

Über das Elektrenkephalogramm des Menschen.

Siebente Mitteilung.

Von

Hans Berger, Jena.

Mit 14 Textabbildungen.

(Eingegangen am 28. April 1933.)

Über die enge Bindung der Hirntätigkeit an den Blutkreislauf brauche ich hier eigentlich kein Wort zu verlieren. Ich bin in meiner 3. Mitteilung ausführlich auf die Beziehungen der Hirnzirkulation zu dem Elektrenkephalogramm (E.E.G.) eingegangen und habe an der Hand von Abbildungen gezeigt, daß der Ausfall vereinzelter Hirnpulsationen infolge von Extrasystolen keinen Einfluß auf den Ablauf des E.E.G. hat. Auch eine beschleunigte Herztätigkeit, wie sie uns im Fieber entgegentritt, hat keinen entsprechenden Einfluß auf den Ablauf des E.E.G. Ganz wider Erwarten tritt bei hohem, länger anhaltendem Fieber eine deutliche Verlängerung der Hauptwellen des E.E.G. gegenüber seinem regelrechten Zustand bei dem betreffenden Menschen ein, wie ich das schon in meiner 4. Mitteilung hervorgehoben habe. Diese Verlängerung der Alpha-Wellen (α -W.) geht erheblich über die durchschnittliche Länge der Hauptwellen beim Gesunden hinaus und weist darauf hin, daß im Fieber der Ablauf der Hirnrindenvorgänge eine Schädigung, die sich wieder vollständig ausgleichen kann, erfährt. Diese Schädigungen erinnern in ihrer Wirkung an die Verlängerung der α -W. des E.E.G., wie sie z. B. bei der Kohlenoxydvergiftung auftreten; ich habe in meiner 5. Mitteilung entsprechende E.E.G.'s bekanntgegeben. Ebenso bedingen bakterielle Gifte, wenn sie die Hirnrinde in Mitleidenschaft ziehen, eine deutliche Veränderung des E.E.G., auch dann, wenn sie höhere Temperatursteigerungen nicht hervorrufen. Abb. 1 zeigt das E.K.G. (Elektrokardiogramm) und E.E.G. eines 44jährigen Mannes, der an einer schweren eitrigen Basalmeningitis, die sich an eine Aktinomykose angeschlossen hatte, erkrankt war.

Er konnte infolge seiner Nackenstarre, durch die der Hinterkopf weit nach hintenübergezogen war, nur auf einer Seite liegen, so daß die Aufnahme des E.K.G. bei der Ableitung von den Armen etwas erschwert war. Er war bei vollem Bewußtsein, manchmal vorübergehend etwas unklar, indem er wirkliche Erlebnisse und Geträumtes durcheinanderwarf. Er gab aber zur Zeit der Aufnahme über alles gut

Auskunft. Die Temperatur betrug $37,6^{\circ}$ in der Achselhöhle; der Puls war stark beschleunigt und schlug 132mal in der Minute. Die Hauptwellen des E.E.G. sind hoch und deutlich ausgeprägt; sie zeigen eine erhebliche durchschnittliche Verlängerung auf 140 σ . Trotz der wesentlichen Beschleunigung der Herztätigkeit findet sich also auch hier eine Verlangsamung der Hauptwellen des E.E.G. Der Mann erlag am Tage nach dieser Aufnahme seinem Leiden unter den Erscheinungen einer plötzlich einsetzenden Atemlähmung. Die Leichenöffnung (Prof. *Berblinger*) bestätigte die bei Lebzeiten angenommene schwere, auf die Basis beschränkte eitrige Meningitis. Zum Vergleich habe ich hier nochmals

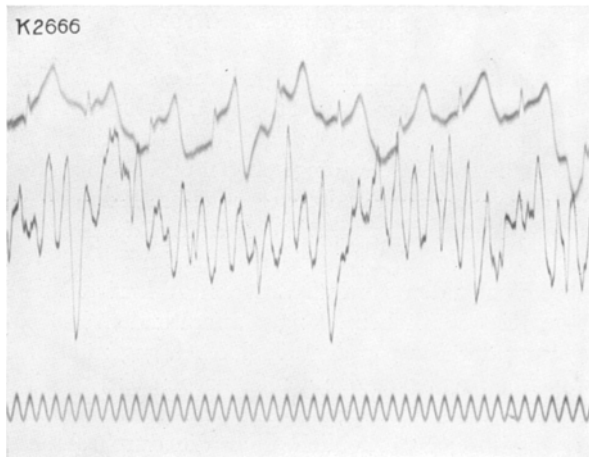


Abb. 1. H. E., 44 Jahre alt, mit basaler eitriger Meningitis. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen zu dem Spulengalvanometer. Darunter E.E.G. abgeleitet von Stirn und Hinterhaupt mit Nadeln zum Oszillographen. Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

Abb. 2 wiedergegeben, auf der das E.K.G. und E.E.G. von meiner jetzt 16jährigen Tochter Ilse sich findet.

Ich habe von I. schon in der 4. Mitteilung E.E.G.'s veröffentlicht, die aus ihrem 14. Lebensjahre stammen. Die Hauptwellen des E.E.G. haben die gleiche Form und die gleiche Länge von 95 σ im Durchschnitt beibehalten; eine Veränderung im Laufe der Jahre ist nicht eingetreten.

Ich habe in meiner 6. Mitteilung ausführlich darüber berichtet, aus welchem Grund ich zu der Auffassung gelangt bin, daß im E.E.G. eine gerichtete, die Großhirnrinde beider Hirnhälften zu einem einheitlichen Ganzen zusammenfassende Tätigkeitswelle zum Ausdruck komme. Ich habe dort mehrere gleichzeitig aufgenommene E.E.G.'s. wiedergegeben. Abb. 3 zeigt nochmals einen derartigen Befund von einem 24jährigen gesunden Arzt, bei dem von der rechten und linken Schädelseite abgeleitet wurde.

Es findet sich eine, sich auf alle Einzelheiten erstreckende Übereinstimmung der mit gleichlautenden Zahlen oder Buchstaben bezeichneten Hauptwellen der beiden E.E.G.'s. Ich habe schon an jener Stelle (S. 569) mitgeteilt, daß ich gelegentlich in Krankheitsfällen diese Übereinstimmung der von beiden Schädelseiten abgeleiteten E.E.G.'s. gestört gefunden habe. Bei einem 21jährigen Mann mit einem Tumor in der Tiefe der linken Großhirnhälfte fand ich 4 Wochen nach der Palliativtrepanation bei der Ableitung der E.E.G.'s. gleichzeitig von der rechten und linken Schädelseite ein deutliches Auseinanderfallen der beiden Kurven, sowohl in den zeitlichen Verhältnissen als auch in der Form und der Höhe der

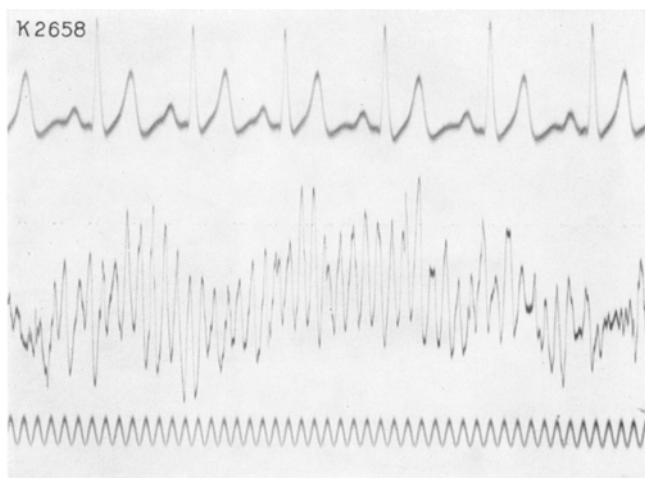


Abb. 2. J. B., 16 Jahre alt. Oben E.K.G. abgeleitet von beiden Armen zu dem Spulengalvanometer. In der Mitte E.E.G. abgeleitet von Stirn und Hinterhaupt mit Nadeln zum Oszillographen. Zu unterst Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

Hauptwellen des E.E.G. Ein Gleiches sah ich bei einem 48jährigen Mann, ebenfalls mit einem Tumor in der Tiefe der linken Großhirnhälfte, 5 Wochen nach der Palliativtrepanation bei der Aufnahme gleichzeitiger E.E.G.'s. von beiden Schädelseiten. Bei diesem älteren Mann wurde der Befund durch die Leichenöffnung bestätigt. Beide Kranke waren zur Zeit der Aufnahmen der E.E.G.'s. noch auffallend leicht ermüdbar, der ältere Mann etwas benommen, der jüngere euphorisch. Trotzdem trat bei letzterem später eine völlige Wiederherstellung bei gleichzeitiger Kalkeinlagerung in die Geschwulst ein. Bei einer 31jährigen Dame, bei der sich ebenfalls ein Tumor in der Tiefe des Stirnhirns, und zwar in der Mittellinie, findet, der nach dem Ergebnis der Encephalographie die beiden Vorderhörner des Seitenventrikels weit auseinandergedrängt hat, wurde bei der Aufnahme gleichzeitiger E.E.G.'s. von der rechten und linken Schädelseite 4 Wochen nach einer großen, auf der linken Seite

ausgeführten Palliativtrepanation ¹ ein Ergebnis erzielt, wie es Abb. 4 darstellt.

Die obere Spulengalvanometerkurve gibt das E.E.G., abgeleitet

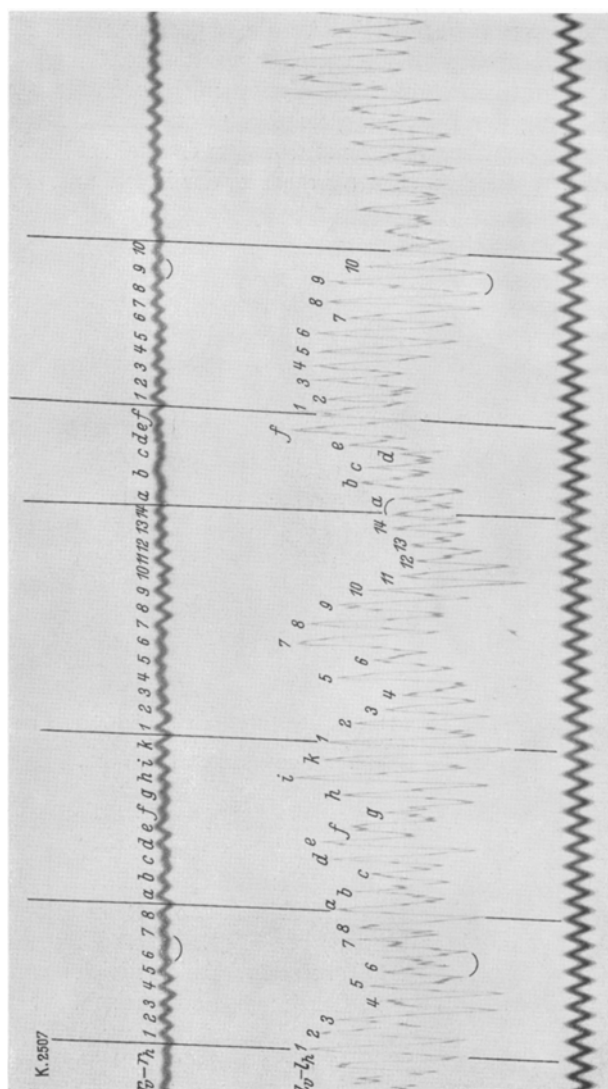


Abb. 3. Dr. W., 24 Jahre alt. Oben E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte E.E.G. abgeleitet von der linken Schädelseite zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Gleichzeitige Punkte beider E.E.G.'s. sind durch Tuschelnlinien verbunden.

von der rechten Stirn und der rechten Hinterhauptshälfte, wieder. Die mittlere Linie verzeichnet das E.E.G., aufgenommen mit dem

¹ Alle hier erwähnten Operationen waren von Herrn Guleke in der hiesigen chirurgischen Klinik ausgeführt worden.

Oszillographen und abgeleitet von der linken Schädelhälfte, wobei die vordere Nadelelektrode im Bereich der Trepanationslücke auf der Dura, die hintere auf, bzw. unter dem Schädelperiost am Hinterhaupt lag. Gleichzeitige Kurvenpunkte sind durch Tuschelinien verbunden. Man sieht ohne weiteres, daß die beiden E.E.G.'s., im Gegensatz zu Abb. 3 sich diesmal nicht entsprechen. Den 3 Hauptwellen im oberen E.E.G. rechts von dem 1. Tuschestrich stehen z. B. nur 2 Hauptwellen

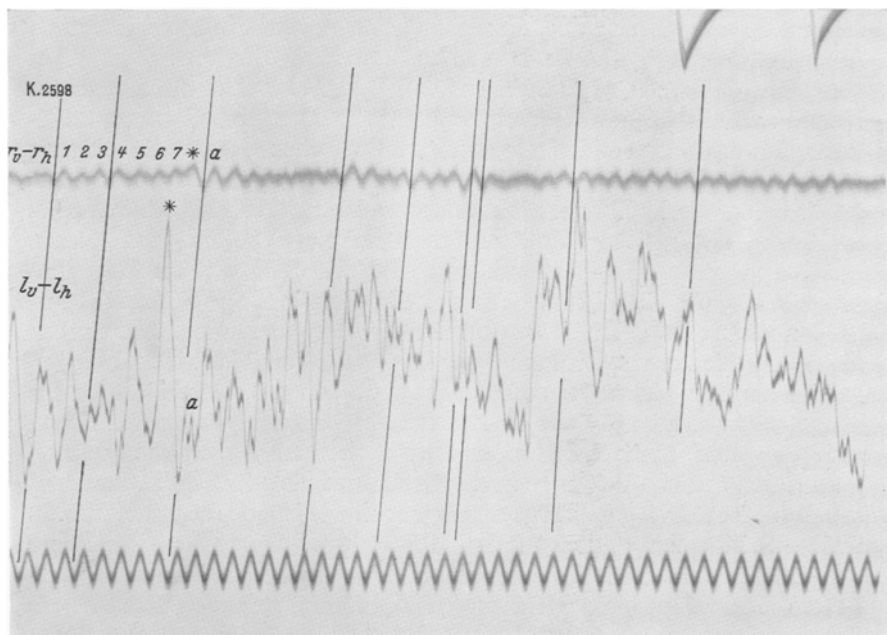


Abb. 4. F. B., 31 Jahre alt. Beiderseitiger Stirnhirntumor. 4 Wochen nach Palliativtrepanation. Oben E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte E.E.G. abgeleitet von der linken Schädelseite zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Gleichzeitige Punkte beider E.E.G.'s. sind durch Tuschelinien verbunden.

des E.E.G. von der linken Seite gegenüber. Auch die Form und Höhe der beiden Hauptwellen entsprechen sich keineswegs in beiden Aufnahmen. Es kommt zu einer Störung der Zusammenarbeit der Rindengebiete der rechten und linken Seite. Die Kranke selbst war dabei klar und geordnet; ihre ausgesprochene Euphorie mußte auf die schwere Stirnhirnschädigung durch den nach beiden Seiten wachsenden Tumor bezogen werden. Bei einem Mann von 32 Jahren, bei dem ein Tumor in der Tiefe des rechten Stirnhirns, und zwar mehr im Bereich des hinteren Abschnitts des Stirnhirns, nach dem encephalographischen Befund und den klinischen Erscheinungen angenommen werden mußte, ergaben gleichzeitige Aufnahmen von E.E.G.'s. der rechten und linken Seite

eine Übereinstimmung beider Kurven, ganz wie in Abb. 3 beim Gesunden.

Ich bin schon in meiner 6. Mitteilung auf die Frage eingegangen, von welchem Ort aus die Zusammenarbeit der Rindengebiete beider Großhirnhälften, ihr Gang im Gleichschritt, wenn ich mich so ausdrücken darf, geregelt werde. Ich wies darauf hin, daß ich den Balken als das Organ angesehen habe, der diese Zusammenarbeit vermittelt, jedoch im Hinblick auf die Untersuchungen von *Travis* und *Dorsey* schwankend geworden sei und daran gedacht habe, ob nicht vielleicht vom Thalamus aus diese Zusammenfassung geschehe. Ich habe dieser Frage weiter nachzugehen versucht. Gleichzeitige Aufnahmen von E.E.G's. bei einem 26jährigen Manne mit einer schweren Metencephalitis mit lang anhaltenden Blickkrämpfen und allen anderen bekannten Erscheinungen der Schädigung der basalen Ganglien haben irgendwelche Störungen der Zusammenarbeit beider Gehirnhälften nicht erkennen lassen. Hier möchte ich auch erwähnen, daß gleichzeitige Aufnahmen bei einem 33jährigen Kranken mit ausgesprochenem Defektzustand, der seit 2 Jahren an *Dementia praecox* litt, ebenfalls eine Störung der Zusammenarbeit beider Gehirnhälften nicht ergab. Da in den obenerwähnten Fällen von Hirntumoren nicht entschieden werden kann, welche Ausfälle als Herderscheinungen, welche als Fernwirkungen aufzufassen sind, so muß demnach auch die Frage, von welchem Ort aus die Zusammenarbeit der beiden Hirnhälften geregelt werde, immer noch offengelassen werden. Sicher ist aber, daß auch durch örtliche Vorgänge in der Großhirnrinde selbst die Zusammenarbeit beider Seiten geschädigt werden kann, wie ich dies schon in Abb. 28 meiner 3. Mitteilung gezeigt habe. Die dort wiedergegebene Ableitung von der Trepanationsstelle zeigt andere Hauptwellen in Form und zeitlichem Verlauf wie die gleichzeitige Ableitung von dem Schädel als Ganzes. Man fand in jenem Falle bei der Operation an Ort und Stelle eine Rindenschädigung. Ebenso habe ich bei einer 70jährigen Dame, die einen leichten, auf die linke Großhirnhälfte zu beziehenden Schlaganfall überstanden hatte, wenige Tage danach zwar noch eine zeitliche Übereinstimmung der von der rechten und linken Schädelseite abgeleiteten E.E.G's. gesehen, jedoch bestand ein deutlicher Unterschied der Hauptwellen der rechten und linken Seite in ihrer Form und namentlich in ihrer Höhe. Das gleiche habe ich bei Frauen gesehen, die an *Dementia paralytica* litten und bei denen trotz der Malariabehandlung sich eine schwere Verblödung eingestellt hatte. In anderen Fällen von *Dementia paralytica* fand sich ein genaues Zusammengehen der von beiden Großhirnhälften abgeleiteten E.E.G's., ebenso wie beim Gesunden, während andererseits die α -W. verlängert waren oder auf beiden Ableitungen eine gleichzeitige auffallende Ungleichmäßigkeit darboten, worauf ich nochmals in meiner 5. Mitteilung hingewiesen habe. Abb. 5 zeigt diese Verhältnisse bei einer 35jährigen Frau, die seit einem halben

Jahre an paralytischen Anfällen leidet und eine Malariabehandlung durchgemacht hat.

Man sieht die gleichzeitig von der rechten und linken Schädelseite

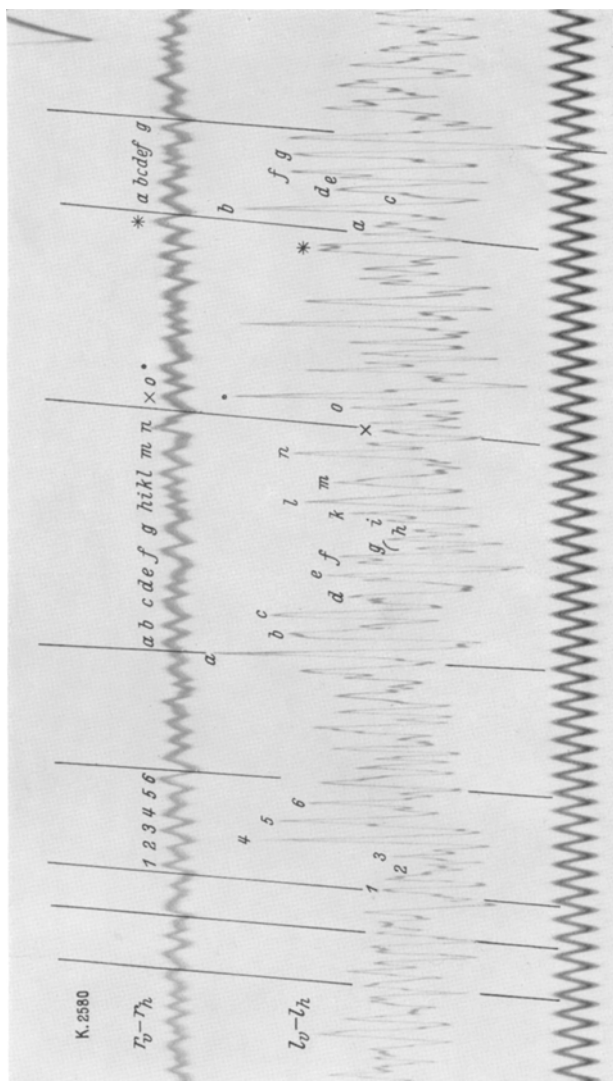


Abb. 5. M. R., 35 Jahre alt. An Dementia paralytica leidend. Oben E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spülgalvanometer, in der Mitte E.E.G. abgeleitet von der linken Schädelseite zum Ozillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Gleichzeitige Punkte beider E.E.G.'s. sind durch Tuschelinien verbunden.

abgeleiteten E.E.G.'s., bei denen wieder gleichzeitige Punkte durch Tuschelinien verknüpft sind. Zusammengehörige Hauptwellen in beiden E.E.G.'s. sind wieder durch gleichlautende Buchstaben, Zahlen oder Zeichen kenntlich gemacht. Die zeitliche Zusammenarbeit beider Hirn-

hälften ist erhalten, die Formen der Hauptwellen entsprechen sich annähernd, jedoch stimmen die Höhen der Ausschläge rechts und links oft nicht überein. So sind z. B. die Ausschlagshöhen der rechts von dem 3. Tuschestrich mit 1—6 bezeichneten α -W. der rechten Seite andere als die der linken. Das gleiche findet man wieder bei den α -W.: a, b und c rechts von dem 5. oder bei den mit einem Kreuz, Kreis und Punkt bezeichneten Hauptwellen rechts von dem 6. Tuschestrich. Daß auch die Form sich oft weitgehend unterscheidet, kann man namentlich an der mit einem Kreuz bezeichneten α -W. sehen, aber auch an der mit a bezeichneten Welle rechts von dem 7. Tuschestrich. Diese Befunde lassen sich, wie gesagt, auch bei anderen, an Paralyse leidenden Kranken erheben. Durch die paralytische Rindenerkrankung mit ihren Herden ist ähnlich wie in dem oben angeführten Fall eines arteriosklerotischen Rindenherdes die Zusammenarbeit der beiden Hirnhälften insofern gestört, als auf den gleichzeitigen Anstoß die beiden Hirnhälften zwar noch gleichzeitig, aber nicht mehr mit der gleichen Stärke antworten.

Bei einer anderen, ebenfalls an Paralyse leidenden Kranken fanden sich nun tiefergreifende Unterschiede bei gleichzeitiger Ableitung des E.E.G. von der rechten und linken Schädelseite. Es handelte sich um eine 45jährige Frau, die seit Jahren psychisch verändert war und bei der ein schwerer epileptiformer paralytischer Anfall mit zurückbleibender motorischer Aphasie und Lähmung des rechten Armes aufgetreten war, der zur Einlieferung in die Klinik führte. In der Klinik wiederholte sich der paralytische Anfall mit klonischen Zuckungen der rechten Seite. Am Tage danach wurden bei gleichzeitiger doppelseitiger Ableitung des E.E.G. von der rechten und linken Seite Kurven gewonnen, wie sie Abb. 6 wiedergibt.

Es ist von der rechten Stirn und dem rechten Hinterhaupt zum Spulengalvanometer und von der linken Stirn und dem linken Hinterhaupt zum Oszillographen abgeleitet. Gleichzeitige Punkte sind wieder durch Tuschestriche verbunden. Man sieht ohne weiteres, daß sich die beiden E.E.G.'s. weitgehend unterscheiden, was sich auch bei zahlreichen anderen Aufnahmen an dem gleichen Tage — auch bei Umwechslung der beiden Galvanometer — immer wieder zeigen ließ. Auf der rechten Seite fanden sich vorwiegend auffallend kurze, durchschnittlich 55—70 σ dauernde α -W., während sie auf der linken Seite eine Länge von 140—200 σ darboten. Ein zeitliches Zusammengehen der beiden Seiten ist nicht nachweisbar. Die Hauptwellen der rechten und linken Seite unterscheiden sich in ihrem zeitlichen Verlauf, in ihrer Form und in ihrer Höhe. Man muß demnach also auch hier annehmen, daß die örtliche Schädigung, die nach den klinischen Erscheinungen vorwiegend die linke Großhirnhälfte betroffen hat, die beim Gesunden bestehende Zusammenarbeit beider Großhirnhälften und damit den gleichmäßigen Verlauf der gerichteten Tätigkeitswelle der ganzen Rinde

gestört hat. Gerade dieser Krankheitsfall gab aber zu weiteren wichtigen Beobachtungen Anlaß. Es wurden bei der Kranken, die weiterhin motorisch-aphasisch blieb, bei erhaltenem Bewußtsein auftretende, in Pausen von Minuten, manchmal auch in kürzerer Zeit sich wiederholende, dann wieder längere Zeit aussetzende klonische Zuckungen des rechten Armes, der rechten Hand oder ihrer Finger beobachtet. Diese klonischen Zuckungen bestanden bei der Wiederholung der Aufnahme des E.E.G.

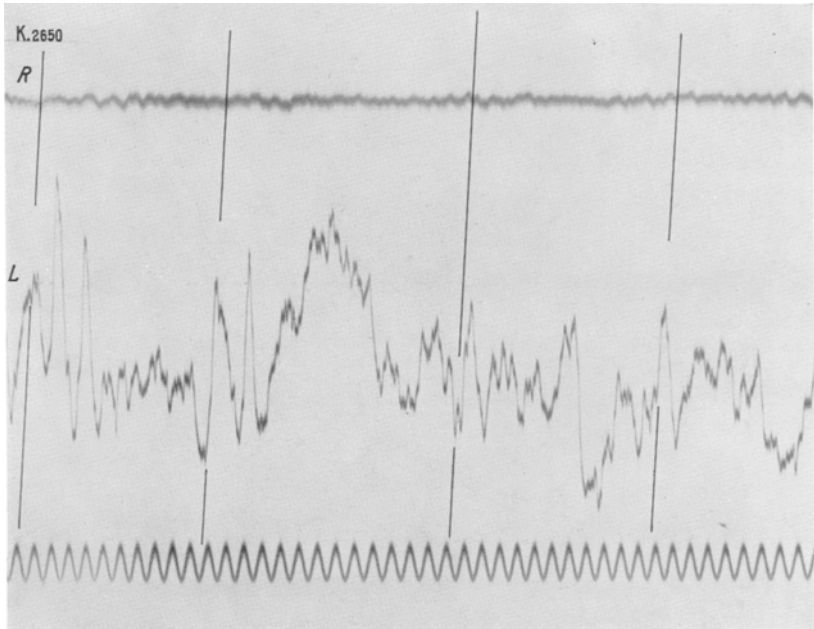


Abb. 6. Frau K. N., am Tage nach einem epileptiformen, mit rechtsseitigen Krampferscheinungen einhergehenden paralytischen Anfall. Oben (R) E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte (L) E.E.G. abgeleitet von der linken Schädelseite zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Gleichzeitige Punkte beider E.E.G.'s. sind durch Tuschelinien verbunden.

von beiden Schädelseiten, die 4 Tage später als die auf Abb. 6 wiedergegebene vorgenommen wurde. Abb. 7 zeigt eine solche Aufnahme. Man sieht sofort wieder die tiefgreifenden Unterschiede zwischen der Ableitung von der rechten und der linken Schädelseite, wobei namentlich in die Augen fällt, daß die Ableitung von der linken Seite die mit I—VI bezeichneten plötzlichen Spannungsabfälle darbietet, denen entsprechende Veränderungen an der Ableitung von der rechten Seite nicht gegenüberstehen. Eine wenige Minuten später in derselben Sitzung gemachte Aufnahme, wobei die Galvanometer vertauscht waren, indem von der linken Schädelseite zum Spulengalvanometer, von der rechten zum Oszillographen abgeleitet wurde, ergab ein Bild, wie es Abb. 8 zeigt.

Das Galvanometer, dessen Elektroden über der linken Stirn und dem linken Hinterhaupt liegen, verzeichnet überhaupt keine wesentlichen

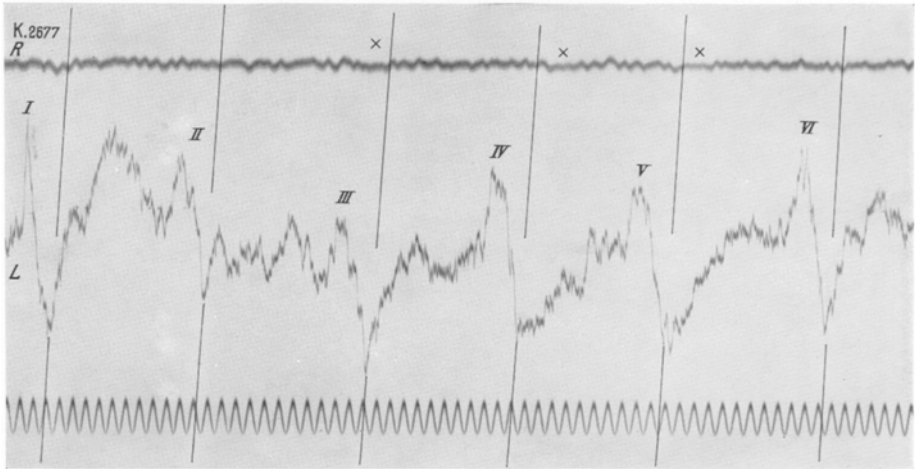


Abb. 7. Frau K. N., 4 Tage später wie Abb. 6 aufgenommen. Oben (R) E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte (L) E.E.G. abgeleitet von der linken Schädelseite zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Gleichzeitige Punkte beider E.E.G.'s. sind durch Tuschelinien verbunden.

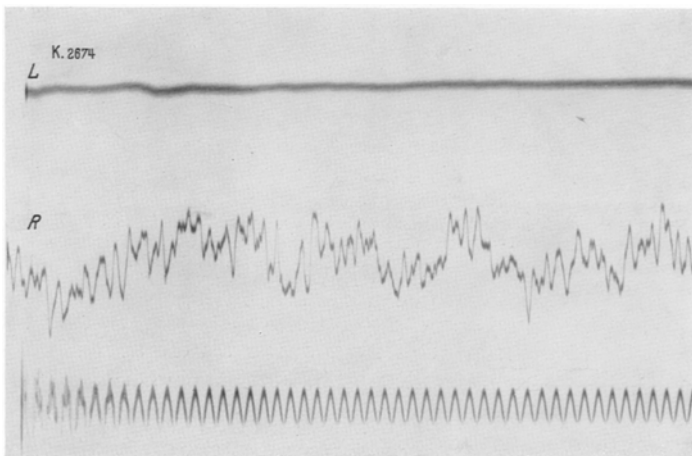


Abb. 8. Frau K. N., am gleichen Tage wie Abb. 7 aufgenommen. Oben (L) E.E.G. abgeleitet von der linken Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte (R) E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

Schwankungen; die E.E.G.-Kurve fehlt. Auf der rechten Seite finden sich α -W. von durchschnittlich 100 σ Länge. Es tauchte nun der Verdacht auf, daß die mit I—VI bezeichneten Anstiege und Abfälle der Spannung

in Abb. 7 mit den auch während der Aufnahme immer wieder beobachteten vereinzelt klonischen Zuckungen in den Fingern der rechten Hand etwas zu tun hätten. Daher wurde einerseits von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer abgeleitet und andererseits wurden die beiden Silbernadeln, die als Ableitungselektroden für den Oszillographen dienten, rechts und links in der Gegend des Schädels bis unter das Periost geschoben, die mit dem *Kocherschen* Cyrtometer als über der Gegend der Hand- und Armzentren in der vorderen Zentralwindung liegend

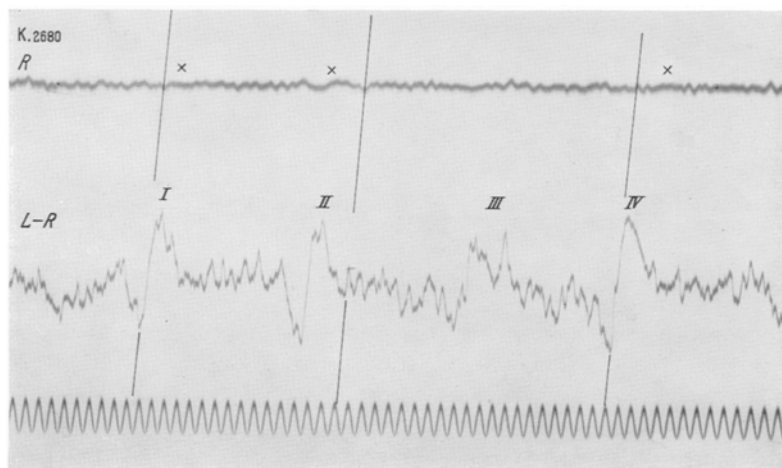


Abb. 9. Frau K. N., am gleichen Tage wie Abb. 7 und 8 aufgenommen. (Oben R) E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte (L—R) E.E.G. abgeleitet von der Gegend über der linken und rechten vorderen Zentralwindung zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Gleichzeitige Punkte beider E.E.G.'s. sind durch Tuschelinie verbunden.

bestimmt worden war. Die Aufnahme ergibt folgendes Bild, wie es Abb. 9 zeigt.

Die Ableitung von der Gegend der Hand- und Armzentren in der vorderen linken und rechten Zentralwindung zum Oszillographen bietet wieder die mit I—IV bezeichneten Spannungsanstiege und -abfälle dar, denen wieder entsprechende Veränderungen an der Ableitung von der rechten Seite nicht gegenüberstehen. Es war demnach höchstwahrscheinlich, daß diese Anstiege und Abfälle der Spannung eben doch mit den klonischen Zuckungen, die immer wieder in den Fingern der rechten Hand auftraten, in einem ursächlichen Zusammenhang standen und daß es sich vielleicht um periodische Entladungen der Rindenzentren handele, denen diese klonischen Zuckungen entsprächen? Das Fehlen des E.E.G. auf der linken Seite in Abb. 8 wäre somit als ein, an eine Reihe von Entladungen der linksseitigen motorischen Zentren sich anschließender Erschöpfungszustand aufzufassen. Mit Rücksicht auf den

Allgemeinzustand der Kranken mußten jedoch diese Untersuchungen nun zunächst abgebrochen werden. Nachdem sich dann inzwischen das Befinden der Kranken gebessert hatte, konnten 3 Tage später die Untersuchungen wieder aufgenommen werden. Die Frau hatte sich gut erholt, freute sich über die Besuche der Angehörigen, die Parese des rechten Armes war deutlich zurückgegangen, sie konnte jedoch noch nicht sprechen. Es traten immer noch von Zeit zu Zeit klonische Zuckungen im rechten Arm, in der rechten Hand und vor allen Dingen in den rechten Fingern auf. Diese Zuckungen waren zu manchen Tagesstunden sehr lebhaft. Es wurde nun von der rechten Stirn und Hinterhauptseite zu dem Spulengalvanometer und links von 2 Punkten, von denen der eine 2 cm vor, der andere 2 cm hinter der Mitte der vorderen Zentralwindung, ferner der Höhe nach wieder in der Mitte zwischen der oberen und mittleren Frontalfurche lag, zum Oszillographen abgeleitet. Die klonischen Zuckungen wurden während der Aufnahme genau beobachtet und ihr Zeitpunkt jeweils durch mich mit Hilfe einer Luftübertragung, da elektrische Signale, wie ich in früheren Mitteilungen ausgeführt habe, wegen ihrer störenden Einwirkung auf den Oszillographen ausgeschlossen sind, auf dem photographischen Papier des Galvanometers festgelegt. Es wurden zahlreiche derartige Aufnahmen gemacht, da während dieser Sitzung sehr viele klonische Zuckungen auftraten. Abb. 10 gibt eine derartige Aufnahme wieder.

Oben ist verzeichnet das E.E.G., abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer. Es wurde der Sicherheit halber aufgenommen, um zu zeigen, daß nicht etwa gröbere Bewegungen oder andere Versuchsfehler unterlaufen seien und die Oszillographenkurve, auf die es vor allem ankam, entstellt hätten. Die mittlere Kurve gibt die Ableitung von der Gegend der linken motorischen Region wieder. Es stellten sich Schwankungen ein, die immer mehr an Größe zunahmen und nicht mehr in ihrem ganzen Ausmaß auf dem photographischen Papier aufgenommen werden konnten. Der nach oben gerichtete Pfeil gibt den Zeitpunkt an, wo von mir eine klonische Zuckung im rechten Arm beobachtet und auf dem photographischen Papier vermerkt wurde. Man sieht, daß ganz erhebliche Schwankungen dieser klonischen Zuckung vorausgehen. Die zeitlichen Verhältnisse sind natürlich nicht weiter auszuwerten, da durch die Beobachtung, die Übertragung auf die das Zeichen gebende Hand usw. wesentliche Zeitfehler sich einschleichen. Ähnliche Beobachtungen wie die hier wiedergegebenen wurden in dieser Sitzung, wie schon oben bemerkt, immer wieder gemacht. Herr *Hilpert*, der mir wie immer auch bei diesen Aufnahmen half und mit einem anderen Arzt in dem von dem Zimmer, wo sich die Kranke befand, getrennten Aufnahmeraum an dem dort aufgestellten Galvanometer tätig war, konnte auch die von mir gegebenen Lichtsignale, die jeweils eine klonische Zuckung anzeigten, beobachten. Er war, wie er mir später

versicherte, stets imstande, aus der Veränderung der Oszillographenkurve, dem Auftreten größerer Schwankungen, dem Kollegen vorauszusagen, daß nun bald ein Lichtsignal von mir als Zeichen einer beobachteten

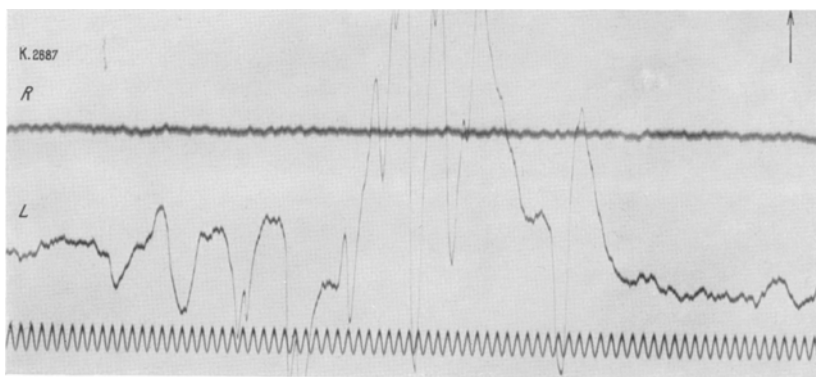


Abb. 10. Frau K. N., 3 Tage später wie Abb. 7, 8 und 9. Oben (R) E.E.G. abgeleitet von der rechten Schädelseite zum Spulengalvanometer, in der Mitte (L) Oszillographenkurve abgeleitet vom Schädel über der Gegend der Mitte der linken Zentralwindungen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Der Pfeil gibt den Zeitpunkt einer beobachteten klonischen Zuckung des rechten Arms an.

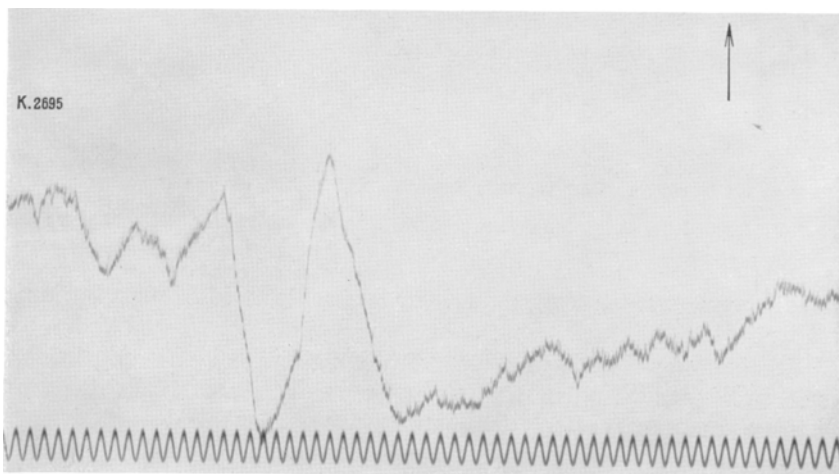


Abb. 11. Frau K. N., am gleichen Tage wie Abb. 10. Die Kurve gibt die von dem Schädel über der Gegend der Mitte der linken Zentralwindungen abgeleiteten Schwankungen des Oszillographen wieder. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. Der Pfeil gibt den Zeitpunkt einer beobachteten klonischen Zuckung (Beugung) der Finger der rechten Hand an.

klonischen Zuckung eintreffen werde. Eine ähnliche Beobachtung aus der gleichen Sitzung gibt Abb. 11 wieder, auf der nur die Oszillographenkurve, die von der Gegend der linken motorischen Region abgeleitet wurde, verzeichnet ist.

Es handelte sich um eine plötzliche Beugebewegung der Finger der rechten Hand, die zum Handschluß führte. Der Pfeil gibt wieder den Zeitpunkt dieser beobachteten und von mir durch Luftübertragung festgelegten klonischen Zuckung an. Man sieht hier, wie der größeren Schwankung leichtere Bewegungen des Oszillographen vorangehen; es kommt dann zu einem jähen Abfall der Spannung, dem jedoch ein neuer Anstieg und ein erneuter Abfall, der etwas langsamer vor sich geht, nachfolgen. Dann verläuft die Spannungskurve verhältnismäßig gleichmäßig. Auch hier erscheint wieder die Zeit zwischen dem Auftreten

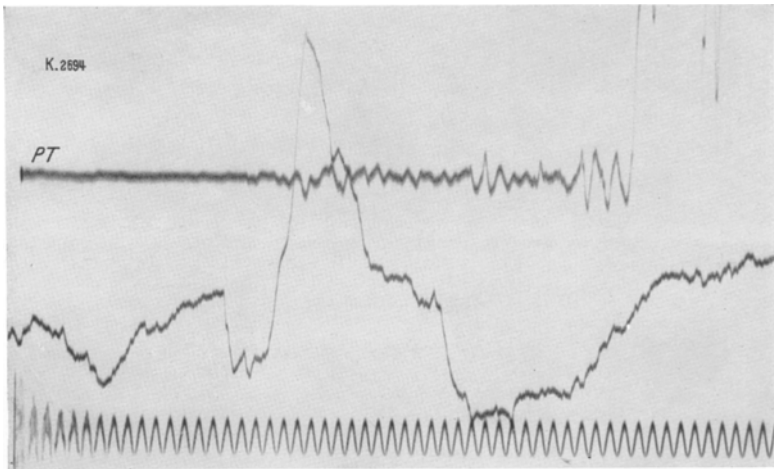


Abb. 12. Frau K. N., am gleichen Tage wie Abb. 10 und 11. Die obere Linie (P.T.) stellt die vom Spulengalvanometer verzeichneten, mit dem *Edelmanschen* Pulstelephon aufgenommenen Bewegungen der rechten Hand dar. Die mittlere Linie gibt die vom Schädel über der Gegend der Mitte der linken Zentralwindungen abgeleiteten Schwankungen des Oszillographen wieder. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

der Spannungsschwankungen und der beobachteten klonischen Zuckung als eine verhältnismäßig lange.

Ich habe dann noch in derselben Sitzung einige Versuche gemacht, um den Zeitpunkt der klonischen Zuckung von der Kranken selbst dadurch festlegen zu lassen, daß ich das Spulengalvanometer mit dem *Edelmanschen* Pulstelephon verband, das feinste Bewegungen sofort verzeichnet. Ich legte das Pulstelephon der Kranken in die halb geschlossene rechte Hand, und klonische Zuckungen, die zur Zeit namentlich zu Beugebewegungen der Finger führten, verzeichneten sich dann selbst auf dem photographischen Papier. Abb. 12 ist so entstanden.

P.T. gibt die Linie des Pulstelephons, das in der rechten Hohlhand liegt, wieder. Es verzeichnet anfänglich eine gerade Linie; dann kommen leichte Zitterbewegungen der Hand und endlich eine klonische Zuckung, die an dem plötzlichen großen Ausschlag kenntlich ist. Die daruntergeschriebene

Oszillographenkurve, abgeleitet von der linken motorischen Region, zeigt erst einen leichten Abfall der Spannung, dann einen erheblichen Anstieg, dem ein steiler, in 2 bzw. 3 Unterbrechungen erfolgender Abfall sich anschließt. Auch hier geht die Spannungsschwankung der klonischen Zuckung erheblich *voraus*. Die zeitlichen Verhältnisse stimmen mit den in den vorangehenden Kurven durch die Handmarkierung gegebenen Zeiten, wenn man die Fehlerquellen der letzteren berücksichtigt, gut überein. Zu Zeitmessungen sind aber (das möchte ich ausdrücklich hervorheben) diese Feststellungen deshalb *nicht* zu gebrauchen, da es sich um eine schwer geschädigte Kranke handelt, bei der wohl alle Vorgänge innerhalb des Großhirns, zum mindesten innerhalb der vor allem geschädigten linken Großhirnhälfte, krankhaft verändert und wohl auch verlangsamt sind. Diese Beobachtungen bestätigen aber die gelegentlich der Besprechung der zweiten Aufnahme bei dieser Kranken oben ausgesprochene Vermutung, daß die plötzlichen Anstiege und Abfälle der elektrischen Kurve mit örtlichen Entladungen innerhalb der motorischen Region und mit den beobachteten klonischen Zuckungen in Zusammenhang ständen. Ich hatte schon seit Jahren auf eine derartige Beobachtung gewartet, bei der solche klonischen Zuckungen auf den Arm oder das Bein beschränkt wären und nicht durch Beteiligung des Gesichts oder anderer Muskeln zu fehlerhaften Registrierungen Anlaß geben könnten. Epileptiker sind zu solchen Beobachtungen ungeeignet. Man beobachtet eigentlich nur und, wie ich nach meinen Erfahrungen hervorheben möchte, jetzt erheblich seltener wie in früheren Jahren nach epileptiformen paralytischen Anfällen diese oft tagelang anhaltenden leichten klonischen Zuckungen, die ohne große, die Aufnahme etwa störende Bewegungen verlaufen. Eine früher gemachte ähnliche Beobachtung, bei der während der Aufnahme klonische Zuckungen des rechten Beins auftraten, war deswegen nicht einwandfrei, da bei den starken klonischen Zuckungen des Oberschenkels der ganze Körper Verschiebungen erfuhr, die sich auch dem Kopfe mitteilten, so daß Fehlerquellen nicht auszuschließen waren. Die Kranke, von der die oben wiedergegebenen Kurven herrühren, starb 18 Tage nach der letzten Kurvenaufnahme, nachdem sich ihr Zustand zunehmend weiter gebessert hatte, an den Folgen einer Bronchopneumonie, die sie sich durch Verschlucken zugezogen hatte. Die Leichenöffnung bestätigte den Befund einer Paralyse. Es fand sich eine starke chronische Leptomeningitis, die nach dem Stirnhirn zu zunahm, mit einem starken Hydrocephalus externus über den vorderen Großhirnabschnitten, der auf der linken Seite ausgesprochener war als auf der rechten. In der Gegend des Fußes von F 3 und hinter der hinteren Zentralwindung in der gleichen Höhe fanden sich auf der linken Seite 2 große, mit Flüssigkeit gefüllte Blasen auf der eingesunkenen Großhirnoberfläche. Die Windungen in der Brocagegend waren ebenso wie die benachbarten Windungszüge kammartig

vershmälert. Auf der rechten Seite waren die Veränderungen sehr viel weniger ausgesprochen. Es bestand ein mäßiger Hydrocephalus internus. Die mikroskopische Untersuchung bestätigte, daß schwere paralytische Veränderungen der Rinde vorlagen, die im linken Stirnhirn ausgesprochener waren als im rechten, links fanden sich außerdem umschriebene herdförmige Lichtungen am Markscheidenpräparat.

Es handelt sich bei den großen Spannungsschwankungen, die in den Abb. 10, 11 und 12 zum Ausdruck kommen, also um örtliche Entladungen, die mit den nachfolgenden klonischen Zuckungen, deren Ursprungsort wir nach unseren derzeitigen anatomischen und physiologischen Kenntnissen eben in die Gegend verlegen müssen, von der abgeleitet wurde, in einem ursächlichen Zusammenhang stehen. Die örtlich auftretenden Spannungsschwankungen sind so groß, daß sie auch bei der Vorn-Hinten-Ableitung in Abb. 7 sich erkennen lassen und natürlich bei einer Ableitung wie in Abb. 9, bei der eine Nadelelektrode unmittelbar über der beteiligten Gegend liegt, sich auch zeigen. Bei der Vorn-Hinten-Ableitung sind selbstverständlich zwischen die beiden Ableitungsstellen große Rindengebiete mit unzähligen Ganglienzellen dazwischengeschaltet, zu denen aber auch die des motorischen Gebiets gehören. Diese letzteren befinden sich in einem krankhaft veränderten Zustand und bieten wiederkehrende Entladungen dar, die auch in dem E.E.G. zum Ausdruck kommen. Am deutlichsten sind natürlich die Spannungsschwankungen bei einer Ableitung von ihrem Ursprungsgebiet selbst ohne Zwischenschaltung anderer Nervenzellen, wie dies eben Abb. 10, 11 und 12 erkennen lassen. Der Krankheitsvorgang, der dem mit seinen Nachwirkungen sich auf viele Tage erstreckenden paralytischen Anfall zugrunde liegt, hat, wie Abb. 6 zeigt, auch die gegenüberliegende Gehirnhälfte insofern in Mitleidenschaft gezogen, als hier zunächst eine erhebliche Verkürzung der α -W. nachweisbar ist. Die Vorgänge der wiederholten Entladungen bedingen, wenn sie rasch aufeinanderfolgen, einen Zustand der Erschöpfung, so daß es zu einem vorübergehenden völligen Ausfall der α -W. des E.E.G. dieser Seite kommt, wie Abb. 8 zeigt, worauf schon oben hingewiesen wurde. Bei genauerem Zusehen sieht man aber auch in Abb. 7, ebenso in Abb. 9, daß den mit römischen Zahlen bezeichneten Anstiegen und Abfällen der Spannung der Oszillographenkurven oft eine vorübergehende, mit einem Kreuz von mir kenntlich gemachte, Veränderung der Spulengalvanometerkurven der rechten Seite entspricht. Es kommt zu einem vorübergehenden Schwund der an sich schon sehr niedrigen und kurzen α -W. Die jeweilige Entladung auf der linken Seite wirkt anscheinend auch hemmend auf die übrige Rinde ein. Allerdings ist diese Veränderung nicht immer sehr ausgesprochen; übrigens ist sie aber auch in Abb. 10 erkennbar. Den klonischen Zuckungen in der Hand und im Arm gehen jeweils ganz erhebliche Spannungsschwankungen in der Gegend der zugehörigen

motorischen Rindenzentren der vorderen Zentralwindung, die ihrer anatomischen Lage nach sehr wohl an die unmittelbar unter der Dura liegende Rindenoberfläche heranreichen und insofern für unsere Ableitungen ungleich viel günstiger liegen als sämtliche Sinneszentren des Menschen, *voraus*.

Es lag natürlich der Gedanke sehr nahe, daß auch bei den epileptischen Anfällen ähnliche Vorgänge sich abspielen und daß es auch da im sog. klonischen Stadium des großen Anfalls zu großen Entladungen innerhalb der motorischen Region kommt, die sich an der Oszillographenkurve nachweisen lassen müßten. Eine derartige Feststellung erscheint aber bei jedem voll entwickelten epileptischen Anfall des Menschen von vornherein aussichtslos. Die mit dem Anfall verknüpften Bewegungen, die im Anfall auftretenden zahlreichen Muskelströme, die Verschiebungen der Elektroden usw. machen eine einwandfreie Aufnahme unmöglich, zumal bei der gewaltigen Empfindlichkeit des Oszillographen gegen alle Störungen. Ich hatte in meiner 5. Mitteilung darauf hingewiesen, daß bei den kurzen Bewußtseinsverlusten, wie sie bei manchen Formen der Epilepsie als Absenzen vorkommen, sich ein vorübergehendes Aussetzen der α -W. an dem von Stirn und Hinterhaupt abgeleiteten E.E.G. nachweisen läßt. Meine weitere, früher mündlich gemachte Angabe, daß gleichzeitig die Nebenwellen an Höhe zunehmen, mußte ich dahin verbessern, daß es sich dabei nicht um Nebenwellen, sondern um Muskelströme handelte. Dieselben rühren vom *Musculus temporalis* her und entsprechen einem leichten Trismus, der bei den untersuchten Kranken jeweils während der kurzen Absenzen auftrat und mir zunächst entgangen war. Ich habe ferner in meiner 4. Mitteilung durch Abbildungen belegt, daß in der Bewußtlosigkeit, die den großen epileptischen Anfall überdauert, die α -W. des E.E.G. fehlen und sich erst ganz allmählich, mit dem wiedererwachenden Bewußtsein Schritt haltend, einstellen. Ich hatte gehofft, durch Untersuchungen von Kranken mit Rindenkrämpfen, die gar nicht selten zur Beobachtung gelangen, der Frage der Vorgänge in den motorischen Rindenzentren während des Auftretens klonischer Zuckungen näherzukommen. Jedoch sind alle diesbezüglichen Versuche immer wieder gescheitert. Es durften natürlich nur solche Leute ausgewählt werden, bei denen Facialiszuckungen oder eine Beteiligung der Augenmuskeln an den Krämpfen ausgeschlossen waren, da bei diesen Krämpfen Muskelströme zu den aufnehmenden Elektroden gelangen und so die Kurvenbilder entstellen konnten. Es blieben also nur auf Arm oder Bein beschränkte Rindenkrämpfe übrig, die nicht gerade sehr häufig sind und zweitens mir nie den Gefallen taten, nach Einführung der Nadeln während der Sitzung einen Anfall mit den gewünschten klonischen Zuckungen zu bekommen, auch wenn hyperventiliert wurde. Sie bekamen auch gelegentlich einen Anfall, an dem sich aber gerade bei dieser Aufnahme die Gesichtsmuskulatur beteiligte, so daß die erhaltenen

Kurven nicht einwandfrei waren. Ich hatte, wie oben erwähnt, schon seit Jahren nach einem solchen Kranken mit vereinzelt klonischen Zuckungen, die einen paralytischen Anfall tagelang überdauern, gefahndet, wie er sich mir nun endlich darbot.

Im Hinblick auf die Beobachtung, und gestützt auf die schönen Untersuchungen von *Fischer*¹ über die elektrobiologische Auswirkung von Krampfgiften im Tierversuch glaube ich nunmehr auch eine Beobachtung richtig deuten zu können, die ich schon 1930 gemacht, jedoch,

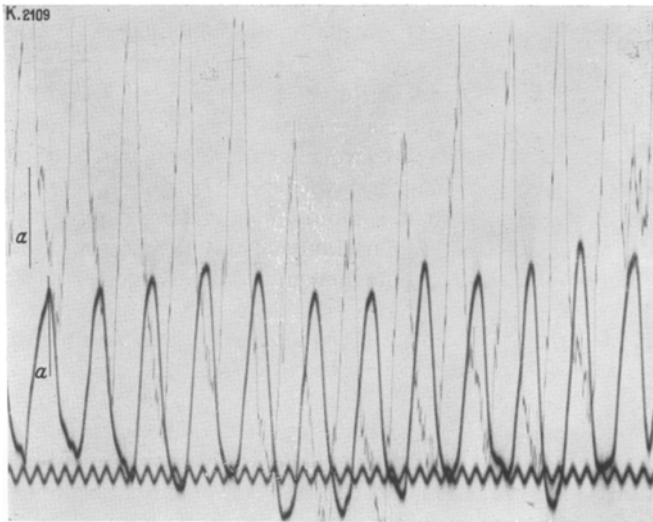


Abb. 13. G. G., 18 Jahre alt, an genuiner Epilepsie leidend. Ableitung von der rechten Stirn- und der linken Hinterhauptsseite zu den miteinander verbundenen Oszillographen und Spulengalvanometer. Oben die Oszillographen-, darunter die Spulengalvanometerkurve. Zu unterst die Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek. a und a geben gleichzeitige Punkte der beiden Kurven an.

da ich immer wieder vielleicht mir entgangene Fehlerquellen vermutete, bisher nicht bekanntgegeben habe. Bei einem 18jährigen Mädchen, das seit dem 13. Lebensjahr an vereinzelt großen epileptischen Anfällen mit Zungenbiß und Einnässen litt, außerdem aber auch zahllose kleine Anfälle und Absenzen hatte, habe ich gelegentlich eine längere Kurve aufgenommen, von der Abb. 13 einen kleinen Ausschnitt wiedergibt.

Die Nadelelektroden lagen über Stirn und Hinterhaupt, die beiden Galvanometer, Spulengalvanometer und Oszillograph, waren miteinander verbunden. Bei der Aufnahme lag das Mädchen mit geschlossenen Augen da, genau wie bei vorangehenden Aufnahmen. Die Atmung hatte sich plötzlich etwas verändert, und der mit mir gemeinsam die Kranke beob-

¹ *Fischer, M. H.*: Elektrobiologische Auswirkung von Krampfgiften am Zentralnervensystem. Med. Klin. 1933, Nr 1.

achtende Abteilungsarzt teilte mir mit, daß sie plötzlich mit der linken Hand auf ihrem Oberschenkel trommle, ohne daß irgendwelche anderen Bewegungen festzustellen waren. Am Ende dieser Aufnahme gab die Kranke von selbst an, sie habe soeben einen leichten Anfall gehabt. Die Galvanometerkurven zeigten plötzlich einsetzende, steil ansteigende und steil abfallende Spannungsschwankungen, die 0,34 Sek. bis 0,36 Sek. dauerten, sich regelmäßig wiederholten und nach 26 Sek. ebenso plötzlich schwanden. Ich dachte damals, daß mir und dem mitbeobachtenden Abteilungsarzt doch vielleicht Kopfbewegungen oder klonische Zuckungen im Gesicht, durch die die Nadelelektroden rhythmisch verschoben worden seien, entgangen wären, und ließ daher diese Beobachtung zunächst auf sich beruhen. Nach dem, was ich aus den oben bekanntgegebenen eigenen Beobachtungen erfahren, und nach dem, was ich aus den Untersuchungen von *Fischer*, wobei ich namentlich auf seine Abb. 5 verweise, gelernt habe, stehen diese wiederkehrenden Spannungsschwankungen in Abb. 13 doch mit den klonischen Zuckungen, die hier in den Beugebewegungen der Finger der linken Hand zutage traten, in einem ursächlichen Zusammenhang und gehen ihnen wohl voraus.

Es können demnach auch lebhaft örtliche Vorgänge, wie sie sich hier in der motorischen Region abspielten, in einem von Stirn und Hinterhaupt abgeleiteten E.E.G. nachgewiesen werden, besonders dann, wenn durch diesen Vorgang selbst alle anderen gleichzeitigen Rindenvorgänge gehemmt und somit ausgeschaltet werden. Die Vorgänge, die sich in den einer unmittelbaren Ableitung beim Menschen unzugänglichen Sinneszentren der Rinde unter der Einwirkung eines Sinnesreizes jedoch abspielen, sind verhältnismäßig zu geringfügig und zu streng an den Ort gebunden, um sich auch an in der Nähe gelegenen Ableitungsstellen noch in der Form der Zunahme der Spannung kenntlich zu machen¹. Man findet da ebenso wie bei einer geistigen Arbeit lediglich einen Spannungsabfall als Hemmungswirkung, der jedoch sehr deutlich ausgesprochen zu sein pflegt und auch an weit entfernten Ableitungsstellen sich leicht nachweisen läßt. Dieser allgemeine Spannungsabfall ist nach meiner Ansicht mindestens ebenso wichtig, für die psychische Seite dieser Vorgänge vielleicht noch wichtiger als der örtliche Anstieg.

Wenn man viele E.E.G.'s. von Epileptikern durchsieht, so findet man gar nicht selten bei diesen Aufnahmen Kurvenstücke, wie sie Abb. 14 zeigt. Sie rührt von einem 23jährigen Epileptiker her, der seit seinem 12. Lebensjahre viele Anfälle und Dämmerzustände hat und bei dem eine beginnende epileptische Demenz vorliegt.

¹ Vergleiche die schönen Ergebnisse der Tierversuche von *Kornmüller*: J. für Psychol. **44**, 447 (1932); **45**, 172 (1933) und *Fischer*: Pflügers Arch. **230**, 161 (1932), die das Auftreten der den Sinnesreizen nachfolgenden Aktionsströme in den zugehörigen Sinneszentren der Rinde bestätigt und ihre strenge Bindung an ein bestimmtes, baulich gekennzeichnetes Rindenfeld ergeben haben.

Man sieht, wie gerade in der Mitte des wiedergegebenen Kurvenstückes plötzlich ein jäher Abfall der Spannung mit nachfolgendem Anstieg sich einstellt, der lebhaft an die Entladungen in den oben

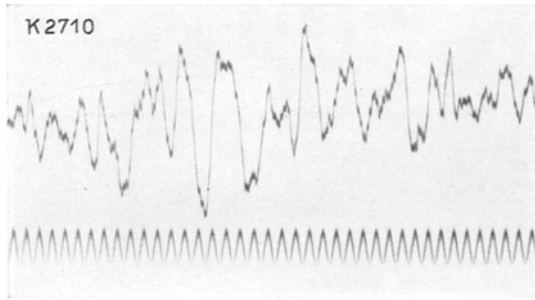


Abb. 14. W. G., 23 Jahre alt, an genuiner Epilepsie leidend. Ableitung von der rechten Stirn- und der linken Hinterhauptsseite mit Nadelelektroden zum Oszillographen. Unten Zeit in $\frac{1}{10}$ Sek.

wiedergegebenen Kurven erinnert (z. B. Abb. 11). Es liegt nun der Gedanke sehr nahe, daß von den sich häufig wiederholenden Entladungen eine Neigung, hohe Spannungen mit jähem Abfall zu bilden, zurückbleibt. Diese starken Spannungsschwankungen sind also vielleicht eine kennzeichnende Eigentümlichkeit des E.E.G. der zu vielen Anfällen neigenden Epileptiker. Jedenfalls findet man solche E.E.G.'s. bei den verschiedensten Ableitungen bei solchen Epileptikern. Das E.E.G. bringt vielleicht die vorhandene Anfallsbereitschaft des Großhirns so bildlich zum Ausdruck.
