschaltung des Nucleus ventro-caudalis thalami geplant.

Operation (19. 1. 1954): Die Röntgenaufnahme ergibt eine exakte Nadellage. Bei höheren Frequenzen (8–50/sec) motorische Entladungen vorwiegend im Bereich des li. Armes, des Schultergebietes, des Pectoralis und Facialis. Trotz der bestehenden Dämpfung durch die potenzierte Narkose gibt der Pat. Schmerzaußerungen von

sich in Form von Stöhnen und Schmerzabwehrbewegungen, Erscheinungen, die die Reizung auch noch teilweise überdauern.

Koagulation. Deutliche, Schmerzäußerungen. Es wird anschließend noch eine kleinere zusätzliche Koagulation im Medialkern durchgeführt. Postoperativ keine spontanen Klagen über die bisherigen Schmerzen, obwohl der Pat. ansprechbar ist. Am vierten Tage nach der Operation ganz akute Zunahme der Atmung auf 60. Der Pat. wird bewußtlos und kommt sehr rasch ad exitum.

Die *Sektion* ergibt als Todesursache eine „große, akute Lungenembolie in der li. Lungenschlagader“ (Pathologisches Institut der Universität Freiburg).

Hirnsektion. Chronische Meningoencephalomyelitis auf Grund der Lues. Der Koagulationsherd sitzt im re. caudalen Ventralkern und betrifft (Abb.4) dessen basale Abschnitte. Er greift auf die Einstrahlung der medialen Schleife und des Tractus spino-thalamicus über. Eine Beteiligung der inneren Kapsel fehlt. Ein weiterer kleiner Koagulationsherd sitzt im mittleren Teil des re. Medialkerns. Die angezielten Substrate sind damit getroffen und ausgeschaltet.

Epikrise. Es handelt sich um eine Tabes dorsalis mit thorakalen Krisen links. Nachdem die Wurzelresektion ohne Erfolg vorgenommen worden war, wird eine rechtsseitige Koagulation vorwiegend im caudalen Ventralkern durchgeführt. Postoperativ keine Schmerzen, obgleich der Patient ansprechbar ist. Es tritt der Tod am vierten postoperativen Tag infolge einer massiven Lungenembolie ein. Die Hirnsektion ergibt eine exakte Lage des Koagulationsherdes bei einer chronischen Meningomyelitis luica.

Besprechung der pathologisch-anatomischen Befunde

Wie schon eingangs erwähnt wurde, haben wir vorwiegend diejenigen operierten Fälle hier aufgeführt und ausführlich behandelt, bei denen später eine anatomische Kontrolle vorliegt. Es geschah dies aus zwei Gründen. Zunächst sollte die Zielsicherheit der Methodik an diesen autoptischen Befunden klargestellt werden. Darüber liegen nur sehr wenige Befunde von stereotaktischen Schmerzoperationen vor (SPIEGEL u. WYCIS, TALAIRACH u. Mitarb.). Es ist zu bedenken, daß das Ausmaß und die Lokalisation des Koagulationsherdes doch nur begrenzt aus dem funktionellen postoperativen Befund abgelesen werden kann. Der autotische Befund gibt auch erst endgültige Klarheit über die Koagulationsmethodik, da im Experiment diese nicht in allen Bedingungen den Verhältnissen bei der Operation angeglichen werden kann. Im Gegensatz zur Pallidotomie erfordert gerade die Schmerzoperation im caudalen Ventralkern oder im Mesencephalon eine besonders exakte Lokalisation und Zielgenauigkeit. Es ist mit den modernen Geräten kein Problem mehr, einen auf dem Röntgenbild festgelegten Zielpunkt nun auch mit der Nadel im Hirn wirklich zu erreichen. Die Schwierigkeit besteht darin, die betreffende Struktur auf Grund des Encephalogramms durch die dargestellten Konturen zu lokalisieren. Es war uns hierbei vor allem wichtig, die Zuverlässigkeit unserer Berechnungsmethode, die versucht, sich den

individuellen Maßen des Patientenhirns anzupassen, zu kontrollieren. In zweiter Linie sollten die anatomisch festgestellten Läsionen mit dem postoperativen neurologischen Befund in Beziehung gesetzt werden. Es lassen sich auf diese Weise anatomisch fundierte Rückschlüsse auf Lokalisation und Topik der Schmerzsysteme ziehen. Gleichzeitig gibt die anatomische Kontrolle eine bessere Basis für die Analyse der Reizeffekte in den sensiblen Systemen.

Für unsere Fragestellung kommen die Fälle 4, 5, 7 in Frage, die hier bezüglich ihres pathologisch-anatomischen Befundes nochmals diskutiert werden sollen.

Bezüglich der Korrelation der Herdgröße zur Koagulationsmethodik können die Angaben über Zahl- und Stromintensität nicht in allen Fällen gleichgesetzt werden, da wir zu einem späteren Zeitpunkt ein wesentlich differenzierteres, abgeändertes Hochfrequenzgerät verwandt haben.

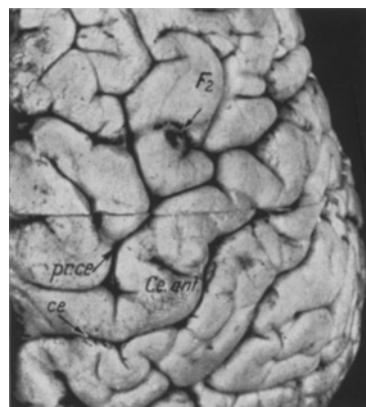


Abb. 5. R., J. (Oberfläche der rechten Hemisphäre). Die Einstichstelle in der zweiten Frontalwindung ist $1\frac{1}{2}$ mm groß, es finden sich keine Rindenblutungen

Fall 7 (R., J.). Hier wurde noch das alte Koagulationsgerät verwendet. Im Bereich der Hirnhäute und der Einstichstelle (Abb. 5) keine Blutung, keine entzündliche Reaktion. Der Koagulationsherd (Abb. 4) hat eine ovale Gestalt mit 12 mm Länge, 9 mm Breite und besteht aus einer durchbluteten Nekrose. Er sitzt im ventralen Rand des re. Thalamus, in der Ebene der Commissura posterior, mit seinem ventralen Rand greift er auf das dorsale Tegmentum mesencephali über. Der äußere Herdrand fällt mit der Grenze des Pedunculus cerebri an seinem Übergang in die innere Kapsel zusammen. Eine Läsion der Capsula interna ist nicht eingetreten. Nach medial reicht ein kleiner Ausläufer des Herdes in den Nucleus limitans thalami an der Grenze gegen das Mittelhirn hinein. Der basale Anteil des caudalen Ventralkerns, in welchem die sensiblen Bahnen endigen, ist völlig zerstört. Die dorsalen Anteile des gleichen Thalamuskerns sind lateral teilweise verschont. Diese Herdgröße war mit 4 Koagulationen bei einer Elektrodenlänge von 4 mm erreicht worden. Die Lokalisation des Herdes entspricht der angezielten Struktur, die vollständig ausgeschaltet ist. In der Längsausdehnung überschreitet die Herdgröße das unbedingt notwendige Maß, dabei aber sind wichtige Nachbarschaftsstrukturen, wie die corticospinalen Bahnen nicht betroffen worden. Auch der Herd im Nucleus medialis (Dorso-medialis nach LE GROS CLARK) zerstört diesen vollständig und respektiert die Nachbarstrukturen.

Nebenbefunde. Der Stichkanal ist durch eine strichförmige Blutung gezeichnet. In seinem Verlauf durch das mediale Caudatum liegt eine kleine Blutung von $7\frac{1}{2} \times 3$ mm Größe. Im kontralateralen Gyrus cinguli einzelne flohstichartige Blutungen, die mechanisch nicht erklärt werden können, (collaterale Gefäßreaktion im Bereich der Arteria cerebri anterior der Gegenseite?).

Fall 4 (P., G.). Hirnoberfläche reizlos, Einstichstelle kaum sichtbar. Erheblicher Hydrocephalus internus, einschließlich des 3. Ventrikels.

Lokalisation und Größe des Herdes. Ovaler Herd von 9×6 mm Größe. Leichte ödematöse Durchtränkung der Umgebung. Der nekrotische Bezirk zeigte eine beginnende Demarkation. Der Herd sitzt im li. caudalen Ventralkern (*V.c.*), lateral

vom Centre médian und grenzt an die Capsula interna. Sein ventrales Ende liegt im basalen Nucleus ventro-caudalis parvocellularis und greift nicht auf das Mittelhirn über. Die ödematöse Durchtränkung dehnt sich in 1 mm Breite in die benachbarte innere Kapsel aus. Eine Zerstörung von Nachbarstrukturen ist nicht eingetreten. Es findet sich ein weizenkornengroßer Herd im lateralen Teil des li. Nucleus medialis, entsprechend der Einstellung der Zielnadel. Auch hier sind keine Nachbarstrukturen zerstört worden. Der Rest des Stichkanals ist in 1 mm Breite eben erkennbar. Außerhalb des Thalamus keine Nebenverletzungen. (Abb. 3, s. Legende.)

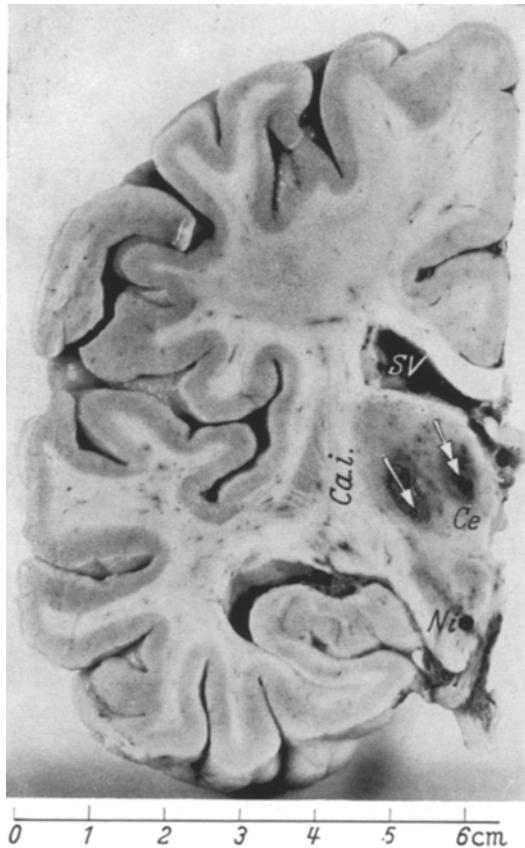


Abb. 6. V., O. Frontalschnitt durch den linken Thalamus, kurz vor der Ebene der Commissura posterior, größerer Koagulationsherd im caudalen Ventralkern, ein kleinerer im Nucleus medialis. ↓ Herd im caudalen Ventralkern, ↴ Herd im Medialkern, *Ca.i.* Capsula interna, *Ni* Nucleus niger, *SV* Seitenventrikel, *Ce* Centre médian

in seinen dorsalen Anteilen geschrumpft. Auch im li. Thalamus findet sich dorsal eine Strukturveränderung bei leichter allgemeiner corticaler Atrophie.

Lokalisation und Größe des Herdes. Im li. caudalen Ventralkern — in dessen mittleren Anteil — sitzt ein $4,5 \times 8,5$ mm großer Koagulationsherd (Abb. 6) mit beginnender Demarkation. Gegenüber der inneren Kapsel befindet sich ein 2,5 mm breiter, intakter Gewebsstreifen. Auch das Centre médian ist nicht beschädigt. Der

Fall 3 (V., O.). Einstichstelle lateral in der ersten Frontalwundung. Keine entzündliche Reaktion in der Umgebung, keine Blutung. Leichte, corticale Atrophie, kein stärkerer Hydrocephalus internus, schwere Arteriosklerose der basalen Gefäße, mit arteriosklerotischen Herden im Bereich beider Occipitallappen. Der re. Thalamus ist vor allem

Herd greift nicht auf das Tegmentum mesencephali über. Ein zweiter kleinerer Herd liegt im li. Nucleus medialis, etwa in der Mitte seiner Ausdehnung. Größe: 3×7 mm. Keine Verletzung von Nachbarstrukturen. Im li. Corpus caudati findet sich eine spaltförmige Blutung entsprechend dem Verlauf des Stichkanals. (Abb. 6 u. 7, s. Legende.)

Besprechung der Ergebnisse

a) *Zur Technik.* Die Koagulationen bei Schmerzzuständen erfordern eine genauere Lokalisation als bei der Pallidotomie. Gründe hierfür sind vor allem durch die Kleinheit der auszuschaltenden Kerne und die funktionell sehr wichtigen Nachbarstrukturen gegeben. Die Autopsie bestätigte, daß die angezielten Gebilde getroffen und auch ausgeschaltet worden waren, was die Genauigkeit der Methodik demonstriert.

Für die therapeutische Wirkung sind 2 verschiedene Bedingungen von Bedeutung. Zunächst muß die Spitze der Zielnadel die angezielte Struktur erreichen. Nicht minder wichtig ist es jedoch, den Koagulationsherd so groß zu halten, daß der angezielte Kern nahezu vollständig ausgeschaltet wird, damit Rezidive nicht auftreten können. Da die Form der angezielten Struktur durchaus nicht immer der Richtungsachse der Nadel entspricht und auch meist nicht oval oder kugelförmig ist, kann sich diese Aufgabe besonders schwierig gestalten und oft nur mit Hilfe einer ausfahrbaren Saitenelektrode, wie wir sie benutzen, erreicht werden. Eine zu große Koagulation kann andererseits aber auch bei richtigem Sitz der Zielnadel Nebenerscheinungen hervorrufen. Die wiedergegebenen drei Autopsien und die reizphysiologischen Ergebnisse bei den übrigen Fällen zeigen, daß die angewandte Lokalisationsmethode es erlaubt, die angezielte Hirnstruktur mit hinreichender Genauigkeit zu erreichen. Dabei ergibt sich aus den Fällen 4 und 5, daß es sogar möglich ist, in der gesamten sensiblen Vertretung bestimmte Areale bevorzugt auszuschalten, etwa das Gesicht bei der Trigeminusneuralgie, oder die untere Extremität bei Phantomschmerzen im Bein. Dabei können andere Abschnitte der sensiblen Vertretung teilweise oder ganz ausgespart werden. Für diese differenzierte Ausschaltung sind allerdings mehrere Koagulationen unter ständiger Kontrolle der sensiblen Effekte erforderlich. Trotz der positiven mitgeteilten Ergebnisse soll betont werden, daß in einzelnen Fällen eine Fehllokalisierung der Nadel durchaus im Bereich des Möglichen liegt, besonders bei Veränderungen der makroskopischen Hirnstruktur (Hydrocephalus, Gefäßherde, Heterotopien usw.).

b) *Patho-physiologische Auswertung.* Ergibt die Röntgenaufnahme, daß die Spitze der Zielnadel in dem auf dem Encephalogramm markierten Punkt sitzt, so muß die physiologische Reizung zusätzlich noch erweisen, daß dieser auch dem funktionellen System entspricht, welches ausgeschaltet werden soll. Der Effekt der Reizung ist bei gleichbleibender Nadel-lage weitgehend von der angewandten Reizart abhängig, wie dieses auch

nach tierexperimentellen Befunden, besonders denen von HESS, sowie CURE u. RASMUSSEN zu erwarten war. So ist z.B. bei den Tyratronströmen, die wir hierfür anwenden, die Reizfrequenz von großer Bedeutung. Während bei Reizungen in den extrapyramidalen Strukturen durch eine solche Änderung der Frequenz oft ganz entgegengesetzte Ergebnisse erzielt werden können (Bahnung, bzw. Unterbrechung eines Tremors), manifestiert sich die Frequenzabhängigkeit bei sensiblen Strukturen in anderer Weise. Um hier zu einheitlichen vergleichbaren Resultaten zu kommen, registrieren wir die Reizeffekte bei den verschiedenen Arten des Reizstromes in einem bestimmten Schema, das im folgenden wiedergegeben werden soll.

Nr. 344 Datum: 18. 12. 1957

1. Zp. V.c.pc.e
2. Zp.

Reizprotokoll zur stereotaktischen Operation

Name: Johann K. * 28. 8. 1914

Phantomschmerz re. Arm nach Amputation

	Reizfrequenz (f/sec)	Reizstärke (Skalenteile)	Reizeffekt
bipolare Reizung im Abstand von 3 mm, Spitze im Zielpunkt	1	40	Zuckungen des Stumpfes im Reiz-Rhythmus mit Gefühl im Phantom. idem:
	1	60—80	Elektrisierendes Gefühl im Phantom und Stumpf. Zuckungen des Stumpfes in Reizrhythmus.
	4	40	idem: „als wenn ich in Strom hineinlangen täte mit dem Phantom“.
	4	80	idem:
	8	30	Schmerhaftes Elektrisieren in Handfläche des Phantoms. Tonische Hebung des Stumpfes.
	25	40	idem und Surren im Kopf, „als wenn man von der Höhe herunterfällt“. Schmerzen im Stumpf bis in Achselhöhle, Schmerzen in Phantomhand nehmen nach Ende der Reizung noch zu.
	25	70	Stumpf hochgerissen, Schmerzen im Phantom.
Reznadel 1 mm zurück	25	40	Stumpf hochgerissen, Schmerzen im ganzen Phantom-Arm; Gefühl, als ob der Phantom-Arm zurück- und weggeschleudert würde.
	50	30	

Die Auswertung dieser Reizprotokolle hat folgendes ergeben: Bei einer Reizfrequenz unter 20/sec mit Tyratronströmen entstehen in einem umschriebenen Körperteil reizrhythmische Zuckungen, wobei die Patienten gleichzeitig ein Stromgefühl im betreffenden Körperteil angeben. Dies kann bei 8/sec schon gelegentlich unangenehm sein, ist aber nicht

schmerhaft. Wird die Reizfrequenz gesteigert, so kann es zu schmerzhaften Paraesthesiaen kommen, die dann in Schmerzen übergehen. Der stärkste Schmerzeffekt wird während der Koagulation erlebt. Die Schmerzen werden ebenfalls abhängig von der Reizfrequenz als brennend und stechend angegeben, besonders bei höheren Frequenzen kommt es zu krampfartigen Schmerzen mit motorischen Phänomenen, die wohl reflektorisch bedingt sind. Die krampfartigen Schmerzen dehnen sich über größere Körperregionen aus. Oft kommt bei gleicher Nadellage durch Ändern der Intensität und Frequenz ein unterschiedlicher motorischer und sensibler Effekt zu Stande. Hierbei können die Patienten das Vorherrschende der einen oder anderen Komponente oft nicht genau analysieren („schmerhaftes Zucken“). Besonders auffällig ist aber ein halbseitiger Schmerzausdruck mit starken Verzerrungen des Gesichtes, Ausstoßen von Schreien und Stöhnen, verbunden mit einer Beugeverkrampfung der betreffenden Körperseite. Der Mund wird dabei aufgerissen, halbseitig kontrahiert und nach hinten gezogen, wie es schon von MONNIER beschrieben worden ist.

Besonders zu erwähnen sind die Erlebnisse im Phantom. Bei niederen Reizfrequenzen kommt es nicht regelmäßig zu reizabhängigen Sensationen des Phantoms. Bei zunehmender Frequenz werden Schmerzen im Stumpf und auch im Phantom empfunden. Es kommt aber auch zu schmerzhaften Haltungsänderungen des Stumpfes und Phantoms. Während der Reizung können auch kleine Teile des Phantoms, wie etwa die Handfläche oder der Fußballen, isoliert als unerträglich schmerhaft empfunden werden. Bei guter Nadellage gelingt es, den Phantomschmerz zu provozieren, auch wenn er vor der Reizung nicht vorhanden war. In solchen Fällen verschwindet der Phantomschmerz mit dem Reizende. Bei Schmerzzuständen im Trigeminusgebiet und im Gesicht kann auch die Schmerzqualität, die der Patient in seinen Neuralgien gewöhnlich empfindet, reproduzierbar sein. Es dürfte, abgesehen von der Lokalisation und Reizart, die Bahnung für die Besonderheit des Schmerzerlebnisses von Bedeutung sein.

Die Ausdehnung der Koagulation bestimmen wir nicht nur nach den Angaben des Patienten (Verschwinden der vorher bestehenden Schmerzen), sondern vor allem auch nach der Ausdehnung der Analgesie und Hypaesthesia. Mit einer Ausnahme war es möglich, durch die Operation nicht nur den Phantomschmerz zu beseitigen, sondern auch die nicht schmerzhaften Teile des Phantoms. Eine Wiederkehr des Phantoms nach unterschiedlicher Zeit, meist in rudimentärer Form, braucht nicht mit einer Wiederkehr des Phantomschmerzes verbunden zu sein. Mit einer Ausnahme kam es bei andersbedingten Schmerzzuständen nicht zu einer Störung des Körperschemas. Es ist wichtig, während der Operation nicht nur die Schmerzbeseitigung zu erstreben, sondern auch ein analgetisches

Areal zu erreichen, das die Grenzen des Schmerzbezirkes etwas überschreitet.

Die Ausdehnung des durch die Operation gesetzten analgetischen Bezirkes ist in den ersten Tagen verhältnismäßig groß. Nach einer Woche wird dieser Bezirk kleiner; es kann in ehemals zusammenhängenden analgetischen Regionen zu inselförmigen Aussparungen der Analgesie kommen. Eine Rückbildung der Analgesie der ehemals schmerzbefallenen Gebiete zur Hypalgesie braucht nicht mit einer Wiederkehr der neuralgischen Schmerzen verbunden zu sein.

Der durch die Koagulation hervorgerufene sensible Ausfallsbezirk ist je nach der Stärke der Koagulation unterschiedlich groß. Er kann eine ganze Körperhälfte betreffen, was besonders in den ersten Tagen nach der Operation vorkommt. Der sensible Ausfall richtet sich danach, in welchem Repräsentationsgebiet der Koagulationsherd gesetzt wurde, ob im Gesicht-, Arm- oder Beingebiet. Wenn Koagulationsherde im Gesichtsgebiet des sensiblen Ventralkerns gesetzt wurden, war regelmäßig außer dem Trigeminusgebiet und dem Gebiet von C2 und C3 auch ein sensibler Ausfall an den Fingern und an der Hand der gleichen Körperseite festzustellen. Wenn der Koagulationsherd in der Armvertretung innerhalb des sensiblen Ventralkerns gesetzt wurde, betraf die postoperative Hypalgesie oder Analgesie auch den Rumpf, gelegentlich sogar das Bein mit und reichte nach oben bis an den Trigeminusbereich heran. Ein zu großer, sensibler Defekt, der bei der Operation absichtlich hervorgerufen wird, um eine komplette Ausschaltung der schmerzbefallenen Zone zu erreichen, pflegt sich nach einigen Tagen oder Wochen in seiner Größe zurückzubilden. Als Endzustand können sich oft sehr eigenartig verteilte Sensibilitätsausfälle ergeben. So wurde bei einem Patienten mit einem Phantombein eine Analgesie im Bereich des Stumpfes, eine Hypalgesie im Bereich der ersten Finger der gleichseitigen Hand und ein ähnlich hypalgetischer Bezirk, der quer durch alle 3 Äste des Trigeminusgebietes hindurchging, festgestellt (s. Abb. 2).

Aus der Verteilung der postoperativen Sensibilitätsdefekte ergibt sich, daß es mit der Methodik möglich ist, die Trigeminusrepräsentation fast vollständig auszuschalten, mit gleichzeitiger Beteiligung von oberen Halssegmenten; dabei findet sich ähnlich wie bei den corticalen Sensibilitätsstörungen ein bevorzugtes Befallensein der Extremitätenenden, die im Cortex und im Thalamus besonders große Vertretungen haben. Die Erklärung für die etwas bizarr anmutenden restlichen sensiblen Ausfälle ist, daß die Koagulationsherde etwa Cylinder- oder Kugelform besitzen, während die sensiblen Vertretungen im Ventralkerngebiet zum Teil die Form von Schalen haben, so daß durch einen kugelförmigen Herd benachbarte Vertretungen des Arm- oder Beingebietes partiell mit geschädigt werden. Diese partielle Schädigung erklärt die fleckförmigen

Sensibilitätsausfälle in der Nachbarvertretung. In dem oben erwähnten autoptischen Fall 5 war die Hypaesthesia an der unteren Extremität nach der Ausschaltung des Armgebietes postoperativ nur leichten Grades. Die Sektion ergibt, daß das Armgebiet fast vollständig ausgeschaltet ist, während große Teile der Repräsentation des Beines im caudalen Ventralkern erhalten geblieben sind. Damit ist eine autoptische Bestätigung dieser klinischen Beobachtungen über die differente sensible Vertretung gegeben. In Übereinstimmung mit den komplizierten somatotopischen Gliederung im sensiblen Thalamus zeigen auch die operierten Fälle, daß es mit der stereotaktischen Methode möglich ist, einzelne Körperregionen sensibel ziemlich isoliert mit therapeutischem Effekt auszuschalten. Es gelingt aber nicht, kleinere Areale innerhalb dieser Regionen auf die Dauer umschrieben soweit auszuschalten, daß sie schmerzfrei bleiben. Die klinischen und klinisch-autoptischen Beobachtungen bestätigen also die bereits aus den Endigungen der Fasersysteme und aus den physiologischen Experimenten gezogenen Schlußfolgerungen auf eine getrennte Vertretung der einzelnen Körperregionen in den sensiblen Ventralkernen. Dabei liegt die Trigeminusvertretung medial im sogenannten Nucleus arcuatus oder ventro-caudalis internus (*V.c.i* oder *VPM*); die Vertretung der oberen Körperhälfte mit dem Arm im mittleren Teil und die Vertretung der unteren Körperhälfte mit dem Bein im lateralen Teil des sensiblen Ventralkerns (Nucleus ventro-caudalis externus = *V.c.e* oder *VPL*).

Bei den therapieresistenten Schmerzzuständen wurde als Zielpunkt der basale Teil = Nucleus ventro-caudalis parvocellularis; *V.c.pc* gewählt. Der Grund ist, daß in diesem basalen Teil die Fasern des Tractus spinothalamicus überwiegend endigen. Diese Schlußfolgerung aus fasersystematischen Untersuchungen bedurfte noch der funktionellen Bestätigung. Sie ergibt sich bereits aus der intraoperativen Reizkontrolle. Nur bei basaler Lage der Zielelektrode wurden Schmerzgefühle ausgelöst; wurde dagegen die Nadel um mehr als 4 mm zurückgezogen, kam es nicht zum Schmerzeffekt. Die postoperativen Sensibilitätsausfälle betreffen die einzelnen sensiblen Modalitäten gelegentlich in unterschiedlichem Maß, wie dies die referierten Fälle zeigen, eindeutig dissoziiert, z. B. Fall 3.

Ein Beispiel für die Differenzierung in bezug auf die einzelnen sensiblen Modalitäten ergibt auch der folgende Fall eines Phantomarmes. Bei diesem Patienten (J. H.) müssen allerdings die postoperativen sensiblen Ausfälle von den präoperativen abgegrenzt werden, da der Kranke bereits vor der Operation an einer Syringomyelie und Syringobulbie litt. Präoperativ bestand im Gebiet von C 4 bis Th 6 eine dissozierte Empfindungsstörung, ebenfalls im Bereich des ersten Trigeminusastes re. Postoperativ war die sensible Störung ausgedehnter und betraf die Thorakalsegmente von Th 9 herauf bis C 2, außerdem im Trigeminusgebiet re. auch den zweiten und dritten Ast unter Aussparung der Mundschleimhaut. In diesen Gebieten war postoperativ die Schmerz- und Temperaturempfindung erheblich herabgesetzt, während die einfache Berührungsempfindung nur gering gestört war und Zahlen gut

erkannt werden konnten. Die Diskrimination und Vibrationsempfindung in den postoperativ zusätzlich gestörten Gebieten war nicht gestört. Er hatte postoperativ auch auf der re. Zungenseite eine Geschmacksstörung.

Es ist berechtigt, daraus den Schluß zu ziehen, daß in den basalen Anteilen des caudalen Ventralkerns insbesondere eine Vertretung der Schmerz- und Temperaturempfindung lokalisiert ist, während die anderen sensiblen Qualitäten in anderen Bereichen des caudalen Ventralkerns lokalisiert sind. Es ist bemerkenswert, daß auch vom Thalamus her durch eine relativ umschriebene Koagulation eine *dissozierte Empfindungsstörung* entstehen kann. Postoperativ hatten wir halbseitige Geschmacksstörungen unter den Patienten gefunden, bei denen wegen eines Trigeminusschmerzzustandes die Operation durchgeführt wurde. Diese Tatsache stimmt überein mit dem experimentellen Befund, daß die Geschmacksrepräsentation in den medialsten Anteilen des Nucleus arcuatus liegt (PATTON, WALKER u. RUCH).

Nebenerscheinungen

a) *klinisch*. Postoperativ macht sich in den meisten Fällen auf der Gegenseite zum Koagulationsherd eine Ataxie bemerkbar, die die Extremitäten betrifft. Wenn die Patienten das Bett verlassen, ist das Gehen mit dem gegenseitigen Bein unsicher. Diese Ataxie darf nicht als Parese verkannt werden, sie pflegt sich nach einigen Wochen zurückzubilden. Sie beruht offenbar darauf, daß der Herd in den basalen Abschnitten des caudalen Ventralkerns die dort durchziehenden Fasern des Brachium conjunctivum unterbricht. Die Fasern verlaufen als feine Schicht in der Basis dieses Kernes zum oralen Ventralkern und können bei erfolgreicher Koagulation kaum ausgespart werden.

Im postoperativen Schwellungsstadium treten nach Koagulationen in den sensiblen Ventralkernen häufig leichte Pyramidenbahnsymptome auf der gegenüberliegenden Körperseite auf. Diese äußern sich an der oberen Extremität in einer Absinktendenz beim Vorhalten der Arme mit Pronation und an den unteren Extremitäten mit einer leichten Parese im Sprunggelenk. Auch eine leichte Reflexsteigerung auf der contralateralen Seite findet sich im Anfang mehrfach. Diese Erscheinungen pflegen sich später zumeist auszugleichen. Sie beruhen auf einem Ödem des benachbarten hinteren Teils der inneren Kapsel, durch den der Hauptteil der Pyramidenbahn, vornehmlich ihre dicken Fasern, ziehen (siehe Abb. 3).

In einem Fall eines schweren Bechterew mit kyphoskoliotischen Deformationen der Wirbelsäule und Arachnitis spinalis ließ sich nicht entscheiden, ob eine nach einer doppelseitigen Schmerzoperation aufgetretene Spastik Folge der thalamischen Koagulation oder Folge der vorangegangenen Rückenmarkschädigung bzw. der Voroperation (Chordotomie) gewesen ist.

In einem weiteren Fall trat eine Sprachstörung auf, die im Anfang sowohl artikularisch wie auch teilweise motorisch-aphasisch war. Die motorische Aphasie hat sich inzwischen zurückgebildet, während die Artikulationsstörung in Resten auch

noch nach einem Jahr vorhanden ist. Am ehesten kann man diese Erscheinung als Fernsymptom bei einer Gefäßreaktion deuten.

Eine ernste Komplikation der Koagulationen im sensiblen Ventralkern des Thalamus, die man theoretisch in Erwägung ziehen mußte, wäre ein Thalamussyndrom mit Spontanschmerzen und Hyperpathie. Dies hat uns auch längere Zeit davon abgehalten, Schmerzoperationen im Thalamus vorzunehmen. Zudem hatte MONNIER nach Thalamuskoagulationen ein Thalamussyndrom beschrieben. Diese Gefahr schien vor allem dann zu bestehen, wenn die Schmerzzustände nicht durch einen thalamischen Gefäß- oder andersartig hervorgerufenen Herd entstanden sind. In 12 Fällen, die ein Thalamussyndrom hatten, haben TALAIRACH u. HÉCAEN u. Mitarb. mit großen Koagulationen im caudalen Abschnitt des Thalamus gute therapeutische Resultate erzielt.

Die klinische Erfahrung in den beschriebenen Fällen zeigt, daß nur selten Erscheinungen eines Thalamussyndroms nach Schmerzzuständen auftreten. Abgesehen von den oben schon erwähnten leichten motorischen Symptomen empfanden einige Patienten die zusätzlich durch die thalamische Koagulation bedingten Sensibilitätsstörungen einige Zeit als leicht unangenehm und störend. Wir haben bei diesen Fällen aber nie — mit Ausnahme eines gleich zu schildernden Falles — echte thalamische Schmerzzustände mit einer Haltung anomalie (*main thalamique*) beobachtet.

Ein fragliches Thalamussyndrom mit Thalamusschmerzen in den vorher nicht betroffenen Körperabschnitten sahen wir bei einem diabetischen Patienten. Wegen eines heftigen Phantomschmerzes im exarticulierten re. Arm wurde eine Thalamotomie in den sensiblen Ventralkernen durchgeführt. Das Phantom verschwand auf dem Operationstisch einschließlich der Schmerzen völlig. Postoperativ hatte der Patient eine zunächst vollständige Hemianaesthesia an der gegenüberliegenden Körperseite mit geringerer Beteiligung des Trigeminusgebietes. Außerdem bestand eine schwere Ataxie im re. Bein, aber nur eine geringfügige Parese am re. Fuß und keine sicheren Pyramidenbahnzeichen. Der Pat. wußte nicht, wo das re. Bein lag und suchte nach ihm im Bett. Er war in den ersten Wochen nicht in der Lage, mit dem re. Bein aufzutreten, sondern fiel, sobald er das re. Bein belasten wollte, hin. Es war das re. Bein offenbar bei ihm im Körperschema ausgelöscht, so daß auch motorisch dieses nicht benutzt werden konnte, wenn nicht die optische Aufmerksamkeit auf dasselbe gerichtet wurde. Durch Übungen unter optischer Kontrolle lernte der Pat. aber relativ schnell wieder das re. Bein gebrauchen und konnte nach 4 Wochen — abgesehen von einer leichten Ataxie — wieder laufen. Etwa 6 Wochen nach der Thalamusoperation, als die Sensibilität im re. Bein etwas wiederkehrte, begann der Pat. über Mißempfindungen in der re. Körperseite zu klagen, die er als Schmerzen bezeichnete. Eine einwandfreie Klärung dieses fraglichen Thalamussyndroms konnte nicht erreicht werden, weil der Pat. von der Furcht beherrscht war, seine 100%ige Rente zu verlieren und Opiate nahm. Bei genauen sensiblen Prüfungen gab er an der re. Körperseite eine unerträgliche Hyperalgesie an, die aber auch behauptet wurde, wenn die Untersuchungsnadel die Haut überhaupt nicht berührte.

Es läßt sich nicht endgültig entscheiden, warum wir nach den Koagulationen kaum Thalamussyndrome beobachtet haben. Es muß allerdings

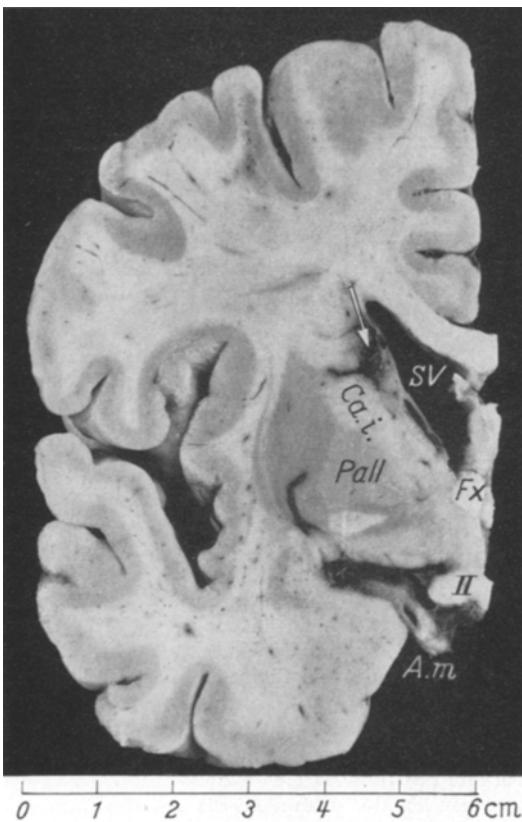
hervorgehoben werden, daß die in der Literatur beschriebenen vasculären Thalamussyndrome autoptisch oft kleinere Herde als Grundlage hatten, als die bei unseren Patienten durch therapeutische Koagulation hervorgerufenen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß ein gefäßbedingtes Thalamussyndrom durch eine zusätzliche, ausgedehnte

Koagulation in den caudalen Ventralkernen therapeutisch sehr günstig beeinflußt werden kann, wie die Fälle von TALAIRACH u. Mitarb. und die eigenen Fälle zeigten. Auch die in der Literatur niedergelegten klinischen Beobachtungen, daß ein Thalamussyndrom nach einem erneuten apoplektischen Insult mit zusätzlicher weiterer Sensibilitätsstörung verschwindet, spricht für die Erklärung, daß die restlichen mit sensiblen Fasern versorgten Thalamuskerne für den Thalamusschmerz verantwortlich sind und ihre zusätzliche vollständige Ausschaltung den Spontanschmerz wieder beseitigt.

b) anatomisch. Außer den beschriebenen, klinisch erfassbaren Nebenläsionen besteht die Möglichkeit von opera-

Abb. 7. V., O. Frontalschnitt durch die Ebene des Foramen Monroi. Das linke Corpus caudati weist im Bereich des Stichkanals eine schmale Blutung auf. ↓ Stichkanal mit Blutung, Pall. Pallidum, Fx Fornix, Ca.i. Capsula interna, II Chiasma, A.m. Art. cerebri media, schwer arteriosklerotisch verändert, SV Seitenventrikel

tiven Gewebsschädigungen, deren Wirkung sich aus dem klinischen Bild nicht deutlich ablesen läßt. Die Läsionen im Großhirnmark, die durch das Einführen der kurzen und dickeren Führungskanüle hervorgerufen werden, entsprechen den Gewebsschädigungen durch die Cushingnadel bei den Ventriculographien, da der Durchmesser beider Nadeln übereinstimmt. Bei zwei von unseren autoptischen Fällen findet sich im Bereich



des Stichkanals eine Blutung (Abb. 7), die so klein ist, daß ihr funktionell keine Bedeutung zukommt. Daraus könnte eine Ventrikelblutung entstehen.

Bei einer großen Zahl von Operationen muß allerdings mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß es einmal durch Schädigung eines Gefäßes zu einer Tiefenblutung kommt, wie wir dies bei den Operationen gegen Parkinsonismus vereinzelt gesehen haben. Diese Gefahr besteht besonders im Bereich des Seitenventrikels (Vena terminalis, Arteria chorioidea). Dadurch können sekundäre Blutungen im Caudatum entstehen (Abb. 7) und in den Seitenventrikel hinein. Es kann auch anscheinend auf dem Wege über vasomotorische Reflexe zu kleinsten Blutungen in der nicht koagulierten Hemisphäre und besonders im Versorgungsgebiet der Arteria cerebi anterior kommen. Diese Herde waren hier so klein, daß sie sich klinisch nicht bemerkbar gemacht haben. Unter Umständen sind sie auch als Folge der vorangegangenen Encephalographie zu deuten.

Besprechung der Todesfälle

Der Patient Fall 7 mit Tabes dorsalis (R., J.) der am 4. Tage nach dem Eingriff in der Klinik akut verstarb, hatte als Todesursache eine massive Lungenembolie (Pathologisch-anatomisches Institut Freiburg/Br.).

Bei dem zweiten Patienten (P., G.) entwickelte sich postoperativ eine schwere Parotitis mit Temperatursteigerung; im Anschluß an die Incision kam es zu einer Bronchopneumonie. Der Patient verstarb am 12. Tage nach der Operation an einer confluierenden Bronchopneumonie.

Der dritte Patient hatte jahrelang einen Diabetes und eine Arteriosklerose der Coronararterien und der übrigen Körperarterien. Er kam prä- und postoperativ in ein diabetisches Koma und mußte mehrfach in die Medizinische Universitätsklinik zur Behandlung verlegt werden. Er verstarb $5\frac{1}{2}$ Wochen nach der Operation, nachdem wegen eines erneuten Komas wieder eine Verlegung in die Medizinische Universitätsklinik notwendig geworden war. Eine cerebrale Komplikation, die als Todesursache hätte verantwortlich gemacht werden können, fand sich nicht, aber eine Coronarthrombose mit Herzversagen. In diesem Falle besteht kein Zusammenhang mit dem operativen Eingriff.

Auch in den ersten beiden Fällen, die bald nach der Operation starben, konnte ein cerebraler Befund als Todesursache nicht erhoben werden.

Aufgrund der angeführten Fälle könnte der Eindruck entstehen, daß zum Tode führende Komplikationen von Seiten des Gehirns bei den gezielten Hirnoperationen nicht vorkommen. Überblickt man jedoch ein größeres Material an stereotaktischen Operationen, die auch aus anderen Indikationen heraus ausgeführt worden sind (unsere bis Jan. 1959 Erfahrungen beziehen sich auf 575 stereotaktische Operationen mit einer postoperativen Mortalität von 1,9%), so zeigt es sich, daß es sehr wohl nach stereotaktischen Eingriffen zu schweren tödlichen cerebralen Komplikationen durch postoperative Blutungen kommen kann. Bei den Schmerzpatienten ist ferner zu bedenken, daß sie durch den langen Leidenszustand und häufigen Opiate mißbrauch in ihrer Widerstandskraft primär geschwächt sind.

Indikationen

Bei der Indikationsstellung und vor allem der Beurteilung der Resultate muß allgemein berücksichtigt werden, daß die operierten Kranken unter chronischen Schmerzzuständen litten, bei denen zum Teil eine andere

operative Behandlungsmöglichkeit ohne Erfolg war bzw. nicht bestand, wie bei der Zosterneuralgie oder beim gefäßbedingten Thalamusschmerz. Überblickt man die Resultate, so hat besonders der primäre Thalamusschmerz relativ gute Aussichten, wie dies vor allem die Erfahrungen von TALAIRACH zeigen. Eingeschränkt wird die Operationsindikation dadurch, daß sich diese Patienten meist in einem vorgerückten Alter befinden, eine Hirnarteriosklerose mit vorangegangenem apoplektischen Insult haben und ihr Allgemeinzustand durch die chronischen Schmerzen herabgesetzt ist, was sich auch auf die Mortalität auswirkt.

Die Indikation zu einem thalamischen Eingriff ist bei diesen Patienten aber nur gegeben, wenn das Syndrom schon längere Zeit stationär ist, und keine zusätzlichen apoplektischen Insulte aufgetreten sind.

Da bei den thalamischen Schmerzen verhältnismäßig große, zusätzliche Herde im Thalamus gesetzt werden müssen, ist in diesen Fällen mit einem größeren funktionellen Sensibilitätsdefekt zu rechnen, und es wird damit auch leichter zu Nebenerscheinungen kommen. In diesen Fällen bewährt sich eine zusätzliche Koagulation im Medialkern oder im Nucleus limitans der gleichen Seite.

Die Trigeminusneuralgie wird zwar nur in etwa der Hälfte der Fälle nach Thalamotomie auf die Dauer schmerzfrei, allerdings gab es bisher gegen die Herpes Zoster-Neuralgie und die Anaesthesia dolorosa — außer psychochirurgischen Eingriffen — keine erfolgreiche operative Methode. Trotzdem sollte im allgemeinen die Thalamotomie erst angewandt werden, wenn die typischen, zentralen Eingriffe am Trigeminussystem erfolglos waren. Bei atypischen schweren Neuralgien im Kopfgebiet, wie wir sie besonders bei malignen Tumoren sehen, kann allerdings die stereotaktische Operation als primärer Eingriff indiziert sein, besonders wenn dem Patienten große offene, zentrale Eingriffe nicht mehr zugemutet werden können.

Die operierten Kranken mit Phantomschmerzen hatten schon zahlreiche zentrale Eingriffe ohne Erfolg hinter sich, bevor sie zur Thalamotomie kamen. Nach dieser kam es zu einer Besserung oder zum Verschwinden der Phantomschmerzen in ungefähr der Hälfte der Fälle. Die Beobachtungszeit in den ältesten Fällen beträgt bis zu 8 Jahren, und Spätrecidive scheinen selten zu sein. Die Thalamotomie ist gegen hartnäckige Phantomschmerzen indiziert, wenn die anderen Eingriffe versagt haben. Voraussetzung ist die Beseitigung von peripheren Reizzuständen. Getrübt wurde die Prognose durch die häufig schon bestehende Opiatesucht, die lange Dauer des Schmerzleidens und durch den drohenden Verlust der Vollrente.

Unsere Beobachtungen zeigen zusammen mit denen von TALAIRACH und SPIEGEL u. Mitarb., daß die Thalamotomie einen Fortschritt in der Behandlung unstillbarer Schmerzen darstellt. Auf der anderen Seite

kommen bei den Schmerz-Thalamotomien häufiger Komplikationen als bei anderen stereotaktischen Eingriffen vor, und es kommt in ungefähr der Hälfte der Fälle zum Rezidiv. Eine Indikation zur Schmerz-Thalamotomie ist nur in besonderen Fällen gegeben, bei denen andere Eingriffe versagt haben.

Zusammenfassung

Es wird über 24 stereotaktische Schmerz-Thalamotomien berichtet, die aus verschiedenen Indikationen vorgenommen wurden. Die Erfahrungen bei Reizung und Ausschaltung des thalamischen Schmerzgebietes werden geschildert und die patho-physiologischen Ergebnisse besonders an den 3 Fällen ausgewertet, von denen eine Autopsie später vorlag.

Durch Reizung in den basalen Anteilen des caudalen Ventralkernes können bei bewußtseinsklaren Patienten typische schmerzhafte Sensationen in verschiedenen Körperteilen, im Gegensatz zur Rindenreizung hervorgerufen werden. Die Ausschaltung dieser Gebiete führt zur Beseitigung der Schmerzzustände und zu einer Sensibilitätsstörung mit vorwiegender Beteiligung der Schmerz- und Temperaturrempfindung. Diese Reiz- und Ausschaltungs-Effekte bestätigten die gesonderte Endigung des Tractus spino-thalamicus im kleinzelligen (basalen) caudalen Ventralkern (*V.c.pc*).

Sowohl Reiz- wie Ausschaltungseffekte bestätigen die somatotopische sensible Repräsentation in den caudalen Ventralkernen des Thalamus. Das postoperative Syndrom entspricht bei bevorzugt basaler Ausschaltung nicht dem Thalamussyndrom von DÉJÉRINE und ROUSSY.

Die Koagulation in den caudalen Ventralkernen zur Unterbrechung der Schmerzleitung ist bei unstillbaren, schweren Schmerzzuständen indiziert, wenn sonstige typische Operationsmethoden versagt haben.

Literatur

- ALAJOUANINE, Th.: La douleur et les douleurs. Paris: Masson et Cie 1957. — BARTSCH, W.: Ergebnisse und Beobachtungen an 36 leukotomierten Schmerzkranken. *Acta neuroveg.* (Wien) **7**, 218—223 (1953). — BIEKMAYER, W.: Zum Problem des Phantomschmerzes. *Acta neuroveg.* (Wien) **7**, 189—197 (1953). — CHANG, H. T., and T. C. RUCH: Topographical distribution of spino-thalamic fibres in the thalamus of the spider monkey. *J. Anat. (Lond.)* **81**, 150—164 (1947). — CRONHOLM, B.: Phantom limbs in amputees. *Acta Psychiat. scand. Suppl.* **72**, (1951). — CURE, C., and T. RASMUSSEN: Effects of altering the parameters of electrical stimulating currents upon motor responses from the precentral gyrus of Macaca mulatta. *Brain* **77**, 18—33 (1954). — DOGLIOTTI, A. M.: First surgical sections, in man, of the lemniscus lateralis (pain-temperature path) at the brain stem, for the treatment of diffused rebellious pain. *Anaesth. u. Analg.* **17**, 143 bis 145 (1938). — FOERSTER, O.: Die Leitungsbahnen des Schmerzgefühls. Berlin: Urban & Schwarzenberg 1927. — FOERSTER, O., u. O. GAGEL: Die Vorderseitenstrangdurchschneidung beim Menschen. *Z. Neur.* **138**, 1—92 (1932). — GUILLAUME, J., S. DE SÈZE et G. MAZARS: Chirurgie cerebrospinale, de la douleur. Paris: Presses Universitaires de France, 1949. — GUTIÉRREZ-MAHONEY, C. G. DE: The treatment of painful phantom limb by removal of postcentral cortex. *J. Neurosurg.* **1**, 156—162 (1944). — Arch. Neurol.

Psychiat. (Chic.) **64**, 894—896 (1950). — HASSLER, R.: Anatomie des Thalamus. Arch. Psychiat. Nervenkr. **184**, 249—258 (1950). — Functional anatomy of the thalamus. Rapports VI. Congr. Latino-americano de Neurocirugia. p. 754—787. Montevideo: 1955. — HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Die Beeinflussung des Phantomerlebnisses durch gezielte Hirnoperationen. V. Internat. Neurologen-Kongress, Lissabon, IX., 1953. — Indikationen und Lokalisationsmethode der gezielten Hirnoperationen. Nervenarzt **25**, 441—447 (1954). — Klinische Effekte bei Reizung einzelner Thalamuskerne des Menschen. Nervenarzt **26**, 35 (1955). — HEAD, H. and G. HOLMES: Sensory disturbances from cerebral lesions. Brain **34**, 102—254 (1912). — HÉCAEN, H., J. TALAIRACH, M. DAVID et M. B. DELL: Coagulations limitées du thalamus dans les algies du syndrome thalamique. Rev. neurol. **81**, 917—931 (1949). — HESS, W.R.: Das Zwischenhirn. 2. Aufl. Basel 1954. — HOFFMANN, W.: Thalamussyndrom auf Grund einer kleinen Läsion. J. Psychol. Neurol. (Lpz.) **45**, 362—374 (1933). — KLEIST, K.: Gehirnpathologie. Leipzig (1934). — KLEIST, K., u. J. GONZALO: Über Thalamus-Subthalamussyndrome und die Störungen einzelner Thalamuskerne. Mschr. f. Psychiat. Neurol. **99**, 87—130 (1938). — KRAYENBÜHL, H., u. W. A. STOLL: Psychochirurgie bei unerträglichen Schmerzen. Acta neurochir. (Wien) **1**, 1—41 (1950). — LERICHE, R.: La Chirurgie de la douleur. 3^e éd. Paris: Masson et Cie 1949. — MONNIER, M.: Le rôle du thalamus dans l'organisation de la douleur. Acta neuroveg. (Wien) **7**, 84—92 (1953). — MONNIER, M., et R. FISCHER: Stimulation électrique et coagulation thérapeutique du thalamus chez l'homme (Névralgies faciales). Confin. neurol. Basel **11**, 282—306 (1951). — PATTON, H. D., T. C. RUCH and A. E. WALKER: Experimental hypogeusia from Horsley-Clarke lesions of the thalamus in Macaca mulatta. J. Neurophysiol. **7**, 171—184 (1944). — RASMUSSEN, A. T., and W. T. PEYTON: Course and termination of the medial lemniscus in man. J. comp. Neurol. **88**, 411—424 (1948). — RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Beschreibung und Anwendung eines Zielgerätes für stereotaktische Hirnoperationen. (II. Modell). Acta neurochir. (Wien) **3**, 308—337 (1955). — RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Die technische Durchführung von gezielten Hirnoperationen. Arch. Psychiat. Nervenkr. **190**, 297—316 (1953). — SCARFF, J. E.: Unilateral prefrontal Lobotomy for the relief of intractable pain. J. Neurosurg. **7**, 330—336 (1950). — SPIEGEL, E. A., M. S. KLETZKIN, E. G. SZEKELY and H. T. WYCIS: Role of hypothalamic mechanisms in thalamic pain. Neurology **4**, 739—751 (1954). — SPIEGEL, E. A., and E. G. SZEKELY: Super-sensitivity of the sensory cortex following partial deafferentiation. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **7**, 375—382 (1955). — SPIEGEL, E. A., and H. T. WYCIS: Stereoencephalotomy (Thalamotomy and related procedures). New York: Grune and Stratton 1952. — Mesencephalotomy in treatment of „intractable“ facial pain. Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago) **69**, 1—13 (1953). — TALAIRACH, J., M. DAVID, P. TOURNOUX, H. CORREDOR et T. KVASINA: Atlas d'anatomic stéréotaxique. Paris: Masson et Cie, 1957. — TALAIRACH, J., H. HÉCAEN, M. DAVID, M. MONNIER et J. DE AJURIAGUERRA: Recherches sur la coagulation thérapeutique des structures souscorticales chez l'homme. Rev. neurol. **81**, 4—24 (1949). — THUREL, R.: La douleur en Neurologie. 192 p. Paris: Masson et Cie, 1951. — WALKER, A., EARL: The spinothalamic tract in man. Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago) **43**, 284—298 (1940). — The origin, course and terminations of the secondary pathways of the trigeminal nerve in primates. J. comp. Neurol. **71**, 59—89 (1939). — Mesencephalic tractotomy: A method for the relief of unilateral intractable pain. Arch. Surg. (Chicago) **44**, 953—962 (1942).

Prof. Dr. R. HASSLER, Freiburg/Br., Max-Planck-Institut für Hirnforschung,
Eisenbahnstr. 2

Prof. Dr. T. RIECHERT, Freiburg/Br., Neurochirurg. Univ.-Klinik, Hugstetterstr. 55