

Psychiatrisch-Neurologische Universitätsklinik Wien
(Vorstand Prof. Dr. H. Hoff)

Das Verhalten der bioelektrischen Felder bei einem Fall von Hirntumor

Von

G. FOITL und H. PETSCHE

Mit 5 Textabbildungen

(Eingegangen am 10. Mai 1959)

Die bioelektrischen Erscheinungen in der Umgebung eines Hirntumors sind oft so vielfältig, daß eine genaue Beschreibung schwierig ist. Bei der Auswertung der EEG-Kurven werden Ort, Amplitude und Frequenz der abnormen Tätigkeit berücksichtigt, und doch kann diese Beschreibung nur eine grobe Skizze der tatsächlichen Verhältnisse geben. Unberücksichtigt bleiben dabei die Phasenbeziehungen der Wellen, die bei der üblichen Registrierung nicht zu erkennen sind. Durch Einbeziehung dieses zusätzlichen Parameters soll versucht werden, zu einer mehr kontinuierlichen, raum-zeitlichen Vorstellung der bioelektrischen Tätigkeit zu gelangen.

Die bisherigen Untersuchungen zu diesem Thema wurden meist an regelmäßigen Wellenformen vorgenommen, bei epileptischen Anfällen am Menschen oder tierexperimentell nach elektrischer oder chemischer Reizung des Gehirns (ADRIAN; GERARD u. LIBET; GOLDMAN u. Mitarb.; LILLY; PETSCHE u. MARKO; RÉMOND; zusammenfassende Darstellung bei FESSARD). Zweck der folgenden Untersuchung war, eine abnorme Spontanaktivität mit einem möglichst breiten Frequenzbereich auszumessen, um nicht nur eine Bestätigung für die bisherigen Beobachtungen zu finden, sondern darüber hinaus die Frage nach einer Frequenz-Geschwindigkeitsbeziehung der Hirnwellen zu prüfen. Schon in den angeführten Untersuchungen wurde erwähnt, daß sich im Allgemeinen Wellen höherer Frequenz auch rascher ausbreiten als solche niedrigerer. Jedoch gelang es nie, an dem bisherigen Material, das nach dem Gesichtspunkt der Regelmäßigkeit der Wellenformen ausgewählt war, ein genügend großes, kontinuierliches Frequenzspektrum zu finden und auszumessen.

Methodik

Untersucht wurde die bioelektrische Tätigkeit eines Patienten mit einem Hirntumor vor und nach der Operation, wobei die Phasenbeziehungen der Wellen nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet wurden.

Die Phasenbeziehungen wurden mit einem Multivibratorortoposkop (MARKO-PETSCHE) gemessen. Dieses Gerät, ein Elektronenschalter, ist an einen Ediswan-Mark-II-8-Kanal-Tintenschreiber angeschlossen und gibt die Amplitudenschwankungen im EEG als Helligkeitsschwankungen von 8 untereinander liegenden Leuchtpunkten wieder. Bei unipolarer Ableitung und Registrierung am laufenden Film (12,6 cm/sec) sind Phasenverschiebungen im helligkeitsmodulierten Bild zu erkennen. Wanderwellen, die über mehrere, in einer Reihe liegende Elektroden gleichen Abstands laufen, erscheinen als schräge, helle oder dunkle Streifen am Film. Ihre Geschwindigkeit in bezug auf die Elektrodenreihe kann aus der Neigung dieser Streifen leicht ermittelt werden.

Die Topogramme wurden immer nur gemeinsam mit den gleichzeitig aufgenommenen EEG Kurven beurteilt. Um subjektive Momente bei der Ausmessung so weit als möglich auszuschalten, wurden die Topogramme der 1. und 2. Untersuchung getrennt von je einem Autor ausgewertet. Nur solche Wellen, bei welchen eine eindeutige Kontinuität der Ausbreitung vorlag, wurden den Messungen zugrunde gelegt, d.h. ausschließlich Wellen, deren Identität über mehreren Ableitorten nach ihrer Form sichergestellt stand.

Bei der Auswertung wurden folgende Momente berücksichtigt: Amplitudenverteilung, Ursprung und Ablaufsrichtung der Wellen, wenn möglich Einfallsrichtung der Welle zur Elektrodenreihe, Reichweite, Geschwindigkeit, Häufigkeit des Vorkommens bestimmter Richtungen über einer Elektrode, Frequenz und Veränderung der Wellenform während des Ablaufs.

Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die Ergebnisse dieser zahlreichen Messungen in Schemata eingetragen. Den Untersuchungen wurden Aufnahmszeiten von 57 sec (1. Aufnahme, vor der Operation) und 71 sec (2. Aufnahme, nach der Operation) zugrunde gelegt.

Krankengeschichte

Der Pat., 30 Jahre alt, erkrankte 1941 mit Sehstörungen, Gesichtsfeldeinschränkung und Polydipsie. Es wurde ein raumbeengender Prozeß in der Chiasmagegend re. diagnostiziert. Bei der Operation im Jahre 1941 fand sich eine Cyste in der Gegend des re. N. opticus, die entleert wurde. Ein Stück der Cystenwand wurde entfernt. Histologisch wurde eine Dermoidcyste diagnostiziert. 1942 begannen grand-mal-Anfälle mit Geschmacksaura. Unter Therapie nahmen die Anfälle ab, später allerdings wieder zu. In den Wochen vor der Aufnahme traten neuerlich Hirndruckzeichen auf. Eine Arteriographie ergab Anhaltspunkte für einen rechtsseitigen, raumverdrängenden Prozeß mit deutlichem Hydrocephalus internus, die Schädelceräufnahme zeigte Verkalkungen re. paramedian, prä- und suprasellär.

Das zu dieser Zeit (20. 3. 1958) aufgenommene *bipolare EEG* (Abb. 1) ist stark abnorm und zeigt eine generalisierte, unregelmäßige Tätigkeit hauptsächlich im Theta-Delta-Frequenzbereich. Im Allgemeinen überwiegen li. die langsameren Komponenten. Auch occipital, wo eine langsame, unregelmäßige Tätigkeit im Alphabereich besteht, die nicht durch Lidschluß aktiviert wird, findet sich dieser Seitenunterschied. Das Maximum der abnormen Tätigkeit liegt li. hochfrontal, mit einer ständigen, teils monomorphen, Deltatätigkeit (1,5–3/sec). Davon unabhängig findet sich auch re. über dem vorderen Schädelquadranten eine hohe, unregelmäßige Tätigkeit, vorwiegend im 5/sec-Bereich, mit langsamem Spitzen und vereinzelten Deltafrequenzen.

Eine am 16. 5. 1958 durchgeführte *Operation* ergab folgendes: Osteoplastische Operation li. frontal. Nach Eröffnung der Dura zeigt sich, daß der Hirndruck sehr stark gesteigert ist. Es wird der li. Seitenventrikel punktiert. Die Hirnschicht über dem Ventrikel ist nur etwa 1 cm dick. Nach Ablassen von Liquor kollabiert das

Gehirn. An der Schädelbasis wird ein sehr großer Tumor dargestellt. Nach Eröffnung seiner Kapsel entleert sich reichlich klare Flüssigkeit und es kommen perlmuttartig glänzende Massen zum Vorschein, die ausgelöffelt werden. Die Kapsel konnte

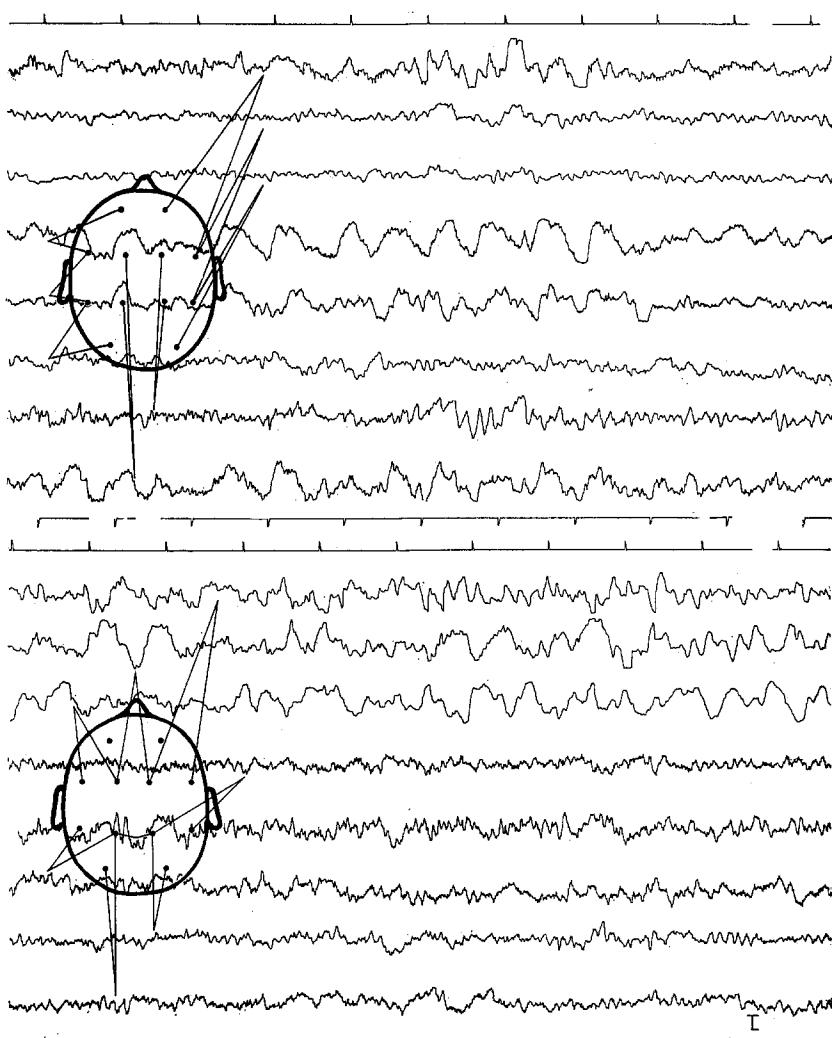


Abb. 1. Bipolares EEG vom 20. 3. 1958 (1. Untersuchung)

nicht vollständig entfernt werden. Blutstillung, Naht der Dura, epidurales Drain, Wiedereinfügen des Knochendeckels, subcutane Drain, zweischichtiger Hautlappenverschluß. *Histologisch*: Hornschüppchen und teilweise verkalkter Detritus als Inhalt einer Dermoidcyste.

Postoperativ erholt sich der Pat. gut. Am 23. 6. 1958 wurde eine zweite EEG-Aufnahme durchgeführt.

Gegenüber der ersten Aufnahme fällt auf, daß der Grundrhythmus im Alpha-bereich nun weniger Theta enthält. Die abnorme Tätigkeit ist nicht mehr linksseitig überwiegend, sondern liegt über der re. Fronto-Temporalregion. In diesem Bereich besteht fast ständig eine hohe, $1,5-2/\text{sec}$ Deltatätigkeit mit häufigen regelmäßigen, monomorphen Wellengruppen und Gruppen von $5/\text{sec}$. Auf der Gegenseite, wo die entlastende Operation durchgeführt wurde, ist ebenfalls eine Tätigkeit im Delta- und Thetaband nachzuweisen, die aber niedriger und unregelmäßiger erscheint.

Ergebnisse

Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem ersten, unipolar aufgenommenen EEG und dazugehörigen Topogramm. Da erfahrungsgemäß die sogenannten hypersynchronen Vorgänge am Schädel hauptsächlich in longitudinaler Richtung, bzw. längs Meridianen zwischen Inion und Nasion ablaufen, wurde die aus der Abbildung ersichtliche Elektrodenanordnung gewählt. Eingezeichnet sind Richtung und Reichweite aller Theta und Delta, die mittels Toposkop vermessen werden konnten.

Abb. 3 gibt schematisch Reichweite und Ablaufsrichtung der Theta und Delta beider Aufnahmen wieder. Jede Welle und ihre Reichweite sind durch einen Balken dargestellt. Bei der 1. Untersuchung wurden 136 Wellen, bei der 2. 175 Wellen ausgemessen.

In der oberen Hälfte von Abb. 3a u. 3b sind die Theta, in der unteren die Delta wiedergegeben. Der rechte Teil der Abbildung zeigt die Wellen die von 1 nach 8 laufen, der linke die von 8 nach 1 laufenden. Wie aus dem Schema der 1. Untersuchung zu sehen ist (Abb. 3a), sind die in Richtung 1 nach 8 laufenden Theta fast ausschließlich auf die rechte Hemisphäre beschränkt. Delta dieser Ablaufsrichtung treten vor allem über den Elektroden 1–6 in wechselnder Reichweite auf. Von 8 nach 1 verlaufende Theta überwiegen zwar auch rechts, doch gehen auch viele dieser Wellen von Elektroden über der linken Hemisphäre aus. Die Delta dieser Ablaufsrichtung (8 nach 1) sind diffuser verteilt als die von 1 nach 8 laufenden Delta. Auffallend ist bei der 1. Untersuchung weiterhin die große Zahl von Wellen, die die Mediane kreuzen.

Das Schema der Wellenverteilung der 2. Untersuchung (Abb. 3b) zeigt bei den Theta der Ablaufsrichtung 1 nach 8, daß über der linken Hemisphere mehr Theta vorhanden sind als bei der 1. Untersuchung. In der Gegenrichtung 8 nach 1 überwiegen die linksseitigen Theta noch mehr als rechts. Delta der Ablaufsrichtung 1 nach 8 überwiegen rechts, während umgekehrt die von 8 nach 1 laufenden Delta links am häufigsten sind.

Eine tabellarische Übersicht soll die Aufteilung der Wellen beider Untersuchungen noch klarer zeigen. Wellen kurzer und langer Reichweite sind dabei gesondert angeführt. Unter die Wellen kurzer Reichweiten fallen solche, die über maximal 4 Elektroden laufen und die Mittellinie nicht kreuzen.

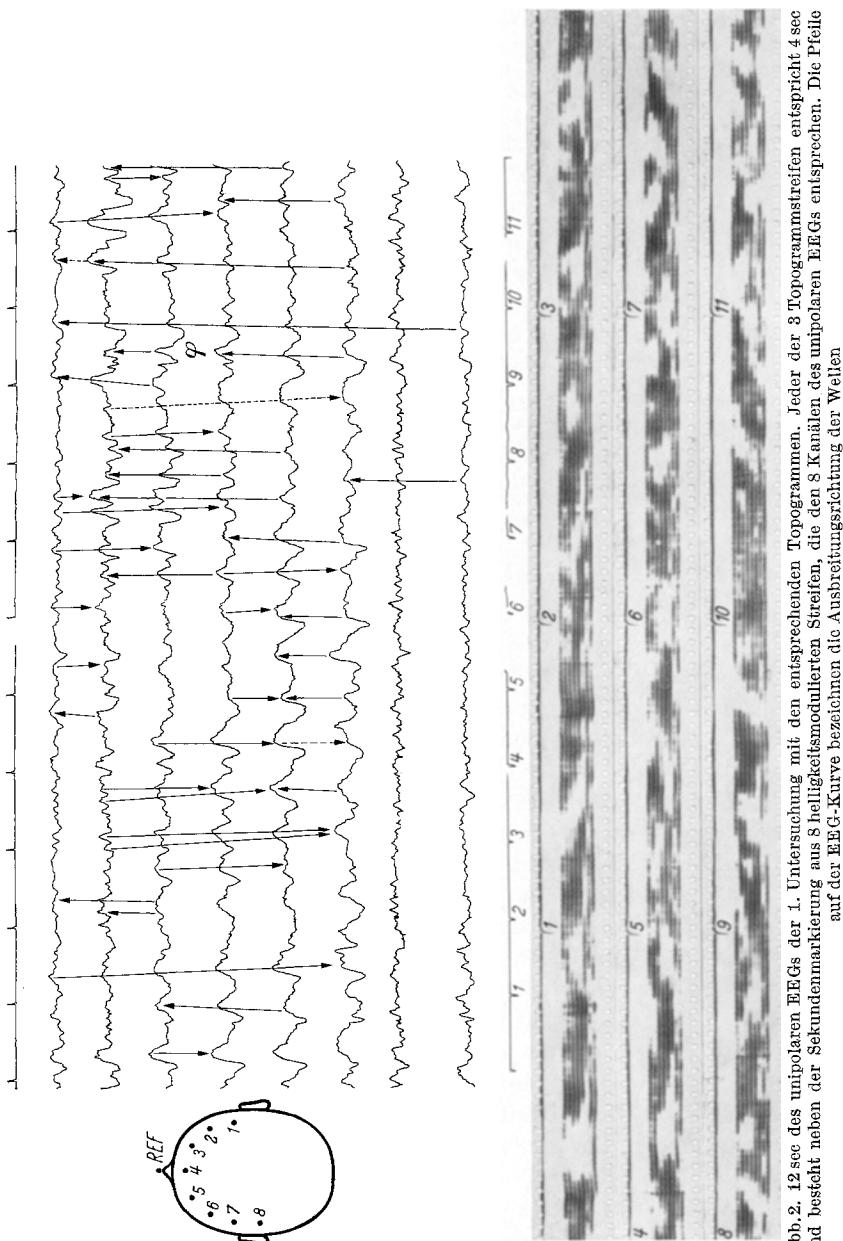


Abb. 2. 12 sec des unipolaren EEGs der 1. Untersuchung mit den entsprechenden Topogrammen. Jeder der 3 Topogrammstreifen entspricht 4 sec und besteht neben der Sekundenmarkierung aus 8 helligkeitsmodulierten Streifen, die den 8 Kanälen des unipolaren EEGs entsprechen. Die Pfeile auf der EEG-Kurve bezeichnen die Ausbreitungsrichtung der Wellen

Bei der 1. Untersuchung ist das Verhältnis aller Wellen kurzer und langer Reichweite ungefähr dasselbe, etwa 3 zu 1. Theta langer Reichweite überwiegen weitaus in der Richtung 8 nach 1, die Delta in der

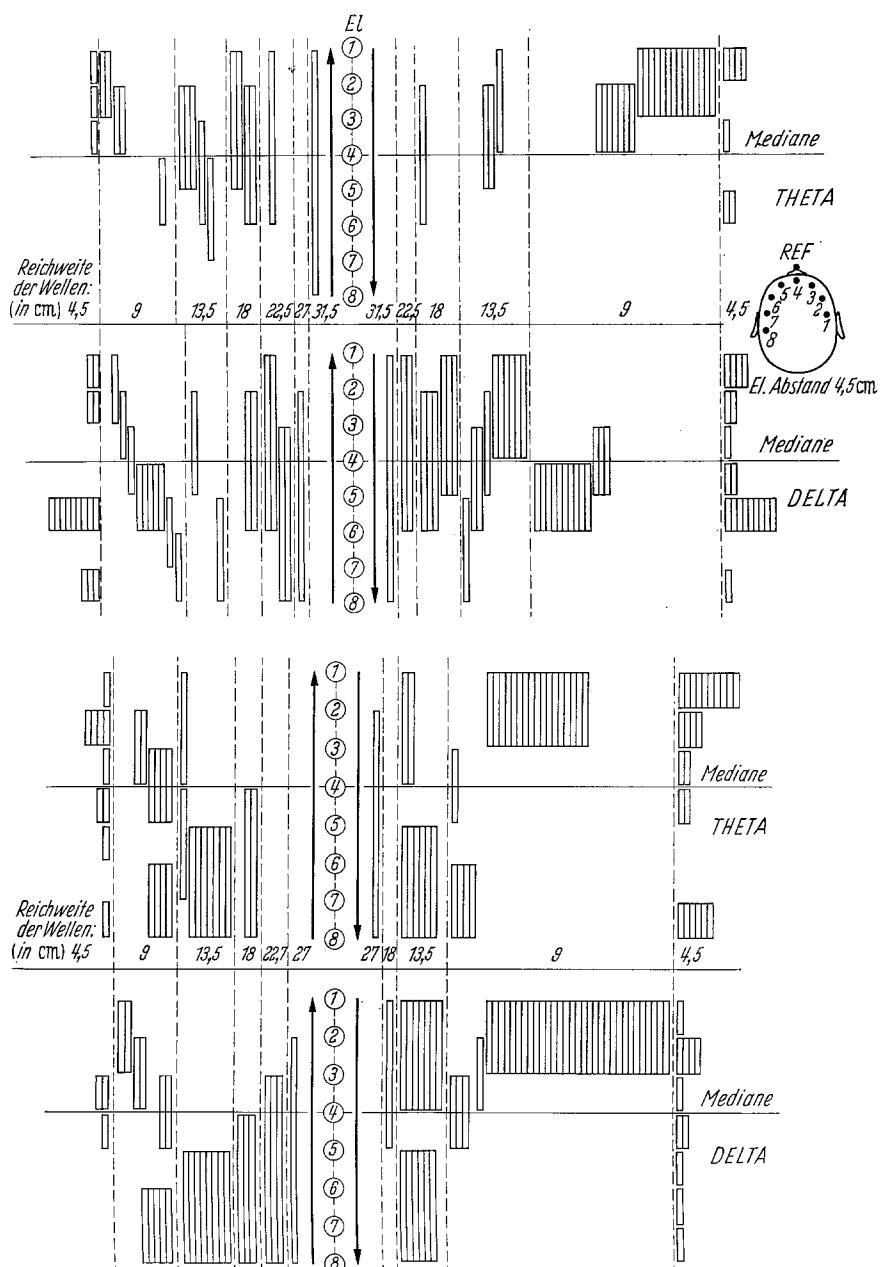


Abb. 3. Wellenausbreitungsschema der 1. und 2. Untersuchung (a und b). Im oberen Bildteil jeweils die Theta, im unteren die Delta. Reichweite und Richtung jeder Welle in Form eines senkrecht stehenden Balkens dargestellt. Die Pfeile neben der Elektrodenreihe bezeichnen die Richtung des Ablaufes: rechts 1 nach 8 links 8 nach 1.

umgekehrten Richtung. Von Wellen kurzer Reichweite überwiegen in Richtung 1 nach 8 die Theta; die Delta kurzer Reichweite sind dagegen in beiden Ablaufsrichtungen ziemlich gleich verteilt.

Tabelle 1

	Reichweite	Richtung	Hemisphäre
(1. Untersuchung)			
51 Theta	kurze Reichw. 38 (74%)	1-8 29 (76%)	rechts 27 (93%) links 2 (7%)
		8-1 9 (24%)	rechts 7 (78%) links 2 (22%)
	lange Reichw. 13 (26%)	1-8 3 (23%)	
		8-1 10 (77%)	
85 Delta	kurze Reichw. 61 (71%)	1-8 35 (58%)	rechts 13 (37%) links 22 (63%)
		8-1 26 (42%)	rechts 6 (23%) links 20 (77%)
	lange Reichw. 24 (29%)	1-8 15 (63%)	
		8-1 9 (37%)	
(2. Untersuchung)			
86 Theta	kurze Reichw. 78 (91%)	1-8 53 (68%)	rechts 35 (66%) links 18 (34%)
		8-1 25 (32%)	rechts 9 (36%) links 16 (64%)
	lange Reichw. 8 (9%)	1-8 2 (25%)	
		8-1 6 (75%)	
89 Delta	kurze Reichw. 76 (85%)	1-8 56 (74%)	rechts 45 (80%) links 11 (20%)
		8-1 20 (26%)	rechts 6 (30%) links 14 (70%)
	lange Reichw. 13 (15%)	1-8 4 (31%)	
		8-1 9 (69%)	

Wird bei den Wellen kurzer Reichweite noch die Verteilung über beiden Hemisphären berücksichtigt, so ergibt sich folgendes: Theta in beiden Richtungen überwiegen rechts, Delta in beiden Richtungen dagegen links.

In der 2. Untersuchung sind wesentlich mehr Wellen kurzer Reichweite zu registrieren. Von allen Wellen langer Reichweite laufen mehr in Richtung 8 nach 1 als umgekehrt. Bei den Wellen kurzer Reichweite überwiegt dagegen Ablaufsrichtung 1 nach 8.

Bei Aufteilung aller Wellen in rechts- und linksseitige laufen insgesamt mehr Wellen von rückwärts nach vorne als umgekehrt.

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Untersuchungen läßt folgendes erkennen.

1. In der 2. Untersuchung sind mehr Wellen kurzer Reichweite zu finden.

2. Die größte Zahl der Wellen liegt in beiden Untersuchungen über den Elektroden 1—3.

3. Weniger Wellen kreuzen in der 2. Untersuchung die Mediane.

4. In der 2. Untersuchung überwiegen beiderseits die Abläufe von rückwärts nach vorne.

Besondere Beachtung verdient die Mediane, weil sie von Wellen oft überschritten wird. Da es schwer fällt, sich vorzustellen, daß die Wellen kapazitiv die Falx durchdringen, muß als Versuch einer Deutung angenommen werden, daß die Wellen die interhemisphärische Rinde entlang laufen und über Commissuren zur Gegenseite gelangen. Geprüft wird diese Annahme dadurch, daß die Geschwindigkeitsmittelwerte der kreuzenden und nicht kreuzenden Wellen verglichen werden. (Verwertet wurden nur die Wellen der 1. Untersuchung, da bei der Aufnahme nach der Operation zu wenig kreuzende Wellen vorhanden waren).

Tabelle 2

		Richtung 1—8	Richtung 8—1
Theta	Mediane wird überschritten	3	10
	Mediane wird nicht über-schritten	29	9
Delta	Mediane wird überschritten	15	9
	Mediane wird nicht über-schritten	35	26

Insgesamt kreuzen 37 Wellen (27%), 99 Wellen kreuzen nicht. Von den kreuzenden Wellen liegen 13 im Theta- und 24 im Deltaband.

Werden die Geschwindigkeitsmittel der kreuzenden und nichtkreuzenden Theta und Delta errechnet, so ergibt sich folgende Tabelle.

Tabelle 3. Durchschnittsgeschwindigkeiten

	Überschreiten der Mittellinie	Nicht-Überschreiten der Mittellinie
Delta	176 cm/sec (24 Wellen)	241 cm/sec (61 Wellen)
Theta	359 cm/sec (13 Wellen)	533 cm/sec (38 Wellen)

Geschwindigkeitsverhältnis

$V_{\text{Delta}} : V_{\text{Theta}} = 1:2,04$

$1:2,21$

Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen Delta und Theta innerhalb jeder der beiden Gruppen (kreuzende und nicht kreuzende Wellen) nicht wesentlich voneinander verschieden.

Dasselbe gilt für das Geschwindigkeitsverhältnis der beiden Gruppen von Wellen innerhalb jedes einzelnen Frequenzbandes.

Tabelle 4

$$\text{Geschwindigkeit der kreuzenden Wellen} : \text{Geschwindigkeit der nicht-kreuzenden Wellen} = 1:1,37 \text{ (Delta)} \\ 1:1,48 \text{ (Theta)}$$

Diese Überlegungen zeigen, daß sowohl Theta als auch Delta beim Überschreiten der Mittellinie eine gewisse, annähernd proportionale Verzögerung erfahren, indem auch die Geschwindigkeitsdurchschnitte um $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ niedriger sind.

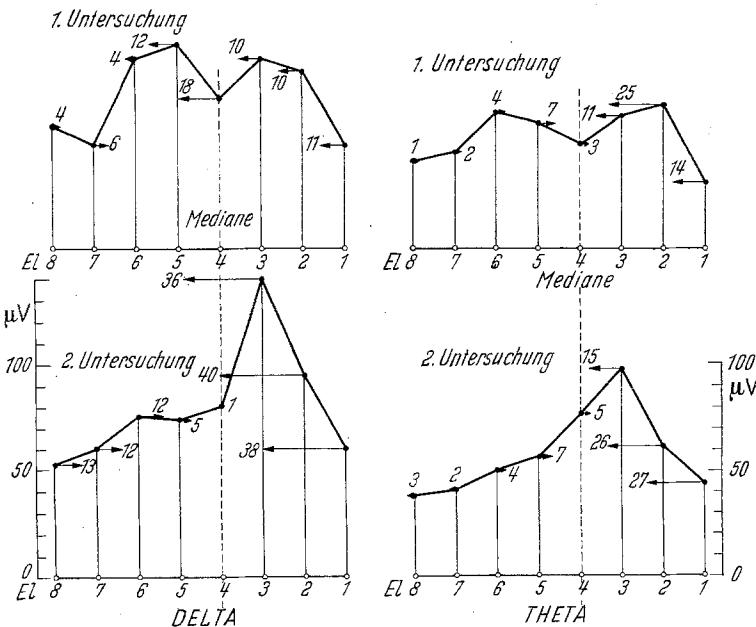


Abb. 4. Beziehung zwischen Durchschnittsamplitude und überwiegenden Ablaufsrichtungen über den einzelnen Elektroden

In Abb. 4 sind die Durchschnittsamplituden über den einzelnen Elektroden zu den Ablaufsrichtungen der Wellen in Beziehung gesetzt. Die Länge der Pfeile ist proportional der Zahl der über jeder Elektrode registrierten Wellen.

Die höchsten Amplituden der Theta und Delta der 1. Untersuchung liegen über beiden Frontalregionen und fallen gegen die Mediane zu ab. In der Untersuchung nach der Operation überwiegen die höchsten Amplituden bei weitem rechts frontal. Im operierten Bereich links ist

eine deutliche Amplitudenverminderung eingetreten. Die überwiegende Ablaufsrichtung der Theta in der 1. Untersuchung zur Medianen hin, also von rückwärts nach vorne, wird in der 2. Untersuchung besonders über der rechten Hemisphäre beibehalten. Dasselbe Verhalten, nur noch deutlicher, zeigen die Delta.

Bei der Auswertung der Ergebnisse war auch die Frage von Interesse, ob zwischen der Ablaufsrichtung einer Welle und ihrer Amplitude eine Beziehung bestünde.

Tabelle 5. *Ablaufsrichtung und Amplitude*. Von den ausgemessenen 311 Wellen der 1. und 2. Untersuchung (137 Theta und 174 Delta) laufen

(Theta)	(Delta)	insgesamt	
43 (31%)	28 (16%)	71 (23%)	mit durchschnittlich gleicher Amplitude vom Ort des <i>höheren</i> zu dem des <i>niedrigeren</i> Potentials
35 (26%)	39 (23%)	74 (24%)	vom Ort des <i>niedrigeren</i> zu dem des <i>höheren</i> Potentials
59 (43%)	107 (61%)	166 (53%)	vom Ort des <i>niedrigeren</i> zu dem des <i>höheren</i> Potentials

Tab.5 gibt die gefundenen Werte beider Untersuchungen wieder. Eine Aufgliederung in 1. und 2. Untersuchung war nicht notwendig, da keine wesentlichen Differenzen bestanden. Auffallend ist die große Zahl von Wellen, die gegen jede Erwartung vom Ort der niedrigeren Amplitude zum Ort der höheren Amplitude laufen.

Auf Grund der relativ hohen Zahl der vermessenen Wellen und wegen des breiten Frequenzbandes dieses Falles war es möglich, die Daten statistisch auszuwerten, um eine vermutete Beziehung zwischen Frequenz und Geschwindigkeit zu verifizieren. Berücksichtigt wurden dabei nur die nicht kreuzenden Wellen, um die oben beschriebene Verzögerung der Wellen beim Überschreiten der Medianen als Unsicherheitsfaktor auszuschalten. Es ergaben sich bei beiden Untersuchungen Regressionsgerade¹, die eine Beziehung zwischen Frequenz und Geschwindigkeit im untersuchten Bereich mit hoher Signifikanz annehmen lassen:

1. Untersuchung: $n = 99, r = 0,467, y = 66,528 x + 56,403$
2. Untersuchung: $n = 159, r = 0,284, y = 47,395 x + 269,974$.

Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, daß die pathologischen, sehr unregelmäßigen Wellen, wie sie beim Hirntumor vorkommen, keine stationären Erscheinungen sind, sondern die Tendenz zur Ausbreitung in sich tragen. Handelte es sich bei einer regelmäßigen Tätigkeit, wie bei generalisierten Deltagruppen oder bei Spike-and-Wave noch um ziemlich konstante

¹ Für die statistische Auswertung sind wir dem statistischen Institut der Universität Wien zu Dank verpflichtet.

Ausbreitungsphänomene, die besonders bei hochsynchronisierten Vorgängen über lange Zeit in gleicher Weise ablaufen, so ist die Variabilität der Abläufe im vorliegenden Fall besonders groß.

Es scheint deshalb auch nicht angebracht, aus den Ablaufsrichtungen und Reichweiten der Wellen Rückschlüsse auf lokalisatorische Momente zu ziehen, zumal durch die Operation nur die anatomischen Verhältnisse über der linken Seite klargestellt wurden und sich der Tumor auch nach rechts ausdehnt, wo 1941 erstmals operiert wurde.

Aufschlußreich sind die Verhältnisse über der linken Frontalregion vor der Operation, über einer Hirnregion, die nach dem Operationsbericht nur etwa 1 cm dick war und unter der sich in einem hydrocephal stark erweiterten Ventrikel, vermutlich infolge Verschlusses des Foramen Monroi, Liquor unter Druck befand. Dieser Befund zeigt, daß Ausbreitungsphänomene auch an einem Ort auftreten, an welchem durch Atrophie die Marksubstanz weitgehend reduziert wurde. Man darf daraus schließen, daß Verbindungen zwischen Rinde und Stammganglien weder für die Entstehung einer pathologischen Tätigkeit noch für deren Ausbreitung von ausschlaggebender Bedeutung sein müssen. Dieser Befund bekräftigt vielmehr die Ansicht, daß Ausbreitungsvorgänge einer inhärenten Eigenschaft der Grauen Substanz zuzuschreiben sind.

In diesem Sinne sind auch die Befunde bei Überschreiten der Mittellinie zu werten. Infolge der Meßungenauigkeiten wurden nur Durchschnittswerte verglichen. Doch selbst an diesen ist zu sehen, daß sich Wellen, die die Mittellinie überschreiten, langsamer ausbreiten als solche, die über einer Hemisphäre bleiben. Dieser Befund wird noch dadurch bekräftigt, daß er auch für Theta- und Deltawellen gesondert gilt, ja sogar, daß das Geschwindigkeitsverhältnis der nicht kreuzenden und kreuzenden Theta und Delta annähernd gleich ist. Die Verlangsamung der kreuzenden Wellen ist am ehesten dadurch zu erklären, daß die den Wellen entsprechenden, räumlichen Felder über den Balken zur Gegenseite geleitet werden.

Diese Beobachtung ist noch in einer anderen Weise bemerkenswert. Sie zeigt, daß auch sogenannte bilateralsynchrone Wellen unilaterale beginnen und an der Rinde, vermutlich über den Balken, zur Gegenseite gelangen können. Bilaterale Wellen gleicher Form müssen demnach nicht unbedingt von einem subcorticalen, mittelliniennahen Herd an die Rinde projiziert werden. Daraus ergeben sich neue Gesichtspunkte für die lokalisatorische Verwertung solcher Wellen.

Aus der Beobachtung, daß die Wellen viel häufiger vom Ort der niedrigen Amplitude zum Ort der höheren Amplitude laufen als umgekehrt, können die Vermutungen über die Entstehung der Wanderwellen bestärkt werden, die in früheren Arbeiten skizziert wurden (PETSCHÉ u. MARKO 1955). Der Wert der Amplitudenmessung einer einzelnen Welle

wird durch mehrere Faktoren eingeschränkt: Meist handelt es sich um ein Konglomerat von Feldern verschiedener Größe und Ausdehnung, die sich als Wellen verschiedener Amplitude und Frequenz manifestieren. Außerdem können die Wellen nur mit einem Wechselspannungsverstärker mit einheitlicher Zeitkonstante registriert werden, womit keine amplitudengetreue Wiedergabe im gesamten Frequenzbereich möglich ist. Deshalb kommt jeder Amplitudenmessung nur relative Bedeutung zu. Um gültige Aussagen zu erhalten, muß auch hier ein möglichst großes Material von Einzelmessungen verglichen werden.

Die Messungen aus der 1. und 2. Untersuchung stimmen so gut überein, daß sie in einer einzigen Tabelle zusammengefaßt werden konnten. Die Zahl der Wellen, die zum Amplitudenmaximum laufen, differiert in beiden Untersuchungen nur um 2%. Mehr als die Hälfte aller Wellen laufen vom Ort der niedrigeren Amplitude zu dem der höheren. Man gewinnt daraus den Eindruck, daß sich ein Feld beim Ablauf über der Rinde durch Rekrutierung immer mehr aufbaut, bis es rasch zusammenbricht, sobald die Bedingungen für eine weitere Rekrutierung durch anatomische oder physiologische Momente ungünstiger werden. Seltener läuft das Feld in der Richtung des Spannungsgefäßes ab.

Wie schon erwähnt, ist die Wahrscheinlichkeit einer Beziehung zwischen Frequenz und Geschwindigkeit der Welle sehr hoch. Zur Frequenzbestimmung wurde nur der nach negativ ansteigende Schenkel der Welle benutzt. Der Anstieg erfolgt im Allgemeinen steiler als der Abfall, und ist besser meßbar. Doch war es nicht so sehr dieses Moment, das uns veranlaßte, nur den Anstieg zu vermessen, wie die Überlegung, daß nur der ansteigende Teil der Wellenfront für die Bahnung der Ausbreitung des Feldes von Bedeutung ist, während der absteigende Teil (in der englischen Literatur von LILLY treffend als „trailing edge“ bezeichnet) ein Abebben zur Nulllinie darstellt.

Die Beziehung gilt im gesamten vorhandenen Frequenzbereich und darf mit großer Annäherung als linear aufgefaßt werden; die Regressionsgerade weicht nur wenig vom Koordinatennullpunkt ab. Daß eine solche Beziehung überhaupt ermittelt werden konnte, ist erstaunlich. Denn einerseits sind die Meßmethoden naturgemäß ungenau; andererseits werden die Resultate dadurch unschärfer, daß nur mit einer Elektrodenreihe vermessen wurde, auf welche die Wellen in verschiedenem Winkel einfallen können.

Für einen Schwingungsvorgang, der sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreitet und dessen Perioden mit einer bestimmten Frequenz aufeinanderfolgen, gilt der Satz

$$\text{Periodenlänge} = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Frequenz}} .$$

Bei konstanter linearer Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Frequenz muß die Periodenlänge konstant bleiben. Im obigen Ausdruck kann für Periodenlänge auch Feldgröße oder bioelektrische Wellenlänge gesetzt werden. Es ist aber besser, den Ausdruck „Wellenlänge“, der immer wieder zu irreführenden Analogien mit bekannten Wellenvorgängen (Licht, Schall) Anlaß gibt, zu vermeiden und durch einen passenderen Begriff, wie etwa „bioelektrische Feldgröße“ zu ersetzen.

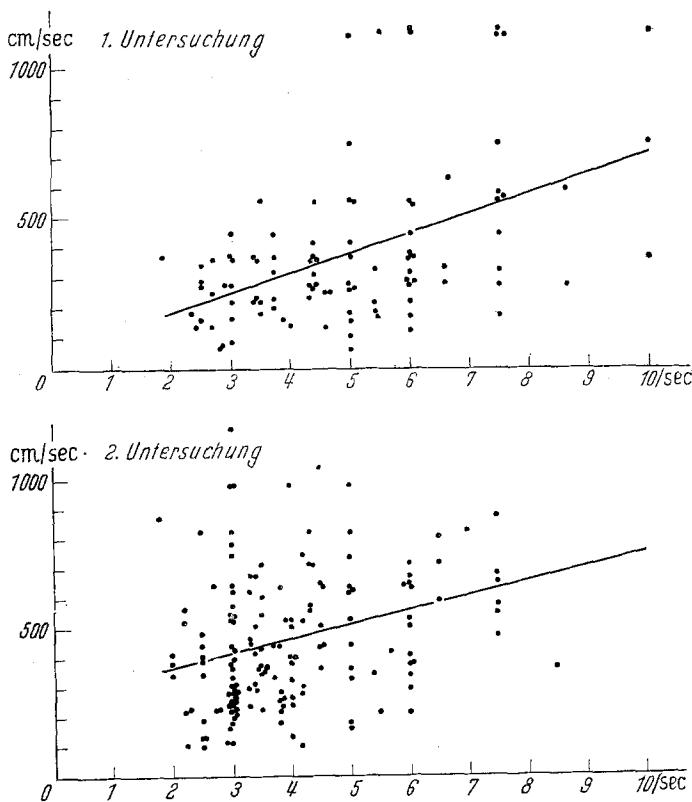


Abb. 5. Geschwindigkeits-Frequenzdiagramm aller nichtkreuenden Wellen.
Regressionsgerade für die 1. und 2. Untersuchung.

Aus dem Diagramm (Abb. 5) geht hervor, daß die Ausdehnung des bioelektrischen Feldes, das bei Registrierung einer Welle im EEG über die Rinde läuft, unabhängig von Frequenz und Amplitude gleich bleibt. Eine solche raum-zeitliche Vorstellung der bioelektrischen Hirntätigkeit wird erleichtert, wenn man sich ein homogenes Medium von Gehirnqualität und beliebiger Ausdehnung denkt, in dem bioelektrische Felder nach allen Richtungen und mit verschiedener Geschwindigkeit ablaufen können. In dieses Medium eingeführte Elektroden werden je nach der

Geschwindigkeit, mit der die Felder an den Elektroden vorbeilaufen, bioelektrische Wellen verschiedener Frequenz registrieren. Die Größe dieser Felder, die der Einfachheit halber als sphärische Felder gedacht werden können, wird weitgehend konstant bleiben.

Die Feldgröße für jede einzelne Untersuchung kann aus der Regressionsgeraden ermittelt werden. Da die Meßergebnisse durch mehrere Faktoren, wie schon erwähnt, beeinträchtigt wurden und die Regressionsgerade somit nicht exakt durch den Koordinatennullpunkt läuft, wird man den tatsächlichen Mittelwert der Feldgröße am nächsten kommen, wenn er für ein mittleres Frequenzbereich errechnet wird (4,5/sec). In diesem Bereich ergibt sich als Feldgröße für die 1. Untersuchung 79 cm, für die 2. Untersuchung 107 cm. (Der 1. Wert, der an der Tagung der Deutschen EEG-Gesellschaft in Bad Nauheim, 1958, mitgeteilt wurde, weicht von dem hier mitgeteilten Wert etwas ab, weil damals auch die kreuzenden Wellen verwertet wurden.)

Die Vorstellung eines Feldes, das wesentlich größer ist als der Schädel und dennoch über das Gehirn laufen soll, mag schwierig erscheinen, stellt aber keinen Widerspruch dar. Die obige Deutung der Geschwindigkeits-Frequenzbeziehung gilt nur für ein unbegrenztes Medium von Gehirnqualität. Wesentlich ist die Größe der Spannungszunahme je Längeneinheit, d.h. der Feldgradient. Es ist klar, daß sich in der begrenzten Region des Gehirns eine Welle nicht voll entwickeln kann. Sie wird an einem Punkt noch nicht völlig aufgebaut sein, während sie an einem anderen infolge der geänderten anatomischen und physiologischen Bedingungen schon wieder abgebaut werden kann. In diesem Fall wird sie sich nur partiell entwickeln; ihre Registrierung erfolgt analog dem Empfang einer Rundfunkwelle, deren Ausdehnung die Größe der Antenne oft um mehrere Zehnerpotenzen übertrifft.

Wie weit der tatsächliche Wert der Größe von Fall zu Fall, vielleicht auch von Erkrankung zu Erkrankung oder von Struktur zu Struktur variiert, läßt sich aus diesen Untersuchungen noch nicht aussagen. Doch konnte in einem völlig anders gearteten Fall dieselbe Beziehung nachgewiesen werden.

PETSCHÉ u. STUMPF untersuchten am Kaninchen die bei arousal-Reaktion auftretende regelmäßige 4—7/sec Tätigkeit, die mit großer Regelmäßigkeit im gesamten Rhin- und Diencephalon vorkommt, im Hippocampus ihre höchsten Amplituden erreicht und zuerst von JUNG u. KORNMÜLLER 1938 beschrieben wurde.

Mit intracerebralen Reihenableitungen in den 3 Ebenen des Raumes wiesen die Autoren nach, daß die Tätigkeit in einer Region des Septums, etwa in der Mitte zwischen Balken und Commissura anterior, ihren Ausgang nimmt, von wo sie sich nach allen Seiten symmetrisch, nach Art einer Kugelwelle ausbreitet. Bei propriozeptiver Reizung des Kaninchens durch passive Bewegungen des Hinterbeines läßt sich diese Tätigkeit aktivieren, wobei oft deutlich als Adaptation eine

Frequenzabnahme bis um 5 Schwingungen/sec beobachtet werden kann. Gleichzeitig breiten sich die Wellen auch langsamer aus. Eine Korrelationsanalyse ergab mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,859 ein *P* kleiner als 0,001, somit auch hier eine hoch signifikante Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Frequenz. Die Feldgröße war in diesem Fall 56 mm, ein Wert, der ebenfalls größer ist als die Gesamtausdehnung des Kaninchengehirns.

Diese konstante Beziehung läßt den Schluß zu, daß die Feldgröße weitgehend von der anatomischen Struktur (Zellgröße, Zelldichte, Interkonnektivität der Zellen) abhängt. Möglicherweise spielt sogar die Gesamtmasse der beteiligten Grauen Substanz eine Rolle, woran die großen Unterschiede beim menschlichen und beim Kaninchengehirn denken lassen (in beiden verhält sich die Hirngröße zur gemessenen Feldgröße wie 1:2—4).

Über den Grund der Entstehung verschiedener Frequenzen bei gleichbleibender Feldgröße lassen sich vorläufig nur hypothetische Vermutungen aufstellen. Es ist denkbar, daß die Geschwindigkeit der Synchronisierung, welche für die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Welle und somit für deren Frequenz verantwortlich ist, von der örtlichen negativen Polarisation abhängt. Demnach könnte die Größe des örtlichen Katelektronotonus dafür verantwortlich sein, ob Wellen rascher oder langsamer Frequenz registriert werden.

Weitere Vermutungen über die Bedeutung der gefundenen Beziehung anzuführen, ist ohne experimentelle Untermauerung noch verfrüht. Wir glauben aber, daß es möglich sein wird, auf Grund dieser Beobachtungen eine Brücke von der Elektrophysiologie des Cortex zu seiner histologischen Struktur zu schlagen.

Zusammenfassung

Die pathologische Tätigkeit über einem ausgedehnten Hirntumor (parasellare Dermoidezyste) wird in Hinblick auf Geschwindigkeit, Richtung und Reichweite der Wanderwellen vor und nach der Entlastungsoperation untersucht. Zahlreiche Wellen überschreiten mit einer gewissen Verzögerung die Mittellinie. Mehr als die Hälfte aller Wellen läuft vom Ort der niedrigeren Amplitude zum Ort der höheren, was als Bestätigung dafür angesehen wird, daß sich die Wellen bei ihrem Ablauf mehr und mehr rekrutieren. Im EEG vor und nach der Operation wurde ferner die *Beziehung zwischen Ablaufgeschwindigkeit jeder Welle und ihrer Frequenz* untersucht und statistisch mit hoher Signifikanz eine Abhängigkeit gefunden. In bestimmten Frequenzbereichen ist diese Abhängigkeit mit großer Wahrscheinlichkeit linear.

Literatur

- ADRIAN, E. D.: The spread of activity in the cerebral cortex. J. Physiol. (Lond.) 88, 127—161 (1937). — FESSARD, A.: Les mécanismes de synchronisation interneuronique et leur intervention dans la crise épileptique. In: Bases physiologiques

et aspects cliniques de l'épilepsie, Masson 1958, p. 37—60. — GERARD, R. W., and B. LIBET: The control of normal and "convulsive" brain potentials. Amer. J. Psychiat. **96**, 1125—1153 (1940). — GOLDMAN, S., W. F. SANTELmann, W. E. VIVIAN and D. GOLDMAN: Travelling waves in the brain. Science **109**, 524 (1949). — JUNG, R., u. A. E. KORNMÜLLER: Eine Methode der Ableitung lokalisierter Potential-schwankungen aus subcorticalen Hirngebieten. Arch. Psychiat. Nervenkr. **109**, 1—30 (1938). — LILLY, J. C.: Instantaneous relations between the activities of closely spaced zones of the cerebral cortex. Amer. J. Physiol. **176**, 493—504 (1954). — MARKO, A., and H. PETSCHÉ: The Multivibrator-Toposcope, an Electronic Multiple Recorder. Elektroenceph. clin.-Neurophysiol. (im Druck). — PETSCHÉ, H., u. A. MARKO: Über die Ausbreitung der Makrorhythmen am Gehirn des Menschen und des Kaninchens auf Grund toposkopischer Untersuchungen. Arch. Psychiat. Nervenkr. **193**, 177—198 (1955). — PETSCHÉ, H., and CH. STUMPF: Topographic and Toposcopic Study of Origin and Spread of the Regular Synchronized Arousal Pattern in the Rabbit. Elektroenceph. clin. Neurophysiol. (im Druck).

Dr. G. FOITL, Wien IX, Lazarettgasse 14, Psychiatrisch-Neurologische
Universitätsklinik (Österreich)