Ultraschnelle EEG-Frequenzen als epileptisches Phänomen

Ernst Niedermeyer, Professor emeritus of Neurology, The Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, Maryland, USA

Zusammenfassung

Das echte Frequenzband des EEG ist wesentlich weiter, als bisher angenommen wurde. Mit der Einführung digitaler EEG-Apparate sollte auch das nunmehr zur Verfügung stehende ultraschnelle Band reichlich verwendet werden. Erst in den letzten Jahren ist man darangegangen, die Frequenzen von 80 bis 1000 Hz auch wirklich auszunützen, wobei die ersten Impulse von Erforschern der Evozierten Potentiale (EP) kamen und erst jetzt das ultraschnelle Band in das „eigentliche" EEG einbezogen wird.

Es hat sich dabei bereits gezeigt, dass epileptische Aktivität sich nicht nur in der klassischen Form zeigt (Spitzen und deren Varianten), sondern auch als ultraschnelle Abläufe, die zum Verständnis epileptologischer Grundlagen neue Beiträge liefern werden. Dies soll anhand eigener Beobachtungen gezeigt werden.

Epileptologie 2005; 22: 71 – 73

Schlüsselwörter: Epileptologie, EEG, ultraschnelle Frequenzen, Neurokognition

Ultrafast EEG Frequencies: an Epileptic Phenomenon

There is no doubt that the true EEG frequency band is much larger than originally presumed. With the introduction of digital EEG apparatuses, the now available ultrafast band ought to be explored and used. Evoked Potential (EP) research ushered in the explorations of the ultrafast range from 80-1000 Hz and, most recently, this band was also explored in the domain of EEG in the strict sense.

This work has already shown that epileptic activities are not limited to the classical discharges such as spikes and their variants. Stretches of ultrafast activity have also proved to be building blocks of epileptic activity which will deepen the understanding of basic epileptological processes. This will be demonstrated with the use of personal data.

Einleitung und technische Erwägungen

Oft im Leben muss der Mensch von gewohnten und liebgewordenen Dingen Abschied nehmen und so ist es nun auch im Leben für jene EEGisten und technischen EEG-Assistentinnen (und -Assistenten), die noch immer mit Analog-EEG, Tinten- (oder Druck-)schreibern und Papier arbeiten. Es sei ihnen ein Trost, dass man in der EEG-Pionierzeit von 1929 bis in die späten 1930er Jahre mit fotografischer Schreibung gearbeitet hat. Das endete, als die epochalen EEG-Korrelate der einzelnen Epilepsieformen [1, 2] bekannt wurden. Dadurch wurden lang dauernde Ableitungen notwendig und somit Papierregistrierung zur Vermeidung extremer Kosten.

Für den klinischen EEGisten war die Papierschreibung eine „Goldader": eine ideale Ableitungsmethode, um klinisch-elektroenzephalographische Korrelationen aller Art immer besser erkennen und vertiefen zu können. Für die experimentellen Neurophysiologen der damaligen Zeit war die Papierschreibung wegen der dadurch bedingten Begrenzung der Frequenzen bei etwa 80/sec nachteilig. Bereits Adrian (1935) [3] konnte mit fotografischer Registrierung zeigen, dass im Kleinhirn ultraschnelle Aktivität, zumeist 150-300/sec, dominierte, von weiteren Studien des zerebellären EEG bestätigt [4-6]. Man hat dann in den folgenden Jahrzehnten Versuche gemacht, auch mit Papierschreibungen den ultraschnellen Bereich (90-1000 Hz) zu erfassen, aber diese Bemühungen fanden kein Echo [7-9].

Neuerliches Interesse am ultraschnellen Frequenzbereich

Diese neue Welle wurde zunächst auf dem Sektor der somato-sensorischen evozierten Potentiale (SSEP) mit den Beobachtungen von Roger und Joan Cracco (1976) [10] eingeleitet, die im kortikalen Niveau Serien kleiner ultraschneller Wellen fanden. Es zeigte sich sodann, dass diese Komponente im Schlaf verschwand [11]. Diese vereinzelten Studien blieben vorerst nahezu unbemerkt, bis im Laufe der 1990er Jahre eine neue Welle von Interesse an der ultraschnellen SSEP-Komponente begann, vor allem mit den Arbeiten von Hashimoto [12-14] und Curio [15-19] und deren Mitarbeiter.

Inzwischen war auch die Zeit gekommen für Studien der ultraschnellen Frequenzen im eigentlichen EEG: experimenteller Art [20-23] und bei epileptischen Patienten (durchwegs Temporallappen-Epilepsien) [24].

Die Umstellung auf digitale EEG-Ableitungsmethodik

Mit der Einführung der digitalen EEG-Technologie um 1990 – ermöglicht durch stärkere Mikroprozessoren

und verbesserte Speicherungsfähigkeit – sah man zukünftige Fortschritte auf dem Bereich der Laplace-Analyse, automatischer Spitzen- und Anfallsentdeckung und spezieller topographischer EEG-Darstellung. Dann erst wurde klar, dass mit digitaler Technik auch der ultraschnelle Frequenzbereich erschliessbar wurde. Bei der analogdigitalen Konversion der EEG-Signale ist die „sampling rate“ (die Geschwindigkeit, mit der das Signal „zerhackt“ und somit digitisiert wird) ein entscheidender Faktor. Diese „sampling rate“ muss doppelt so hoch sein wie die maximale Frequenz, die man registrieren will („Nyquist Frequenz“). Sie muss also 512/sec betragen, wenn man Wellen bis zu 256 Hz ableiten und 2048/sec, wenn man den abgeleiteten Frequenzbereich bis auf 1024/sec ausdehnen will.

Persönliche Beobachtungen

Hierbei wurden Sprague-Dawley-Ratten in Halothan-Narkose durch Pentylentetrazol (Metrazol) akut zum Krampfen gebracht: Das EEG wurde vom Neokortex, vorderen Thalamus, hinteren Thalamus und Hippokampus (CA1, CA2) abgeleitet. Klassische Spikes zeigten sich vorwiegend im Neokortex, während ultraschnelle Abläufe (150 bis 400/sec) vor allem im Hippokampus beobachtet wurden [25,26] **(Abbildung 1)**. Versuche, die Spitzen und die ultraschnellen Abläufe sinnvoll zu korrelieren, sind uns nicht gelungen. Beide Phänomene sind vermutlich durch regionale Charakeristika bedingt.

Die Bedeutung ultraschneller Aktivität für die Epileptologie

Es besteht aber kein Zweifel, dass die Spikes (Spitzen) und deren Varianten wie „Spike-Waves“ oder „Poly-Spikes“ nicht die einzigen elektrophysiologischen „Bausteine“ epileptischer Tätigkeit sind, und dass ultraschnelle Abläufe ebenso dazu gehören [27]. Um dieses Bild zu vervollständigen, müssen wir auch noch ultralangsame EEG-Aktivität (von nahezu 0 bis 0,3/sec) hinzufügen: von Goldring und O‘Leary (1957) [28] eingeführt. Weitere Studien derartiger ultralangsamer Tätigkeit haben den Blick für Vorgänge bei den 3/sec Spike-Wave-Absencen [29, 30] erweitert. Hierzu gehört auch die seitengetreue temporale Herddarstellung bei der Schläfenlappenepilepsie [31]. Vanhatalo und seine Mitarbeiter (2005) [32] haben mit Akribie und kräftiger Betonung der ultraschnellen Komponente das „Full-Band EEG“ dargestellt: zweifellos das EEG der Zukunft. An dieser Stelle möge es genügen, sich auf das besonders bedeutsame ultraschnelle Band zu beschränken.

Physiologische ultraschnelle Tätigkeit

Je intensiver Perzeptionen aller Art dem Kortex zugeleitet werden, umso eher kann man annehmen, dass dabei ultraschnelle Frequenzen hervorgerufen werden.

Lassen wir in der „uralten“ und dennoch grossartigen Terminologie von Wilhelm Wundt die Perzeption „in das Blickfeld des Bewusstseins treten“ und somit zur “Apperzeption“ [33] werden. Dieser Vorgang – durch einen willensmässigen Akt gefördert – lässt die entsprechenden Rindenregionen weiterhin zunehmend in Aktion geraten: parietal, temporal-limbisch und vor allem frontal [34, 35], wo eine Region zentraler Aufmerksamkeitskontrolle angenommen wird. Hierzu bedarf es weiterer EEG-Studien von Feldern ultraschneller Frequenzen.

Die Unmassen neurokognitiver Studien der höchsten ZNS-Funktionen sind durchwegs mit funktionellem MRI (Kernspin), PET Scanning oder SPECT durchgeführt worden – Methoden, die hinter den ZNS-Ereignissen beträchtlich hinterherhinken. Zu was das digitale EEG mit Erfassung der ultraschnellen Tätigkeit „in real time“ imstande sein wird, lässt sich heute noch gar nicht abschätzen.

Dieser Forschungsbereich wird einer neuen Generation von neurokognitiven Forschern vorbehalten blei-

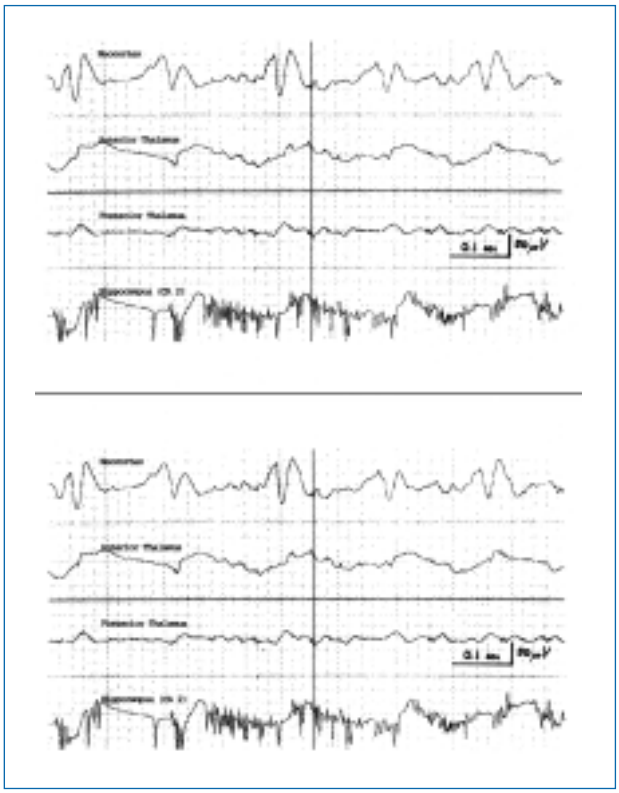

Abbildung 1: Sprague-Dawley-Ratte. In Halothan-Narkose, danach i.v. Pentylentetrazol (Metrazol). Die vom Neokortex abgeleitete EEG-Kurve zeigt Spitzen mit einer Entladungsrate von etwa 5/sec. Man beachte den Zeit-Parameter. Diese Spitzen würden bei gewöhnlicher Ableitungsgeschwindigkeit eine sehr schlanke Form zeigen. Es findet sich praktisch keine Propagation in die anderen Kanäle. Die Hippokampus-Tiefenelektrode in CA2 zeigt reichlich ultraschnelle Tätigkeit von 200-300/sec und vereinzelt bis 400/sec. Eine Spur dieser Tätigkeit ist im hinteren Thalamusbereich zu sehen.
(Mit freundlicher Genehmigung des American Journal of Electroneurodiagnostic Technology)

ben. Für uns soll es vorläufig genügen, unserem Gebiet der Epileptologie neue kräftige Impulse zu geben.

Wo liegt die Grenze ultraschneller EEG-Aktivität?

Vermutlich liegt diese Grenze bei 1000 Hz. Auf weniger als 1 msec Ablaufdauer lassen sich echte Feldpotentiale (die Basis des EEG) wahrscheinlich nicht komprimieren. Mit Methoden wie dem einst viel verwendeten Kathodenstrahl-Oszilloskop findet man Frequenzen von 1000 bis etwa 3000 Hz. Diese Oszillationen lassen sich nicht mehr als EEG einordnen, denn statt Feldpotentialen handelt es sich dabei wohl lediglich um „neuronal chatter" („neuronales Geschwätz").

Referenzen

1. *Gibbs FA, Davis H. Changes in the human electroencephalogram associated with loss of consciousness. Amer J Physiol 1935; 113: 49-50*
2. *Gibbs FA, Davis I, Lennox WG. The electroencephalogram in epilepsy and in conditions of impaired consciousness. Arch Neurol Psychiat 1935; 34: 1133-1148*
3. *Adrian ED. Discharge frequencies of the cerebral and cerebellar cortex. J Physiol 1935; 83: 32-33*
4. *Dow RS. Cerebellar action potentials in response to stimulation of various afferent connections. J Neurophysiol 1939; 2: 543-555*
5. *Dow RS. Cerebellar action potentials in response to stimulation of the cerebral cortex in monkeys and cats. J Neurophysiol 1942; 5: 121-136*
6. *ten Cate J, Wiggers F. On the occurrence of slow waves in the electrocerebellogram. Arch Neerl Physiol 1942; 26: 423-425*
7. *Lion KS, Winter DF, Levin F. Electrical activity of the brain measured in the frequency range of 200 c/sec. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1950; 2: 205-208*
8. *Trabka J. High frequency components in brain waves. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1963; 14: 453-464*
9. *Rodin EA, Onuma T, Wasson S et al. Neurophysiological mechanisms involved in grand mal seizures induced by Metrazol and meginide. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1971; 30: 62-72*
10. *Cracco RQ, Cracco JB. Somatosensory evoked potentials in man: far field potentials. Electroencephalogr Clin Neurophsyiol 1976; 41: 460-466*
11. *Emerson RG, Sgro JA, Pedley TA, Hauser WA. State-dependent changes in the N20 component of the median nerve somatosensory evoked potential. Neurology 1988; 38: 64-68*
12. *Hashimoto I, Mashiko T, Imada T. Somatic evoked high frequency oscillations reflect activity of inhibitory interneurons of the human somatosensory cortex. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1996; 100: 189-203*
13. *Hashimoto I, Kimura T, Fukushima T et al. Reciprocal modulation of somatosensory evoked N20m primary response and high-frequency oscillations by interference stimulation. Clin Neurophysiol 1999; 110: 1445-1451*
14. *Hashimoto I. High-frequency oscillations of somatosensory evoked potentials and fields. J Clin Neurophysiol 2000; 17: 309-320*
15. *Curio G, Mackert EM, Burghoff M et al. Localization of evoked neuromagnetic 600 Hz activity in the cerebral somatosensory cortex. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1994; 91: 481-487*
16. *Curio G, Losch F, Nolte G. Magnetoencephalographic detection of deep thalamocortical activity evoked by median nerve stimulation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1999; 110: 40P*
17. *Curio G. Ain't no rhythm fast enough: EEG bands beyond beta. J Olin Neurophysiol 2000; 17: 339-340*
18. *Curio G. Linking 600-Hz "spikelike" EEG/MEG wavelets ("sigma bursts") to cellular substrates. Concepts and caveats. J Clin Neurophysiol 2000; 17: 377-396*
19. *Curio G. Ultrafast EEG activities. In: Niedermeyer E, Lopes da Silva F (eds): Electroencephalography, 5th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins, 2005: 495-504*
20. *Traub RD, Jefferys JGR, Whittington MA. Fast Oscillations in Cortical Circuits. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1999*
21. *Draguhn A, Traub RD, Bibbig A, Schmitz ID. Ripple (around 200-400-Hz) oscillations in temporal structures. J Clin Neurophysiol 2000; 17: 361-376*
22. *Bragin A, Engel J Jr, Wilson CL et al. Electrophysiological analysis of a chronic seizure model after unilateral hippocampal KA injection. Epilepsia 1999; 40: 1210-1221*
23. *Bragin A, Wilson CL, Almajano J et al. High-frequency oscillations after status epilepticus: Epiletogenesis and seizure genesis. Epilepsia 2004; 45: 1017-1023*
24. *Schiff SJ, Colella D, Jacyna CM et al. Brain chirps: Spectrographic signatures of epileptic seizures. Clin Neurophysiol 2000; 111: 953-958*
25. *Niedermeyer E, Sherman DL. Ultrafast frequencies: a new challenge for electroencephalography, with remarks on ultraslow frequencies. Clin Electroencephalogr 2001; 32; 119-121*
26. *Niedermeyer E, Sherman DL. Ultrafast EEC frequencies – Not to be neglected in the future. Am J END Technol 2001; 41: 192-198*
27. *Niedermeyer E. Epileptic seizure disorders. In: Niedermeyer E, Lopes da Silva F (eds): Electroencephalography, 5th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins, 2005: 505-519*
28. *Goldring S, OLeary JL. Cortical DC changes incident to midline thalamic stimulation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1957; 9: 62-72*
29. *Cohn R. DC recordings of paroxysmal disorders in man. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1954; 17; 17-24*
30. *Chatrian GE, Somasundaram M, Tassinari CA. DC changes recorded transcranially during typical three per second spike and wave discharges in man. Epilepsia 1968; 9: 185-209*
31. *Vanhatalo S, Holmes MD, Tallgren P et al. Very slow EEG responses lateralize temporal lobe seizures. An evaluation of non-invasive DC- EEG. Neurology 2003; 50: 1098-1104*
32. *Vanhatalo S, Voipio J, Kaila K. Full-band EEG (FbEEG) : an emerging standard in electroencephalography. Clin Neurophysiol 2005; 116: 1-8*
33. *Wundt W. Grundzüge der physiologischen Psychologie, vol. 3. Leipzig: Engelmann, 1911 (see p.307 ff)*
34. *Knight RT, Grabowecky MF, Scabini D. Role of the human prefrontal cortex in attention control. In: Jasper HH, Riggio S, Goldman-Rakjc PS (eds): Epilepsy and the Functional Anatomy of the Frontal Lobe. New York: Raven Press, 1995: 21-34*
35. *Passinyham R. The frontal lobes and voluntary action. Oxford: Oxford University Press,1993*

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. med. Ernst Niedermeyer
305 Colonial Ct.
Towson
MD 21204-4318
U.S.A.
Tel. 001 410 828 1396
Fax 001 410 828 4456