

Aus der Neurochirurgischen Klinik der Universität Freiburg i. Br.
(Direktor: Prof Dr. med. T. RIECHERT)

Über die Beeinflussung des Alpha-Rhythmus durch stereotaktische Operationen an den Basalganglien

Von

J. A. GANGLBERGER

Mit 3 Textabbildungen

(Eingegangen am 11. August 1959)

Einleitung

Über intraoperative elektroenzephalographische Ableitungen bei extrapyramidalen Bewegungsstörungen sowohl von der Schädeloberfläche als auch aus der Tiefe des Gehirns ist verschiedentlich berichtet worden. (Unter anderem von HAYNE u. Mitarb.¹⁶, MEYERS u. Mitarb.²² 1949, WYCIS u. Mitarb.³⁷ 1949, SPIEGEL u. WYCIS³⁴ 1950, DELL u. Mitarb.⁴ 1952, JUNG u. RIECHERT²⁰ 1954, RIECHERT u. UMBACH²⁹ 1955, UMBACH³⁶ 1957.) Systematische Untersuchungen des Elektroenzephalogramms vor und nach stereotaktischen Operationen sind bisher nicht näher beschrieben worden. Das war der Anlaß, solche Untersuchungen ab Mitte 1957 laufend durchzuführen. (Die intraoperative Ableitung war von Anfang an ein Teil der stereotaktischen Operationsroutine.)

Neben den meist umschriebenen Herdveränderungen, welche sich in den ersten Tagen nach einem stereotaktischen Eingriff im Pallidum oder Thalamus in der überwiegenden Zahl der Fälle finden und welche an anderer Stelle behandelt werden sollen, war es der occipito-parietale Alpha-Rhythmus, welcher fast immer Veränderungen zeigte. Diese Veränderungen des Alpha-Rhythmus fielen bereits bei den ersten Untersuchungen auf. Ihre Art, ihr Grad und Häufigkeit soll näher beschrieben werden und schließlich ihr möglicher Mechanismus diskutiert werden. Dies erschien uns um so wichtiger, als in letzter Zeit auch wieder ein Beitrag zum noch immer umstrittenen Problem der Schrittmacher corticaler Rhythmen erschienen war (GAROUTTE u. AIRD⁵ 1958).

Material und Methode

Ab Sommer 1957 wurden vor und nach jeder stereotaktischen Operation EEG-Ableitungen vorgenommen. Das präoperative EEG wurde grundsätzlich vor der zur Zielpunkt-Bestimmung notwendigen Encephalographie — meist einige Tage vor dem eigentlichen Eingriff durchgeführt — abgeleitet, das postoperative EEG in der Regel zwischen dem 6. und 8. Tag nach der stereotaktischen Operation.

Die vorliegende Arbeit berücksichtigt nur Parkinson-Syndrome. Insgesamt waren unter den von Mitte 1957 bis Ende 1958 erstmalig operierten Parkinson-Fällen 120 mit einwandfrei auswertbaren Kurven. Diese Auslese war unvermeidbar

und mußte wegen der genauen Auswertung des occipito-parietalen Alpha-Rhythmus mit einem strengen Maßstab erfolgen. Ende 1958 wurde als Begrenzung gewählt, weil von diesem Zeitpunkt an die größere Knochenlücke von etwa $2\frac{1}{2}$ cm Durchmesser durch eine Trepanation von 8 mm ersetzt wurde.

Während in vielen Kurven die vorübergehenden postoperativen Herdveränderungen nach stereotaktischer Pallido- oder Thalamotomie noch einwandfrei auswertbar waren, mußten für die Auswertung des Alpha-Rhythmus Fälle ausgeschieden werden, da im präoperativen EEG die Frequenz der Tremorartefakte der Alpha-Frequenz zu nahe lag oder der ersten subharmonischen Frequenz des Alpha-Rhythmus entsprach, wodurch eine einwandfreie Auswertung des Alpha-Rhythmus bei strengen Kriterien nicht gewährleistet war.

Dabei wurde von vornherein durch sorgfältige Befestigung der Elektroden und Anordnung der Kabel getrachtet, diese Artefakte möglichst zu vermeiden. Aus demselben Grund wurde ein Elektrodenschema mit relativ wenig Elektroden verwendet, da es ja darauf ankam, das Verhalten des Alpha-Rhythmus und der Herdveränderungen über längere Zeit zu verfolgen, ohne daß häufiges Umschalten auf andere Ableitungen erfolgen mußte.

Berücksichtigt sind in dieser Zusammenstellung auch nur die erstmals Operierten (eine Reihe von Fällen kommt nach einem Intervall von sechs und mehr Monaten zur Operation der anderen Seite, eine verschwindend kleine Zahl nach Wochen oder Monaten zur Nachoperation derselben Seite).

Die Hochfrequenzkoagulationen werden bei der hier verwendeten stereotaktischen Operationsmethode (RIECHERT u. WOLFF³⁰, RIECHERT u. MUNDINGER²⁸ nach vorheriger elektrischer Reizung unter gleichzeitiger Oberflächen- und Tiefenableitung des EEG beim Parkinson-Syndrom entweder im inneren Pallidumglied (Pallidum internum) oder im vorderen oralen Ventralkern des Thalamus (V.o.a nach HASSLER⁶⁻¹³), in Einzelfällen auch im Lateropolarlkern (L.po) und oralen Anteil des hinteren oralen Ventralkerns (V.o.p) ausgeführt. Näheres über die Wahl der Zielpunkte findet sich bei HASSLER⁶⁻¹³, HASSLER u. RIECHERT^{14,15}.

Bei der Auswertung des Alpha-Rhythmus, die durch das Fehlen eines automatischen Frequenzanalysators erschwert war, konnte das vielfach übliche Stichprobenverfahren (Auszählung von Einsekundenstrecken an verschiedenen Stellen) als zu grob nicht verwendet werden. Der genauere Alpha-Index von ROHRACHER³² konnte nicht angewendet werden, weil bei Parkinson-Fällen nicht immer vollkommen artefaktfreie 10 sec-Strecken zu finden sind.

Es wurden daher Auszählungen der Einzelkomponenten des Alpha-Index mit dem „Electroencephalograph Ruler“ nach TURNER³⁵ vorgenommen, wobei jeweils die oberste und niedrige Alpha-Frequenz besonders berücksichtigt wurden. Als Grenzfrequenz wurden Einzelkomponenten nur dann gewertet, wenn sie in mehreren 10 sec-Strecken mindestens einmal pro Sekunde vorkamen.

Neben dem normalen Alpha-Frequenzbereich von 8–13/sec wurden Rhythmen von 6–8/sec als (pathologisch) verlangsamer Alpha-Rhythmus gewertet, wenn sie die sonstigen Eigenheiten des physiologischen Alpha-Rhythmus aufwiesen: den occipito-parietalen Verteilungstyp (bipolar), mehr oder weniger Spindelform, mehr oder weniger Ansprechen auf Augenöffnen und -schließen. Entsprachen Rhythmen von 6–7/sec nicht diesen Kriterien, dann wurden sie dem Theta-Band zugerechnet.

In den wenigen Fällen, in denen sich der Alpha-Rhythmus periodenweise änderte, wurden ebenfalls die Grenzwerte gezählt, falls nicht noch andere Zeichen für Schläfrigkeit während der Ableitung sprachen (paradoxe Alpha-Aktivierung auf akustische und optische Reize usw.).

Ergebnisse

Von den 120 Parkinson-Fällen hatten 30 (25%) präoperativ ein abnormes EEG mit einem unter 8/sec verlangsamten Alpha-Rhythmus. Bei 90 Fällen (75%) lag der Alpha-Rhythmus innerhalb seines physiologischen Frequenzbandes von 8—13/sec. Von diesen 90 hatten 13 eine konstante Alpha-Frequenz, 25 wiesen eine geringere Frequenzinkonstanz von $\pm 0,5/\text{sec}$ auf, 46 eine stärkere Frequenzlabilität von $\pm 1/\text{sec}$ und 5 zeigten eine starke Frequenzinkonstanz von $\pm 1,5/\text{sec}$. 1 Fall sogar von

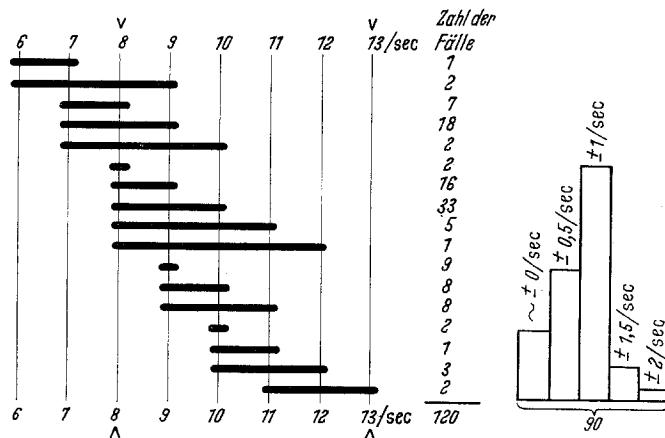


Abb. 1. Präoperatives Frequenzspektrum mit Aufteilung auf die 120 Fälle (links). Die Blockdarstellung (rechts) zeigt die Grade der Frequenzinkonstanz in der Aufteilung auf die 90 Fälle, bei denen der occipito-parietale Alpha-Rhythmus präoperativ innerhalb des physiologischen Frequenzbandes (8—13/sec) lag

$\pm 2/\text{sec}$. Bei den Fällen mit pathologisch verlangsamtem Alpha-Rhythmus war die Verteilung ähnlich, wenn davon abgesehen wird, daß es dabei keine Kurven mit stabiler Frequenz gab. Die langsameren Frequenzen standen allgemein im Vordergrund, ohne daß ein statistischer Zusammenhang zwischen Alpha-Frequenz und Alter gefunden werden konnte.

In Abb. 1 ist das präoperative Alpha-Frequenzspektrum mit der Verteilung auf die 120 Fälle zu sehen, wobei die Blockdarstellung die Verteilung hinsichtlich Frequenzkonstanz und -inkonstanz wiedergibt.

Unter den präoperativ abnormalen EEG's mit verlangsamtem Alpha-Rhythmus waren auch einzelne mit Theta-Einstreuung. Es zeigte sich, daß Kranke mit einem solchen präoperativ verlangsamten Alpha-Rhythmus oft deutlich vorgealtert waren und verschiedene für Arteriosklerose sprechende Befunde hatten. Der Prozentsatz der Fälle mit pathologisch verlangsamtem EEG würde sich erhöhen, wenn die nach verschiedenen Voruntersuchungen von der Operation ausgeschlossenen Fälle berücksichtigt werden könnten. Es fiel uns auf, daß diese Kranken mit einem präoperativ verlangsamten Alpha-Rhythmus oft schon auf die vor

dem stereotaktischen Eingriff notwendige Encephalographie mit vorübergehender Verwirrtheit reagierten und viel eher zu einem postoperativen organischen Psychosyndrom neigten als andere. Dies traf auch dann zu, wenn das EEG der einzig auffällige Befund neben der Parkinson-Symptomatik bei gutem Allgemeinzustand war. Aus diesen bisherigen Erfahrungen heraus wird daher jetzt auch das EEG neben anderen Laboruntersuchungen und den klinischen Befunden mit zur Eingrenzung der Indikation zur stereotaktischen Operation bei Parkinson und anderen extrapyramidalen Bewegungsstörungen herangezogen.

Bei reinem Parkinson-Syndrom ist das EEG praktisch immer normal, es gibt daher sehr wenig Schrifttum über EEG bei Parkinson und wenn über stärkere Abnormitäten im EEG berichtet wird, sind es wohl immer Kranke mit beträchtlichen organischen Abbauerscheinungen.

Nach eigenen, bisher unveröffentlichten Beobachtungen scheint im induzierten Schlaf-EEG ein Unterschied zu anderen zu bestehen. Die Frequenz der Schlafspindeln ist durchwegs langsamer als sonst bei Erwachsenen. Die Zahl der in dieser Hinsicht untersuchten Fälle reicht allerdings noch nicht aus, um eine statistisch stichhaltige Aussage machen zu können. Da nach HASSLER^{11,12} die Hirnstammanteile des menschlichen Thalamus und des Pallidum zum System der Schlaf-Wachregulierung gehören, wäre es nicht überraschend, sollte sich diese Beobachtung an einem größeren Material bestätigen.

Von den 120 entweder nur im Pallidum internum oder nur im V.o.a (Einzelfälle L.po oder oraler Anteil des V.o.p) Operierten zeigten 104 (86,6%) eine Verlangsamung der präoperativen Alpha-Frequenz und nur bei 16 (13,3%) war mit unserer Auswertmethode keine Verlangsamung der präoperativen Alpha-Frequenz aufdeckbar. Bei 90 Fällen (75%) waren obere oder untere bzw. obere und untere Alpha-Frequenz um 1—2/sec verlangsamt. Bei 14 (11,6%) Fällen wurden sogar Verlangsamungen um 3—4/sec gefunden.

86 der Fälle (71,7%) waren einer Pallidotomie und 34 (28,3%) einer Thalamotomie unterzogen worden.

Ein eventueller Unterschied der EEG-Reaktion auf die stereotaktische Operation zwischen im Pallidum oder im Thalamus Operierten war statistisch nicht feststellbar. Dagegen zeigte sich, daß die Frequenz eines präoperativ verlangsamen Alpha-Rhythmus (d.h. unter 8/sec) weniger zur reaktiven Verlangsamung neigt als die normale Alpha-Frequenz. Bei 30 Fällen mit präoperativ abnorm verlangsamter Alpha-Frequenz (unter 8/sec) erfolgte in 22 (73,4%) Fällen eine Verlangsamung durch die stereotaktische Operation und blieb in 8 (26,6%) aus. Bei den 90 Fällen mit präoperativ normaler Alpha-Frequenz erfolgte in 82 (91,1%) eine Verlangsamung und unterblieb in 8 Fällen (8,8%). In Abb. 2 finden sich diese Ergebnisse, noch weiter aufgeschlüsselt, graphisch dargestellt, immer

getrennt für Pallidotomie und Thalamotomie in Gegenüberstellung ausgearbeitet.

Ein Zusammenhang zwischen Alter und Grad der Alpha-Verlangsamung war nicht zu finden.

Während die postoperativen Herdveränderungen fronto-parietal oder fronto-temporal über der operierten Hemisphäre nur in einem kleinen

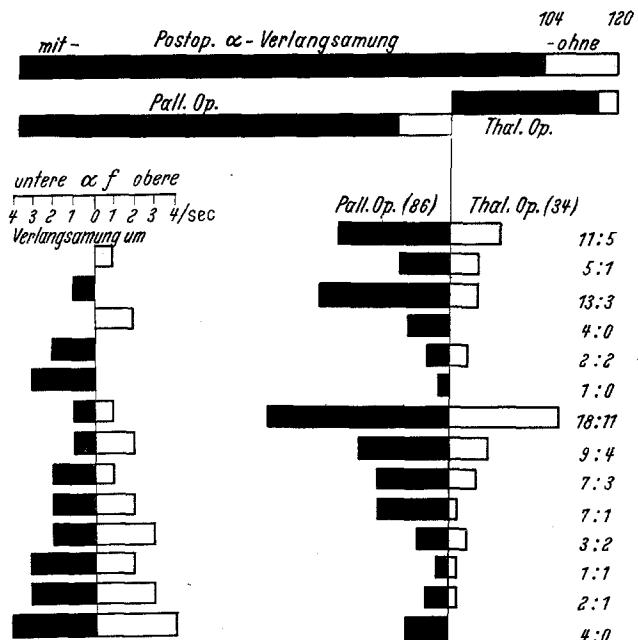


Abb. 2. Oben: Verhältnis von Fällen mit und ohne postoperative Alpha-Verlangsamung. Aufteilung dieses Verhältnisses auf die Relation von im Pallidum und im Thalamus Operierten. — Unten links: Grad der Alpha-Verlangsamung getrennt nach oberer und unterer Alpha-Frequenz, daneben unten rechts: Aufteilung des Grades der Verlangsamung auf die 120 Fälle mit Trennung in Pallidum- und Thalamus-Operierte

Prozentsatz der Fälle sekundäres Übergreifen mit verminderter Intensität auf die nicht operierte Hirnhälfte zeigten, war die Alpha-Verlangsamung immer über beiden Hemisphären feststellbar und in den meisten Fällen ohne meßbare Unterschiede, wenn von den an sich schon physiologischen leichten Unterschieden im Seitenverhalten des Alpha-Rhythmus abgesehen wird.

Soweit Nachuntersuchungen später als 6 Wochen nach dem stereotaktischen Eingriff durchgeführt wurden, war festzustellen, daß sich die Alpha-Frequenz in fast allen Fällen wieder ganz oder fast ganz der präoperativ gefundenen angeglichen hatte. Auch die in 93,3% vorhandenen postoperativen Herdveränderungen hatten sich nach dieser Zeit wieder

rückgebildet. (Diese postoperative Herdtätigkeit besteht in erster Linie aus intermittierenden Delta-Gruppen über der frontalen bis fronto-parietalen oder fronto-temporalen Region der Operationsseite.)

Besprechung der Ergebnisse

Hier müssen einige anatomische und pathophysiologische Bemerkungen (in Anlehnung an HASSLER⁶⁻¹³) vorausgeschickt werden:

Der Hauptendigungskern der vom inneren Pallidumglied kommenden Fasern (Fasciculus lenticularis = H_2 und Fasciculus thalamicus = H_1) ist der vordere orale Ventralkern (V.o.a). Einige Faserbündel aus H_1 endigen auch im oralen Anteil des hinteren Ventralkerns (V.o.p). Das orale Pallidum schickt auch eine Bahn (Fasciculus pallidothalamicopolaris) zum vorderen Pol des lateralen Thalamuskerngebietes (Nc. lateropolaris = L.po). Eine schwächere Bahn vom oralen Pallidumdrittel (Fibrae pallidoreticulatae) führt zur Gitterschicht (Nc. reticulatus).

Weitere Fasern vom Pallidum zum Thalamus führen in der Stria medullaris habenularis zum oberflächlichen Dorsalkern und zum Ganglion habenulae.

Im Lateropolarlkern finden sich neben pallidären Verbindungen Durchgangsfasern vom medialen Kerngebiet oder der Lamella medialis, er ist also in den Leitungsmechanismus des unspezifischen Projektionssystems eingeschaltet. Auch die übrigen genannten Kerne liegen in enger Nachbarschaft zu den intralaminären Kernen, von HASSLER^{7,13} als ein Teil des thalamischen *Hüllgebietes* (die mediale Kerngruppe einhüllend) bezeichnet, welche den diencephalen Anteil des retikulären Aktivierungssystems (RAS)^{21,23} darstellen. Der V.o.a projiziert zur Area 6 $\alpha\alpha$, der V.o.p zur Area 4 γ , der L.po zur Area 6 $\alpha\beta$ (Abb. 3).

Nach diesen anatomischen noch einige pathophysiologische Voraussetzungen: Wie HASSLER^{8,10} beweisen konnte, ist das *Parkinson-Syndrom* (im Gegensatz zu weitverbreiteten alten Anschaufungen) kein Pallidum-, sondern ein *Niger-Syndrom*. Durch den Wegfall der Niger-Funktion wird das Tonierungsgleichgewicht im Vorderhornapparat einerseits durch den Ausfall der nigro-(reticulo-)spinalen Bahnen geändert, andererseits werden durch den Ausfall von Verbindungen des Niger zum Pallidum (über Caudatum — in Abb. 3 nicht eingezeichnet) dort Überschußerregungen frei, welche absteigend über die entsprechenden thalamischen Relais (V.o.a und L.po) zur Area 6 $\alpha\alpha$ und 6 $\alpha\beta$ projiziert werden und von hier aus über pyramidale und extrapyramidale Bahnen zum Vorderhornapparat gelangen und ihrerseits dessen physiologisches Equilibrium stören.

Der Wirkungsmechanismus der stereotaktischen Operation liegt nun darin, diese Überschußerregungen bereits im subcorticalen Niveau vor dem Cortex abzufangen, um im Vorderhornapparat wieder ein relatives Gleichgewicht zu erreichen.

Nach HASSLER¹¹ ist das Pallidum „in den Leitungsmechanismus des unspezifischen Projektionssystems zur Großhirnrinde eingeschaltet. Das retikuläre Aktivierungssystem und seine diencephalen Anteile, die Stammhirnanteile des Thalamus, haben einen unspezifischen Einfluß auf die

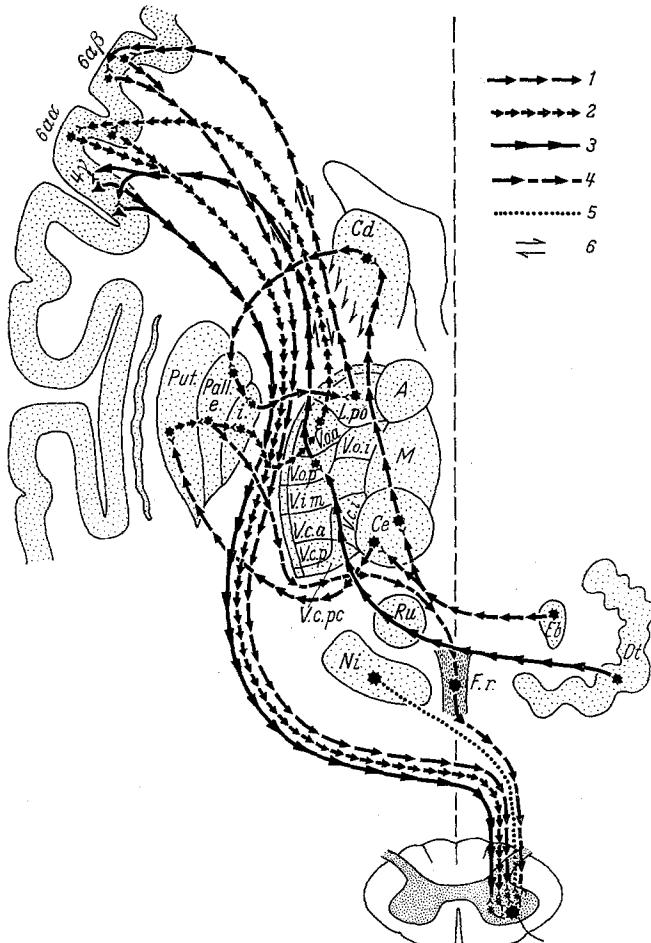


Abb. 3. (In Anlehnung an HASSLER.) 1 Caudatales Neuronensystem; 2 Putaminales Neuronensystem; 3 afferentes und efferentes pyramidales Neuronensystem; 4 Pallido-reticulo-spinales Neuronensystem; 5 Nigro-(reticulo-)spinales Neuronensystem; 6 Verbindung in beiden Richtungen; A Nc. ant. thalami; Cd Caudatum; Ce Centre médian; Dt Nc. dentatus; Eb Nc. emboliformis; Fr. Formatio reticularis; L.po Nc. lateropolaris thalami; M Nc. medialis thalami; Ni Nc. niger; Pall. e. Pallidum externum; Pall. i. Pallidum internum; Put Putamen; Ru Nc. ruber; V.c. Nc. ventro-caudalis thalami; V.im Nc. ventro-intermedius thalami; V.o.a Nc. ventro-oralis anterior thalami; V.o.p Nc. ventro-oralis posterior thalami

Aktivität der Großhirnrinde, d.h., sie verändern nicht nur ein einzelnes Rindenfeld in seiner Tätigkeit, sondern sämtliche in beiden Hemisphären gleichzeitig“. Elektrophysiologische Bestätigung fand sich auch bei den

intraoperativen Ableitungen während elektrischer Reizung im V.o.a, L.po, V.o.p und Pallidum, wobei UMBACH³⁶ bereits zum Teil auch kurzzeitige Grundrhythmusverlangsamung nach der elektrischen Reizung fand.

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit sind durch die Ausschaltung im inneren Pallidumglied oder in den oralen Ventralkernen neben dem klinischen Effekt auch wochenlang anhaltende Veränderungen der Hirnrindentätigkeit über beiden Hemisphären bewirkt worden, wie die in 86,6% aller Fälle beobachtete *Alpha-Verlangsamung* zeigt. Damit ist auch der Zusammenhang mit dem noch reichlich umstrittenen Problem der subcorticalen Schrittmacher corticaler Rhythmen gegeben. Verschiedene Beobachtungen, die schon auf sehr frühe EEG-Arbeiten* zurückgehen, sprechen für eine tiefe Steuerung der corticalen Rhythmen. JASPER¹⁸ zweifelt nicht daran, wenn er sich auch vorsichtig ausdrückt: „The reticular formation of diencephalon and mid-brain seem to be most clearly related to the control of autonomous electrical rhythms of the cortex and so are related to levels of consciousness or alertness. This view is supported by the sensitivity of the human alpha-rhythm to changes in level of consciousness and to processes of attention**.“ Auch SCHÜTZ u. CASPERS³³ treten für tiefe Steuerung ein. GAROUTTE u. AIRD⁵ (1958) sind diesem Problem in jüngster Zeit wieder nachgegangen und stellten mit einer auf etwa 1 msec exakten Methode fest, daß die Hälfte bis Zweidrittel aller Alpha-Wellen „perfekte“ Hemisphären-Synchronie (± 1 msec) zeigten. Auch die lange bekannte Abnahme der Seitendifferenz von occipital nach frontal zu wurde mit dieser Methode bestätigt. Ferner fanden sie, daß nach vorübergehend zunehmender Asynchronie sich immer wieder die Tendenz zur Herstellung der vollen Synchronie zeigte. Auch diese Autoren sind in ihren Schlußfolgerungen vorsichtig: „Bilaterale Alpha- und Beta-Rhythmen werden wahrscheinlich durch einen subcorticalen Schrittmacher oder durch ein System von Schrittmachern gesteuert. . . Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Substantia reticularis des Hirnstamms und die diffusen Projektionssysteme des Thalamus in Serie funktionieren und das anatomische Substrat darstellen für die . . . mitgeteilten physiologischen Beobachtungen.“

Auch nach Schlußfolgerungen von JUNG u. TÖNNIES¹⁹ ist die Existenz von Schrittmachern ableitbar: „Nach unserer Vorstellung verhindern die normalen Rhythmen des Gehirns durch eine geregelte Abwechselung der tätigen Nervenzellen, daß zuviele Neurone gleichzeitig maximale Entladungsbereitschaft erlangen. Die Normalrhythmen erhalten so eine Ordnung und ein relatives Gleichgewicht von Erregung und Hemmung im ZNS und würden damit unter anderem auch einen Faktor der Bremsung

* Ausführlichere Literaturhinweise bei GAROUTTE u. AIRD⁵.

** Ausführlicheres in Chapt. IV u. V von „Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain“ (PENFIELD u. JASPER²⁷).

darstellen". Auch H. DAVIS³ schreibt dem Alpha-Rhythmus regulatorische Funktionen zur Aufrechterhaltung des Cannonschen Prinzips der *cerebralen Homeostase*^{1,3} zu. Und dafür ist sicher ein System wie das von MORUZZI u. MAGOUN²³ beschriebene retikuläre Aktivierungssystem zu fordern*.

Die nach der stereotaktischen Ausschaltung beobachtete Alpha-Verlangsamung zeigt sich nicht einseitig, sondern immer über beiden Hemisphären, während z. B. bei Hemisphären-Tumoren oft eine einseitige Alpha-Verlangsamung zu sehen ist.

Die beobachteten Veränderungen des Alpha-Rhythmus gehen nicht parallel mit dem klinischen Resultat der Ausschaltung des inneren Pallidums oder der oralen Ventralkerne.

Während der klinische Effekt (Beseitigung oder wesentliche Verminderung des Rigors auf der Gegenseite, gelegentliche Minderung des Rigors auf der gleichen Seite, Minderung der Akinese, Besserung der Beweglichkeit und vor allem der Feinmotorik, Beseitigung oder Minderung des Tremors auf der Gegenseite) in den ersten Wochen, ja Monaten nach dem stereotaktischen Eingriff noch zunimmt, nehmen die EEG-Veränderungen, sowohl die bilaterale Alpha-Verlangsamung als auch die Herdveränderungen in den folgenden Wochen ab, um in der Mehrzahl der Fälle innerhalb von 6 Wochen nach der Operation ganz zu verschwinden.

Die postoperativen EEG-Veränderungen stehen (im Gegensatz zu den präoperativ abnorm verlangsamten EEG) auch in keiner sicheren Parallelität zum postoperativen psychischen Effekt. Auch in den Fällen, wo kaum ein postoperatives organisches Psychosyndrom nachweisbar ist, zeigt sich die Verlangsamung, und auch in den Fällen, wo eine auffallende Bradyphrenie durch die Operation beseitigt wurde, ist die Verlangsamung feststellbar. Andererseits sind unter den 16 (von den 120 Fällen) ohne postoperative Alpha-Verlangsamung wiederum Fälle mit postoperativem Psychosyndrom (mit Verlangsamung, Antriebsverminderung u.a.). Es soll hier gleich bemerkt werden, daß solche postoperative organische Psychosyndrome nur von kürzester Dauer (in der Regel wenige Tage) sind.

Nach den mitgeteilten Beobachtungen ist darin

1. eine weitere neurophysiologische Bestätigung von HASSSLERS¹¹ Feststellung, daß das Pallidum in den Leistungsmechanismus des unspezifischen Projektionssystems eingeschaltet ist, zu sehen,

2. ein weiteres Glied in der Beweiskette für die Existenz subcorticaler Schrittmacher corticaler Rhythmen erbracht.

Nach dem Mitgeteilten muß geschlossen werden, daß es sich bei den EEG-Veränderungen nach stereotaktischen Eingriffen im inneren Pallidum

* Die Tatsache der Existenz subcorticaler Schrittmacher bedeutet nicht, daß diese eine conditio sine qua non für die Aufrechterhaltung corticaler Rhythmen darstellen. Ein solcher Trugschluß hat schon manchen zur völligen Ablehnung der Schrittmacher verführt.

oder den oralen Ventralkernen um *Nebeneffekte* handelt, da sie nicht wie der klinische Effekt anhalten. Für die Herdveränderungen kann eine direkte Störung der subcortico-corticalen Wechselwirkung, für die Alpha-Verlangsamung über beiden Hemisphären eine indirekte Beeinflussung über das retikuläre Aktivierungssystem und die unspezifischen Projektionssysteme angenommen werden.

Da sich die beschriebenen Veränderungen (im Gegensatz zum klinischen Effekt der Operation) praktisch immer zurückbilden, ist an zwei Möglichkeiten zu denken:

a) Die Vorgänge, welche die Beeinflussung ausüben, bleiben zwar erhalten, aber die beeinflußten Systeme entziehen sich diesem Einfluß durch Adaptationsvorgänge oder Gegenregulationen, um das Cannonsche Prinzip der cerebralen Homeostase^{1,3} bzw. die physiologische Bremsfähigkeit des Gehirns (JUNG u. TÖNNIES)¹⁹ wieder herzustellen.

b) Die Beeinflussung ist durch Funktionsänderung infolge reversibler Gewebsschädigung (z. B. Wärmefortleitung in die unmittelbare Nachbarschaft des Koagulationsherdes) hervorgerufen, welche entsprechend der Restitution der reversibel geschädigten Strukturen bzw. mit dem Ende der Vernarbungsvorgänge wieder aufhört.

Der ersten, weil mehr neurophysiologischen Möglichkeit ist wohl der Vorzug zu geben.

Allgemein intrakranielle Drucksteigerung, wie sie manchmal zur allgemeinen Verlangsamung des Alpha-Rhythmus führen kann, scheidet wegen der Kleinheit der Koagulationsherde und des eventuellen kollateralen Ödems aus. Es muß sich also um eine aktive Verlangsamung handeln, wie sie sich am ehesten über das RAS und die unspezifischen Projektionssysteme erklären läßt.

Nicht undiskutiert bleiben soll eine weitere, wohl entferntere und weniger neurophysiologische Möglichkeit. ROHRACHER³¹ hat schon seit langem die Stoffwechseltheorie des Alpha-Rhythmus vertreten. Als einer der Beweise dafür kann die Tatsache angeführt werden, daß der Alpha-Rhythmus bei Hypothyreose häufig verlangsamt, bei Hyperthyreose aber beschleunigt ist. LINDSLEY u. RUBINSTEIN, BERTRAND, DELAY, GUILLAIN, GIBBS u. GIBBS* sowie D'AVIGNON u. MELIN² konnten das bestätigen. Nach Untersuchungen von K. SCHMIDT** hat sich gezeigt, daß der Stoffwechselbedarf bei Parkinson-Kranken enorm gesteigert ist und durch die stereotaktische Operation ebenfalls eine entscheidende Minderung erfährt. Das mag mit die Gewichtszunahme nach stereotaktischer Operation beigleicher Nahrungszufuhr erklären. Diese Änderung könnte auch an eine Verlangsamung des Alpha-Rhythmus im Zuge

* Zit. nach D'AVIGNON u. MELIN².

** Persönliche, noch unveröffentlichte Mitteilung.

der Stoffwechselumstellung denken lassen. Dagegen lassen sich wohl mehrere Argumente anführen: UMBACH³⁶ hat bereits intraoperativ nach elektrischen Reizungen am Zielpunkt vorübergehende Verlangsamung des Grundrhythmus beobachten können. Eine Stoffwechselumstellung könnte nicht so schnell erfolgen. Weiter muß gesagt werden, daß der vorher erhöhte Stoffwechsel sich in Richtung Norm verändert, während der vorher meist normale Alpha-Rhythmus postoperativ oft abnorm verlangsamt ist. Letzteren Einwand kann man nicht mit Adaptionsvorgängen entkräften, denn bei Hyperthyreosen ist der Alpha-Rhythmus nicht nur vorübergehend, sondern solange die Symptomatik besteht, beschleunigt, und beim Myxödem verlangsamt, oft auch dann noch, wenn zwar der Stoffwechsel, aber nicht die geistige Tätigkeit angekurbelt werden konnte, wie D'AVIGNON u. MELIN² zeigen konnten.

Der bei 25% der Fälle bereits präoperativ abnorm verlangsame Alpha-Rhythmus (6–8/sec) ist nicht auf das Parkinson-Syndrom, sondern auf zusätzliche organische Hirnschädigung zurückzuführen. Analoge Befunde werden von OBRIST u. HENRY^{25,26} an greisen psychiatrischen Patienten, die gleichzeitig deutliche Zeichen organischer Hirnschädigung aufwiesen, berichtet. Dasselbe fanden auch LUCE u. ROTHSCHILD. Noch früher hat D. HILL¹⁷ über verlangsamten Alpha-Rhythmus bei Fällen von präseniler Demenz und diffusen cerebralen Gefäßprozessen berichtet. Die zusätzliche organische Hirnschädigung erklärt wohl die größere Neigung dieser Parkinson-Kranken zum postoperativen organischen Psychosyndrom und zu vorübergehenden Verwirrtheitszuständen bereits nach der Encephalographie. Es handelt sich dabei wohl meist um eine chronische Mangeldurchblutung des Gehirns bei Arteriosklerose. Aus diesem Grunde wird jetzt das EEG mit zur Eingrenzung der Indikation zur stereotaktischen Operation beim Parkinson-Syndrom verwendet.

Zusammenfassung

Es wird über vergleichende prä- und postoperative EEG-Untersuchungen an 120 Parkinson-Kranken berichtet, welche eine einseitige und erstmalige stereotaktische Operation entweder im inneren Pallidum oder in den motorischen Afferenzen des Thalamus (V.o.a, gelegentlich L.po und V.o.p) durchgemacht haben.

25% der Fälle wiesen bereits präoperativ ein abnormes EEG mit unter 8/sec verlangsamten Alpha-Rhythmus auf, sie zeigten allerdings neben dem Parkinson-Syndrom auch noch Zeichen anderer organischer Hirnschädigung (vorwiegend Arteriosklerose) und neigten viel eher als andere zu einem postoperativen organischen Psychosyndrom oder bereits nach der Encephalographie zu vorübergehender Verwirrtheit. Das EEG ist daher ein Faktor in der Eingrenzung der Indikation zur stereotaktischen Operation beim Parkinson-Syndrom.

Bei 75% war der Alpha-Rhythmus präoperativ innerhalb des normalen Frequenzbandes von 8—13/sec, wie es beim reinen Parkinson-Syndrom zu erwarten ist.

Bei 104 Fällen (86,6%) wurde durch die *unilaterale* Ausschaltung im Pallidum oder den oralen Ventralkernen des Thalamus eine *bilaterale* Verlangsamung des Alpha-Rhythmus bewirkt, die weiter aufgeschlüsselt und zum Teil graphisch dargestellt wird.

Die beiderseitige Verlangsamung nach einseitiger stereotaktischer Operation erfolgt wahrscheinlich über das retikuläre Aktivierungssystem und die unspezifischen Projektionssysteme und wird erstens als neurophysiologischer Hinweis für HASSLERS Feststellung, daß das Pallidum in den Leitungsmechanismus des unspezifischen Projektionssystems eingeschaltet ist, angesehen, zweitens als weiteres Glied in der Beweiskette für die Existenz subcorticaler Schrittmacher corticaler Rhythmen betrachtet.

Die in 93,3% vorhandenen vorübergehenden Herdveränderungen werden nur kurz erwähnt, da sie anderswo ausführlich behandelt werden sollen. Beide Arten der EEG-Veränderungen bilden sich in der Regel innerhalb von 6 Wochen nach dem Eingriff zurück.

Ein Unterschied in der Alpha-Verlangsamung zwischen Koagulationen im Pallidum und in den oralen Ventralkernen des Thalamus Operierten fand sich ebensowenig wie ein Zusammenhang zwischen Alter und Grad der Verlangsamung.

Literatur

- ¹ CANNON, W. B.: Organization for physiological homeostasis. *Physiol. Rev.* **9**, 399—431 (1929). — ² D'AVIGNON, M., and K.-A. MELIN: Electroencephalography in congenital hypothyreosis. *Acta paediat. (Uppsala)* **38**, 37—44 (1949). — ³ DAVIS, H.: Homeostasis of cerebral excitability. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **2**, 243—247 (1950). — ⁴ DELL, M. B., J. TALAIRACH et G. C. LAIRY-BOUNES: Exploration electrophysiologique du thalamus chez l'hommes. *Rev. neurol.* **87**, 191—195 (1952). — ⁵ GAROUTTE, B., and R. B. AIRD: Studies on the cortical pacemaker: synchrony and asynchrony of bilaterally recorded α and β activity. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **10**, 259—268 (1958). — ⁶ HASSLER, R.: Über die afferenten Bahnen und Thalamuskerne des motorischen Systems des Großhirns I u. II. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **182**, 759—785, 786—818 (1949). — ⁷ HASSLER, R.: Die Anatomie des Thalamus. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **184**, 249—256 (1950). — ⁸ HASSLER, R.: Extrapiramidal-motorische Syndrome und Erkrankungen. *Handbuch d. inn. Med.* 4. Aufl. Bd. V, Teil 3, 676—904. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953. — ⁹ HASSLER, R.: Functional anatomy of the thalamus. VI. Congr. Latino-amer. de Neurocirugia, Montevideo 1955, 754—787. — ¹⁰ HASSLER, R.: Über die pathologische Anatomie der Paralysis agitans und der verschiedenen Formen des Parkinsonismus einschließlich des essentiellen Tremors. 1. Congr. Int. des Scienc. Neurol. Brüssel 1957, 49—56. — ¹¹ HASSLER, R.: Über die Bedeutung der pallidiären Systeme für Parkinsonsyndrom und Psychomotorik nach Erfahrungen bei gezielten Hirnoperationen. I. Congr. Int. de Neurochirurgie, Brüssel 1957, 171 bis 178. — ¹² HASSLER, R.: Weckeffekte und delirante Zustände durch elektrische Reizungen bzw. Ausschaltungen im menschlichen Zwischenhirn. I. Congr. Int. de Neurochirurgie, Brüssel 1957, 179—181. — ¹³ HASSLER, R.: Anatomie des

Thalamus, Gehirnatlas SCHALTENBRAND u. BAILEY. Stuttgart: Georg Thieme-Verlag, im Erscheinen. — ¹⁴ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Indikationen und Lokalisationsmethode der gezielten Hirnoperationen. Nervenarzt **25**, 441—447 (1954). — ¹⁵ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Über die Symptomatik und operative Behandlung der extrapyramidalen Bewegungsstörungen. Med. Klin. **53**, 817—824 (1958). — ¹⁶ HAYNE, R., R. MEYERS and J. R. KNOTT: Characteristics of electrical activity of human corpus striatum and neighbouring structures. J. Neurophysiol. **12**, 181—195 (1949). — ¹⁷ HILL, D.: The electro-encephalogram in organic cerebral disease. Proc. roy. Soc. Med. **41**, 242—248 (1948). — ¹⁸ JASPER, H. H., and C. AJMONE-MARSAN: Thalamocortical integrating mechanisms. Ch. XXIII, Vol. XXX, Patterns of organization in the central nervous system. Proc. Ass. Res. Nerv. Ment. Dis. 1950, New York. — ¹⁹ JUNG, R., u. J. F. TÖNNIES: Hirnelektrische Untersuchungen über Entstehung und Erhaltung von Krampfentladungen: Die Vorgänge am Reizort und die Bremsfähigkeit des Gehirns. Arch. Psychiat. Nervenkr. **185**, 701—735 (1950). — ²⁰ JUNG, R., u. T. RIECHERT: EEG-Befunde bei Thalamusreizung am Menschen. Nervenarzt **26**, 35—40 (1955). — ²¹ MAGOUN, H. W.: The ascending reticular activating system. Ch. XXII, Vol. XXX, Patterns of organization in the central nervous system. Proc. Ass. Res. Nerv. Ment. Dis. 1950, New York. — ²² MEYERS, R., R. HAYNE and J. KNOTT: Electrical activity of the neostriate, paleostriate and neighbouring structures in parkinsonism and hemiballism. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. **12**, 111—123 (1949). — ²³ MORUZZI, G., and H. W. MAGOUN: Brain stem reticular formation and activation of the EEG. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **1**, 455—473 (1949). — ²⁴ OBRIST, W. D.: The electroencephalogram of normal aged adults. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **6**, 235—244 (1954). — ²⁵ OBRIST, W. D., and C. E. HENRY: Electroencephalographic findings in aged psychiatric patients. J. nerv. ment. Dis. **126**, 254—267 (1958). — ²⁶ OBRIST, W. D., and C. E. HENRY: Electroencephalographic frequency analysis of aged psychiatric patients. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **10**, 621—632 (1958). — ²⁷ PENFIELD, W., and H. H. JASPER: Ch. IV und V in "Epilepsy and the functional anatomy of the human brain". London: J. & A. Churchill Ltd. 1954. — ²⁸ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Beschreibung und Anwendung eines Zielgerätes für stereotaktische Hirnoperationen (II. Modell). Acta neurochir. (Wien) (Suppl. III) 308—337 (1955). — ²⁹ RIECHERT, T., and W. UMBACH: Cortical and subcortical electrographic patterns during stereotaxic operations in subcortical structures of the human brain. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **7**, 663 (1955). — ³⁰ RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Über ein neues Zielgerät zur intracranialen elektrischen Ableitung und Ausschaltung. Arch. Psychiat. Nervenkr. **186**, 225—230 (1951). — ³¹ ROHRACHER, H.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen über die gehirnelektrischen Vorgänge. Commentationes, Ann. II, Vol. II, Nr. 6, 1938. — ³² ROHRACHER, H.: Ein einfacher Index zur Auswertung der α -Wellen des Elektroenzephalogramms. Arch. Psychiat. Nervenkr. **184**, 487—492 (1950). — ³³ SCHÜTZ, E., u. H. CASPERS: Über die bioelektrische Hirnrindenaktivität und ihre Steuerung durch Stammhirnstrukturen. Z. ges. inn. Med. **9**, 1037—1047 (1954). — ³⁴ SPIEGEL, E. A., and H. T. WYCIS: Thalamic recording in man with special reference to seizure discharges. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **2**, 23—27 (1950). — ³⁵ TURNER, W. J.: An electroencephalographic ruler. Electroenceph. clin. Neurophysiol. **7**, 309 (1955). — ³⁶ UMBACH, W.: Tiefen- und Cortexableitungen während stereotaktischer Operationen am Menschen. I. Congr. Int. de Scienc. Neurol., Brüssel 1957. 161—170. — ³⁷ WYCIS, H. T., A. J. LEE and E. A. SPIEGEL: Simultaneous records of thalamic and cortical potentials in schizophrenics and epileptics. Confin. neurol. (Basel) **9**, 264—272 (1949).

Dr. J. A. GANGLBERGER,

Freiburg i. Br., Neurochirurg. Univ.-Klinik, Hugstetterstr. 55