

(Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Hirnforschung, Berlin-Buch
[Direktor: Prof. H. Spatz].)

Eine Methodik der Ableitung lokalisierter Potentialschwankungen aus subcorticalen Hirngebieten.

Von

Richard Jung, Freiburg i. Br. und **A. E. Kornmüller**, Berlin-Buch.

Mit 14 Textabbildungen.

(Eingegangen am 16. Juli 1938.)

<i>Inhalt.</i>	Seite
I. Einleitung	1
II. Die Anpassung der <i>Heß</i> schen Methodik für elektrobiologische Untersuchungen	2
III. Die Operation und die Wirkung der hierfür verwandten Narkotica	4
IV. Die verschiedenen Ableitungsarten: Die „unipolare“, „bipolare“ und mehrfache Ableitung und ihre Bedeutung für das Studium der intragrisealen Erregungsvorgänge.	9
V. Die Ableitung unter physiologischen Bedingungen und ihre lokalisatorisch verschiedenen Ergebnisse	15
a) Die ständig vorhandenen Potentialschwankungen (Eigenströme)	15
b) Die Wirkung von sensiblen und sensorischen Reizen	19
VI. Die Ableitung von abnormen Erscheinungen. Fokale Strychninisation	23
VII. Die Fehlerquellen der Methodik	26
VIII. Schluß	28

I. Einleitung.

Während in den letzten Jahren die elektrobiologischen Erscheinungen der *Hirnrinde* in einer großen Reihe von Arbeiten studiert worden sind¹, hat die Ableitung von Potentialschwankungen aus den *subcorticalen Gebieten* bisher kaum Beachtung gefunden. In der Literatur gibt es nur vereinzelte Mitteilungen über subcorticale Potentialschwankungen bei narkotisierten Tieren: So haben *Bishop* (1935), *Kornmüller* (1935) und *Spiegel* (1937) Ableitungen von den Thalamuskernen erwähnt, und besonders haben *Gerard*, *Marshall* und *Saul* (1936) mit eingestochenen konzentrischen Elektroden verschiedene subcorticale Gebiete des Hirnstammes abgetastet, allerdings ohne diese Ergebnisse anatomisch zu kontrollieren. Eine systematische Bearbeitung der lokalisierten Potentialschwankungen subcorticaler Gebiete mit besonders hierfür ausgearbeiteter Technik und genauer anatomischer Kontrolle ist bisher noch nicht erfolgt.

¹ Zusammenfassende Darstellung von *Kornmüller* (1937).

Eine solche Bearbeitung haben wir in einer größeren Versuchsreihe im Jahre 1937 unternommen. Nachdem einige Ergebnisse über die Potentialschwankungen im Striatum von uns an anderer Stelle kurz mitgeteilt worden sind, ist es Aufgabe dieser Arbeit, eine für die subcorticalen Ableitung geeignete Methodik zu beschreiben, über die Fehlerquellen und die notwendigen Kontrollversuche zu berichten und besonders beachtenswerte Einzelheiten bei der Ableitung mit verschiedenen Elektrodenlagen darzustellen. Da die Resultate derartiger Untersuchungen in entscheidender Weise von der angewandten Technik abhängen, soll im folgenden vor allem über die *Methodik* ausführlich berichtet werden. Dabei wird auf die wichtigsten *Ergebnisse*, die später im einzelnen veröffentlicht werden sollen, kurz an Hand von Abbildungen eingegangen.

Die Erfahrungen mit lokalisierten subcorticalen Ableitungen, auf Grund deren die vorliegende methodische Darstellung gegeben wird, stützen sich auf ein Versuchsmaterial von 50 Kaninchen und Katzen sowie 2 Affen (*Cynomolgus*).

II. Die Anpassung der Heßschen Methodik für elektrobiologische Untersuchungen.

Eine Methodik, die physiologische elektrische Erscheinungen subcorticaler Kerne registrieren soll, muß einfach sein, sichere Lokalisationsergebnisse liefern und es gestatten, ohne wesentliche Schädigung der darüberliegenden Hirnteile die gewünschten subcorticalen Gebiete zu erreichen und schließlich bei weitgehender Schonung des Versuchstieres eine ungestörte Ableitung auch ohne Narkose erlauben. Eine Technik, die alle diese Bedingungen erfüllt, ist von *W. R. Heß* (1932) für die Reizung und Ausschaltung subcorticaler Gebiete ausgearbeitet worden und wurde von uns mit einigen geringen Änderungen zur Ableitung von Potentialschwankungen übernommen.

Die *Horsley-Clarkesche* Apparatur, die besonders in angelsächsischen Ländern zur Erreichung subcorticaler Gebiete verwendet wird und auch von *Gerard* und Mitarbeitern für die Ableitung von Potentialschwankungen gebraucht wurde, ist wegen ihrer umständlichen Handhabung für diese Fragen wenig geeignet. Die Hauptnachteile dieser Methodik bestehen darin, daß sie die freie Beweglichkeit des Tieres wesentlich einschränkt, nur am tiefnarkotisierten Tiere zu arbeiten gestattet und schließlich auch darin, daß das dabei notwendige Eingehen mit größeren Nadelelektroden eine stärkere Schädigung des Gehirns mit sich bringt.

Die Methodik von *W. R. Heß* besteht darin, daß unter Orientierung an den Schädelnähten ein Sockel (Abb. 1a und b) auf den Schädel aufgeschraubt wird, mit dessen Hilfe die in einer Fassung befindlichen Elektroden von bestimmter Länge (Abb. 1c), die bis auf eine blanke Spitze mit Lack isoliert sind, nach Vorbohrung der Schädeldecke in die subcorticalen Gebiete eingeführt werden. Einzelheiten über die Lokalisation und die Koordinaten verschiedener Kerne bei der Katze sind in der *Heßschen* Monographie nachzulesen.

Die Abänderungen der *Heßschen* Originalmethodik beschränken sich auf einige Kleinigkeiten: Bessere Elektrodenführung zur Vermeidung eines größeren Stichkanals und Abänderung der Sockelformen. Einzelheiten findet man bei *Weisschedel* und *Jung*, wo auch genaue Angaben über die Elektrodenherstellung, die besonders sorgfältig zu geschehen hat, gemacht sind. Eine Kontrolle der Elektrodenisolierung ist für die

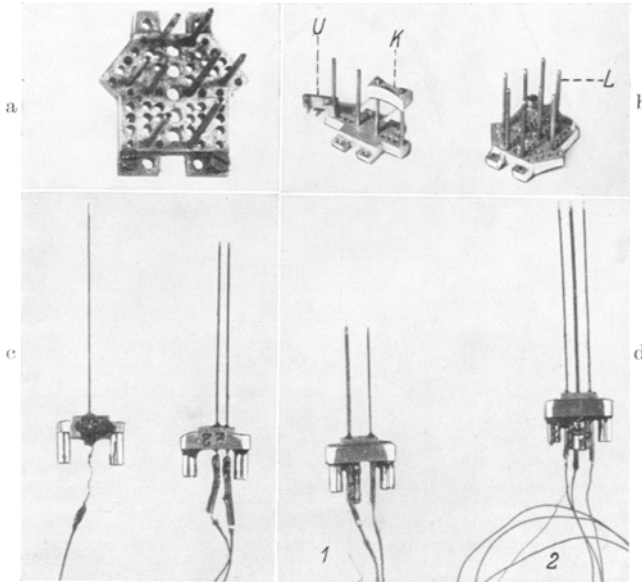


Abb. 1 a—d. a Kombiniertes Sockel für Doppel- und Dreifachelektroden zum Einführen in sagittaler und schräger Richtung mit auswechselbaren Leitstiften. Ansicht von oben. b Kombiniertes und queres Sockel, schräg von vorn gesehen, mit ausdrehbarer Unterlage (*U*) zur Auflage der Elektrodenfassung. Sperrklemme (*K*) zur vorübergehenden Fixierung der Elektrodenfassung durch Verklemmung der Leitstifte (*L*). c Einfache und Doppelnadelelektroden. d Kanülenelektroden, 1 Doppel­elektrode (3 mm Abstand), links Kanüle, rechts Nadel, beide bis auf 1 mm blanke Spitze isoliert, 2 Dreifache Elektrode, Kanüle zwischen zwei 3 mm entfernten Nadelelektroden. Vergleiche auch die schematische Zeichnung Abb. 13.

richtige Auswertung der Versuche außerordentlich wichtig, da undichte Elektroden große Fehlerquellen mit sich bringen (Näheres in Abschnitt VII). Es ist zweckmäßig, die *Lage der Elektroden der Form des anzugehenden subcorticalen Kernes anzupassen*, was durch entsprechende Sockelformen erreicht wird. So haben wir z. B. beim Kaninchen für das *Caudatum*, das wir als ersten subcorticalen Kern systematisch angegangen haben, eine gute Lokalisation durch Schrägstellung der Elektrodenkanäle auf dem Sockel erreicht (Abb. 2). Um nicht für jeden Kern besondere Sockel bauen zu müssen, empfiehlt es sich, kombinierte Sockel zu benutzen, die es gestatten, die verschiedensten Kerngebiete von wechselndem Abstand von der Mittellinie zu erreichen und die besonders für

die gleichzeitige mehrfache Ableitung aus verschiedenen Kerngebieten verwandt werden können. Abb. 1a zeigt einen solchen Sockel, Abb. 2 läßt die Elektrodenlokalisation in *Caudatum* und *Subiculum* eines Kaninchens erkennen. Abb. 6 zeigt eine 3fache gleichzeitige Registrierung aus beiden *Striata* und dem rechten *Thalamus* einer Katze, die mit Hilfe des gleichen Sockels gewonnen wurde.

Eine sehr wesentliche und für kritisches Arbeiten mit der Methode entscheidende Bedingung ist die sorgfältige *anatomische Kontrolle* der Lokalisation. Auch hierfür hat Heß eine sehr geeignete Technik angegeben, die es erlaubt, schon bald nach dem Versuch makroskopisch die genaue

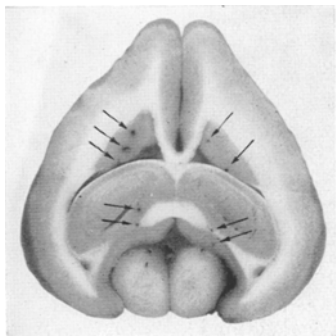


Abb. 2. Kaninchen D 16. *Makroskopische Elektrodenlokalisation durch die Berlinerblaureaktion* im Caudatum und Subiculum beiderseits. Horizontalschnitt durch das Gehirn. Die scheinbare Asymmetrie der caudalen Elektroden im Subiculum ist kein Lokalisationsfehler. Die linken Elektroden wurden 1,5 mm weiter oral gesetzt, so daß der caudale linke Stielkanal dem oralen rechten entspricht.

Lage der blanken Elektrodenspitze zu erkennen: Es wird am Schluß des Versuches einige Sekunden niedergespannter Gleichstrom (etwa aus einem 4-Volt-Akkumulator) mit anodischer Polung an den Elektroden durchgeleitet (gegen eine inaktive Kathode außerhalb des Schädels). Hierdurch scheiden sich an der Elektrodenspitze kleine Mengen Eisen ab, die dann mit bloßem Auge an dem in dünnen Scheiben horizontal geschnittenen Hirn nach Auftropfen von verdünnter Salzsäure und gelbem Blutlaugensalz durch die entstehende *Berlinerblaureaktion* die genaue Lage der blanken Spitze erkennen lassen. Die Lokalisation der Elektrodenspitzen wird nach Anstellung der Eisenreaktion photographisch fixiert (Abb. 2). Diese Methode, die schon 24 Stunden nach dem Versuch

eine Lokalisationskontrolle zuläßt, bedeutet eine wesentliche Arbeitserleichterung für derartige Versuche. Die makroskopisch gewonnene Lokalisation wird nach Einbettung des Materials noch an Serienschnitten mikroskopisch kontrolliert (Abb. 3). Auch hier ist im histologischen Schnitt oft noch die Berlinerblaureaktion erkennbar.

III. Die Operation und die Wirkung der hierfür verwandten Narkotica.

Die Operation zur Befestigung des Elektrodensockels am Knochen wird in *Lokalanästhesie* allein oder besser unter zusätzlicher *Stickoxydulnarkose* ausgeführt. Einzelheiten finden sich bei W. R. Heß und Weischedel und Jung. Wir benutzten einen *Narkoseapparat* der Firma Dräger, Lübeck (Heß, Abb. 6). Dieser hat gegenüber dem üblichen Modell einige Abänderungen erfahren, die sich für die Verwendung bei Kleintieren notwendig zeigten. Die Regulierung der N_2O - und

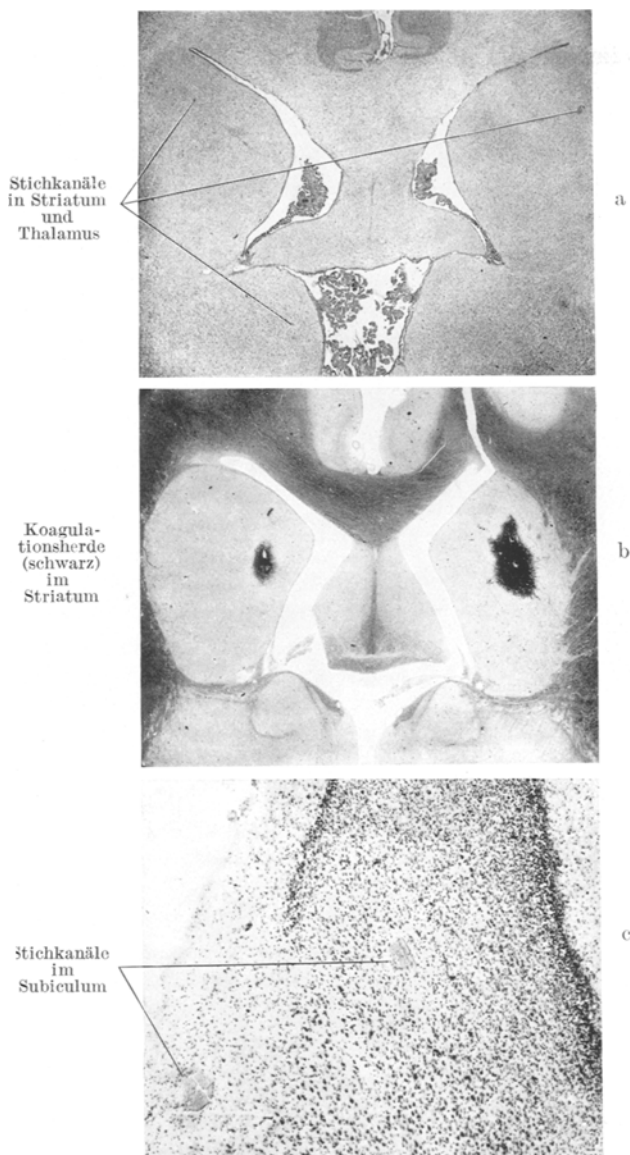


Abb. 3a—c. Katzen B 2 und B 8 und Kaninchen D 16. *Mikroskopische Elektrodenlokalisierung im Horizontalschnitt.* a B 8 Lokalisation der Stichkanäle im Serienschchnitt mit *Nissl*-Färbung nach dem akuten Versuch. An der Stelle der blanken Elektrodenspitze finden sich kaum erkennbar einige Blutkörperchen im Gewebe, Vergr. 5fach. Im übrigen keine Läsionen, keine Blutungen. b B 2 Lokalisation der durch die blanken Spitzen erzeugten *Koagulationsherde im Marchi-Präparat* nach Degeneration im kombinierten Ableitungs- und Ausschaltungsversuch. Operation 21. 5. 37 mit Ableitung von Potentialschwankungen aus dem Nucleus caudatus bds. und nachfolgender Elektrokoagulation. Tötung des Tieres am 4. 6. 37 und Bearbeitung nach *Marchi*. Vergr. 5fach. c D 16. Lage der blanken Spitze im Subiculum an der Grenze des groß- und kleinzelligen Gebiets bei stärkerer Vergrößerung (50mal). Man beachte die geringe Ausdehnung und das Fehlen von Blutungen (nur im Stichkanal einige Erythrocyten). Vgl. auch das makroskopische Bild dieses Falles auf Abb. 2.

O₂-Zufuhr ist in kleineren Mengen feiner abstufbar (2—4 Liter/Min.). Die *Narkosemasken* wurden in ihrer Form etwas verbessert, um ein dichteres Anliegen zu ermöglichen. Dies wurde dadurch erreicht, daß der freie Rand in seiner Form der Schnauze genauer angepaßt und durch einen Gummiwulst versteift wurde; ferner wurden die Masken mit einem Klappventil versehen (Abb. 4).

Beim *Kaninchen* läßt sich im allgemeinen durch Stickoxydul rascher eine brauchbare Narkose erzielen als bei der *Katze*. Auch bei einem Versuch am *Affen* war die Stickoxydulnarkose sehr befriedigend. Beim *Kaninchen* wurden in einer Minute im Durchschnitt 1,5 Liter Stickoxydul mit 10—15% Sauerstoff und bei der *Katze* 2 Liter Stickoxydul mit ebenfalls 10—15% Sauerstoff gegeben. Unsere Durchschnittswerte für die Sauerstoffprozentage liegen also etwas niedriger als die von *Heß* angegebenen.



Abb. 4. *Narkosemaske* zur Stickoxydulnarkose für Katzen und Kaninchen mit Anpassung an die Kopfform und Abdichtung durch Gummiwulst; oben das Klappventil.

In einer besonderen Kontrollversuchsreihe wurde die *Wirkung des Stickoxyduls* auf die Potentialschwankungen der Hirnrinde und der subcorticalen Kerne untersucht. Für diese Hirnteile ließ sich feststellen, daß bei einer brauchbaren Narkosewirkung das normale bioelektrische Bild zunächst nur wenig geändert wird, und daß es im Gegensatz zu anderen Narkotica (Äther, Chloroform, Bar-

bitursäurederivate) sehr bald nach Wegnahme des Stickoxyduls zu einer Wiederherstellung der normalen Abläufe kommt.

Schwere und länger dauernde Veränderungen der normalen Potentialschwankungen des Gehirns bei Stickoxydulnarkose fanden sich erst nach starker *Drosselung der Sauerstoffzufuhr* (unter 5%). Ferner ließen sich bei 10 Versuchstieren, bei denen nur die Narkoseeffekte auf die Hirnrinde untersucht wurden, recht charakteristische und weitgehend konstante *regionale Unterschiede* in der Wirkung tieferer Stickoxydulnarkose und Sauerstoffmangel feststellen. Bei längerer gleichzeitiger mehrfacher Ableitung ergaben sich fast regelmäßig zuerst in der motorischen Region (Area praecentralis) Änderungen der normalen Potentialschwankungen (Geringer- und Seltenerwerden der frequenten Gruppenentladungen), während sich die optische Region (Area striata) bedeutend resistenter zeigte. Ähnliches ist von *Simpson* und *Derbyshire* (1934) nach Carotidenabklemmung beobachtet und auf die Blutversorgung der Occipitalregion von der Arteria vertebralis zurückgeführt worden. Entsprechende Effekte bei allgemeiner Anoxämie können dadurch nicht erklärt werden, und man muß wohl eine *unterschiedliche Empfindlichkeit* verschiedener Regionen für die Anoxämie annehmen, wie dies *Kornmüller* (1937) für andere Schädlichkeiten festgestellt hat.

Ein Beispiel der Wirkung von *Stickoxydul* und *Anoxämie* auf das *Caudatum des Kaninchens* zeigt Abb. 5. Man erkennt das Erhaltenbleiben der typischen periodischen Entladungen des *Striatum* in der N₂O-Narkose (mit kleineren Amplituden und seltenerem Auftreten) und ihr Verschwinden erst nach Sauerstoffwegnahme.

Im Gegensatz zum Stickoxydul machen die sonst bei Tierversuchen üblichen Narkotica tiefgreifende und lang dauernde Veränderungen der corticalen und subcorticalen Potentialschwankungen, so daß das charakteristische normale Bild nicht mehr erkennbar wird.

Unter den Barbitursäurederivaten haben wir vor allem die Wirkung des *Pernoctons* untersucht, da wir in den ersten Versuchen subcorticaler

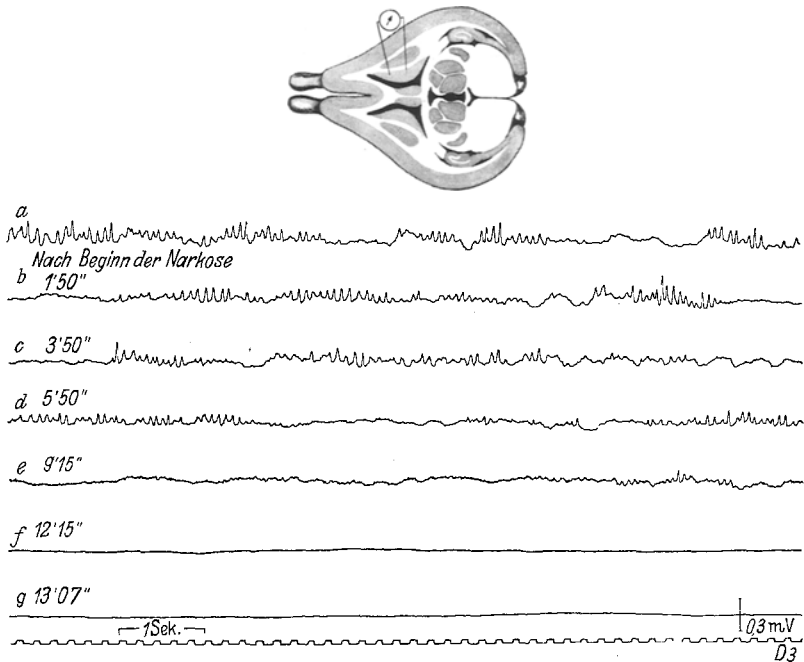


Abb. 5. Kaninchen D 3. *Stickoxydulnarkose und Anoxämie*. Bipolare Ableitung in 1,5 mm Abstand aus dem rechten Caudatum: *a* vor Stickoxydulnarkose, *b*—*d* nach Stickoxydulgabe: Erhaltenbleiben der typischen gruppenweisen Potentialschwankungen des Striatum, die nur kleiner und seltener werden. Bei *c* Tonus vermindert, bei *d* auf Schmerzreize (Kneifen) keine Reaktion mehr. *f* nach Drosselung der O_2 -Zufuhr Aufhören der Potentialschwankungen, Seltenerwerden der Atmung. *g* Fehlen aller elektrischen Tätigkeit 10 Sek. nach Eintritt des Atemstillstandes.

Ableitungen mit diesem Narkoticum arbeiteten, weil es sich bei Untersuchungen an der Hirnrinde als besonders geeignet herausgestellt hatte.

Es ergab sich, daß dieses Mittel im Striatum auffallend große Änderungen der elektrischen Abläufe mit verschiedenen Stadien hervorruft: Zunächst erfolgt meist eine Steigerung gleichmäßiger Abläufe mit vorwiegend trägen Schwankungen, statt der sonst vorhandenen charakteristischen periodischen Tätigkeit. Später zeigen sich dann ganz atypische, kleinere und unregelmäßige Schwankungen. Die Wirkung des *Pernoctons* auf die Potentialschwankungen von *Striatum* und *Thalamus* der Katze ist auf Abb. 6 in 3facher gleichzeitiger Ableitung vom linken und rechten Caudatum und vom medialen Thalamuskern dargestellt.

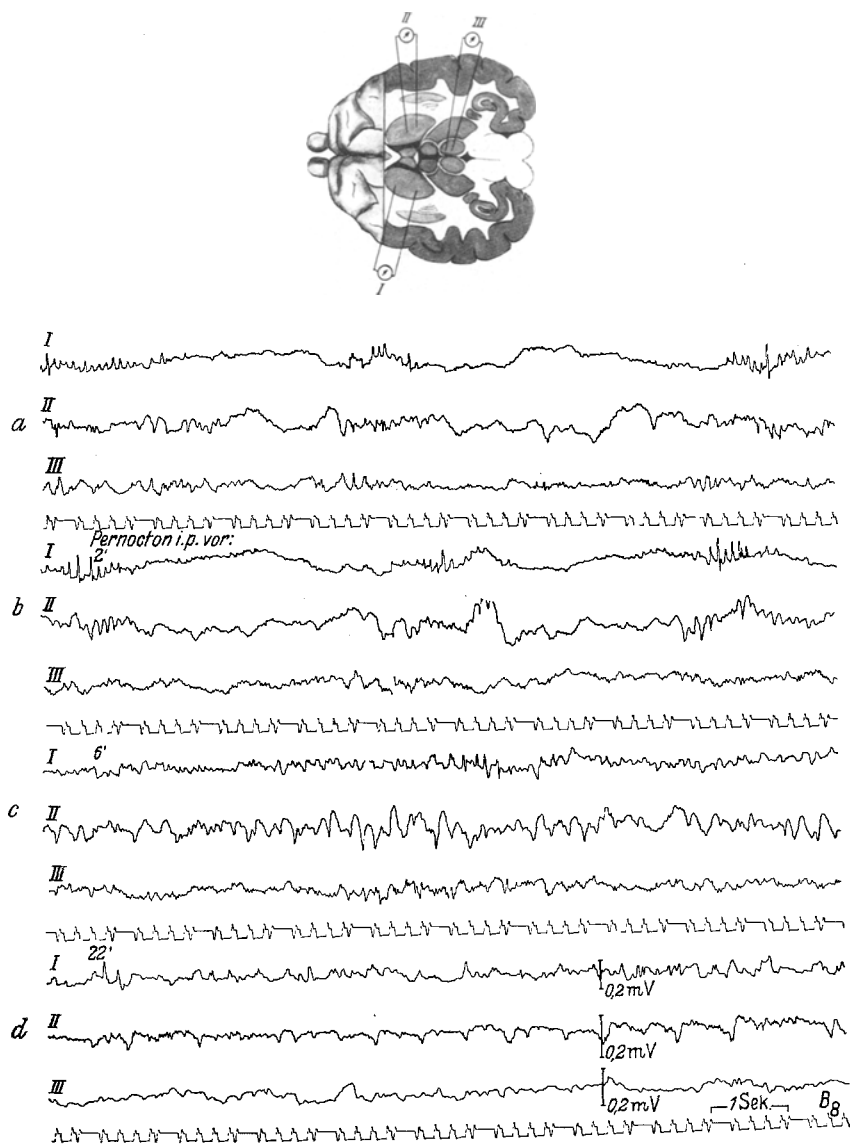


Abb. 6. Katze B 8. *Pernocton*wirkung. Dreifache bipolare Ableitung vom linken (I) und rechten (II) Caudatum und vom medialen Thalamuskern rechts (III). In der Kontrollableitung *a* deutliche periodische gruppenweise Entladungen im Striatum beider Seiten und angedeutet auch im Thalamus. *b* 2 Min. nach intraperitonealer Injektion von 2 cem *Pernocton* immer noch gleicher Typus (vor Beginn der Wirkung des Narkoticum). *c* 6 Min. nach der Injektion zugleich mit Einschlafen des Tieres und Schlafferwerden des Tonus deutliche Änderung der elektrischen Tätigkeit in beiden Striata mit Übergang der periodischen Entladungen in eine kontinuierliche Tätigkeit bei trägerem Rhythmus, nur unbedeutende Änderung in der Thalamusableitung. *d* 22 Min. nach der Injektion wesentlich verminderte uncharakteristische Abläufe. Tiefe Narkose.

Bei der Operation des Versuchstieres ist darauf zu achten, daß die gespaltene Kopfschwarte zurückgeschlagen und das Periost vom Knochen abgeschabt wird, um eine gute Auflagestelle der „indifferenten“ Elektrode für unipolare Ableitungen zu erhalten. Als solche benutzten wir meistens den periostfreien Knochen über dem nasalen Teil der Stirnhöhle, zur Kontrolle auch den Knochen des Occiput. Es ist dafür zu sorgen, daß Weichteile von diesem Punkt möglichst ferngehalten werden, da sonst von dort Störungen zu erwarten sind, hauptsächlich in Form von Muskelaktionsströmen. Vor allem kann man *Störungen im Rhythmus der Atmung* erhalten, die verschiedener Natur sein können (Muskelpotentiale der Atemhilfsmuskulatur oder auch rein mechanische Störungen durch Änderung der Elektrodenauflagefläche, Schwingungen im Nasenrachenraum usw.). Diese atmungsbedingten Störungen treten besonders auch dann auf, wenn man beim Aufschrauben der „indifferenten“ Elektrode auf den Knochen (was den Vorteil besserer Fixation gegenüber dem einfachen Auflegen hat) bis in den Frontalsinus gelangt ist. Zu tiefes Bohren ist daher zu vermeiden. Auch ist die Blutstillung in der Nähe der Auflagestelle der indifferenten Elektrode sorgfältig durchzuführen, da durch Verkleben der Elektrode mit Blut Widerstandsvermehrungen an der indifferenten Elektrode (und damit größere Störanfälligkeit an den Verstärkereingängen) oder auch leitende Verbindungen mit elektrisch aktivem Gewebe (Muskeln) entstehen können. Es muß noch besonders darauf hingewiesen werden, daß die Anforderungen, die die Ableitung subcorticaler Potentialschwankungen stellt, größere sind als die für subcorticale Reizung und Ausschaltung. In diesem Zusammenhang weisen wir noch darauf hin, daß die normalen elektrobiologischen Erscheinungen sehr leicht alterierbar sind, vor allem im Sinne einer Verminderung. Es ist daher besonders beim Anlegen der Bohrlöcher für die Elektroden mit großer Vorsicht vorzugehen, damit der Bohrer nicht beim Durchtritt durch die Tabula interna des Knochens mit Druck gegen Dura und Gehirn gepreßt wird.

„Chronische Versuche“ mit Operation und Setzen der Elektroden in tiefer Narkose und Ableitung erst längere Zeit nach „Einheilung“ und Erholung des Tieres, wie sie von einigen Autoren für die Ableitung vom Cortex angegeben wurden, sind für subcorticale Versuche nicht brauchbar, weil das langdauernde Liegen der Nadelelektroden in der Hirnsubstanz nach einiger Zeit doch Schädigungen hervorruft, die sich auch histologisch als Entzündungserscheinungen nachweisen lassen. Daher sind für physiologische Fragen nur die in den ersten Stunden nach Setzen der Elektroden abzuleitenden Potentialschwankungen verwertbar. Die Notwendigkeit einer kurz dauernden flüchtigen Narkose ist nach diesen Ausführungen ohne weiteres einsichtig.

IV. Die verschiedenen Ableitungsarten: Die „unipolare“, „bipolare“ und mehrfache Ableitung und ihre Bedeutung für das Studium der intragrisealen Erregungsvorgänge.

Zur richtigen Beurteilung und Ausdeutung der im Zentralnervensystem registrierten Potentialschwankungen ist eine Kenntnis der verschiedenen Ableitungsarten von größter Wichtigkeit. Wir haben daher in einer Versuchsreihe mit mehrfachen Ableitungen in systematischer Weise Vergleiche über die verschiedenen Arten der Elektrodenlage angestellt. Siehe dazu auch die Mitteilung von Kornmüller und Schacter (1938) über die Elektrodenanordnung bei bioelektrischen Untersuchungen an der Hirnrinde.

Bei der „unipolaren“ Ableitung liegt nur eine — die sog. differente — Elektrode im untersuchten Kerngebiet, während die andere — „indifferente“ — Elektrode

auf einer Stelle des Schädels liegt, die selbst keine elektrische Spannungsproduktion aufweist und bei der eine Streuung aus dem umliegenden Gewebe soweit wie möglich ausgeschlossen ist. Für die indifferente Elektrode brauchten wir — wie oben gesagt — im allgemeinen den periostfreien Knochen über der Stirn- und Nasenhöhle, gelegentlich auch zur Kontrolle das Os occipitale.

Bei der „bipolaren“ Ableitung liegen die blanken Spitzen beider Elektroden in dem zu untersuchenden Kern, bei unseren Versuchen mit Abständen von 1,5 bis 3 mm (der letztere Abstand ist nur bei großen Kerngebieten, wie dem Striatum, verwendbar). Die blanken Spitzen hatten durchschnittlich eine Länge von 1 mm beim Kaninchen und 1,5 mm bei der Katze.

Als Registriergerät haben wir die von Tönnies gebaute Verstärkeranordnung (einfacher und mehrfacher Neurograph) benutzt. Es handelt sich um einen 5stufigen Verstärker mit Kondensatorwiderstandschaltung ohne Siebung, mit hohen Zeitkonstanten ($1-4 \mu F$ Koppelungskapazität bei $1 M \Omega$ Gitterwiderstand). Die Endstufe ist mit einem Tintenschreibungssystem verbunden, das für die im Zentralnervensystem hauptsächlich vorkommenden Potentialschwankungen genügende Frequenzeigenschaften besitzt (unverminderte Amplitude bis 45 Hz.).

Bei gleichzeitiger uni- und bipolarer Ableitung benutzt man mit Vorteil als erste Verstärkerstufe Differentialverstärker nach Tönnies (1938). Technische Einzelheiten über die Anwendung des Differentialverstärkers auf die verschiedenen Ableitungsarten findet man bei Kornmüller und Schaefer. Durch die Vorschaltung des Differentialverstärkers erreicht man eine weitgehende Ausschaltung von mechanisch bedingten Störungen, wie sie besonders bei Prüfung von sensiblen Reizen, durch Berühren des Tieres usw. auftreten.

Die folgenden Ausführungen über die Befunde bei verschiedenen Ableitungsarten gelten für mehrfache Ableitungen aus dem gleichen Kerngebiet. Auf die Tatsache, daß sich bei Ableitung aus verschiedenen Kerngebieten auch verschiedenartige Potentialschwankungen zeigen, werden wir im Abschnitt V näher eingehen.

Bei den bisher untersuchten subcorticalen Kernen haben wir gefunden, daß bei Ruhe des Versuchstieres die Potentialschwankungen verschiedener Punkte desselben Kerngebietes gleichartig und im allgemeinen synchron verlaufen. Bei Einwirkung von Sinnesreizen und Bewegungen können sich Änderungen zeigen, die später besprochen werden.

Bei der unipolaren Ableitung erscheint die Ausdeutung der registrierten Potentialschwankungen — vorausgesetzt, daß die indifferente Elektrode frei von Potentialschwankungen ist — relativ einfach. Man darf annehmen, daß die mit dieser Ableitungsart erfaßten Spannungsschwankungen im wesentlichen aus der nächsten Umgebung der blanken Spitze der „differenten“ Elektrode stammen. Der Einwand, daß Streuungen aus entfernteren Gebieten bei der unipolaren Ableitung sich an der differenten Elektrode auswirken müssen, ist bei direkter Ableitung vom Gehirn im allgemeinen nicht stichhaltig. Es hat sich gezeigt, daß die Streuung von Potentialschwankungen im Gehirn selbst nur sehr gering ist und daß mit der „unipolaren“ Ableitungsart scharf lokalisierte elektrische Erscheinungen isoliert erfaßt werden können. Dies gilt besonders für Ableitungen von der bloßliegenden Hirnrinde (Kornmüller und Schaefer). Ähnliches findet sich zwar auch bei Ableitungen aus

subcorticalen Kernen, doch liegen die Verhältnisse hier nicht so einfach wie auf der Hirnrinde, und bei kritischer Auswertung muß die bipolare Ableitung mit herangezogen werden. Viel mehr als eine Streuung in die „differente“ Elektrode ist bei der unipolaren Ableitung eine *Einstreuung von seiten der „indifferenten“ Elektrode* zu fürchten, besonders, wenn man mit kleinen Spannungsschwankungen arbeitet, wie es bei subcorticalen Ableitungen öfter der Fall ist. Auch diese Fehlerquelle läßt sich durch die Anordnung des Differentialverstärkers weitgehend unschädlich machen. Doch möchten wir ausdrücklich betonen, daß die *Leistungsfähigkeit der „unipolaren“ Ableitung bei höheren Verstärkungen eine Grenze hat*. Die Auswertung von Potentialschwankungen unter $50 \mu\text{V}$ muß daher bei dieser Ableitungsart mit entsprechender Vorsicht geschehen. Bei mittlerer Verstärkung und Größenordnungen von 0,1 und mehr mV ergibt die unipolare Ableitung jedoch sehr gute Resultate. Wie sich gleichzeitig ganz unterschiedliche Potentialschwankungen von zwei verschiedenen Hirngegenden zuverlässig *gegen dieselbe indifferente Elektrode* registrieren lassen, zeigt Abb. 11 (D 17) besonders eindrucksvoll. Eine Kontrolle für die Einstreuung von Potentialen aus der indifferenten Elektrode bietet die mehrfache Ableitung: Doppelte unipolare Ableitung gegen zwei verschiedene indifferente Elektroden, von denen z. B. die eine dem Os frontale und die andere dem Os occipitale anliegt.

Bei der *bipolaren Ableitung* (2 Elektroden im elektrisch aktiven Gewebe) können die erhaltenen Potentialdifferenzen — gleichartige Erregungsvorgänge vorausgesetzt — theoretisch auf verschiedene Weise zustande kommen.

1. *Durch zeitliche Differenzen bei gerichteten Erregungsabläufen*, bei denen die gleichen Erregungswellen in gewissen zeitlichen Intervallen an den Elektroden wirksam werden, wie es im allgemeinen beim peripheren Nerven und Muskel der Fall ist. Die Form dieser Abläufe ist meistens durch das bekannte „biphasische Artefakt“ charakterisiert.

2. *Durch intensitative Differenzen bei synchronem Erregungsvorgang* an beiden Elektroden, bei denen es sich nur um einen quantitativen Unterschied von an verschiedenen Stellen gleichzeitig in Erscheinung tretenden elektrischen Erscheinungen handelt.

Intensitätsdifferenzen synchroner Potentialschwankungen können durch verschiedene Faktoren hervorgerufen werden.

a) *Durch Elektroden- und Apparaturbesonderheiten* (verschiedene Größe der den Gewebkontakt bildenden blanken Spitze usw.).

b) *Durch künstliche, durch den Eingriff gesetzte Veränderungen* (Serum und Blutaustritt, Verletzungen usw., an einer Elektrode überwiegend).

c) *Durch das Gewebe selbst*: α) *Lokalisatorisch* durch verschiedene Anzahl der den Elektrodenspitzen benachbarten aktiven Zellgruppen;

β) *Funktionell* durch verschiedene Tätigkeit in einem gleichartigen Zellgebiet.

Wie die Potentialdifferenzen der bipolaren Ableitungen zustande kommen, darüber kann uns die doppelte unipolare Ableitung von den beiden Elektroden Auskunft geben.

Daß die bipolare Ableitung nur Intensitätsdifferenzen zwischen den beiden unipolaren Elektroden registriert, ist eine physikalische Selbstverständlichkeit, die aber in ihrer Bedeutung oft nicht genügend gewürdigt wird, weil man von der Elektrophysiologie der Peripherie her die Analyse der gerichtet fortlaufenden Nerv-Muskelerregung gewohnt ist. Bei 3facher Ableitung von einem Elektrodenpaar (doppelt unipolar und bipolar) kann man das Fehlen wesentlicher zeitlicher Verschiebungen in den beiden Ableitungen und die trotz dieser synchronen Abläufe meist erhalten gebliebene charakteristische Form auch der bipolaren Ableitung als Differenz der beiden unipolaren deutlich erkennen.

Charakteristisch für mehrfache unipolare Ableitungen aus demselben Kerngebiet sind weitgehend synchrone Schwankungen an verschiedenen in diesem Kerngebiet befindlichen Elektroden mit geringen, oft wechselnden Intensitätsunterschieden. Schon innerhalb der einzelnen Schwankungen einer periodischen Entladung von 1—2 Sek. Dauer können diese wechselnden Intensitätsunterschiede an beiden Ableitungen auftreten (s. dazu vom Striatum Abb. 7 c). Sie können daher nicht durch die unter 2a und b oben erwähnten akzidentellen Faktoren erklärt werden und müssen auf die unter 2c β genannten funktionellen Verschiedenheiten zurückgeführt werden.

Konstante Intensitätsunterschiede an zwei unipolaren Ableitungen im Gebiete eines einheitlichen Kernes sind nach unseren Erfahrungen außer auf die unter 2a und b genannten Faktoren am häufigsten auf lokalisatorische Verschiedenheiten (2c α) zu beziehen. Bei Ableitung vom Caudatum finden sich z. B. derartige Differenzen, wenn die eine Elektrode mitten im Kerngebiet, die andere mehr am Rande, zum Teil in der inneren Kapsel, steckt. An der letzteren sind dann die periodischen Entladungen des Striatum weniger ausgesprochen. Eine solche Größendifferenz der Potentiale durch Randstellung einer Elektrode (die gelegentlich aber auch gar keine faßbaren Intensitätsdifferenzen macht) wird man auf die verschiedene Zahl der den Elektroden spitzen benachbarten Zellgruppen zurückführen.

Bei bipolaren Ableitungen von den grauen Kernen des Zentralnervensystems werden nicht selten bei gleichbleibender Elektrodenlage wechselnde Phasenrichtungen beobachtet (Abb. 10), die nicht immer durch die unter 2a und b genannten akzidentellen Faktoren zu erklären sind und die man in Anbetracht der genannten Befunde bei doppelter unipolarer Ableitung am besten als wechselnde Tätigkeit verschiedener Nervenzellgruppen deutet. Aus derartigen Änderungen in der Form und Richtung der

Potentialschwankungen bipolarer Ableitungen darf man schließen, daß *trotz vorwiegend synchroner Tätigkeit verschiedene größere Zellgruppen in gewissen zeitlichen Intervallen in ihrer Tätigkeit miteinander abwechseln können* und sich je nach ihrer Lage zu den Elektrodenspitzen verschieden auswirken.

Sichere Schlüsse sind aus derartigem *Wechsel von Phasenrichtungen* natürlich nicht möglich, da bekanntlich schon bei den einfacheren Vorgängen am peripheren Nerven je nach verschiedener Elektrodenlage und -abstand vom elektrisch aktiven Gewebe sich neben den typischen biphasischen Abläufen verschiedene Formveränderungen zeigen, die bei *Bishop* übersichtlich zusammengestellt sind. Die Schwierigkeiten in der Beurteilung der Phasenrichtung bei Ableitung vom Zentralnervensystem haben dann besonders noch *Bartley* und *Bishop* betont. Hier müssen die oben gegebenen Ausführungen genügen. Übrigens haben wir gelegentlich auch bei längeren Dauerregistrierungen keine Änderungen der Phasenrichtung feststellen können. Über spezielle Untersuchungen zu diesen Fragen mit mehrfacher optischer Registrierung wird an anderer Stelle berichtet werden.

Die unter 1. genannten, zeitlich differenten, gerichteten Erregungsabläufe spielen im Gegensatz zur peripheren Elektrophysiologie in den grauen Teilen des Zentralnervensystems für die Entstehung der bipolar registrierten langsamen Schwankungen eine geringe Rolle. *Adrian* (1936) hat derartige Ausbreitungen von Erregungen mit sehr langsamer Geschwindigkeit (10—40 cm pro Sekunde) bei seinen Reizversuchen am Cortex gesehen. Solche Reizversuche stellen natürlich abnorme Vorgänge dar. Unter physiologischen Bedingungen findet man langsame Erregungsausbreitungen ebenso wie „biphasische Artefakte“ bei der bipolaren Ableitung als Ausdruck einer an beiden Polen zeitlich verschobenen Erregungswelle nur selten. *Kornmüller* konnte 1933 (b), 1935 (b) ein Beispiel langsamer Erregungsausbreitung an Hand der normalen Feldeigenströme der Hirnrinde mitteilen.

In den subcorticalen Gebieten, die wir mit mehrfacher Ableitung untersucht haben, fanden sich bei Ruhe des Versuchstieres innerhalb desselben Kerngebietes gleichartige Potentialschwankungen, die im allgemeinen synchron verliefen.

Ferner hat sich ergeben, daß die Spannungsschwankungen immer in den *grauen* Teilen des Zentralnervensystems, in der Rinde und den subcorticalen Kernen, am größten sind, während sie in der weißen Substanz, in Faser- und Markgebieten, wesentlich an Intensität abnehmen. Dort herrschen kleine, weitgehend asynchrone, regellose Potentialschwankungen vor.

Aus diesen beschriebenen Tatsachen, synchrone Tätigkeit im gleichen Kerngebiet, größte Amplitude in der Umgebung von Nervenzellen, läßt sich schließen, daß die Ableitung von Potentialschwankungen aus den grauen Teilen des Zentralnervensystems nicht so sehr zeitlich verschiedene, gerichtete Erregungswellen, sondern zur Hauptsache *intensive Differenzen von an- und abschwellenden summierten, weitgehend*

synchronen Erregungen zahlreicher Neurone in der Umgebung der Elektroden erfaßt. Daß diese Potentialschwankungen trotz weitgehend synchroner Tätigkeit im selben Kerngebiet fast immer auch mit der

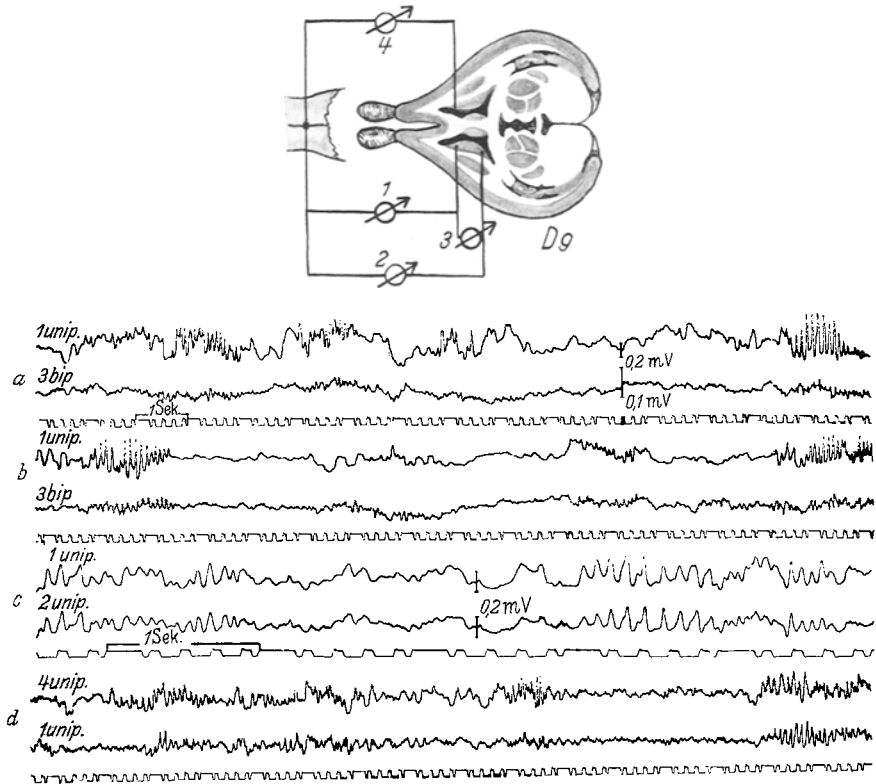


Abb. 7. Kaninchen D 9. Vergleich der verschiedenen Ableitungsarten (unipolar, bipolar und bilateral) bei mehrfacher Registrierung aus dem Striatum. a und b: oben unipolare Ableitung von der vorderen Elektrode, unten bipolare Ableitung von 3 mm entfernten Elektroden im linken Caudatum. Man beachte vor allem die verschiedene Größenordnung der uni- und bipolaren Ableitung (Eichstriche). Die bipolare Ableitung zeigt eine verschiedene Form der einzelnen Schwankungen, am Ende von a auch einmal einige scharfe, biphasische Zacken, offenbar durch geringe zeitliche Verschiebung an den beiden Polen bedingt. Der Typus der periodischen Entladung bleibt auch an den kleinen Amplituden der bipolaren Ableitung erkennbar. c doppelte unipolare Ableitung aus demselben Kerngebiet, oben von der vorderen, unten von der hinteren Elektrode des linken Caudatum bei rascher Papiergeschwindigkeit. Im wesentlichen synchrone Schwankungen mit geringen wechselnden Größenunterschieden. d doppelte unipolare Ableitung aus dem Caudatum der rechten und linken Seite gegen dieselbe indifferente Elektrode. Trotz weitgehend gleichzeitigen Auftretens der periodischen Entladungen sind diese keineswegs synchron, sondern weisen einen verschiedenen Typus der Einzelschwankungen auf.

engen bipolaren Ableitung in ihren der unipolaren Ableitung weitgehend ähnelnden charakteristischen Abläufen registriert werden können, ist aus den oben aufgezählten verschiedenen Ursachen derartiger intensitativer Differenzen verständlich.

Auf Abb. 7 findet man charakteristische Befunde mit gleichzeitiger 2facher Registrierung bei verschiedenen Ableitungsarten aus dem

Caudatum eines Versuchstieres zusammengestellt. Aus dieser Abbildung geht auch die durch die synchrone Tätigkeit bedingte *verschiedene Amplitude bei uni- und bipolarer Ableitung* hervor, die allerdings nicht immer so hochgradig ist. Während die periodischen Entladungen in Abb. 7a bei der unipolaren Ableitung bis 0,4 mV betragen, finden sich zur selben Zeit bei der bipolaren Ableitung nur Schwankungen von 0,05 und weniger mV.

Wir haben die gleichartigen und weitgehend synchronen Potentialschwankungen in den einheitlichen Kerngebieten so regelmäßig gefunden, daß es uns möglich war, bei mehreren Versuchen, bei denen die Elektroden versehentlich in verschiedenen Kerngebieten lagen, dies schon aus dem Typus der Potentialschwankungen während des Versuches zu erkennen. Wenn man also bei der bipolaren Ableitung eine Interferenz wesentlich verschiedener Potentialschwankungen erkennt, oder bei der doppelten unipolaren Registrierung erhebliche Differenzen zwischen den Abläufen an beiden Polen auftreten, so darf man annehmen, daß die beiden Elektrodenspitzen in *verschiedenen Kerngebieten liegen*. Eine andere Möglichkeit besteht noch darin, daß die Elektroden Isolierungsfehler haben, und so eine Elektrode Potentialschwankungen aus verschiedenen Gebieten, etwa Einstreuungen aus der darüberliegenden Rinde, registriert. In solchen Fällen zeigt sich schon bei der unipolaren Ableitung die Interferenz verschiedener Typen von Schwankungen gegenüber derselben indifferenten Elektrode (Abb. 14). Näheres in Abschnitt VII bei Besprechung der Fehlerquellen.

Während sich bei den großen einheitlichen Kerngebieten fast immer charakteristische Ergebnisse über die spontanen Potentialschwankungen gewinnen lassen, zeigen sich bei der Registrierung aus kleineren Kernen, besonders im Hirnstamm, Schwierigkeiten in der isolierten Erfassung lokalisierter Potentialschwankungen. Im Hirnstamm ist wegen der Kleinheit der Kerngebiete, wenigstens bei Katze und Kaninchen, die bipolare Ableitung nicht mehr anwendbar. Bei den wenigen Versuchen einer Ableitung von Potentialschwankungen aus dem tieferen Hirnstamm, die wir unternommen haben, ließen sich noch keine einheitlichen, verwertbaren Resultate erhalten. Unser Material ist noch zu klein, um hier Sicheres sagen zu können.

V. Die Ableitung unter physiologischen Bedingungen und ihre lokalisatorisch verschiedenen Ergebnisse.

a) Die ständig vorhandenen Potentialschwankungen (Eigenströme).

Jedes bisher untersuchte zentralnervöse Griseum zeigte auch bei weitmöglichstem Ausschluß von Außenreizen eine mehr oder weniger ständige elektrobiologische Tätigkeit. Es handelt sich um analoge Erscheinungen zu den Feldeigenströmen der Hirnrinde (Kornmüller). Auch bei den subcorticalen Untersuchungen ist diesen Erscheinungen

am besten zu Beginn des Versuches Aufmerksamkeit zu schenken. Später können sich durch Schädigungen, die ein länger dauerndes Experiment mit sich bringt, leicht Abänderungen einstellen. Diese bestehen in den meisten Fällen darin, daß eine Verminderung der bioelektrischen Aktivität zu beobachten ist. Damit ist nicht nur eine Amplitudenverringerung gemeint, sondern auch eine Verlängerung der Pausen zwischen den sich häufig rhythmisch zeigenden Schwankungen großer Amplitude.

Voraussetzungen zur Erfassung des Normaltypus der ständig vorhandenen Potentialschwankungen eines Kernes sind folgende: *Es darf keine Wirkung von Narcoticis oder anderen Schädlichkeiten vorhanden sein, und Außenreize müssen so gut wie möglich vom Tier ferngehalten werden.* Letzteres ist natürlich nicht voll erreichbar (Druck der Unterlage, der Befestigung des Tieres u. a.). Ferner darf das Tier keine Spontانبewegungen ausführen, da sich nicht nur bei Einwirkung von Sinnesreizen, sondern auch bei motorischer Unruhe Änderungen im Ablauf der elektrischen Tätigkeit bestimmter subcorticaler Kerne finden.

Bei Ableitung aus dem *Striatum* von Kaninchen und Katzen konnten wir vielfach beobachten, daß bei spontaner Unruhe und verschiedenen Bewegungen des Tieres fast regelmäßig ein Aufhören der charakteristischen periodischen Entladungen stattfand. Derartige Änderungen sind natürlich zu unterscheiden von den oft bei Bewegungen des Versuchstieres auftretenden Artefakten.

Um Störungen der normalen Bedingungen durch Außenreize, Bewegungen des Tieres und Narkose zu vermeiden, wird man entweder die von Heß für die subcorticale Reizung angegebene Technik des Wachversuches am freien Tiere anwenden, was aber besonders bei lebhaften Katzen sehr schwierig ist, oder besser einen *Tierhalter* benutzen, in dem das Tier sich in natürlicher Lage mit freihängenden Extremitäten befindet (Heß, Abb. 3). In diesem Halter, der die sonst übliche Schlingenfixation vermeidet, hat das Tier eine gewisse Bewegungsfreiheit bei einem Minimum von Fesselung.

Die ständig vorhandenen Potentialschwankungen subcorticaler Kerne lassen sich, wie die analogen Erscheinungen der Hirnrinde, oft schwer exakt beschreiben; sie sind durch Frequenz und Amplitude der Schwankungen nicht ausreichend gekennzeichnet, und die Abläufe sind in der Regel nicht schematisch. Trotzdem läßt sich auf Grund von Dauerregistrierungen jeweils ein *Grundtypus* ermitteln. Durch Dauerregistrierungen unter Ausschaltung äußerer Reize läßt sich ein Bild über die *Schwankungsbreite* des Grundtypus gewinnen. Erst nach Beurteilung einer viertel- bis halbstündigen Ableitung lassen sich eindeutige Aussagen machen.

Zur Orientierung über den Typus der Potentialschwankungen einzelner Kerngebiete ist es notwendig, *langdauernde, kontinuierliche Registrierungen* vorzunehmen. Solche sind aus finanziellen Gründen nur mit dem *Tintenschreiber* möglich, der es gestattet, über Stunden hindurch ohne kostspieligen Materialverbrauch zu registrieren. Erst für spezielle Probleme und die Einzelanalysen der Erregungsvorgänge in den grauen Teilen des Zentralnervensystems, die eine genaue Beurteilung zeitlich

rasch ablaufender Vorgänge verlangen, ist die *optische Registrierung* notwendig. Über derartige Untersuchungen soll an anderer Stelle berichtet werden.

Neben dem in Abschnitt IV besprochenen Problem der Erregungsvorgänge innerhalb eines Kerngebietes sind durch die mehrfache gleichzeitige Registrierung aus verschiedenen Teilen des Zentralnervensystems

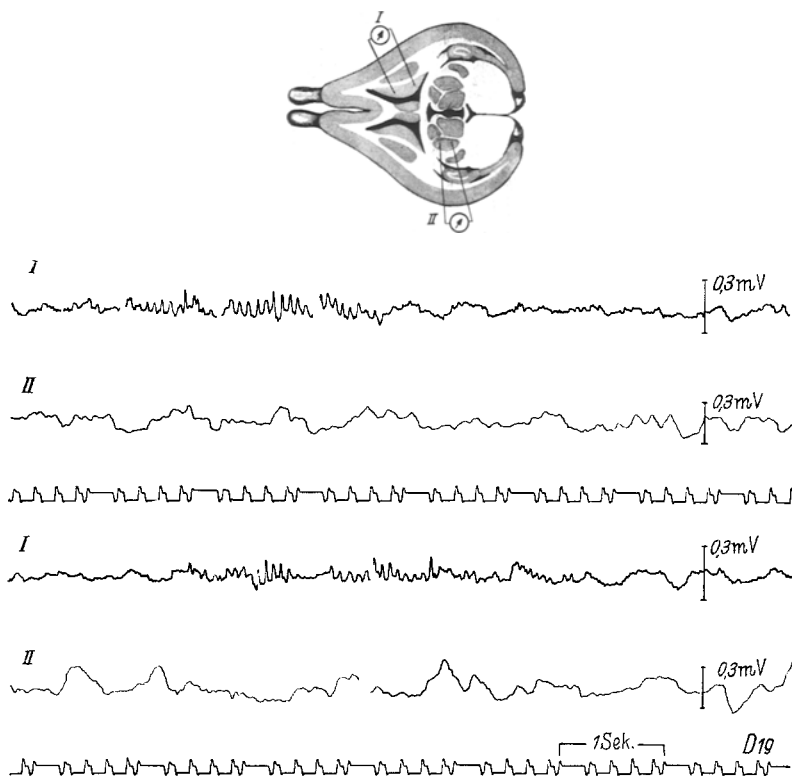


Abb. 8. Kaninchen D 19. Gleichzeitige bipolare Ableitungen. I aus dem *Caudatum rechts*, Elektrodenabstand 3 mm und II aus dem *lateralen Thalamuskern links*, Elektrodenabstand 1,5 mm. Eindeutige Unterschiede in der Form der Potentialschwankungen dieser beiden Kerne.

noch andere Fragen anzugehen: Es lassen sich so die *Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Kerngebieten des Zentralnervensystems* studieren. Hierauf hat Kornmüller seit 1933 wiederholt hingewiesen und Beispiele von Ableitungen der Hirnrinde dazu gegeben.

Zunächst ergibt sich schon bei einem oberflächlichen Vergleich, daß die elektrische Tätigkeit vieler Teile des Zentralnervensystems unter physiologischen Bedingungen zu anderen Teilen wenig Beziehung hat. Abb. 8 zeigt eine gleichzeitige bipolare Registrierung vom *Striatum* (Nucleus caudatus, Kurve I) und vom *Thalamus* (Nucleus lateralis,

Kurve II). Die Verschiedenheit der Potentialschwankungen dieser beiden Kerne ist offensichtlich. Das *Caudatum* zeigt periodische Gruppen und hat durchschnittlich wesentlich höhere Frequenzen als der betreffende Kern des *Thalamus*, in dem die periodischen Abläufe fehlen. Während so der laterale Thalamuskern vom Striatum gänzlich verschiedene Potentialschwankungen zeigt, finden sich im medialen Thalamuskern häufiger periodische Abläufe, die unter physiologischen Bedingungen viel größere

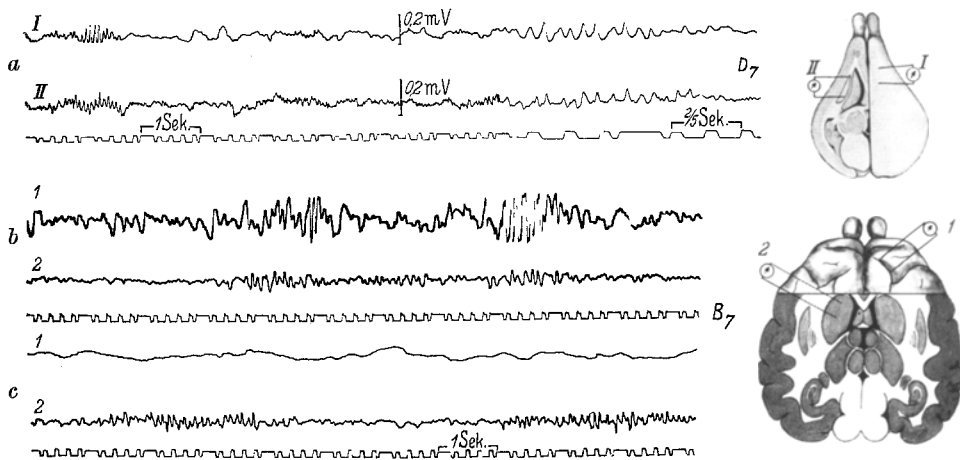


Abb. 9. a Kaninchen D 7, b und c Katze B 7. Ständig vorhandene Potentialschwankungen der „motorischen“ Rinde (Area praecentralis; Kurve I bzw. 1) und des Striatum (Kurve II Putamen bzw. 2 Caudatum) in bipolarer Ableitung. Bei a und b treten die charakteristischen periodischen Entladungen in beiden Gebieten zu gleicher Zeit auf, sind aber in der Einzelform der Schwankungen voneinander verschieden. c Verschwinden der normalen Potentialschwankungen nach Auftreten einer Blutung. In diesem Versuche hörten plötzlich die vorher sehr ausgesprochenen Potentialschwankungen der „motorischen“ Rinde rechts auf, um nicht wieder zu erscheinen. Bei der Sektion zeigte sich eine erbsengroße Blutung in der Einstichstelle unter dem Sulcus cruciatus rechts. Die periodischen Abläufe im linken Caudatum gehen auch nach Verschwinden der Rindenpotentialschwankungen unvermindert weiter.

Ähnlichkeit mit denen des Striatum aufweisen (Abb. 6a). Dies entspricht auch geläufigen anatomischen Vorstellungen, nach denen eine Verbindung von medialem Thalamuskern und Striatum anzunehmen ist.

Besonders deutliche Beziehungen im Auftreten der ständig vorhandenen Potentialschwankungen zeigen das Striatum und die „motorische“ Hirnrinde (Area praecentralis) sowohl ipsilateral als auch kontralateral. Abb. 9a und b zeigen gleichzeitige Registrierungen von der „motorischen“ Rinde (I) und dem Striatum (II) von Katze und Kaninchen. Die Potentialschwankungen dieser beiden Gebiete haben insofern Ähnlichkeit, als sie Gruppen von Schwankungen einer Frequenz von 8–10 Hz bei der Katze und 12–15 Hz beim Kaninchen aufweisen. Die Gruppen fallen, obwohl sie auf der Rinde bei längerer Registrierung meistens häufiger sind, doch erstaunlich oft zeitlich zusammen, woraus wir wohl auf eine funktionelle

Verknüpfung zwischen „motorischer Rinde“ und Caudatum schließen dürfen. Allerdings spricht die heute herrschende anatomische Lehre gegen eine direkte Verbindung zwischen Hirnrinde und Caudatum.

Eine funktionelle Verbindung zwischen verschiedenen Kernen ist jedoch auch ohne direkte Verbindung denkbar, etwa so, daß beide Kerngebiete gemeinsam *von einer dritten Stelle her aktiviert werden*. Dies scheint auch bei der Tätigkeit des Striatum der beiden Seiten der Fall zu sein. Wir fanden, daß die periodischen Schwankungen im rechten und linken Caudatum meistens, wenn auch nicht immer, zeitlich nahe zusammenfallen (Abb. 7d). Über eine direkte kommissurale Verbindung zwischen den beiden Striata ist aber nach anatomischen Befunden nichts bekannt. Auch fanden wir, daß bei abnorm großen Abläufen oder verminderter Tätigkeit eines Striatum keine Auswirkungen hiervon im entsprechenden Kern der anderen Seite festzustellen sind (s. Abschnitt VI, Abb. 13). Daraus läßt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit schließen, daß nicht das eine Striatum das andere beeinflußt, sondern eine dritte Stelle die Tätigkeit der beiden Striata anregt. Welches Gebiet hierfür verantwortlich zu machen ist, wissen wir noch nicht.

Ähnliche periodische Schwankungen wie in Striatum und motorischer Rinde finden sich beim Kaninchen übrigens auch in den *Septumkernen* und bei der Katze, mit entsprechend geringerer Frequenz von 8—10 Hz, in verschiedenen Hirnrindenfeldern in der Umgebung der „motorischen“ Region im engeren Sinne (Area praecentralis agranularis).

Die Abbildungen zeigen zugleich, daß es nicht möglich ist, bei diesen ähnlichen Schwankungen verschiedener Kerne etwa eine Latenzzeit zur Ermittlung von Leitungsrichtung und Leitungsgeschwindigkeit zu messen. Einer solchen Messung von Latenzzeiten bei ständig vorhandenen Potentialschwankungen stehen deshalb große Schwierigkeiten im Wege, weil es meistens nicht gelingt, analoge Schwankungen zu ermitteln. Diese Schwierigkeiten sind, wie im Abschnitt VI gezeigt wird, geringer bei den abnormen Potentialschwankungen, die plötzlich beginnen und eine besondere Steilheit aufweisen, den Krampfströmen.

b) Die Wirkung von sensiblen und sensorischen Reizen.

Eine weitere elektrobiologische Kennzeichnung kann sich für einzelne subcorticale Kerne im Zusammenhang mit sensiblen und sensorischen Reizen ergeben. Die Prüfung von Reaktionen auf Sinnesreize erfolgt zweckmäßig im Anschluß an die Registrierung der ständig vorhandenen Potentialschwankungen, da vereinzelte Beobachtungen darüber vorliegen, daß bioelektrische Abänderungen gelegentlich den Reiz zeitlich um vieles überdauern können. Auch die subcorticalen Kerne können auf Außenreize 1. *keine faßbare bioelektrische Reaktion* erkennen lassen oder aber sie zeigen 2. in strenger zeitlicher Verknüpfung mit den Außenreizen Änderungen der ständig vorhandenen Potentialschwankungen *a* im Sinne

einer *Verminderung* der Amplituden oder *b* in Form von *Steigerungen* als Aktionsströme. Es erscheint zweckmäßig, auch bei den subcorticalen Kernen eine scharfe *Trennung zwischen ständig vorhandenen „Ruhe“-*

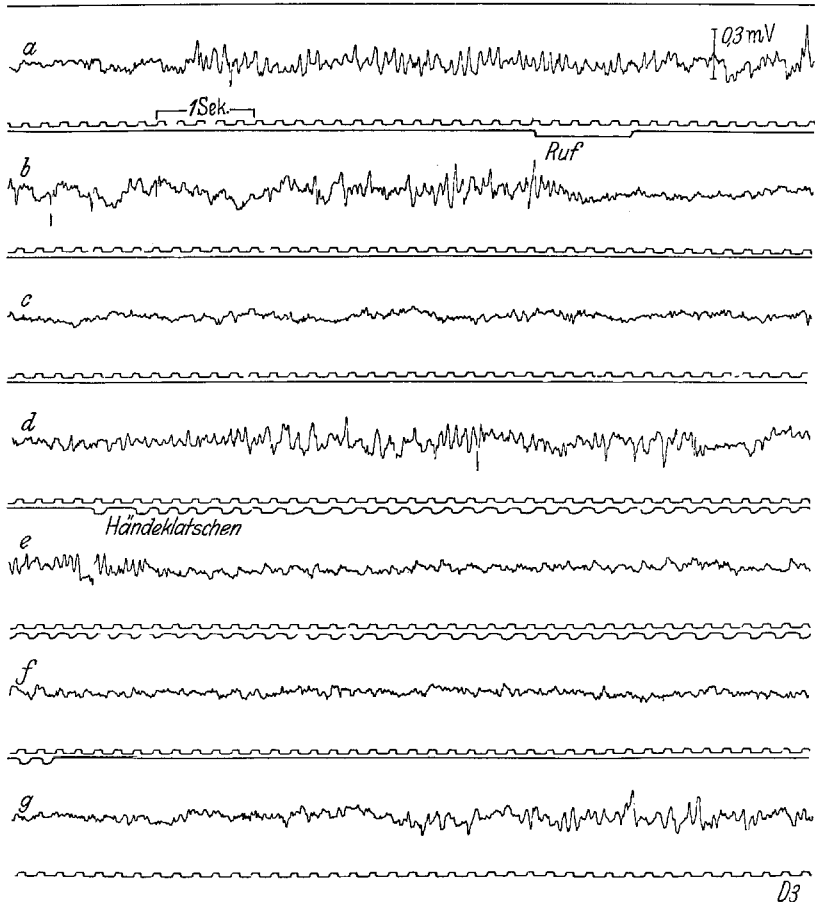


Abb. 10. Kaninchen D 3. *Wirkung akustischer Reize*. Ununterbrochene bipolare Ableitung aus dem *Caudatum*, Elektrodenabstand 3 mm. *a* Kontrollregistrierung mit dem typischen Bild der ständigen Potentialschwankungen des Striatum. *b* Bei der Markierung oberhalb der Kurve erfolgt ein lauter Ruf, der zu einer Verminderung der Amplitude führt, die den Reiz mehrere Sekunden überdauert (*c*). *d* erneutes Auftreten der normalen Schwankungen. *e* und *f* erneute starke Reduktion der periodischen Potentialschwankungen durch Händeklatschen (Reizmarkierung). *g* Aufhören des Händeklatschens. Nach kurzer Zeit treten wieder die Potentialschwankungen mit normaler Amplitude auf. Zu beachten ist auch der häufige Wechsel der Phasenrichtungen.

Potentialschwankungen und Aktionspotentialen vorzunehmen, analog der Trennung von „Feldeigenströmen“ und „Aktionsströmen“, wie sie Kornmüller für die elektrobiologischen Erscheinungen der Hirnrinde vorgeschlagen hat. Auch hier muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß sich diese zweckmäßige nomenklatorische Unterscheidung nicht immer streng durchführen läßt.

Beispiele von verschiedenen Wirkungen, die Sinnesreize auf die ständig vorhandenen Potentialschwankungen ausüben können, zeigen Abb. 10 und 11. Abb. 10 stellt eine längere, ununterbrochene Registrierung vom *Caudatum* eines Kaninchens dar und illustriert die Wirkung *akustischer Reize*, die sich im Sinne einer Verminderung der Amplituden und einer „Hemmung“ der periodischen Abläufe äußert.

Abb. 11 bringt *gleichzeitige* Registrierungen aus der *Ammonsformation* (Kurve I) und vom *Striatum* (Caudatum, Kurve II) und demonstriert den *verschiedenen „antagonistischen“ Effekt von Schmerzreizen*, wie er bei 6 Kaninchen in diesen Hirngegenden konstant und mit allen Ableitungsarten reproduzierbar gefunden wurde. Die Reize bestanden in Kneifen von Hinterbein und Schwanz. Das Caudatum zeigt im Zusammenhang mit dem Reiz meistens sehr deutlich eine *Verminderung der Amplituden und Hemmung der periodischen Abläufe*. Ammonshorn und Subiculum weisen dagegen zu gleicher Zeit eine *deutliche rhythmische Aktivierung* ihrer Tätigkeit auf, die darin besteht, daß in ununterbrochener Reihenfolge Schwankungen einer Frequenz von 5—6 Hz sichtbar werden, von denen vor dem Reiz nur vereinzelte und meist nicht vollkommen durchschwingende Wellen feststellbar

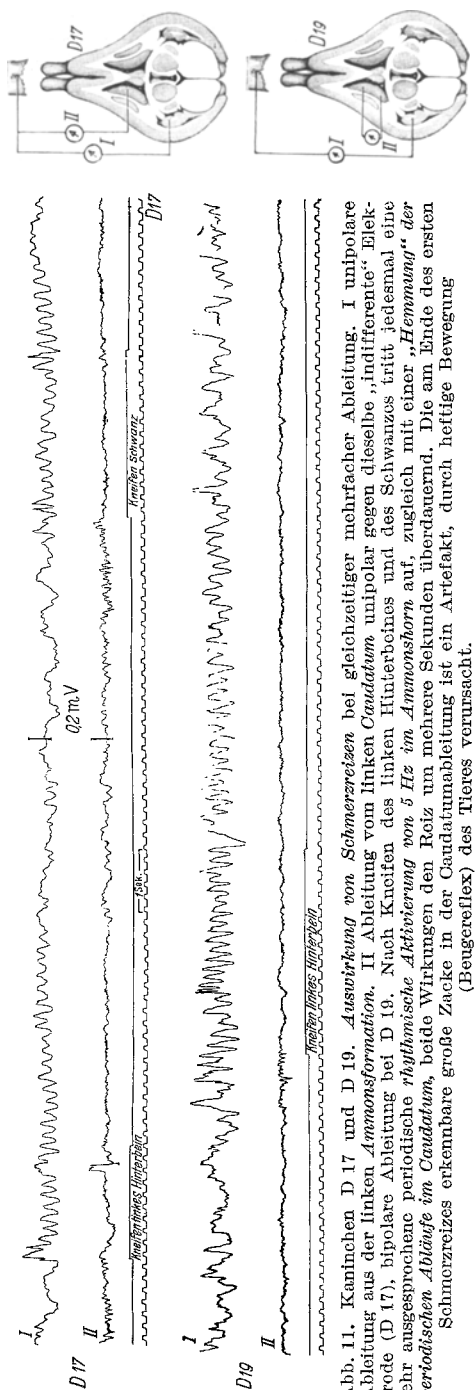


Abb. 11. Kaninchen D 17 und D 19. *Auswirkung von Schmerzreizen* bei gleichzeitiger mehrfacher Ableitung. I unipolare Ableitung aus der linken *Ammonsformation*. II Ableitung vom linken *Caudatum* unipolar gegen dieselbe „indifferente“ Elektrode (D 17), bipolare Ableitung bei D 19. Nach Kneifen des linken Hinterbeines und des Schwanzes tritt jedesmal eine sehr ausgesprochene periodische *rhythmische Aktivierung* von 5 Hz im *Ammonshorn* auf, zugleich mit einer „*Hemmung*“ der *periodischen Abläufe im Caudatum*, beide Wirkungen den Reiz um mehrere Sekunden überdauernd. Die am Ende des ersten Schmerzreizes erkennbare große Zucke in der Caudatumableitung ist ein Artefakt, durch heftige Bewegung (Beugerreflex) des Tieres verursacht.

sind. Dabei fällt auf, daß diese charakteristischen Schwankungen den Reiz um vieles überdauern können, was bei den Aktionsströmen der Hirnrinde nach optischen und akustischen Reizen in der Regel nicht der Fall ist. Die Aktionsströme der Hirnrinde haben bekanntlich einen sog. Off-Effekt, Schwankungen, die mit dem Reizende in Erscheinung treten, den Reiz also auch überdauern. Dabei handelt es sich aber meist nur um sehr kurze Zeitspannen und nicht um mehrere Sekunden. Auf der Hirnrinde wurden bei Kalorisation des Ohres ähnliche Abläufe auf der Area 6a α des Affen festgestellt (Kornmüller, 1937). Hasama (1934/35) hat nach Freilegung des Ammonshorns dort vermehrte Potentialschwankungen nach Geruchs- und Geschmacksreizen gefunden. Es handelt sich bei dem von uns beschriebenen Phänomen der rhythmischen Aktivierung des Ammonshornes aber keineswegs um eine entsprechende spezifische Reaktion auf Geschmacks- oder Geruchsreize. Wir fanden diese Erscheinungen am ausgesprochensten nach Schmerzreizen, geringer nach akustischen Reizen, fehlend oder inkonstant bei Geruchs-, Geschmacks-, Labyrinth- und Kältereizen.

Die verschiedenen nach Sinnesreizen auftretenden Änderungen der registrierten Potentialschwankungen sind vermutlich vor allem durch verschiedene *Synchronisierung* oder *Desynchronisierung* der Entladungen der einzelnen Neurone bedingt, doch gibt es offenbar auch echte *Hemmungserscheinungen* als Ursache von Amplitudenverminderungen, die in einer Verringerung der Zahl der jeweils aktiven Elemente besteht.

Im Gegensatz zu den typischen Zuordnungen bestimmter elektrobiologischer Erscheinungen zu sensiblen und sensorischen Reizen und ihren lokalisatorischen Verschiedenheiten haben wir bis jetzt charakteristische und sichere Beziehungen bestimmter normaler Potentialschwankungen zu *motorischen* Leistungen des Versuchstieres in den subcorticalen Kernen ebenso wenig wie auf der Hirnrinde finden können. Eindeutige Beziehungen zu motorischen Phänomenen lassen sich ebenso wie an der Hirnrinde (Kornmüller 1935 a) bisher nur bei abnormen Potentialschwankungen (Krampfströmen) darstellen, auf die im Abschnitt VI eingegangen wird.

Auf Grund unseres bisherigen Materials lassen sich die konstanten Ergebnisse über *subcortical Potentialschwankungen unter physiologischen Bedingungen beim Kaninchen* schematisiert folgendermaßen darstellen:

Hirngebiete	Eigenströme	Wirkung von Sinnesreizen	Zeitliche Beziehungen zu Potentialschwankungen anderer Hirnteile
Caudatum } Striatum Putamen }	Gruppenweises Auftreten von Schwankungen größerer Amplitude mit einem Grundrhythmus von 12—14/sek.	„Hemmung“ der periodischen Schwankungen nach akustischen und hautsensiblen Reizen. Kein Einfluß von Lichtreizen	„Motorische“ Rinde und medialer Thalamuskern, kontralaterales Striatum
Septumkerne	Ähnlich dem Striatum		Nicht geprüft

Fortsetzung der Tabelle von Seite 22.

<i>Hirngebiete</i>	<i>Eigenströme</i>	<i>Wirkung von Sinnesreizen</i>	<i>Zeitliche Beziehungen zu Potential- schwankungen anderer Hirnteile</i>
<i>Lateraler Thalamus- kern</i>	Unregelmäßige träge Schwankungen von 1—5/sek.	Unsicherer Ein- fluß von akusti- schen und haut- sensiblen Reizen	Noch nicht geklärt
<i>Medialer Thalamus- kern</i>	Gruppenweises Auf- treten von Schwan- kungen mittelgroßer Amplitude mit einer wechselnden Frequenz von 10—16/sek.	Häufig „Hemmung“ nach akustischen und Schmerzreizen	Striatum
<i>Ammonsformationen mit Subiculum</i>	Unregelmäßige Schwankungen von 2—5/sek.	Regelmäßige rhythmische Akti- vierung von 5 bis 6/sek. auf Schmerz- reize, inkonstante und kürzere Reak- tion auf akustische Reize. Keine Reak- tion auf Licht-, Laby- rinth- und Kälte- reize	Kontralaterales Ammonshorn. Bei Aktivierung durch Schmerzreize „Hemmung“ im Striatum und der „motorischen“ Rinde

Die oben beschriebenen physiologischen elektrobiologischen Erscheinungen geben uns, an einem großen Material geprüft, das Bezugssystem für die Erfassung abnormer Erscheinungen, wie sie im folgenden Abschnitt — soweit sie methodisches Interesse beanspruchen — behandelt werden.

VI. Die Ableitung von abnormen Erscheinungen. Fokale Strychninisation.

Wir müssen auch subcortical eine große Mannigfaltigkeit von abnormen Potentialschwankungen, die in ihrem quantitativen und zeitlichen Verhalten Unterschiede gegenüber den unter physiologischen Bedingungen gewonnenen Kurven aufweisen, erwarten. Darauf schon jetzt näher einzugehen, wäre verfrüht. Von Bedeutung sind hier zunächst vor allem die sog. *Krampfströme* (Kornmüller, 1932—1937). Sie stellen besonders große Steigerungen der elektrischen Aktivität dar und sind im allgemeinen durch die Höhe und Steilheit ihrer Abläufe gekennzeichnet und damit wohl als *abnorme synchronisierte Entladungen größerer Gruppen von Nervenzellen* aufzufassen.

Mit Hilfe der Krampfströme lassen sich durch gleichzeitige Mehrfachableitung vor allem zwei Fragestellungen angehen.

1. *Die zeitlichen Beziehungen der Krampfstromentladungen zu motorischen Reaktionen.* Bei den Untersuchungen an der Hirnrinde hat sich ergeben, daß bestimmte architektonische Felder dadurch gekennzeichnet

sind, daß ihre Krampfströme verknüpft sind mit motorischen Krämpfen in bestimmten Skelettmuskeln. Andere Felder, z. B. die *Area striata*, wiederum können Krampfströme aufweisen, ohne daß das Tier Krämpfe zeigt, obgleich die Voraussetzungen dazu gegeben sind (Fehlen einer Narkosewirkung). Analoges wäre für subcorticale Kerne festzustellen (durch gleichzeitige mehrfache Ableitungen sind Latenzzeiten zwischen den Krampfstromschwankungen und dem Beginn der Tätigkeit der entsprechenden Muskeln zu messen). Letzteres geschieht am besten mit Hilfe der Muskelaktionsströme. Durch die Größe der Latenzzeiten läßt sich ein Überblick darüber gewinnen, ob zwischen einem bestimmten subcorticalen Kern und bestimmten Muskeln wenige oder viele Synapsen liegen.

2. *Die Ausbreitung der Krampfstromentladungen im Zentralnervensystem selbst.* Trifft ein unphysiologisch starker Reiz graue Teile des Zentralnervensystems, so können am Reizort Krampfströme als Antwort der Nervenzellen auf diesen Reiz entstehen. Derartige abnorme Potentialschwankungen, die offenbar auf einer stark synchronisierten Tätigkeit größerer Gruppen von Neuronen beruhen, die unter physiologischen Bedingungen solche großen gemeinsamen Entladungen nicht zeigen, werden sich auch auf nervösem Wege von der Reizstelle aus auf andere Gebiete des Zentralnervensystems ausbreiten können. Kornmüller (1935a und 1936) hat dies an der Hirnrinde gezeigt. Es entstehen so indirekt an anderer Stelle ebenfalls Krampfströme, die aber im Verhältnis zu denen des Reizortes selbst in der Regel Unterschiede aufweisen. Durch gleichzeitige mehrfache Registrierung lassen sich Feststellungen treffen über die zeitlichen Beziehungen zwischen den Krampfströmen des Reizortes und denen, die vom Reizort aus auf nervösem Wege erregt wurden. Eine meßbare Latenzzeit kann uns ein Maß für die Geschwindigkeit der Erregungsausbreitung geben, und die Orte mit sekundären Krampfströmen lassen auf Verknüpfungen des Reizortes mit anderen Hirnteilen schließen. Es muß jedoch betont werden, daß die so ermittelten Beziehungen nicht unbedingt für physiologische Bedingungen gelten.

Auch die Feststellung, daß sich die abnorm starken Entladungen der Krampfströme von einem Gebiet auf bestimmte andere (z. B. die symmetrischen Kerne der anderen Seite) *nicht* ausbreiten oder von hemmendem Einfluß sind, kann für die Frage der Wechselbeziehungen verschiedener Gebiete von Bedeutung sein. So haben wir gefunden, daß sich Krampfströme aus dem Striatum einer Seite nicht auf das Striatum der anderen Seite auswirken (Abb. 12). Wie im Abschnitt V auseinander gesetzt wurde, läßt ein solcher Befund, zusammen mit der dort beschriebenen, vorwiegend gleichartigen und gleichzeitigen periodischen Tätigkeit des Striatum unter physiologischen Bedingungen, den Schluß zu, daß eine direkte Einwirkung von einem Striatum auf das gegen-

überliegende nicht stattfindet und läßt vermuten, daß beide Striata möglicherweise von einer dritten Stelle aus erregt werden. Ähnliches gilt für die Beziehung von „motorischer“ Rinde und Striatum.

Die Tatsache, daß sich abnorme Potentialschwankungen einer umschriebenen Hirnregion, z. B. durch lokale Strychninisierung erzeugte Krampfströme, auf andere, nicht von diesem Reiz selbst betroffene Gebiete ausbreiten, ist von großer Bedeutung für die Beurteilung der von *Dusser de Barenne* mit Hilfe der Strychninmethode gemachten Lokalisationsversuche. Es ist klar, daß es nicht möglich ist, sichere lokalisatorische Schlüsse aus diesen Versuchen zu ziehen, wenn nachgewiesen werden kann, daß nach lokaler Strychninisierung auch entfernte Gebiete an der abnormen Tätigkeit teilnehmen. So erklären sich vielleicht manche lokalisatorischen Befunde von *Dusser de Barennes* Strychninversuchen, die mit anderen experimentellen Ergebnissen im Widerspruch stehen, da sie viel ausgedehntere Gebiete, z. B. für die corticale Sensibilität, ergeben haben.

Krampfströme können in subcorticalen Gebieten bei der von uns angegebenen Ableitung scheinbar spontan auftreten. Es ist anzunehmen, daß in solchen Fällen das Einstechen der Elektrode als abnormer Reiz gewirkt hat. Wir möchten jedoch betonen, daß dies relativ selten vorkommt und immer erst, nachdem die Elektroden längere Zeit in dem Kerngebiet gelegen haben.

Subcorticale Krampfströme lassen sich experimentell durch fokale Strychninisation mit Hilfe einer *Kanülenelektrode* (Abb. 1d und 13) hervorrufen und registrieren. Diese Methode lehnt sich an die von *Dusser de Barenne* und Mitarbeitern angegebene Technik lokaler Strychninisierung tieferer Gehirnabschnitte an. Die hierzu verwandten Elektroden unterscheiden sich nur dadurch von den gewöhnlichen, daß sie statt einer soliden Elektrode eine feine Kanüle von 0,25 mm Durchmesser in ihrer Fassung haben, die, ebenso wie die Elektrodennadeln, bis auf die Spitze mit Isolierlack überzogen ist. Man kann auch von den Kanülnenadeln selbst nach Injektion von Strychnin ableiten. Doch erhält man wegen der auch bei vorsichtiger Injektion kleinster Mengen Strychnin unvermeidlichen Verletzungen von hier meist keine brauchbaren Potentialschwankungen. Dagegen können von den

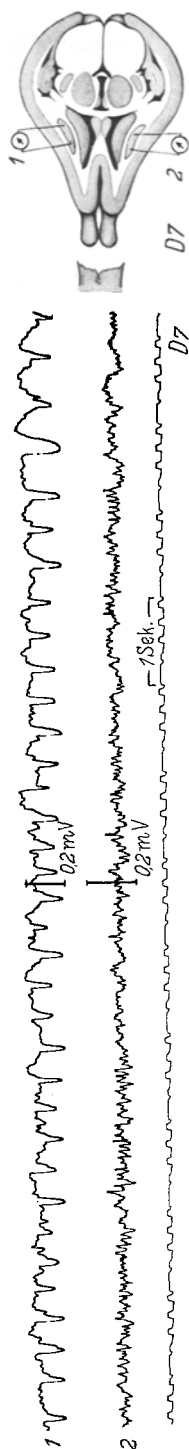


Abb. 12. Kaninchen D 7. Bipolare Ableitung aus dem Putamen des Striatum, rechts (1) und links (2). Krampfströme aus dem rechtsseitigen Putamen wirken sich nicht auf die Abläufe der linken Seite aus.

im benachbarten Gewebe liegenden Elektrodenadeln (mit Abstand von 1,5–3 mm) Krampfströme abgeleitet werden. Abb. 11 zeigt Krampfstromschwankungen vom Putamen des Kaninchens. Einen großen kontinuierlichen Krampfanfall vom Thalamus (Nucleus lat.) eines Kaninchens (durch Strychninisierung nach Freilegung hervorgerufen) findet man bei Kornmüller (1935a, Abb. 3).

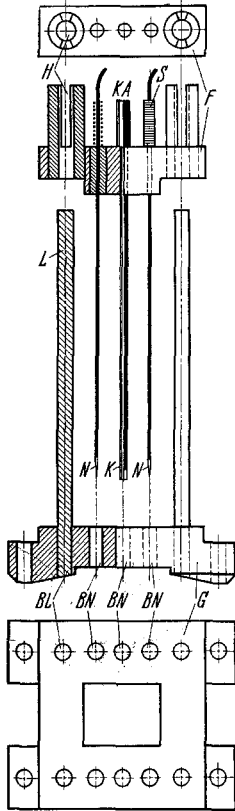


Abb. 13. Schematische Zeichnung einer Kanülenelektrode mit Fassung zur fokalen Strychninisierung. Darunter der Sockel mit Grundplatte (G), Bohrlöchern (B) und Leitstiften (L). In der Mitte zwischen den beiden Elektrodenadeln (N) mit Zuleitung (S) befindet sich die Kanüle (K), ebenso wie die Nadeln bis auf die Spitze mit Lack isoliert. Oben der Ansatz der Kanülenelektrode (KA), der mit Hilfe eines Stückes Ventilgummi mit einer kleinen Injektionsspritze verbunden wird, und von dem ebenfalls ein Zuleitungsdraht zum Verstärker führt. Elektrodenfassung (F) mit Hülse (H) zum Aufstecken auf die Leitstifte.

VII. Die Fehlerquellen der Methodik.

Da die mit äußerst feinen Nadelelektroden abgeleiteten subcorticalen Potentialschwankungen im allgemeinen kleiner sind als die von der Oberfläche der Hirnrinde abzuleitenden elektrobiologischen Effekte, sind sie auch verschiedenen *Störungsmöglichkeiten* mehr ausgesetzt und bieten größere *Fehlerquellen* in ihrer Deutung. Auf die häufigsten Fehlerquellen müssen wir daher im folgenden kurz hinweisen.

Verschiedene Nachteile und Erschwerungen gegenüber der Ableitung von der Hirnrinde liegen auf der Hand und brauchen nur kurz erwähnt zu werden. Abgesehen von der größeren Schwierigkeit und geringeren Sicherheit der Lokalisation bei subcorticalen Ableitungen spielt noch die mangelnde Kontrolle der Elektrode eine Rolle. Man weiß nie sicher, ob sich nicht kleine Blutungen, Austritt von Serum usw. an der Elektroden Spitze befinden, die die Ableitung weniger zuverlässig machen. Doch ist zu betonen, daß größere Blutungen bei der von uns verwandten Technik eine ausgesprochene Seltenheit darstellen. Nur bei 2 von 50 Versuchstieren haben wir bei genauer anatomischer Kontrolle Blutungen gesehen. Hier ließ sich schon während des Versuches durch das Verschwinden der Potentialschwankungen an den Elektroden, an denen später die Blutung gefunden wurde, derartiges voraussehen (Abb. 9c).

Bei der „unipolaren“ Ableitung erhält man dadurch am häufigsten fehlerhafte Resultate, daß die „indifferente“ Elektrode nicht frei von

Potentialschwankungen ist, die daher von dort in die Ableitung eingestreut werden. Auf die so bedingten Störungen (Muskelpotentiale, atmungssynchrone Schwankungen, Einstreuung entfernter Hirnrindenelemente) und deren Vermeidung durch geeignete Befestigung der inaktiven Elektrode auf Knochen mit sauber abgeschabtem Periost wurde schon in Abschnitt III hingewiesen.

Eine sehr wichtige Fehlerquelle, an die immer gedacht werden muß, stellen *Isolierungsdefekte* der Elektroden dar. Durch unvorsichtige Handhabung kann der Lack auf den Elektrodennadeln an einer kleinen Stelle

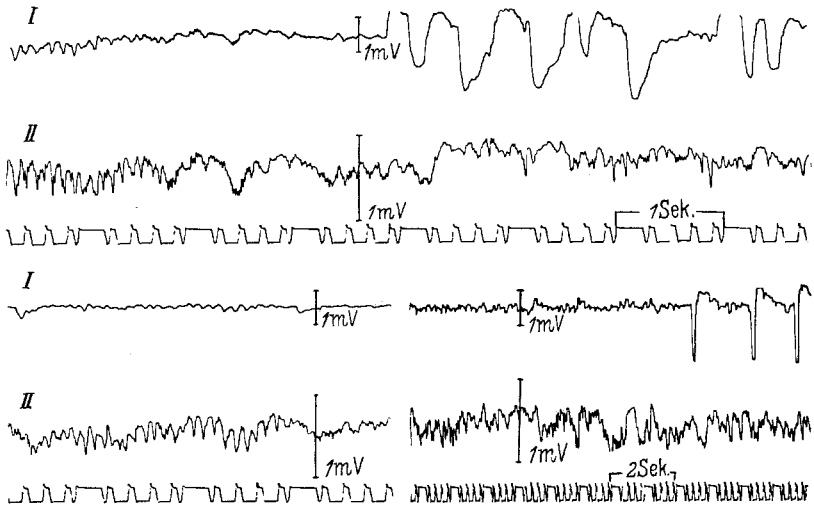


Abb. 14. Kaninchen D 18. *Fehlerhafte Registrierung durch undichte Elektrodenisolierung.* An der Elektrode I, die aus demselben Kern des Striatum mit ihrer blanken Spitze Potentialschwankungen registriert, zeigen sich plötzlich sehr große Schwankungen vom Typus der Krampfströme, von denen an der anderen Elektrode keine Spur zu entdecken ist. Normalerweise finden sich aber an zwei Elektroden im selben Kerngebiet immer gleichartige Abläufe, selbst wenn Krampfströme auftreten. Bei späterer Kontrolle zeigte sich, daß diese abnormen Abläufe von einer nicht isolierten Elektrodenstelle (5 mm oberhalb der blanken Spitze) stammten, die in der Hirnrinde lokalisiert war.

abgekratzt werden, mit dem Ergebnis, daß man jetzt nicht nur von der blanken Spitze, sondern auch von der fehlerhaft blanken Stelle Potentialschwankungen ableitet. Heß hat auf diese Fehlerquelle, die natürlich auch bei der subcorticalen Reizung eine große Rolle spielt, schon hingewiesen und betont, daß eine Vermeidung nur dann möglich ist, wenn die Dichtigkeit der Elektroden regelmäßig kontrolliert wird (am einfachsten durch Gleichstromdurchleitung mit kathodischer Schaltung in einer Salzlösung). *Man soll daher vor jedem Experiment die Elektrodenisolierung kontrollieren.* Wir würden auf diesen Punkt nicht so großes Gewicht legen, wenn wir nicht durch Erfahrungen belehrt worden wären, daß bei kleinen Isolierungsfehlern die Interpretation eines ganzen Versuches in Frage gestellt werden kann. Abb. 14 zeigt eine doppelte

unipolare Registrierung aus dem *Caudatum*, bei der durch undichte Isolierung an der vorderen Elektrode, 5 mm oberhalb der blanken Spitze, fremde, nicht aus dem Caudatum stammende Potentialschwankungen eingestreut wurden (Krampfströme aus der darüberliegenden Rinde). Nach längerer Erfahrung bemerkt man derartige Fehler sofort während des Versuches.

Schließlich müssen noch einige mögliche *Einwände* diskutiert werden, die man gegen den Anspruch erheben kann, daß wir mit unseren subcorticalen Ableitungen physiologische Vorgänge registrieren. Man könnte sagen, daß durch das Einstechen der Nadelelektroden ein abnormer Reizzustand in den betreffenden Kerngebieten erzeugt wird, und daß daher das, was wir mit unserer Methodik registrieren, nicht Ausdruck physiologischer Erscheinungen ist. Tatsächlich kann man nicht bestreiten, daß durch Verletzungen abnorme elektrobiologische Erscheinungen ausgelöst werden können, und wir haben oben kurz darauf hingewiesen, daß wir die gelegentlich scheinbar spontan auftretenden Krampfstromentladungen in subcorticalen Kernen so auffassen. Derartige Schwankungen lassen sich jedoch von den physiologischen unterscheiden. Es ist bekannt, daß die Hirnrinde nach Verletzungen neben einer Verminderung von Potentialschwankungen auch krampfstromartige Entladungen zeigen kann, wie sie *Adrian* und *Matthews* (1934) als „injury discharge“ beschrieben haben, und daß selbst periphere Nerven durch Verletzungen zu einer abnormen synchronen Tätigkeit angeregt werden können. Diese Phänomene stellen eine Fehlerquelle dar, die man kennen muß.

Wir haben uns jedoch schon durch Vorversuche an der Hirnrinde davon überzeugt, daß *durch das Einstechen der Nadelelektroden in fast allen Fällen keine wesentliche Änderung im Typus der „normalen“ Potentialschwankungen entsteht*. Es ergab sich bei diesen Versuchen, daß die „Eigenströme“ der Hirnrinde bei Ableitung von Nadelelektroden nicht gestört und verändert werden, wenn auch die Amplitude natürlich im allgemeinen kleiner ist als bei der Ableitung von der Oberfläche; denn hierbei wird, etwa bei Auflage einer Tonstiefelektrode, ein wesentlich größeres Areal mit zahlreicheren Nervenzellen durch die Ableitung erfaßt.

Die Tatsache, daß auch über Stunden hinaus, in günstigen Fällen länger als 3 Stunden, mit eingestochener Nadelelektrode charakteristische, lokalisierte Potentialschwankungen von gleichartigem Typus registriert werden können, spricht dafür, daß es sich bei unseren Ableitungen nicht um die Registrierung irgendwelcher mechanischer Reizerscheinungen, sondern wirklich um die Erfassung physiologischer Vorgänge in subcorticalen Kernen handelt.

VIII. Schluß.

Mit der beschriebenen Methodik der Ableitung lokalisierter subcorticaler Potentialschwankungen werden die Möglichkeiten experi-

mentell-physiologischer Erforschung tiefer gelegener Teile des Zentralnervensystems, die bis heute nur durch Reiz- und Ausschaltungsversuche angegangen werden konnten, wesentlich erweitert. Besonders wertvoll ist die Verbindung aller dieser Methoden und ihre Anwendung am selben Versuchstiere. Der größte Teil unserer subcorticalen Ableitungsversuche wurde *mit elektrischer Reizung und Ausschaltung kombiniert*. Der systematische Ausbau dieser Methoden verspricht einen Fortschritt in der physiologischen Erforschung der subcorticalen Hirngebiete und ihrer funktionellen Beziehungen.

Zusammenfassung.

1. Es wird eine *Methode zur lokalisierten Ableitung subcorticaler Potentialschwankungen* beschrieben, die sich an die von W. R. Heß für die subcorticale Reizung ausgearbeitete Technik anlehnt.

2. Die für derartige Versuche notwendige sorgfältige *anatomische Kontrolle* erfolgt am besten zunächst makroskopisch an Horizontalschnitten mit Hilfe der Eisenreaktion an der Stelle der blanken Elektroden spitzen, anschließend daran mikroskopisch an Serienschnitten.

3. Bei Anwendung der üblichen *Narcotica*, besonders nach Barbitursäurederivaten, erhält man wesentliche Änderungen der subcorticalen Potentialschwankungen. Stickoxydulnarkose dagegen macht geringere und rascher reversible Veränderungen. Es ist daher zweckmäßig, die Operation zum Elektrodensetzen in Stickoxydulnarkose vorzunehmen und anschließend am wachen Tiere abzuleiten.

4. Die beschriebene Technik ist nicht nur für subcorticale Gebiete anwendbar, sondern auch zur elektrobiologischen Erforschung *basal gelegener Rindenanteile* brauchbar, die sonst nicht ohne größere Eingriffe mit Verletzungen anderer Hirnteile erreichbar sind. So konnten z. B. aus den Ammonsformationen (Gegenden, die nicht von der sichtbaren Oberfläche zu erreichen sind) sehr charakteristische rhythmische Aktivierungen nach Schmerzreizen abgeleitet werden.

5. Die größeren subcorticalen Kerngebiete lassen bei Ruhe des Tieres charakteristische, *lokalisatorisch verschiedene, aber im selben Kerngebiet gleichartige Abläufe* der elektrischen Tätigkeit erkennen.

6. Die verschiedenen Ableitungsarten, *unipolare* Ableitung (gegen eine auf elektrisch inaktivem Knochen liegende Elektrode) und *bipolare* Ableitung (beide Elektroden im selben elektrisch aktiven Kerngebiete) und die damit erzielten Ergebnisse werden im einzelnen dargestellt. Der Vergleich verschiedener Ableitungsarten bedeutet eine Kontrolle für die richtige Erfassung lokalisierter subcorticaler Potentialschwankungen und läßt manche Fehlerquellen besser ausschließen.

7. Durch den Vergleich *mehrfach registrierter* Ableitungen zeigt sich, daß die Potentialschwankungen innerhalb der größeren einheitlichen

Kerngebiete der Stammganglien bei Ruhe des Tieres im wesentlichen *synchron* verlaufen.

8. Durch mehrfache Ableitungen aus verschiedenen Kerngebieten ist es möglich, Schlüsse auf die *funktionellen Beziehungen verschiedener Hirnteile* zu ziehen. Z. B. zeigt das Striatum Potentialschwankungen, die weitgehend denen der „motorischen“ Rinde ähneln und auch zeitlich häufig mit diesen zusammenfallen.

9. Mit Hilfe von Hohnnadelelektroden können in subcorticalen Gebieten durch *Injektion kleinster Strychninmengen* abnorme Potentialschwankungen (*Krampfströme*) erzeugt werden, deren Ausbreitung und Auswirkung auf andere Gebiete ebenfalls für das Studium der Wechselbeziehungen verschiedener Kerne herangezogen werden kann.

10. *Die Ableitung von Potentialschwankungen bedeutet eine wichtige Ergänzung subcorticaler Reiz- und Ausschaltungsversuche*, mit denen sie kombiniert werden kann. Die Verbindung aller dieser Methoden und ihr systematischer Ausbau eröffnet gangbare und aussichtsreiche Wege für die physiologische Erforschung der subcorticalen Kerngebiete und ihrer funktionellen Beziehungen.

Literaturverzeichnis.

- Adrian, E. D.*: J. of Physiol. 88, 127 (1936). — *Adrian, E. D. and B. H. C. Matthews*: J. of Physiol. 81, 440 (1934). — *Bartley, S. H. and G. H. Bishop*: Amer. J. Physiol. 103, 173 (1933). — *Bishop, G. H.*: Arch. of Ophthalm. 14, 982 (1935). — *Dusser de Barenne, J. G. and O. Sager*: Arch. of Neur. 38, 913 (1937). — *Gerard, R. W., W. H. Marshall and L. J. Saul*: Arch. of Neur. 36, 675 (1936). — *Hasama, B.*: Pflügers Arch. 234, 748 (1934); 236, 36 (1935). — *Heß, W. R.*: Die Methodik der lokalisierten Reizung und Ausschaltung subcorticaler Hirnabschnitte. Leipzig: Georg Thieme 1932. — *Jung, R. u. A. E. Kornmüller*: Psychiatr.-Neur. Ges. Berlin, 10. Jan. 1938. Zbl. Neur. 91 (1938). — *Kornmüller, A. E.*: Vortr. Ges. dtsh. Neur. 1932. Dtsch. Z. Nervenheilk. 130, 44 (1933). — Fortschr. Neur. 5, H. 10 (1933 b), 7, H. 9/10 (1935 a). — Biol. Rev. Cambridge philos. Soc. 10, 383 (1935 b). — Dtsch. Z. Nervenheilk. 139, 81 (1936). — Die bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrindfelder mit allgemeineren Ergebnissen zur Physiologie und Pathophysiologie des zentralnervösen Griseum. Leipzig: Georg Thieme 1937. — *Kornmüller, A. E. and J. A. Schaefer*: J. of Neurophysiol. 1, 287 (1938). — *Rose, M.*: J. Psychol. u. Neur. 43, 353 (1931). — Das Zwischenhirn des Kaninchens. Mém. de l'Acad. Polon. Krakau 1935. — *Simpson, H. N. and A. J. Derbyshire*: Amer. J. Physiol. 109, 99 (1934). — *Spiegel, E. A.*: Amer. J. Physiol. 81, 596 (1937). — *Tönnies, J. F.*: Dtsch. Z. Nervenheilk. 130, 60 (1933). — Review of Scientific Instruments 9, 95 (1938). — *Weisschedel, E. u. R. Jung*: Pflügers Arch. 241 (1938).