

Aus der Kieler Universitäts-Kinderklinik
(Direktor: Prof. Dr. med. E. ROMINGER).

Electrencephalographische Untersuchungen über den Schlaf des Säuglings.

Von
H. W. KIRCHHOFF und **B. FRÖHLICH**.

Mit 7 Textabbildungen.

(Eingegangen am 17. März 1952.)

Der Schlaf des Säuglings weicht in seinem physiologischen Ablauf in mancher Hinsicht vom Schlaf des Erwachsenen und älteren Kindes ab. Die Schlafdauer ist weitgehend vom Lebensalter abhängig; je jünger ein Kind ist, um so länger schläft es. Während der Erwachsene und das ältere Kind nur *einen* Wechsel zwischen Schlafen und Wachen durchmachen, finden wir beim Säugling innerhalb von 24 Std *mehrere Schlafperioden* von etwa 3—4 Std Dauer, denen sich jeweils ein kurzes Wachintervall anschließt. Dieses Schlafverhalten wird von SZYMANSKI als polyphasisch bezeichnet. Erst allmählich erfolgt ein Angleichen an den monophasischen Ablauf der späteren Lebenszeit. CZERNY hat schon 1896 den Verlauf der Tiefe des Schlafes mittels elektrischer Weckkreizbestimmungen ermittelt. Er fand, daß ein Gipfelpunkt gesetzmäßig im Laufe von $\frac{3}{4}$ —1 Std erreicht wird. Der Unterschied im Schlafverhalten eines älteren zu dem eines jüngeren Säuglings besteht nur in der unterschiedlichen Länge des absteigenden Schenkels der Schlaftiefenkurve. CZERNY fand außerdem, daß die einzelnen Schlafperioden einen verschieden ausgeprägten Schlafgipfel zeigen, so weist im Verlauf einer Nacht die 2. Schlafperiode ein niedrigeres Maximum auf als die vorangehende. Die bei älteren Kindern im monophasischen Schlafablauf nachgewiesene Zweigipflerhythmik der Schlaftiefe führte zu der Folgerung, daß sich deren Schlafablauf aus den beiden Abschnitten zusammensetzt, die beim Säugling noch einzeln vorkommen.

Diese Feststellungen haben bis heute ihre Gültigkeit bewahrt, denn die modernen Schlaftiefenbestimmungen, die feinere Schwankungen erfassen und vor allem fortlaufende Bestimmungen zulassen, sind in der methodischen Durchführung zu schwierig, um im Kindesalter Anwendung zu finden.

Erst die Electrencephalographie zeigt Möglichkeiten auf, unsere Kenntnisse über den Schlafverlauf zu erweitern. LOOMIS, HARVEY, HOBART u. a. stellten fest, daß die Hirnstromkurve während des

Schlafes bestimmte Veränderungen erfährt, die sich vom Wach-EEG deutlich unterscheiden. Es kommt zum Auftreten von Wellenformen und Hirnpotentialen, die in naher Beziehung zur Schlaftiefe stehen, wie parallel zur EEG-Untersuchung angestellte Weckkreisbestimmungen von BLAKE und GERARD zeigen konnten. Auf Grund dieser EEG-Kriterien erfolgte eine Einteilung in Schlaffestigkeitsgrade.

So erschien es lohnend, die Veränderungen der Hirnpotentiale im Verlauf einer ganzen Schlafperiode des Säuglings fortlaufend zu registrieren, Beziehungen zur Schlaftiefenbestimmung CZERNYS aufzuzeigen und zu prüfen, inwieweit das EEG in der Lage ist, feinere Schwankungen der Schlaftiefe wiederzugeben. Schließlich sollte festgestellt werden, welche Hirnpotentiale im Säuglingsschlaf noch als physiologisch anzusehen sind.

Die Kenntnis des Verlaufes der Hirnstromkurve im Schlaf hat nicht allein physiologisches Interesse, sondern ist von weitgehend praktischer Bedeutung, da das Schlaf-EEG in der Klinik immer mehr die Bedeutung einer Testuntersuchung erhält. Abnorm oder pathologisch zu wertende Abläufe treten deutlicher in Erscheinung, Seitendifferenzen, Herdbefunde und Krampfpotentiale heben sich klarer ab und insbesondere kommen störende Einflüsse von seiten des Pat. wie Bewegungen, Unruhe, unmotiviertes Sprechen usw. zum Fortfall. So wird gerade der in der Kinder-Electrencephalographie tätige Untersucher sich zur Registrierung von Säuglingen und Kleinkindern vornehmlich des Schlaf-EEG bedienen müssen, zumal man gesehen hat, daß bestimmte Schlafmittel (Seconal-Evipan) die Hirnstromkurve nur wenig oder in ganz bestimmter Hinsicht verändern.

Methodik und Material.

Insgesamt wurde der Schlafablauf bei 41 Säuglingen im Alter von 2—15 Monaten verfolgt. Die Registrieraufer entsprach der Dauer einer oder mehrerer Schlafperioden, wobei Zeiträume von 3—6 Std erfaßt wurden. Die Untersuchungen wurden ohne *Pharmaka* vorgenommen. Die Säuglinge wurden im Bett oder Körbchen in das abgedunkelte EEG-Laboratorium gebracht, hier die Elektroden angelegt und der Eintritt des Schlafes abgewartet. Als Standardableitepunkte wurden die frontalen, zentralen und occipitalen verwandt. Neben einer Übersichtsuntersuchung erfolgte ein Seitenvergleich zwischen beiden Hemisphären mit unipolaren und bipolaren Ableitungen. Die Registrierung selbst erfolgte mit dem Electrencephalographen KDMRS I von SCHWARZER mit 4 Kanälen.

Ergebnisse.

Zum Verständnis der Veränderungen, die die Hirnstromkurve während des Schlafes erfährt, ist eine kurze Beschreibung des *Wach-EEG des Säuglings* notwendig. Dieses läßt einen deutlichen Reifungsvorgang erkennen.

Das EEG des Neugeborenen wird von langsamem, unregelmäßigen Potentialenschwankungen von 0,5—2/sec Dauer beherrscht, die zunächst eine Beziehung zueinander vermissen lassen. Ihre Amplituden betragen 20—50 μ V und erhöhen sich von Monat zu Monat. Neben diesen Delta-Wellen, die die beherrschenden Potentiale des Säuglings-EEG sind, schließen sich im ersten Trimenon über der vorderen Schädelhälfte etwas

schnellere Frequenzen zusammen und bilden in regelmäßiger Wiederkehr die eigentliche Grundaktivität, aus der sich im Verlauf des späteren Lebens die Alpha-Aktivität entwickelt. Während bei einem 3 Monate alten Säugling über den zentralen Ableitepunkten nur wenige Gruppen gleicher Frequenz von etwa 3—4/sec und Amplituden von 30—50 μ V erkennbar sind, wird die Anzahl dieser Wellen und ihre Gruppenbildung von Woche zu Woche größer, ihr Ablauf zunehmend gleichförmiger und ihre Frequenz erfährt eine Beschleunigung auf etwa 4—5/sec im ersten

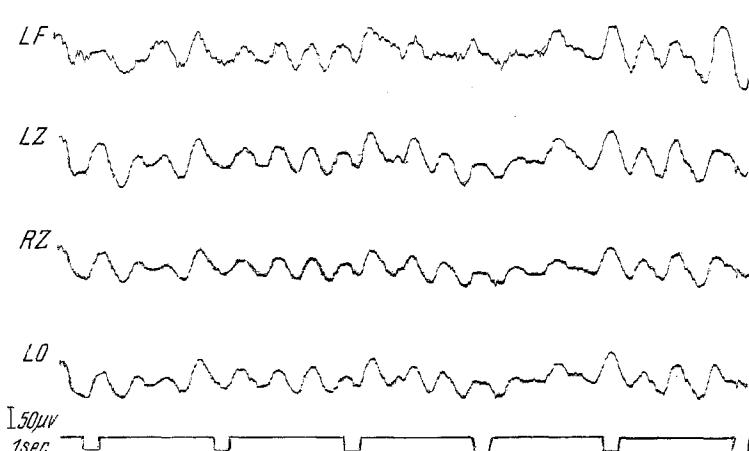


Abb. 1. Wach-EEG eines 6 Monate alten Säuglings. Grundaktivität von 4—5 sec mit Amplituden von 30—60 μ V. Einzelne Delta-Wellen.

Lebensjahr bei gleichzeitiger Amplitudenerhöhung. Im 5. Lebensmonat erscheinen dann über den occipitalen Ableitepunkten, die bisher nur unregelmäßige Potentialschwankungen erkennen ließen, gut ausgeprägte Rhythmen annähernd gleicher Frequenz wie über den zentralen Ableitepunkten. So finden wir bei einem 8—9 Monate alten Säugling z. B. eine Grundaktivität von 4—5/sec auf den occipitalen und zentralen Ableitungen mit schon angedeuteter Rhythmenbildung. Daneben beherrschen die langsamten Delta-Wellen das Bild, gelegentlich von Wellen schnellerer Frequenz und niedriger Amplitude überlagert (Abb. 1).

Um den stadienmäßigen Ablauf des EEG während einer Schlafperiode aufzuzeigen zu können, sollen an Hand zweier gekürzter Versuchspraktiken die charakteristischen Veränderungen besprochen werden:

Säugling: F. G., 4 Monate (abgeklungene Bronchitis, Kr.gesch. Nr. 1321/51).

Electrencephalographischer Befund.

- 20.40 Grundaktivität 4—5/sec mit Amplituden von 40—70 μ V mit deutlicher Gruppenbildung zentral. Occipital unregelmäßige 4/sec Wellen und langsamere Potentialschwankungen.

- 20.42 (Säuglingsschlafhaltung, Augen geschlossen. Atmung regelmäßig, Atemfrequenz auf 37/min verlangsamt.) — Auflösung der zentralen Gruppenbildung, geringe Zunahme der Amplitudenhöhe bis zu 80 μ V. Zunahme der Strecken geringerer Spannungsproduktion, occipital keine Grundaktivität mehr erkennbar, dagegen Auftreten der langsamten Potentialschwankungen über allen Ableitungen.
- 20.45 Grundaktivität nicht mehr erkennbar. Auftreten von Beta-Wellen und kurzen Spindelgruppen.
- 20.55 Spindelaktivität vorherrschend. Amplituden der Spindeln erhöhen sich, zum Teil Fokuswechsel deutlich.
- 21.05 Neben den Spindeln 2—3/sec Wellen mit Amplituden bis zu 150 μ V.
- 21.25 Spindelaktivität nur mit deutlich ab, Dominieren der Delta-Wellen, zum Teil synchron über allen Hirnabschnitten.
- 21.30 Kurvenbild auffallend flach, zentral nur wenige 3—4/sec Wellen, keine Spindeln und Delta-Wellen.
- 21.55 Erneutes Auftreten von Spindeln, Beta-Wellen. Zentral Gruppen von 4—5/sec Wellen.
- Bis 22.30 keine wesentliche Änderung. Alternieren von Spindeln und 4—5/sec Wellen. Vereinzelt Delta-Wellen occipital.
- 22.40 Auffällige Rhythmenbildung mit Vorherrschen von 6—8/sec Wellen, immer noch Beta-Wellen und Spindeln.
- 22.55 Spindeln nur noch in kurzer Gruppenbildung. Delta-Wellen treten vermehrt in Erscheinung.
- 23.10 Nur noch occipital einzelne Delta-Wellen. Vorwiegend Spindeln, zentral 4—5/sec Wellen in Gruppenbildung.
- Bis 23.30 ist das EEG nahezu unverändert.
- 23.35 Kind wird munter, bewegt sich, wacht auf.

Säugling: U. W., 9 Monate (abgeheilte Dyspepsie, Kr.gesch. Nr. 1236/51).

Electrencephalographischer Befund

- 23.00 Grundaktivität 4—5/sec Wellen, Amplituden 80—120 μ V. Gute Gruppenbildung, occipital ausgeprägter als zentral. Nach frontal Abnahme der Spannungsproduktion. Regelrechte Amplitudenskorrelation. Kurze Strecken niedriger Spannungsproduktion. Vereinzelt 3/sec Wellen.
- 23.05 (Säuglingsschlafhaltung. Atmung 35/min, Puls 108/min.) — Grundaktivität in kurze ungleichmäßige Gruppen aufgelöst. Stärkere Amplitudenschwankungen. Zunahme der Strecken verminderter Spannungsproduktion. Frontal einzelne Beta-Wellen.
- 23.10 Grundaktivität fast völlig verschwunden, Frontal und zentral Beta-Wellen. Erste Spindeln mit Amplituden von 50—70 μ V. Kurze Gruppe von 3—4/sec Wellen. Zunahme der Delta-Wellen von 2—3/sec, Amplituden von 40—100 μ V.
- 23.35 Delta-Wellen nehmen zu. Amplituden erhöhen sich. Spindeln treten zurück. Auftreten von 6—8/sec Wellen.
- 23.45 (Kind schläft fest. Hat sich inzwischen kaum bewegt.) Vorwiegend Delta-Wellen mit Frequenzen von $1\frac{1}{2}$ —2/sec synchron. Keine Spindeln und Beta-Wellen.
- 24.05 Stark verminderde Spannungsproduktion, oft nicht von Grundlinienschwankungen zu unterscheiden. Auftreten einzelner flacher 3—4/sec Wellen.

Elektrencephalographische Untersuchungen über den Schlaf des Säuglings. 345

- 0.20 Zunahme der 6—8/sec Wellen. Kleinere Gruppen von 4—5/sec Wellen, vorwiegend zentral mit Amplituden bis zu 60 μ V. Wiederauftreten von Beta-Wellen.
- 0.30 Wiederauftreten von Spindeln. Daneben 4—5/sec Wellen mit occipitaler Betonung.
- 1.15 (Kind schläft weiter ruhig.) Spindeln teilweise auf 12—13/sec verlangsamt, mit Amplituden von 20—30 μ V. Zunahme 2—3/sec Wellen mit occipitaler Betonung.
- 1.30 Vorwiegend Delta-Wellen, nur noch Spindelreste.
- 2.10 Regelmäßige 4—5/sec Wellen, Amplituden von 60—80 μ V. Maximale Ausprägung zentral. Einzelne Beta-Wellen. Kurze Spindelgruppen frontal.
- Bis 2.35 keine wesentlichen Veränderungen. Erneutes Hervortreten der Delta-Wellen.
- 2.45 (Schläft regungslos.) Hauptsächlich Delta-Wellen mit Frequenzen von $\frac{1}{2}$ —2/sec, teilweise synchron über allen Hirnabschnitten. Von einzelnen Beta-Wellen und Spindeln überlagert.
- 3.15 Nur noch wenige Delta-Wellen occipital. Zentral wieder 4—5/sec Wellen in kurzer Gruppenbildung.
- 3.20 Erneut Spindeln, 4—5/sec Wellen in deutlicher Gruppenbildung.
- 3.45-4.50 (Zunächst noch ruhig. Gegen Morgen zunehmende Bewegungen. Augen geschlossen.) Abwechselnd Spindeln, niedrige 2—3/sec Wellen und 6—8/sec Wellen in unterschiedlicher Ausdehnung. 4—5/sec Wellen immer stärker dominierend.
- 4.50 (Wacht auf.) Lange Gruppen von 4—5/sec Wellen.

Die Auswertung aller Versuchsprotokolle führt zu einer Gliederung in folgende EEG-Schlafstadien:

Erstes Schlafstadium. Mit dem Einsetzen des Schlafes, klinisch durch das Einnehmen der typischen Säuglingsschlafhaltung, Veränderung von Atmung und Augenschluß gekennzeichnet, wird die Grundaktivität in ihrem Aufbau gestört und aufgelöst. Die hierbei auftretenden Veränderungen betreffen zunächst die Ableitepunkte, auf denen sich die Grundaktivität zuletzt entwickelt hat, also beim älteren Säugling die occipitalen (Abb. 2). Die einzelnen Phasen werden in sich ungleichmäßiger, ihre Amplitudenhöhe erfährt größere Schwankungen. Die Länge der Wellen, die sich zu einer Gruppe zusammengeschlossen hatten, verkürzt sich, Strecken geringerer Spannungsproduktion nehmen im Kurvenbild zu, das dadurch deutlich auseinander gezogen wird. Diese Auflösungserscheinungen setzen sich auch auf den zentralen Ableitepunkten fort, wobei sich in einzelnen Fällen die Wellen in ihrer Frequenz verlangsamen können.

Die Delta-Wellen werden von diesen Veränderungen nur wenig betroffen, lediglich ihre Amplituden erhöhen sich und werden zunehmend von kleinen Schwankungen einer Frequenz von 14—30/sec Wellen überlagert, die ein allmähliches Ansteigen ihrer Amplitudenhöhe von 5 bis 20 μ V erkennen lassen.

Die hervorstechenden Merkmale dieses *ersten Stadiums*, das einen Zeitraum von 8—10 min einnimmt, sind *Auflösung der Grundaktivität, Verlust*

der *Rhythmenbildung* und eine allgemeine Amplitudenerhöhung. Von jüngeren Kindern wird dieser Abschnitt teilweise noch schneller durchlaufen.

Zweites Schlafstadium. Die Beta-Wellen leiten einen neuen Abschnitt ein, in der es zum Erscheinen einer nur dem Schlaf eigentümlichen Wellenart kommt. Es sind *Wellen einer konstanten Frequenz von 14/sec*, die in typischer Gruppenbildung auftreten und von LOOMIS wegen ihrer Form als *Spindeln* bezeichnet werden. Ihre Amplituden heben sich mit einer Höhe von etwa $20 \mu\text{V}$ von den übrigen Wellen deutlich ab, zeigen

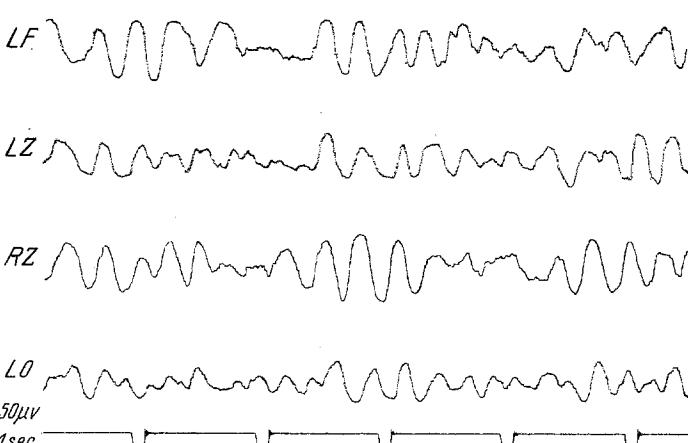


Abb. 2. EEG im Einschlafstadium: Auflösung der Grundaktivität. Verlust der Rhythmenbildung.
Allgemeine Amplitudenerhöhung.

eine weitere Erhöhung bis zur Spindelmitte und erniedrigen sich dann wieder bis zum Spindelende (Abb. 3).

Sie kommen zunächst in Abständen von 15—20 sec zur Ableitung, werden zunehmend häufiger und bilden schließlich die dominierende Aktivität. Die Länge einer Spindel schwankt zwischen 1—6 sec, ihre Amplitudenhöhe zwischen 20 — $80 \mu\text{V}$. Der Schwerpunkt dieser Spindelaktivität liegt über den zentralen Ableitepunkten, verlagert sich aber mit zunehmendem Alter über die hintere Schädelhälfte. Sie erscheinen entweder über beiden Hemisphären gleichzeitig oder aber alternierend, wobei sie eine deutliche Wechselbeziehung erkennen lassen. Frontal finden sich gehäufte Beta-Wellen mit Frequenzen von 24—30/sec in enger Beziehung zur Spindelaktivität, es liegt nahe, hier an eine Verdopplung des Spindelrhythmus zu denken. Die übrigen Potentiale sind weitgehend zurückgedrängt, die Grundaktivität löst sich weiter auf und ist nur noch bruchstückweise erkennbar. Die langsamsten Potentiale treten vorwiegend mit einer Frequenz von $\frac{1}{2}$ — $2/\text{sec}$ auf. Die Strecken geringerer bioelektrischer Tätigkeit nehmen weiterhin zu.

Drittes Schlafstadium. Allmählich vollzieht sich ein neuer Ablösungsvorgang, der sich durch eine Verminderung der Spindeln und das stärkere Hervortreten der *Delta-Wellen* kennzeichnet. Die Spindelaktivität

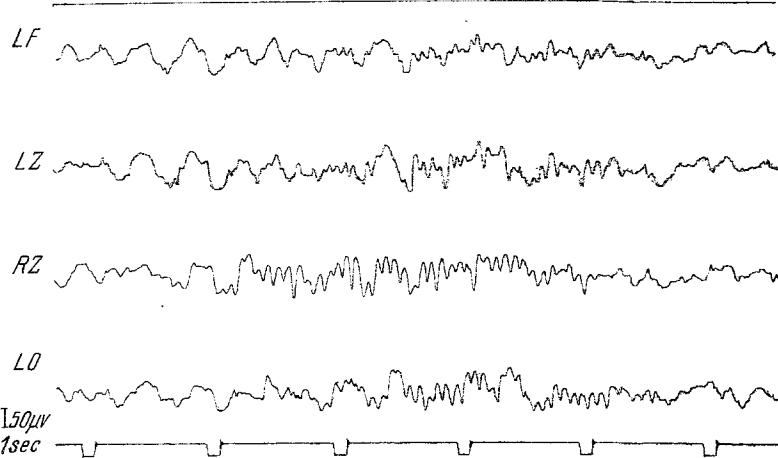


Abb. 3. Leichter Schlaf: Spindelaktivität über allen Hirnregionen mit maximaler Ausprägung zentral rechts.

verschwindet in dem Maße, wie langsame Wellen hervortreten. Dabei werden die Spindelgruppen kürzer, ihre Amplituden niedriger, bis nur

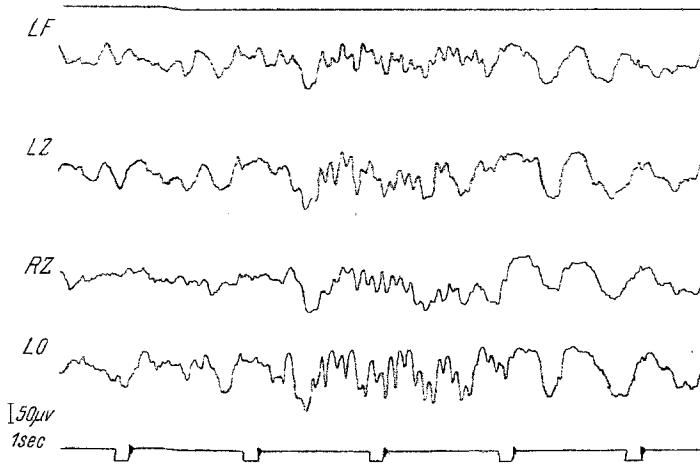


Abb. 4. Übergang zum Tiefschlaf: Spindeln mit Übergang in Delta-Wellen.

noch Spindelreste erkennbar sind (Abb. 4). Dann beherrschen die Delta-Wellen allein fast völlig das Bild. Sie zeigen einen Anstieg ihrer *Amplitude* bis auf 150—200 μ V, treten oft auffallend synchron über allen

Hirnregionen auf, mit einer Frequenz von $\frac{1}{2}$ —2 sec (Abb. 5). Gegen Ende dieses Stadiums wurden oft $90 \mu\text{V}$ und mehr hohe 2—3 sec Wellen, die in langen Ketten hintereinander erscheinen, beobachtet. Sie haben ihre deutlichste Ausprägung über den frontalen Hirnabschnitten, und bieten ein sehr gleichmäßiges Bild. Dieses Stadium ausschließlicher Delta-Wellen-Aktivität dauert etwa 8—15 min. Vom Beginn des Einschlafens mit Auflösung der Grundaktivität bis zum Delta-Wellen-Stadium vergehen 50—60 min. Alle untersuchten Kinder erreichten diesen Abschnitt gesetzmäßig in dieser Zeiteinheit.

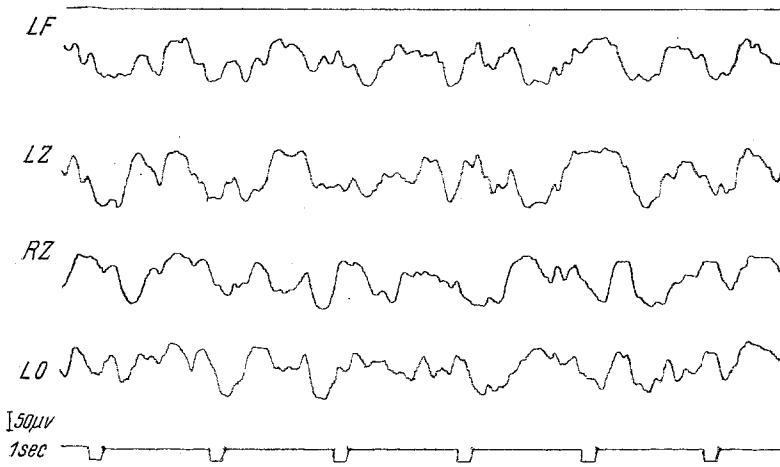


Abb. 5. Tiefschlaf: Dominieren der Delta-Wellen.

Die Veränderungen des EEG bis zu diesem Zeitpunkt werden durch die *Dominanz* bestimmter Wellenarten gekennzeichnet und ermöglichen daher eine *Stadieneinteilung nach EEG-Kriterien*. Der Wechsel und die Ablösung der dominierenden Aktivität durch eine andere vollzieht sich allerdings nicht plötzlich, sondern in einem langsamen Übergang. Weniger deutlich lassen sich die Veränderungen des EEG in der dem Delta-Wellen-Stadium folgenden Zeit erfassen, da das Vorherrschen dominierender EEG-Kriterien oft auffallend flüchtig und unbeständig ist und die einzelnen Zeitwerte dieser Phasen starken Schwankungen unterliegen.

Nach einem kurzen Übergang, in dem sich die kontinuierlich auftretenden Delta-Wellen in kleinere Gruppen auflösen, folgt hierauf eine auffällige *Verminderung der Spannungsproduktion*. Dieser Abschnitt, der etwa 10—20 min andauern kann, besteht oft nur aus einer fast isoelektrischen Strecke, auf der sich wenige flache 2—3 sec Wellen und vereinzelt Wellen anderer Frequenzbereiche ausbreiten. Gesetzmäßige Beziehungen zum Alter des Kindes konnten nicht gefunden werden (Abb. 6).

Über den zentralen Hirnabschnitten beginnt sich dann wieder neue rhythmische Aktivität zu entwickeln, dabei bilden sich Gruppen von Wellen, die in ihrer Frequenz deutlich dem Wach-EEG des Kindes entsprechen. Aber auch parietal und occipital wird das Kurvenbild wieder gleichförmiger, so daß oft über der ganzen Konvexität Wellen des gleichen Frequenzbereiches beobachtet werden können. Daran schließen sich die schon beschriebenen Auflösungsvorgänge an, bis wieder im Zusammenhang mit den Beta-Wellen die *Spindeln des 2. Schlafstadiums* erscheinen, die nunmehr bis zum Ende der Schlafperiode nahezu un-

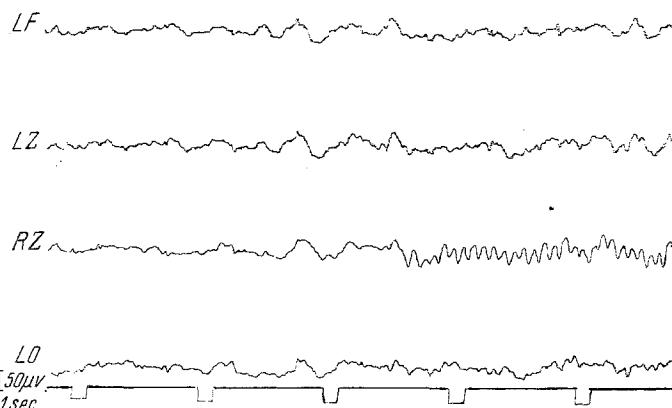


Abb. 6. Nieder-voltage mit Wiederauftreten von Spindeln.

unterbrochen bestehen bleiben. Ein Unterschied in der Länge der Spindeln und ihrer Amplituden ließ sich nicht nachweisen, dagegen verlangsamte sich ihre Frequenz in diesem Abschnitt in einigen Fällen auf 12 bis 13/sec. Neben der Spindelaktivität bilden sich erneut langsame Potentiale. Die einzelnen Phasen werden sehr schnell durchlaufen, wobei die Hirnstromkurve immer wieder zu ausgeprägter rhythmischer Tätigkeit zurückkehrt. Es kommt dabei zur Bildung von kurzen und flüchtigen Rhythmen anderer Frequenz, unter diesen finden sich am häufigsten 6—7 sec Zwischenwellen, die eine auffällige Beziehung zur Spindelaktivität aufweisen; sie gehen den Spindeln vielfach voran.

Selten bilden die langsamen Wellen die allein vorherrschende Aktivität. Nur bei älteren Säuglingen mit Schlafperioden von 5—6 Std Dauer ließ sich ein nochmaliges Durchlaufen des 3. Schlafstadiums mit Auftreten langsamer Wellen erkennen. Das EEG wird in diesem zweiten Schlafabschnitt im wesentlichen durch das Vorherrschen der schnelleren Wellenformen — wie Beta-Wellen, Spindeln und 6—8/sec Wellen gekennzeichnet. Daneben ist eine stärkere Neigung zur Rhythmenbildung erkennbar.

Besonders in der Aktivität gesteigert war das EEG-Bild nach einer kurzen *Schlafunterbrechung*, spontan oder durch Weckreize ausgelöst. Es wurde dann besonders über den vorderen Hirnabschnitten von zahlreichen Wellen schnellerer Frequenz beherrscht, von denen sich neben den 6 bis 7/sec Rhythmen am sichersten 7—8 und 8—9/sec Wellen in kurzer Gruppenbildung abgrenzen ließen, deren Aufbau jedoch nicht beständig war. Diese Phase schnellerer bioelektrischer Tätigkeit erfährt mit dem Wiederauftreten der Spindeln eine Verlangsamung und allmähliche Auflösung, denen wieder langsame Potentiale folgen.

So kommt es zu einem fortlaufenden *Wechselspiel* zwischen den beschriebenen Wellenformen, die immer wieder einander ablösen können. Die einzelnen Stadien zeigen dabei Überschneidungen, das Abnehmen einer hirnelektrischen Aktivität ist jeweils vom Anwachsen einer anderen begleitet. Selten wird ein Wellentyp im 2. Schlafabschnitt für einen längeren Zeitraum zur dominierenden Aktivität. Erst gegen Ende der Schlafperiode verschwinden die Beta-Wellen und Spindeln, die langsamem Wellen und die Grundaktivität treten deutlicher hervor. Dabei kommt es wieder wie beim Einschlafen zu deutlichen Amplitudenschwankungen bis eine stärkere Gleichmäßigkeit und Regelmäßigkeit erkennbar ist. *Der Zeitpunkt des Aufwachens lässt sich im EEG nicht sicher feststellen.*

Altersunterschiede. Abweichungen, die sich bei jüngeren Säuglingen ergeben, beziehen sich auf zeitliche Unterschiede der Stadiendauer. So spielt entsprechend der noch geringeren Ausprägung der Grundaktivität das Stadium seiner Auflösung eine untergeordnete Rolle und kann sich in 3—5 min vollziehen. Auch zum Auftreten einer eigentlichen Delta-Wellen-Phase kommt es nur andeutungsweise, sie zeigt eine mit dem Alter zunehmende Tendenz zur Verlängerung. Ein zweiter Delta-Gipfel fand sich erst bei Kindern des 3. Lebensstromenon. Umgekehrt verhalten sich die Strecken geringerer Spannungsproduktion, die im EEG des jungen Säuglings viel mehr Raum einnehmen, während Spindeln und Beta-Wellen etwa in gleicher Weise ausgeprägt sind.

Besprechung der Ergebnisse.

Versucht man die in Abb. 7 schematisch zusammengefaßten EEG-Veränderungen des Säuglingsschlafes zu ordnen, so ergibt sich zwangsläufig eine Einteilung nach dem Vorherrschenden dominierender Wellenformen. Diese EEG-Schlafstadien sind gerade im ersten Drittel der Schlafperiode besonders ausgeprägt und lassen einen fast gesetzmäßigen Ablauf erkennen, der den in der Literatur niedergelegten Beobachtungen beim Erwachsenen ähnelt. Nach LOOMIS, HARVEY und HOBART geht im sogenannten A-Stadium eine Modulation des Alpha-Rhythmus des Wachzustandes vor sich. Die Alpha-Wellen zeigen eine Tendenz zur

Reduktion ihrer Amplituden und zur Verminderung ihrer Frequenz. Sie werden von zunehmend sich verlängernden Strecken geringerer Spannungsproduktion unterbrochen und schließlich ganz aufgelöst, womit dann das B-Stadium der sogenannten „low voltage“, erreicht ist. Entsprechend der allmählichen Bewußtseinsauflösung können beide Stadien noch längere Zeit miteinander abwechseln. Das C-Stadium ist gekennzeichnet durch das Auftreten von Spindeln und Vermehrung der sich schon im A- und B-Stadium andeutenden Delta-Wellen. Die Spindeln dauern auch noch im D-Stadium an, neben ihnen erscheinen aber bis zu 300 μ V hohe 0,5—3/sec Wellen, sogenannte Random Potentiale.

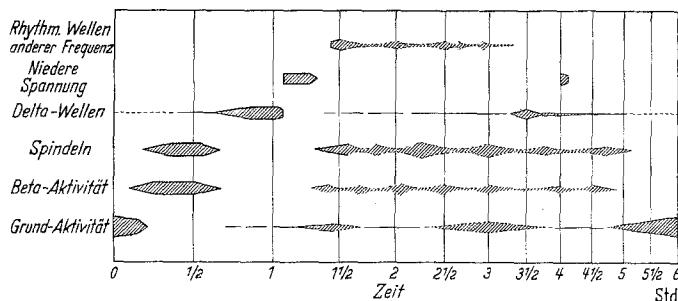


Abb. 7. Schematische Darstellung der EEG-Veränderungen im Verlauf der Schlafperiode eines 6 Monate alten Säuglings.

Das E-Stadium wird fast noch von diesen langsamem Potentialen gebildet. An dieser Stelle brechen dann die Untersuchungen von LOOMIS ab. Nach BLAKE und GERARD, die ihre Untersuchungen dagegen über die Dauer einer ganzen Nacht ausdehnten, schließt sich an das etwa eine Stunde dauernde Delta-Wellen-Stadium das sogenannte Nullstadium an, in der außer Grundlinienschwankungen nur wenige Potentiale unterschiedlicher Frequenz erkennbar sind. Die Nullphase geht dann über das Stadium des intermittierend wieder auftretenden Alpha-Rhythmus in das Wach-EEG über. Die Darstellung aller Autoren beschränkt sich aber im wesentlichen auf eine Beurteilung der wichtigsten EEG-Kriterien, während der gesamte Ablauf innerhalb einer Schlafperiode und insbesondere die dem Delta-Wellen-Stadium folgende Zeit nur wenig Berücksichtigung findet.

Bestehen also bezüglich der Grundkonzeption im Verlauf der Hirnpotentiale im ersten Drittel der Nacht Parallelen zwischen dem Säuglings- und Erwachsenen-EEG, so betreffen die Abweichungen hauptsächlich die *Dauer und Ausprägung* dieser einzelnen EEG-Stadien. Beim Säugling sind die verschiedenen Stadien stark verkürzt.

So vollzieht sich die Auflösung der Grundaktivität beim Säugling in einem Zeitraum von 5—8 min, während wir nach der ausführlichen Beschreibung von LOOMIS annehmen müssen, daß er bei älteren Menschen

sehr viel länger andauert. Besonders auffallend ist auch die Kürze des Deltawellenstadiums gegenüber einer nach BLAKE und GERARD mindestens eine Stunde anhaltenden Deltaphase beim Erwachsenen. Auch die Nullphase des Säuglings zeichnet sich durch ihre Kürze aus. Im Gegensatz zu dem geringen Zeitraum, den diese Stadien einnehmen, enthält das Säugling-EEG eine gegenüber dem Erwachsenen sehr verstärkte Spindelaktivität, die fast ununterbrochen das Kurvenbild beherrschen kann. Diese ausgedehnte *Spindelaktivität ist ein Kennzeichen des Säuglingsschlafes*. Sie nimmt mit zunehmendem Alter an Ausprägung und Länge ab. Im frühen Kindesalter sollen nach GIBBS auch Spindeln anderer Frequenz mit besonderer Lokalisation vorkommen, bei den Säuglingen haben wir Frequenzen von 12—13/sec nur wenige Male und nur im Anschluß an die Nullphase gesehen. In enger Beziehung zu den Spindeln steht auch die Beta-Aktivität. Diese Potentiale sind im Wach-EEG erst vom 12. Lebensjahr an deutlich. Welche Bedeutung der Spindel-Beta-Aktivität im einzelnen zukommt, läßt sich noch nicht übersehen. Im Schrifttum finden sich dafür keinerlei Hinweise. JUNG glaubt, daß die Spindeln verlangsamte Beta-Wellen darstellen.

Setzt man die dominierenden Kriterien der elektrencephalographischen Schlafstadien zur *Schlaftiefe* in Beziehung, so lassen sich folgende Relationen aufstellen:

Die Auflösung der Grundaktivität entspricht naturgemäß leichtem Schlaf. *Das Delta-Wellen-Stadium ist dem Gipfelpunkt der Schlaftiefe gleichzusetzen*, ähnlich wie bei den von BLAKE und GERARD untersuchten Erwachsenen. Bei den eigenen Versuchen waren die Säuglinge in diesem Stadium am schwersten erweckbar. Schließlich sprechen für diese Annahme auch die gefundenen zeitlichen Beziehungen. Im ersten Drittel der Schlafperiode läßt das EEG einen ganz gesetzmäßigen Ablauf erkennen. Das Delta-Wellen-Stadium wurde in allen Beobachtungen nach 50 bis 70 min erreicht. Alle anderen Untersucher haben bei Anwendung der verschiedensten Methoden der Schlafstufenbestimmung den Gipfelpunkt ebenfalls in dieser Zeiteinheit erreicht. So sind die vorliegenden Untersuchungen insbesondere eine Bestätigung der von CZERNY beim Säugling aufgestellten Schlafstufenkurve. Da der erste Schlafablauf bis zum Gipfelpunkt, wie mehrfach betont, ein kontinuierlicher und langsamer ist, darf angenommen werden, daß das Spindelstadium mittlerer Schlafstufe entspricht und daß der allmählichen Vermehrung von langsamem Potentialen eine immer größere Schlaftiefe parallel geht.

Somit würde sich im Schlaf-EEG des Säuglings etwa folgende Beziehung zwischen EEG-Kriterien und Schlaffestigkeitsgrad ergeben:

Einschlafen	Auflösung der Grundaktivität
Leichter Schlaf	Verschwinden der Grundaktivität. Auftreten von Beta-Wellen.

Mitteltiefer Schlaf	Dominieren der Spindelaktivität
Übergang zum Tiefschlaf	Abnahme von Spindeln, allmähliche Zunahme langsamer Potentiale
Tiefschlaf	Dominieren langsamer Potentiale (Delta-Wellen).

Schwierigkeiten bereitet eine Zuordnung der Stadien verminderter Spannungsproduktion und der Rhythmenbildung in der dem ersten Schlafgipfel folgenden Zeit. Hierüber fehlen eingehendere Untersuchungen.

Eine aus unseren Ergebnissen abgeleitete Schlaftiefenkurve zeigt nun, daß man entsprechend dem mehrmaligen Auftreten von rhythmischer Aktivität, Spindeln und Delta-Wellen mehrere *periodische Schwankungen der Schlaftiefe* annehmen kann. Jeder Säugling erreicht ein ausgesprochenes Tiefschlafstadium gleich zu Beginn des Schlafes, ein zweites etwas kürzeres Maximum fand sich nur bei älteren Säuglingen entsprechend der längeren Dauer der Schlafperiode. Die dazwischen liegenden Zeiträume lassen ein dauerndes Wechselspiel erkennen, wobei sich die Schlaftiefe manchmal allmählich, manchmal sprunghaft ändern kann. Der Schlafablauf ist sicher kein gleichmäßiger, sondern ein periodischer Vorgang. Er kann vielleicht mit einer Wellenbewegung verglichen werden. Dabei zeigen die einzelnen Schlafstadien bezüglich Zeitdauer und Aufeinanderfolge individuell starke Schwankungen, die auch von Nacht zu Nacht erhebliche Veränderungen aufweisen können.

Wenn sich die Beziehungen zwischen Schlaffestigkeit und EEG-Bild durch weitere Vergleiche noch schärfer umreißen lassen, so müssen wir annehmen, daß das EEG der feinste Indicator der Schlaftiefe ist. Damit würde sich die Möglichkeit ergeben, Aufschlüsse über den Schlafablauf und die Schlaffestigkeit auch bei Krankheitsprozessen zu gewinnen.

Besondere Bedeutung scheint aber auch dem Schlaf-EEG für das Studium der Entwicklung und Hirnreifungsvorgänge zuzukommen. Im Schlaf-EEG ließen sich Wellen einer Frequenz auszählen, die im Wach-EEG erst bei viel älteren Kindern vorkommen. Ihre Lokalisation war auf den zentralen Ableitepunkten am ausgeprägtesten. Wieweit diese Wellen Vorläufer der späteren Alpha-Aktivität sind, müssen weitere Untersuchungen ergeben.

Dabei wäre auch das Studium der Spindelaktivität von wesentlichem Interesse, die wie sich zeigen ließ, eine besondere Eigentümlichkeit der fröckindlichen Hirntätigkeit zu sein scheint.

Zusammenfassung.

Untersuchungen über den electrencephalographischen Ablauf des Schlafes bei Säuglingen ergeben, daß nach dem Vorherrschen bestimmter Wellenformen eine elektrencephalographische Stadieneinteilung möglich ist:

Einschlafen	Auflösung der Grundaktivität
Leichter Schlaf	Verschwinden der Grundaktivität. Auftreten von Beta-Wellen
Mitteltiefer Schlaf	Dominieren der Spindelaktivität
Übergang zum Tiefschlaf	Abnahme von Spindeln, allmähliche Zunahme langsamer Potentiale
Tiefschlaf	Dominieren langsamer Potentiale (Delta-Wellen).

Besonders im ersten Drittel einer Schlafperiode kommt es zu einem gesetzmäßigen Ablauf, der sich durch die Auflösung der Grundaktivität, Auftreten von Beta-Wellen und Spindeln und schließlich von Delta-Wellen kennzeichnen läßt. Der folgende Schlafablauf ist charakterisiert durch eine Steigerung der bioelektrischen Aktivität, einer nahezu ununterbrochenen Ausprägung von Spindeln und die Bildung neuer flüchtiger Rhythmen. Nur bei älteren Säuglingen läßt sich im Verlauf einer Schlafperiode regelmäßig ein zweiter Deltawellengipfel nachweisen.

Die einzelnen elektrencephalographischen Schlafstadien werden zur Schlaftiefe in Beziehung gebracht und der Versuch unternommen, daraus eine Schlaftiefenkurve zu entwickeln. Die besonderen Eigentümlichkeiten des Schlaf-EEG beim Säugling werden diskutiert und mit den Befunden des Schrifttums verglichen.

Literatur.

BLAKE and GERARD: Amer. J. Physiol. 119, 4 (1937). — BLAKE, GERARD and KLEITMANN: J. Neurophysiol. 2, 48 (1939). — CZERNY: Jb. Kinderheilk. 41, 397 (1896). — DAVIS, DAVIS, LOOMIS, HARVEY and HOBART: J. Neurophysiol. 1, 1 (1938). — GIBBS: Atlas of Electroencephalography 1951, Vol. 1. — JUNG: Nervenarzt 12, 596 (1939). — LOOMIS, HARVEY and HOBART: J. of Exper. Psychol. 28, 2 (1937). — PEIPER: Die Eigenart der kindlichen Hirntätigkeit. Leipzig: G. Thieme 1949. — SMITH: J. of genet. Psychol. 53, 471 (1938). — SZYMANSKI: Z. allg. Physiol. 18 (1920).

Dr. H. W. KIRCHHOFF, Kiel, Universitäts-Kinderklinik, Fröbelstraße 15—17.