

Der Wellenindex,
eine Methode zur zahlenmäßigen Auswertung
des menschlichen Elektrenkephalogramms

Gerhard höchel

 Springer

ISBN 978-3-662-27637-2 ISBN 978-3-662-29127-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-29127-6

(Aus dem Physiologischen Laboratorium der Psychiatrischen und Nervenlinik der Universität Freiburg i. Br. [Direktor: Prof. Dr. *Beringer*].)

Der Wellenindex, eine Methode zur zahlenmäßigen Auswertung des menschlichen Elektrenkephalogramms¹.

Von

Gerhard Höchel.

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 21. Januar 1942.)

Einleitung.

Bei Auswertung der vom Schädel ableitbaren Potentialschwankungen des menschlichen Gehirns — *Bergers*¹ Elektrenkephalogramm (Eeg) — hat man zunächst die am häufigsten vorkommenden Rhythmen einer gewissen Durchschnittsfrequenz und Amplitude beschrieben und diese mit Namen belegt^{2, 3, 13, 19}: α -Rhythmus (8—13Sek.), β -Wellen (14—30Sek.), δ -Wellen (langsame Schwankungen unter 8Sek.) und Krampfpotentiale (große Potentialschwankungen über 250 μ V). Eine genaue Frequenzanalyse nach *Fourier* ist mehrfach versucht worden (*Dietsch*⁸ 1932, *Rohracher*¹⁷ 1937), hat sich aber wegen ihrer methodischen Schwierigkeit für den praktischen Gebrauch nicht anwenden lassen. Vielleicht kann die neuerdings von *Grass* und *Gibbs*⁹ (1938) angegebene automatische Frequenzanalyse weiterführen.

Es wäre von praktischem Interesse, wenn wir gewisse allgemeine Charakteristika des Eeg in einem Zahlenwert ausdrücken könnten. In diesem Sinne haben amerikanische Autoren zwei relativ einfache Methoden zur zahlenmäßigen Auswertung der Eeg-Kurven angegeben. 1. Eine Auszählung des α -Rhythmus einer gewissen Amplitude in Prozenten der Zeit: α -Index (α -%) nach *H.* und *P. Davis* (1936), 2. eine lineare Ausmessung der langsamen Schwankungen (δ -Wellen) mit Hilfe eines Kartenstreckenmeßgerätes: δ -Index nach *Hoagland* und Mitarbeitern (1937). Da die Werte der α -% nur eine bestimmte Wellenart des Eeg berücksichtigen, sind sie für das pathologische Eeg, das vor allem langsamere Schwankungen enthält, weniger brauchbar. Der δ -Index erscheint hierfür besser geeignet, hat aber den Nachteil, daß man bei verschiedener Verstärkung und Registriergeschwindigkeit keine vergleichbaren Zahlen erhält.

Es war meine Aufgabe, in diesem Laboratorium eine andere Indexmessung auszuarbeiten, die unabhängig von der Verstärkung und für alle

¹ Die Drucklegung der Arbeit wurde durch die Kriegsverhältnisse 2 Jahre verzögert.

Registrierarten die gleiche ist und sich sowohl am normalen wie am pathologischen Eeg anwenden läßt. Als solche Methode fand ich den *Wellenindex (W.I.) als Produkt aus den größten Amplituden und Wellenlängen des Eeg* (in Einheiten von $100\mu\text{V}$ 100σ) geeignet. In dieser Arbeit soll über vergleichende Untersuchungen dieses W.I. mit dem δ -Index und α -Index, sowie über die Veränderungen des W.I. bei Gesunden und Kranken berichtet werden, um die Leistungsfähigkeit der Methoden beurteilen zu können.

Material und Methodik.

Aus dem Material des Laboratoriums (über 1000 Eeg von Gesunden und Kranken) wurde für den *Vergleich von α -%, δ -Index und W.I.* eine beschränkte Anzahl von 4fachen gleichzeitigen Registrierungen des Eeg ausgewählt: 30 Gesunde (davon 20 Zwillinge, je 5 eineiige und zweieiige Paare) und 50 Kranke (10 Großhirntumoren, 10 Epileptiker mit vorwiegend großen Anfällen, 10 Epileptiker mit kleinen Anfällen, 10 Schizophrene und 10 Manisch-Depressive). Die Auswahl wurde getroffen nach der *Sicherheit der Diagnose* (von Großhirntumoren wurden nur solche genommen, die autoptisch oder operativ bestätigt waren), so daß wir uns auf ein zwar kleines, aber dafür gut auswertbares Material beziehen können. — Ferner wurde ein größeres Material von Eeg-Registrierungen bei 100 Fällen von *genuiner Epilepsie* vor und nach Hyperventilation mit dem W.I. ausgewertet, um ein Bild über die Variationen dieses Index bei Epileptikern zu erhalten. Mit den Epilepsien wurden die Eeg von 50 Gesunden in Hinsicht auf den W. I. verglichen.

Die Aufnahme des Eeg wurde mit dem von Jung¹¹ (1939) beschriebenen Apparat durch kapazitiv-widerstandsgekoppelte Verstärker einer Zeitkonstante von etwa 1 Sek. und optische Registrierung vorgenommen. Für die Auswertung wurden zunächst nur „unipolare“ Ableitungen von der Schädelkonvexität gegen das Ohr benutzt, da nur mit dieser Ableitung, obwohl sie lokalisatorisch weniger zuverlässig sein kann, eine gute Beurteilung der Größe und Phasenrichtung möglich ist. Bei Gesunden und Geisteskranken wurde zum Vergleich von α -%, δ -Index und W.I. die *occipitale* Ableitung ausgewertet, bei Epileptikern occipitale und frontale, zum Teil auch parietale Ableitungen, wenn sich dort bei Durchsicht der Kurven die größten Veränderungen fanden, bei Hirntumoren occipitale, parietale oder frontale Ableitungen von beiden Hemisphären. Die Methode der Ausmessung war die folgende:

1. Die Zahl der α -% wurde an einer 30 Sek. langen Registrierung des occipitalen α -Rhythmus der Versuchsperson (bei geschlossenen Augen und voller Entspannung) bestimmt: die Zeit, in der mehrere (mindestens 3) α -Wellen einer Amplitude von mehr als $20\mu\text{V}$ vorkommen, wurde in Prozent der Gesamtzeit ausgedrückt. Die von Jung¹³ (1939) vorgeschlagene höhere Amplitudengrenze von $20\mu\text{V}$ (statt der von amerikanischen Autoren benutzten $7\mu\text{V}$) erschien uns für die Auswertung zweckmäßiger.

2. Die Zahl des δ -Index wurde ermittelt durch Streckenmessung der Kurve mit einem Kartenwegmesser, indem alle Wellen von 8 Sek.-Frequenz oder mehr in ihrer Mitte durchfahren, längere δ -Wellen unter 8 Sek. (Wellenlänge mehr als 125σ) dagegen in ihrem ganzen Verlauf voll ausgemessen wurden. Die über 30 Sek. gemessene Strecke wurde in Prozent der Registrierstrecke des Papierablaufs ausgedrückt. Es wurden nur Registrierungen einheitlicher Verstärkung von 5 mm pro $100\mu\text{V}$ und Papiergeschwindigkeit von 2 cm/sec bei einer Zeitkonstante von 1 Sek. benutzt.

3. Der W.I. wurde als *Produkt der größten Wellenlänge und Amplitude* gemessen. Als *Maßeinheiten* wurden Amplitude und Wellenlänge eines großen normalen α -Rhythmus mit $100\mu\text{V}$ und 100σ gewählt. Es wurden nur solche langsamen

Wellen berücksichtigt, die innerhalb von 10 Sek. mindestens 3mal vorkamen. Die Auswahl geschah zunächst nach der Wellenlänge, dann nach der Amplitude.

Bei Gesunden, Schizophrenen und Depressiven wurde die Zahl von α -% und *W.I.* miteinander verglichen, bei den übrigen Kranken der *W.I.* und der δ -Index in verschiedenen Ableitungen, bei Epileptikern vor und nach Hyperventilation und im kleinen Anfall.

Die Bestimmung des *W.I.* ergibt bei verschiedenen Untersuchern gewisse Abweichungen, die sich dadurch vermindern lassen, daß man nach bestimmten Regeln vorgeht. Als Ausgangswerte nimmt man den *Hauptrhythmus mit den größten Amplituden* und sucht bei diesen die größten Wellenlängen heraus. Vereinzelt langsame Schwankungen, insbesondere unregelmäßige, mit schwer bestimmbarer Wellenlänge, die von den größeren Schwankungen überlagert werden, müssen ebenso wie einfache Grundlinienschwankungen (die durch Hautpotentiale oder Bewegungsartefakte bedingt sein können) vernachlässigt werden. *Amplitude und Wellenlänge müssen immer von den gleichen Schwankungen berechnet werden.* Bei mehreren Wellen von nur wenig verschiedenen Werten wird der häufigste Durchschnittswert der *größten Amplituden und Wellenlängen* genommen, der mindestens 3mal in 10 Sek. vorkommt; z. B. Wellenlängen von 280, 300 und 330 σ bei Amplituden von 140, 150 und 160 μ V ergeben als *W.I.* $1,5 \cdot 3,05 = 4,5$.

Ergebnisse.

Aus Platzmangel ist es nicht möglich, das Gesamtmaterial, das für den *W.I.* und für die anderen Methoden ausgewertet wurde, tabellenförmig aufzuführen. Daher sollen im folgenden nur einige Reihen von *charakteristischen Beispielen und graphischen Übersichten* über die Ergebnisse gebracht werden.

1. Wellenindex und Alphaindex (Abb. 1).

Bei einer Reihe von 10 gesunden Erwachsenen wurde die Zahl für α -% und *W.I.* bestimmt. Für die α -% ergab sich eine Variation von 8—93,5%, für den *W.I.* Werte von 0,4—1,0. Im allgemeinen ist der *W.I.* größer, wenn auch die α -% Zahl höher ist, ohne daß eine konstante Relation zu erkennen wäre. Bei allen Gesunden ergaben sich für den δ -Index Werte um 0, so daß dieser Index nicht berücksichtigt wurde.

Bei je 5 Paaren *eineiiger und zweieiiger Zwillinge* wurde untersucht, wie weit α -% und *W.I.* sich in beiden Gruppen konkordant verhält. Bei *eineiigen* Zwillingen fanden sich annähernd übereinstimmende Werte, die α -% Zahlen zeigten Unterschiede von maximal 2,5%, der *W.I.* solche von 0,1, d. h. etwa 10%. Bei *zweieiigen* Zwillingen war die Diskordanz bei den α -% meistens deutlicher als beim *W.I.* Bei 2 zweieiigen Paaren zeigte der *W.I.* keine Diskordanz, wohl aber die Zahl des α -Index.

Bei je 10 Schizophrenen und 10 Depressionen (manisch-depressives Irresein), jeweils 5 Männern und 5 Frauen, wurde die Zahl für α -% und *W.I.* bestimmt. Ähnlich wie bei den Gesunden ergab sich, daß höhere Werte des *W.I.* im allgemeinen höheren Werten von α -% entsprechen, ohne daß auch hier eine absolute Parallelität besteht. Bei den Schizophrenen zeigen sich größere interindividuelle Variationen. Im allgemeinen war sowohl für den *W.I.* wie für den δ -Index der Wert bei den Schizophrenen niedriger als bei den Manisch-Depressiven. *W.I.* bei den Schizophrenen zwischen 0,5 und 1,4, α -% zwischen 70 und 90. Durchschnittswert 80,2%. Bei den Depressionen lag der *W.I.* zwischen 0,6 und 1,25, der α -% zwischen 85 und 96%. Durchschnittswert 93%.

2. Wellenindex und Deltaindex (Abb. 2).

Bei 10 Fällen von Großhirntumoren wurde sowohl der δ -Index wie der *W.I.* an verschiedenen unipolaren Ableitungen bestimmt und Seitenvergleiche angestellt.

Es ergaben sich sowohl für den W.I. wie für den δ -Index erheblich vergrößerte Werte. Der δ -Index betrug zwischen 0 und 89, der W.I. zwischen 0,6 und 8,8. Im allgemeinen ergab sich, daß *ein hoher δ -Index auch einem hohen W.I. entspricht*, obwohl die Korrelation nicht absolut ist (Abb. 2a). Häufig fand sich über der Tumorregion ein höherer Wert, jedoch sind die Differenzen nicht groß genug, um sie für die Lokalisation auszuwerten. Zum Beispiel ergab sich im Falle I ein größerer Wert für beide Indices auf der rechten Frontalseite, während der Tumor links frontal lokalisiert war. Ferner stimmte die Hirnregion des maximalen W.I. nicht immer mit derjenigen des größten δ -Index überein.

Bei 10 Epileptikern mit vorwiegend großen Anfällen wurden δ -Index und W.I. vor und nach Hyperventilation verglichen (Abb. 2b). Im allgemeinen zeigt der δ -Index vor Hyperventilation nur bei solchen Patienten deutlich abnorme Werte, die schon in der Ruheableitung langsame Schwankungen aufweisen, bei den übrigen Fällen liegt er im Bereich der Norm. Der W.I. liegt auch bei diesen Fällen oft deutlich über dem Durchschnitt des Normalen um 1,0, bei den anderen Fällen ist er erheblich vermehrt bis 2,8. Nach Hyperventilation (5 Min.) steigen die Werte rapide auf 20—110 für den δ -Index, auf 2,2—10,8 für den W.I. Der Anstieg geht auch hier nicht genau parallel, doch zeigt sich eine sehr weitgehende Ähnlichkeit der Veränderungen beider Indices (Abb. 2b).

3. Die Veränderung des Wellenindex in verschiedenen Zuständen beim Gesunden.

a) *Ermüdung und Schlaf.* Beim Gesunden geht der W.I. im Wachzustand nicht über Zahlen von 1,5 hinaus, und zwar ist durchweg der *occipitale W.I. größer als der frontale*. Nur in der *Ermüdung und in den Vorschlafstadien* (A-Stadium nach der Einteilung von *Loomis* und Mitarbeitern^{6,15}) finden sich etwas erhöhte Werte des W.I. und häufig *größere Werte frontal*, wie die folgenden Beispiele zeigen [entsprechend *Jung*¹³ (1941), Abb. 4a und b]. Die Vergrößerung des W.I. kommt durch die in diesen Zuständen periodisch auftretenden intermediären δ -Wellen und langsamen α -Wellen zustande.

		Wellenindex	
		occipital	frontal
H. H. 44/40 =	Wachzustand	1,0	0,8
	Ermüdung	1,3	2,0
R. J. 45/40 =	Wachzustand	0,7	0,5
	Ermüdung	1,1	1,3

Die ausgeprägtesten Veränderungen zeigt der W.I. im *Schlaf*. Mit zunehmender Schlafentiefe finden sich rasch wachsende Werte, die im Tiefschlaf (dem E-Stadium *Loomis*¹⁵) ihr Maximum erreichen, wie die folgenden beiden Tabellen zeigen. Sehr große Veränderungen zeigt der W.I. ferner in den unmittelbar nach Weckreizen vorkommenden langsamen Schwankungen (K-Komplex, *Loomis* und Mitarbeiter¹⁵, 1938). Eine vorübergehende Verminderung zeigt der W.I. nur im BL-Stadium des Schlafes, indem die Amplituden stark absinken. Wir finden in unseren Registrierungen, besonders in occipitalen Ableitungen, etwas kleinere Werte für Wellenlängen und Amplituden als sie *Davis*, *Loomis* und Mitarbeiter⁶ angeben. Der nach ihren Angaben für die motorische Region berechnete W.I. würde etwa folgende Werte aufweisen: Stadium A: 0,6, B: 1,5, C: 9, D: 20, E: 60 (vgl. Abb. 4a). Von den beiden Faktoren, aus denen sich der W.I. berechnet, ist in der folgenden Zusammenstellung jeweils der erste Faktor die Amplitude (1,0 = 100 μ V), der zweite die Wellenlänge (1,0 = 100 σ).

B. J. 94/40 131/40. Schlaf in verschiedenen Stadien (occipitale Ableitung).

Wachzustand	0,4 · 1,0 = 0,4
A-Stadium	0,5 · 1,0 = 0,5
B-Stadium	0,3 · 1,5 = 0,45
C-Stadium	0,5 · 2,4 = 1,2
D-Stadium	0,6 · 5,0 = 3,0
E Stadium	1,2 · 12,0 = 14,4
	2,0 · 11,0 = 22,0

E. J. 249/41		occipital	frontal
Wachzustand		0,9 · 1,0 = 0,9	0,4 · 1,2 = 0,5
Schlaf	{	A-Stadium	0,9 · 1,1 = 1,0
		B-Stadium	0,3 · 1,4 = 0,4
		C-Stadium	1,2 · 2,2 = 2,6
		D-Stadium	1,0 · 3,5 = 3,5
		K-Komplex	1,6 · 4,2 = 6,7
Nach Aufwachen		0,8 · 0,9 = 0,7	2,5 · 5,1 = 12,75
			0,2 · 1,4 = 0,3

b) *Hyperventilation.* Eine Vergrößerung des W.I. findet sich beim Gesunden auch nach Hyperventilation, doch sind die Veränderungen nicht sehr hochgradig. Im folgenden geben wir als Beispiele die Werte von 10 Gesunden mit ausgeprägtem α -Rhythmus in occipitaler und frontaler Ableitung vor und nach 5 Min. Hyperventilation.

		Vor Hyper-ventilation	Nach 5 Min. Hyper-ventilation			Vor Hyper-ventilation	Nach 5 Min. Hyper-ventilation
A. Di.	183/40	occ. 1,0 fr. 0,7	1,1 1,0	L. Be.	237/40	occ. 1,2 fr. 0,8	1,2 0,8
G. Le.	47/40	occ. 1,0 fr. 0,8	1,0 0,8	M. Be.	182/40	occ. 1,2 fr. 0,6	2,0 1,0
R. Ju.	45/40	occ. 0,6 fr. 0,5	1,0 0,7	H. Hu.	775/39	occ. 1,0 fr. 0,8	2,0 1,2
G. Gr.	227/40	occ. 1,0 fr. 0,5	1,1 0,5	H. Ru.	774/39	occ. 0,8 fr. 0,75	1,0 0,9
C. He.	208/40	occ. 1,1 fr. 1,1	1,2 1,4	B. Jü.	408/40	occ. 0,7 fr. 0,5	1,2 1,3

4. Die Veränderungen des Wellenindex bei der Epilepsie.

Bei Epileptikern finden sich meistens höhere Werte des W.I. als bei Gesunden, insbesondere in der *frontalen* Ableitung. Die Durchschnittswerte betragen bei Epileptikern etwas das Doppelte gegenüber den Gesunden: W.I. von 1,3 occipital und 1,5 frontal bei 100 Epileptikern, 0,75 occipital und 0,7 frontal bei 50 Gesunden. Um einen Überblick über die Variationen des W.I. bei Epileptikern zu gewinnen, haben wir die ermittelten Werte bei 100 Fällen kurvenmäßig zusammengestellt (Abb. 3). Es finden sich sehr große Variationen der Werte, die etwa bei der Hälfte der Epileptiker noch im Bereich des Gesunden liegen. Im Gegensatz zum Gesunden haben die Epilepsien aber meistens *frontal höhere Werte*. Die Verteilung der Einzelfälle zeigt große Variationen, so daß nur 40% der Epileptiker W.I.-Werte von mehr als 1 und nur etwa 20% eindeutig abnorme Werte über 1,5 haben.

Besonders starke Veränderungen mit Ansteigen des W.I. zeigen die Epileptiker nach *Hyperventilation*. Während sich bei den Gesunden nur eine geringe Steigerung des W.I. bis 2,0 fand, mit Durchschnittswerten von 1,28 occipital und 0,8 frontal nach Hyperventilation gegenüber 0,96 occipital und 0,7 frontal vor Hyperventilation, zeigten die Epileptiker erheblich höhere Durchschnittswerte: 3,5 occipital und 4,3 frontal, nach Hyperventilation gegenüber 1,3 occipital und 1,5 frontal vor Hyperventilation. Bei Nichtepileptikern wurden ähnlich hohe Werte nur selten beobachtet und nur nach extrem starker Hyperventilation bei vegetativ labilen oder organischen Hirnerkrankungen, ferner auch bei Kindern. Die Hyperventilation wurde in unseren Versuchen niemals stark forciert, sondern sowohl bei Gesunden wie bei Kranken nur als eine mit Brustatmung vertiefte und leicht beschleunigte Atembewegung (35—30 pro Minute) durchgeführt.

Die höchsten Werte des W.I. finden sich bei den *kleinen Anfällen* der Epileptiker (Absencen petits maux). Bei insgesamt 10 Fällen fanden sich W.I.-Werte von 7,0—33,6 im Anfall, gegenüber Werten von 0,9—5,4 vor dem Anfall und δ -Index-Werte von 90—800 im Anfall gegenüber 0—60 vor dem Anfall. Wir geben im folgenden Beispiele von 4 Fällen, bei denen zum Vergleich auch der δ -Index bestimmt wurde. Die Werte zeigen ein periodisches An- und Abschwellen während und nach dem Anfall. *Im Anfall zeigt der W.I. eine extreme Zunahme, nach dem Anfall eine Abnahme unter den Ausgangswert*, entsprechend der häufigen Reduktion der Amplitude des Eeg im unmittelbaren Anschluß an den kleinen Anfall. Dieser Ablauf war nur bei länger dauernden Anfällen eindeutig feststellbar.

Epileptiker mit kleinen Anfällen.

Stadium a) 10 Sek. vor dem Anfall, b) im Anfall, c) 10 Sek. nach dem Anfall, d) 1 Min. nach dem Anfall.

	Name		Ableitung	Stadium	δ -Index	W.I.
1	Wa.	392/39	par. li.	a)	37,0	$(1,2 \cdot 3,0) = 3,6$
				b)	400,0	$(6,0 \cdot 4,2) = 25,2$
				c)	4,3	$(0,4 \cdot 2,5) = 1,0$
				d)	83,8	$(1,2 \cdot 5,0) = 6,0$
2	Rei.	349/39	par. li.	a)	48,3	$(1,4 \cdot 3,0) = 4,2$
				b)	363,1	$(3,2 \cdot 3,5) = 11,2$
				c)	22,2	$(1,0 \cdot 2,0) = 2,0$
				d)	84,2	$(1,6 \cdot 3,5) = 5,6$
3	Schw.	366/38	fr. li.	a)	21,0	$(0,8 \cdot 2,5) = 2,0$
				b)	500,0	$(3,6 \cdot 3,5) = 12,6$
				c)	10,0	$(0,6 \cdot 2,5) = 1,5$
				d)	32,0	$(1,2 \cdot 3,0) = 3,6$
4	Dan.	569/39	par. li.	a)	31,2	$(1,8 \cdot 3,0) = 5,4$
				b)	700,0	$(8,4 \cdot 4,0) = 33,6$
				c)	10,0	$(0,6 \cdot 2,0) = 1,2$

Bei drei kleinen epileptischen Anfällen wurde der W.I. laufend für jede der großen Schwankungen bestimmt. Es handelt sich um einen unbeeinflussten spontanen Anfall und zwei Anfälle mit Hemmung durch Sinnesreize, bei denen gleichzeitig die vegetativen Reaktionen dargestellt wurden [entsprechend Jung¹² (1939), Abb. 2, 3 und a]. Beim unbeeinflussten Anfall variierte der W.I. während des Anfalls zwischen 20 und 7,8. Bei Einwirkung von Sinnesreizen zeigte sich ein wesentlich stärkeres Absinken auf Werte zwischen 2,2 und 6,2, und zwar bei solchen Reizen, die auch wahrgenommen wurden und vegetative Reaktionen auslösten. Bei nicht wahrgenommenen Reizen, die ohne vegetative Reaktionen blieben, ergab sich keine wesentliche Verminderung des W.I. Sehr hochgradige Veränderungen zeigt der W.I. ferner im epileptischen *Dämmerzustand*, insbesondere in dem Zustand unmittelbar nach einem großen Anfall. Als Beispiel geben wir die Werte eines Falles, der bei zahlreichen Untersuchungen in seinen Index-Werten nur zwischen 0,5 und 1,2 schwankte, der aber 15 Sek. nach einem großen Anfall die folgenden Werte aufwies:

Schin. 277/38 (nach großem Anfall):

15 Min. später:

occipital l. $(2,0 \cdot 12,0) = 24,0$

frontal l. $(2,5 \cdot 7,5) = 17,5$

20 Min. später:

occipital l. $(1,5 \cdot 6,2) = 9,3$

frontal l. $(2,5 \cdot 3,0) = 7,5$

25 Min. später:

occipital l. $(1,5 \cdot 3,5) = 5,25$

frontal l. $(2,0 \cdot 3,5) = 7,0$

4

Der Verlauf eines anderen Falles, der im Dämmerzustand in die Klinik eingewiesen wurde und allmähliche Besserung zeigte, kommt in den folgenden Werten zum Ausdruck:

		Delta-Index	Wellenindex	
Vol. 523/39	par. 1.	161,9	(1,2 · 5,0) = 6,0	(im Dämmerzustand bei Aufnahme in die Klinik).
537/39	par. 1.	140,5	(1,4 · 3,5) = 4,9	(noch leicht umdämmert).
568/39	par. 1.	131,6	(1,2 · 3,0) = 3,6	(im gewöhnlichen Zustand geringer Schwerbesinnlichkeit bei der Entlassung).

Besprechung der Ergebnisse.

Es war unser Bestreben, ein sowohl für normale wie für pathologische Fälle verwertbares Charakteristikum des Eeg nach Möglichkeit in einer Zahl ausdrücken. Da die größten und in pathologischen Fällen die langsamsten Schwankungen für die Auswertung am wichtigsten sind, haben wir nach verschiedenen Versuchen den *W.I.* in seiner oben definierten Art verwendet: als Produkt der größten Amplituden und größten Wellenlängen des Eeg. An einem geeigneten Material haben wir dann den *W.I.* mit den bisher verwandten Methoden des α -Index und des δ -Index verglichen und haben die Veränderungen des *W.I.* in verschiedenen Zuständen untersucht.

Da beim *gesunden Erwachsenen* im Wachzustand im allgemeinen keine δ -Wellen vorkommen, liefert meist der α -Rhythmus die für den *W.I.* maßgebenden Werte. Der δ -Index ergibt bei gesunden Erwachsenen wegen des Fehlens langsamer Wellen meistens überhaupt keine nennenswerten Zahlen. Der *W.I.* wurde daher beim Gesunden nur mit der Zahl der α -% verglichen.

Einen Überblick über das Verhalten von α -Index und *W.I.* bei 10 gesunden Erwachsenen gibt Abb. 1 a. Im allgemeinen sind die α -% Zahlen größer, wenn auch der *W.I.* einen größeren Wert erreicht, ohne daß beide in genauer Korrelation stehen. Ganz verschieden verhalten sich die beiden Werte bei Gesunden ohne α -Rhythmus (letzterer Fall Nr. 294/40 von Abb. 1 a). Die passiven Eeg solcher Versuchspersonen die keinen α -Rhythmus aufweisen, entsprechen etwa dem aktiven Eeg der meisten Gesunden bei geöffneten Augen mit unregelmäßigen kleinen Schwankungen verschiedener Frequenz. Im Wachzustand ohne Ermüdung steigt der *W.I.* beim gesunden Erwachsenen nicht über 1,5. Occipital finden sich im allgemeinen höhere Werte als über den anderen Hirnregionen, die meistens auch einen kleineren α -Index aufweisen. Bei *Kindern* finden sich im Gegensatz zu Erwachsenen oft parietal und über der vorderen Schädelhälfte größere *W.I.*-Werte als frontal.

Bei *geöffneten Augen* und nach Sinnesreizen zeigt der *W.I.* des aktiven Eeg meistens eine Verminderung gegenüber dem passiven Eeg. Diese ist aber weniger ausgesprochen als die Verminderung des α -Index, da bei vielen Gesunden auch bei offenen Augen noch einzelne α -Wellen vorkom-

men, welche die Größe des W.I. bestimmen. Zur Bezeichnung des aktiven Eeg ist der W.I. daher weniger geeignet als der α -Index.

Besonders charakteristische Veränderungen zeigt der W.I. im Schlaf. Da nach Eintritt des Schlafes die α -Wellen verschwinden und statt dessen δ -Wellen auftreten, sind die Veränderungen in den späteren Schlafstadien nicht mehr durch die Auszählung der α -%, wohl aber mit dem W.I. darzustellen. Schon bei der *Ermüdung* ohne echten Schlaf zeigt der W.I. eine *Vergrößerung* (bis 2,0) *über der vorderen Schädelhälfte*, wo als erstes Zeichen der allgemeinen Hirnveränderung größere langsame α -Wellen und intermediäre δ -Wellen auftreten^{13, 15}. Der occipitale α -Rhythmus bleibt zunächst noch erhalten und zeigt uns eine etwas stärkere Periodik (A-Stadium von *Loomis* und Mitarbeitern¹⁵). Nach vorübergehender Verminderung im B-Stadium des Schlafes finden sich dann *mit zunehmender Schlaftiefe rasch wachsende Werte*, die im E-Stadium von *Loomis* und Mitarbeitern¹⁵ ihr Maximum erreichen. Die W.I.-Zahlen geben daher ein recht gutes Bild von den Schlafveränderungen des Eeg (Abb. 4a). Eine geringe Vergrößerung des W.I. findet sich ferner auch beim Gesunden nach *Hyperventilation*.

Wegen seiner Veränderlichkeit in verschiedenen Zuständen ist der W.I. zur individuellen Charakteristik des normalen Eeg weniger geeignet. Obwohl auch der α -Index gewisse intraindividuelle Variationen zeigt, ist er doch zur Charakteristik des normalen Eeg besser verwertbar, wie die Befunde bei Zwillingen zeigen: *Bei zweieiigen Zwillingspaaren ergibt der α -Index eine häufigere Diskordanz als der W.I., bei den eineiigen Zwillingen dagegen eine bessere Konkordanz* (Abb. 1 b und c). Auf die sehr ähnlichen Werte des α -Index bei eineiigen Zwillingen haben zuerst *H. und P. Davis*⁶ (1936) hingewiesen.

Bei gewissen Formen und Stadien der Schizophrenie können sich zwar abnorme Befunde mit größeren δ -Wellen zeigen, doch liegt das Eeg bei den endogenen Psychosen meistens noch im Bereich der Norm. Bei *Manisch-depressiven* und *Schizophrenen* findet sich daher ein ähnliches Bild von α -Index und W.I. wie bei Gesunden (Abb. 1 d und e). Die Zahlen liegen für beide Werte bei Schizophrenen etwas niedriger als bei Manisch-depressiven, doch ist dies kein sehr typischer Unterschied und kein Charakteristikum für beide Erkrankungen. Bei manchen Schizophrenen findet sich sogar ein abnorm ausgeprägter α -Rhythmus mit geringer Hemmung, wie schon *MacMahon* und *Walter*¹⁶ (1936) beobachtet haben oder ein höherer W.I. mit größeren langsamen Schwankungen. Ferner zeigen die Schizophrenen größere Variationen des α -Index (*Rubin*¹⁸, 1938). Nur im groben betrachtet kann die Angabe *Lemeres*¹⁴ (1936) bestätigt werden, daß die Kranken des manisch-depressiven Formenkreises im allgemeinen eine bessere Ausprägung des α -Rhythmus zeigen als diejenigen des schizophrenen Formenkreises. Von *Hoagland* und Mitarbeitern¹⁰ (1937) ist berichtet worden, daß sich bei Schizophrenen höhere Werte des δ -Index

finden, die nach Behandlung geringer werden. Wenn man aber die größeren langsamen Grundlinienverschiebungen, die meistens keine Hirnpotentiale, sondern Hautpotentiale, Kontaktverschiebungen, Augenbewegungen usw. darstellen, unberücksichtigt läßt, so findet man in den meisten Fällen keine wesentlichen Abweichungen des δ -Index und des W.I. Die leichten Formen der „Dysrhythmic“, der nach Davis⁷ (1940) häufigsten Eeg-Veränderung bei Schizophrenen, ergeben nur eine geringe Erhöhung des W.I. frontal.

Zum Vergleich von W.I. und δ -Index haben wir eine Reihe von Eeg bei *Hirntumorkranken und Epileptikern* ausgewertet. Die Übersicht auf Abb. 2 zeigt, daß *W.I. und δ -Index sehr ähnliche Veränderungen zeigen und in einer nahen, wenn auch nicht durchgehenden Beziehung stehen*. Größere Unterschiede mit höheren δ -Indexzahlen und kleineren W.I.-Werten findet man besonders bei solchen Eeg, die viele intermediäre δ -Wellen aufweisen.

Zur Lokalisation von Tumoren kann weder der W.I. noch der δ -Index verwendet werden, wie uns eine systematische Kontrolle gezeigt hat: Das Maximum der beiden Werte stimmt in unipolaren Ableitungen nicht immer mit der Tumorlokalisation überein. Größere δ -Wellen treten bei allgemeinem Hirndruck in verschiedenen Hirngegenden auch entfernt vom Tumor auf (besonders über der vorderen Schädelhälfte). Ferner zeigen auch nicht alle Konvexitätstumoren deutliche lokalisierte langsame δ -Wellen (δ -Fokus im Sinne von Walter¹⁹). In manchen Fällen findet sich nur eine Verminderung des α -Rhythmus, so daß der W.I. in diesem Falle auf der Tumorseite kleinere Werte zeigen kann. Hier ist die Auswertung mit Seitenvergleich des α -Index zuverlässiger, vor allem bei Occipito-Parietal-Tumoren.

Bei *Epileptikern* ergibt der W.I. im allgemeinen deutlich erhöhte Werte, vor allem in den frontalen Ableitungen. Die Verteilung der Einzelfälle, die auf Abb. 3 graphisch dargestellt ist, zeigt aber sehr große Variationen, so daß nur 40% der Epileptiker W.I.-Werte von mehr als 1 und nur etwa 20% eindeutig abnorme Werte über 1,5 aufweisen. Erst nach Hyperventilation findet sich eine erhebliche Vergrößerung des W.I., die bei Epileptikern viel stärker ausgeprägt ist als bei Gesunden. Der W.I. ist daher kein diagnostisches Kriterium der Epilepsie, sondern *nur Ausdruck des Grades der individuell verschiedenen Abnormalität des Eeg bei Epileptikern*. Die in manchen Fällen vorhandenen ungewöhnlich großen α -Wellen, die mit der Methode des δ -Index noch nicht erfaßt werden, erscheinen im W.I. schon als abnorme Werte. Eine gute Darstellung des *Verlaufes verschiedener epileptischer Zustände* kommt vor allem im kleinen epileptischen Anfall und im Verlauf und Rückbildung von Dämmerzuständen zum Ausdruck (vgl. S. ■■■ und Abb. 4b).

Die allgemeine Bedeutung des W.I. liegt daher nicht in einer direkten Verwendbarkeit für die klinische Diagnostik, sondern in seiner An-

wendung bei *Verlaufsuntersuchungen*. Als *Maß pathologischer und physiologischer Veränderungen des Eeg in Richtung auf große langsame Potentialschwankungen*, wie sie in Zuständen einer *verminderten funktionellen Aktivität des Cortex* auftreten, kann der W.I. die Abweichung eines Eeg vom durchschnittlichen Ruhezustand in einer Zahl ausdrücken. Die Vergrößerung des W.I. ist ein einfaches Kriterium der *allgemeinen Hirnveränderung* des Eeg, die nach Jung¹³ (1941) bei physiologischen wie bei pathologischen Umstellungen der Hirnrindentätigkeit vorkommt.

Zusammenfassung.

1. Es wird über eine neue Methode zur zahlenmäßigen Auswertung des Eeg im Vergleich mit anderen quantitativen Methoden berichtet. Als *W.I.* wird das *Produkt von größter Wellenlänge und größter Amplitude* (ausgedrückt in Einheiten von 100 μV und 100 σ) bezeichnet, wenn Werte dieser Größenordnung in einer fortlaufenden Registrierung des Eeg über 10 Sek. mindestens 3mal beobachtet werden.

2. Bei 30 Gesunden, darunter je 5 Paaren eineiiger und zweieiiger Zwillinge und 20 Geisteskranken (Schizophrenie und manisch-depressives Irresein) wurde der *W.I. mit dem „ α -Index“ von Davis verglichen* (Zeit in Prozenten, in welcher α -Wellen über 20 μV vorkommen; occipitale unipolare Ableitungen). Es ergab sich keine konstante Korrelation zwischen beiden Werten, wenn auch höhere α -%-Werte meist mit größerem W.I. verbunden waren. Die Konkordanz des Eeg bei eineiigen Zwillingen und die Diskordanz bei zweieiigen war im α -Index deutlicher als im W.I.

3. Bei 20 Epileptikern und 10 Fällen von operativ bestätigten Großhirntumoren wurde der *W.I. mit dem „ δ -Index“ Hoaglands* (Streckenmessung der langsamen Schwankungen) *verglichen*. Es zeigte sich eine sehr nahe, wenn auch nicht durchgehende Beziehung zwischen beiden Werten und ihren Veränderungen. Der W.I. hat gegenüber dem δ -Index den Vorteil, daß er sich auf absolute Meßwerte bezieht, daher an jede Registrierung angewandt werden kann und nicht von der Höhe der Verstärkung und der Papiergeschwindigkeit abhängig ist.

4. Bei 50 Gesunden wurde der W.I. bestimmt und die Veränderungen in verschiedenen Zuständen untersucht. Im normalen *Wachzustand mit geschlossenen Augen* finden sich beim Erwachsenen fast immer *occipital höhere Werte als frontal* (mit interindividuellen Variationen zwischen 0,2—1,5). Bei offenen Augen zeigt sich meist eine Verminderung. Nach Eintreten von *Ermüdung* findet man umgekehrt ein Ansteigen des W.I. bis 2 und häufig frontal höhere Werte als occipital. Auch nach *Hyperventilation* zeigt sich ein Ansteigen des W.I., der aber meistens occipital größer bleibt als frontal. Im *Schlaf* findet sich, nach vorübergehend geringeren Werten im Einschlafstadium, mit zunehmender Tiefe des Schlafes eine sehr starke Erhöhung des W.I., der im Tiefschlaf Werte von 20 und mehr erreichen kann.

147. Höchel

1. Korr.

Manuskript 1—22

Univ.-Druck. H. Stürtz A.-G., Würzburg

11. 3. 42

6

5. Bei 100 Fällen von genuiner Epilepsie wurde der W.I. in occipitalen und frontalen Ableitungen vor und nach Hyperventilation bestimmt. In der Ruheableitung zeigen Epileptiker meistens größere W.I.-Zahlen, die häufig in der frontalen Ableitung höher sind als in der occipitalen. Im Durchschnitt finden sich etwa doppelte Werte gegenüber den Gesunden (occipital 1,3, frontal 1,5, gegenüber 0,75 bzw. 0,7 im Durchschnitt von 50 Gesunden). Die Verteilung der Einzelfälle zeigt aber große Variationen, so daß nur 40% der Epileptiker W.I.-Werte von mehr als 1 und nur etwa 20% eindeutig abnorme Werte über 1,5 haben. Die Größe des W.I. kann daher nicht für die klinische Diagnose „Epilepsie“ verwertet werden, sondern ist nur Ausdruck des Grades der individuell verschiedenen allgemeinen Hirnveränderung im Eeg der Epileptiker. Nach Hyperventilation findet sich immer eine Vergrößerung des W.I., die bei Epileptikern wesentlich stärker ausgeprägt ist als bei Gesunden.

6. Der W.I. kann an Stelle des δ -Index, vor allem für die Auswertung des pathologischen Eeg benutzt werden; dagegen ist er als individuelles Charakteristikum des normalen Eeg weniger geeignet als der α -Index. Der W.I. kann als Maß pathologischer und physiologischer Veränderungen des Eeg in Richtung auf verminderte Aktivität des Cortex mit großen langsamen Schwankungen gelten (allgemeine Hirnveränderung). Er kann die Abweichung eines Eeg vom durchschnittlichen Ruhezustand in einer Zahl ausdrücken und ist ein einfaches Maß für Eeg-Veränderungen derselben Versuchsperson in verschiedenen Zuständen, z. B. im Schlaf. Der W.I. kann daher für Verlaufsuntersuchungen von Nutzen sein.

Schrifttum.

Ausführliche Literaturangaben über das Eeg findet man bei Berger⁴ (1938) und Jung¹³ (1939/41). — ¹ Berger, H.: Arch. f. Psychiatr. **87**, 527 (1929). — ² Berger, H.: J. Psychol. u. Neur. **40**, 160 (1930). — ³ Berger, H.: Arch. f. Psychiatr. **94**, 16 (1931). — ⁴ Berger, H.: Nova Acta Leop. **6**, 173 (1938). — ⁵ Davis, H. and P. A. Davis: Arch. of Neur. **36**, 1214 (1936). — ⁶ Davis, H., P. A. Davis, A. L. Loomis, E. N. Harvey and G. Hobart: J. of Neurophysiol. **1**, 24 (1938). — ⁷ Davis, P. A.: Amer. J. Psychiatr. **96**, 851 (1940). — ⁸ Dietsch, G.: Pflügers Arch. **230**, 106 (1932). — ⁹ Grass, A. M. and F. A. Gibbs: J. of Neurophysiol. **1**, 521 (1938). — ¹⁰ Hoagland, H. M., M. A. Rubin and D. E. Cameron: Amer. J. Physiol. **120**, 559 (1937). — ¹¹ Jung, R.: Z. Neur. **165**, 374 (1939). — ¹² Jung, R.: Nervenarzt **12**, 169 (1939). — ¹³ Jung, R.: Nervenarzt **12**, 569 (1939); **14**, 57, 104 (1941). — ¹⁴ Lcmere, F.: Brain **59**, 366 (1936). — ¹⁵ Loomis, A. L., E. N. Harvey and G. Hobart: J. of exper. Psychol. **21**, 127 (1937); siehe Neurophysiol. **1**, 413 (1938). — ¹⁶ McMahon, J. E. and W. G. Walter: J. ment. Sci. **87**, 781 (1938). — ¹⁷ Rohracker, H.: Pflügers Arch. **238**, 355 (1937). — ¹⁸ Rubin, M. A.: J. of Psychol. **6**, 325 (1938). — ¹⁹ Walter, W. G.: Lancet **1936 H.** 305. — Proc. roy. Soc. Med. **30**, 579 (1937).

Abb. 1a—c. *Vergleich von Wellenindex und Alphaindex* nach unipolaren Ableitungen von der linken Occipitalregion. a bei Gesunden, b bei eineiigen Zwillingen, c bei zweieiigen Zwillingen, d bei Schizophrenen, e bei Manisch-depressiven, sämtlich angeordnet nach absteigenden Werten der α -%. Obwohl im allgemeinen ein großer Wellenindex auch mit höheren Zahlen der α -% verbunden ist, findet sich keine durchgehende Korrelation zwischen beiden Werten; insbesondere bei Personen mit fehlendem α -Rhythmus (letzter Fall in a) finden sich erhebliche Divergenzen. Die *Konkordanz bei eineiigen Zwillingen* ist in der Zahl der α -% deutlicher als im Wellenindex.

Abb. 2a u. b. *Vergleich von Wellenindex und Deltaindex*. a bei Hirntumoren, b bei Epileptikern, angeordnet nach absteigenden Werten des Deltaindex. Unipolare Ableitungen von der Tumorregion bzw. frontal. Wenn sich auch keine genaue Korrelation zwischen beiden Indexwerten findet, zeigt der Wellenindex doch eine ähnliche Abstufung wie der Deltaindex. Erheblich divergierende Werte wie bei α -% und Wellenindex kommen nicht vor. Die erheblichen *Veränderungen nach Hyperventilation* kommen in beiden Indices in fast paralleler Weise zum Ausdruck.

Abb. 3a u. b. *Der Wellenindex bei 100 Epileptikern vor und nach Hyperventilation*. Unipolare Ableitungen gegen Ohr a occipital, b frontal. Die *Durchschnittswerte* des Wellenindex betragen mit 1,3 occipital und 1,5 frontal das Doppelte des Gesundendurchschnittes (0,75 occipital und 0,7 frontal). Doch zeigt die Verteilung der Fälle, daß der größte Gipfel mit den häufigsten Werten noch im Bereich des Normalen unter 1 liegt. Nach Hyperventilation verschiebt sich der Gipfel deutlich zur Seite der hohen Werte mit 5 und über 5. Durchschnittswerte nach Hyperventilation 3,5 occipital und 4,3 frontal.

Abb. 4a u. b. *Verlaufsänderung des Wellenindex in verschiedenen Zuständen bei Gesunden und Epileptikern*. a *Veränderung des Wellenindex im Schlaf des Gesunden*. Stadien A—E nach Loomis und Mitarbeiter. Während sich bei der Ermüdung und im Einschlafstadium B ein wechselndes Verhalten, oft auch eine Verminderung zeigen kann, steigt der Wellenindex vom leichten Schlaf (C-Stadium) bis zum Tiefschlaf (E-Stadium) rasch zu sehr hohen Werten an, vor allem in frontalen und präzentralen Ableitungen. In den eigenen Registrierungen (— occipital und - - - - frontal) zeigen sich etwas kleinere Werte als nach den präzentralen Durchschnittsergebnissen von Frequenz und Amplitude nach Davis, Loomis und Mitarbeiter, nach denen die Wellenindexwerte vergleichsweise errechnet wurden (— · — · —). b *Anstieg und Abfall des Wellenindex im kleinen epileptischen Anfall*. Im Anfall sehr starke Erhöhung der Werte, nach dem Anfall Absinken auf niedere Werte, die dann wieder ansteigen.

Lebenslauf.

Ich, Gerhard Höchel, Sohn des Kaufmann Imanuel Höchel und seiner Ehefrau Maria, geb. Palm, bin am 20.1.1915 in Backnang in Württemberg geboren. Meine Jugendzeit und ersten Schuljahre verlebte ich meiner Geburtsstadt, bis ich dann nach bestandenen Landesexamen 1929 nach Maulbronn ins ev. theol. Seminar kam. Dort und später in Blaubeuren verbrachte ich je zwei Jahre bis zur Reifeprüfung im Frühjahr 1931. Danach wandte ich mich dem Studium der Medizin zu. Zwei Semester in Tübingen, am Schluss des 2. Semesters Vorphysikum; dann 2 Semester in Kiel und das fünfte in Erlangen, wo ich den 2. Teil des Physikums ablegte. Nach einem weiteren Semester in Würzburg wurde ich für ein halbes Jahr zum R.A.D. und im Anschluss daran anderthalb Jahre zum Militär eingezogen bis zum Frühjahr 1938. Nach dieser Zeit bezog ich für 3 Semester die Hochschule in Freiburg/Brg. Nach Ausbruch des Krieges legte ich in München das med. Staatsexamen ab und promovierte in Tübingen. Seitdem stehe ich als Arzt und Soldat mit im Kampfe und die Erhaltung unseres Volkes

(gez.) Gerh. Höchel.

Assistenzarzt Dr. Gerhard Höchel ist geboren
am 20. Januar 1915 in Backnang als Sohn des Kaufmann
Immanuel Höchel und der Maria, geb. Palm, Schillerstr. 33.