

Das Gerät zur Elektrokrampf-Erzeugung und seine physikalischen Grundlagen.

Von Dr. habil. Johannes Pätzold.

Mit 4 Bildern.

Mitteilung aus dem Elektromedizinischen Laboratorium
der Siemens-Reiniger-Werke A.G. zu Erlangen.

Vortrag, gehalten am 25. Juni 1940 in der Physikalisch-medizinischen Sozietät
der Universität Erlangen.

Die elektrische Hirnreizung zur Erzeugung eines epileptischen Anfalles, die Cerletti und Bini (1) seit einiger Zeit als therapeutische Maßnahme bei gewissen Geisteskrankheiten so erfolgreich verwenden, ist an sich nicht neu. Bereits 1870 haben Fritsch und Hitzig (2) in ihrer Arbeit „Über die elektrische Erregbarkeit des Großhirns“ darauf hingewiesen, daß man durch elektrische Reizung des Tierhirns einen epileptischen Anfall verursachen kann. Nach Übergehung mehrerer Autoren, die seit jener Zeit das Problem weiter gefördert haben, ist es zum Verständnis der Entwicklung des jetzigen Behandlungsgerätes zweckmäßig, sich insbesondere den Stand der Arbeiten von Schilf (3) aus dem Jahre 1922 zu vergegenwärtigen. Von älteren Arbeiten ausgehend, hat dieser Physiologe durch Hirnreizung mittels kurzzeitiger Einschaltung eines 50periodigen Wechselstromes bei Hunden epileptische Anfälle ohne Öffnung des Schädels hervorgerufen. Die Elektroden wurden auf die Bindehaut beider Augen des Versuchstieres aufgebracht. Schilf arbeitete stets an der Reizschwelle, also mit einer Stromstärke, die gerade noch den epileptischen Anfall hervorruft. Die Latenzzeit betrug in der Regel 2—5 Sekunden, jedoch trat sofort nach dem Einschalten des Stromes Bewußtlosigkeit ein. U. a. stellte er fest, daß die bei den Versuchen benutzten Hunde die künstlichen Anfälle ohne Schädigungen vertrugen. Zur Zeitmessung

benutzte er ein Kontaktpendel, das jeweils für 0,5 Sekunden leitende Verbindung zwischen Stromquelle und Behandlungsobjekt herstellte. Zwecks Dosierung des elektrischen Reizes veränderte er nicht die Behandlungszeit, sondern mittels eines in den Behandlungskreis eingeschalteten regelbaren Widerstandes die an den Elektroden liegende Spannung (bis 75 V.). Die Größe des elektrischen Reizes beurteilte er nach der Behandlungsstromstärke. Außerdem konnte nach Abschalten des Versuchstieres leicht durch Substitution die Größe des Schädelwiderstandes bei der Behandlungsspannung ermittelt werden. In den meisten Fällen betrug dieser Widerstand 200 Ω .

Die von Schilf benutzte Behandlungsanordnung besaß also einen Zeitschalter, Mittel zur Veränderung der Größe des elektrischen Reizes und eine Anordnung zur Messung des Widerstandes des Behandlungsobjektes. Am Schluß seiner Arbeit hat Schilf darauf hingewiesen, daß sich über einen therapeutischen Erfolg derartiger künstlicher Anfälle bei Menschen erst nach praktischen Erfahrungen urteilen läßt.

Nach weiteren zahlreichen Tierversuchen diese Erfahrungen am Menschen unter Verwendung eines verbesserten Gerätes gesammelt und den Elektroschock in die Krampftherapie eingeführt zu haben, ist das große Verdienst von Cerletti und Bini. Grundsätzlich besitzt der von Bini(4) entwickelte Apparat die gleichen Schaltelemente wie die Anordnung von Schilf. Auch seine wesentlichen Bestandteile sind außer der Wechsellspannungsquelle ein Zeitschalter, allerdings im Bereich von 0—2 Sekunden einstellbar, Regelvorrichtungen zur Veränderung der Größe der Reizspannung zwischen 80 und 140 V. und eine Anordnung zur Messung des Schädelwiderstandes. Im Gegensatz zu Schilf, der den Widerstand bei der Behandlungsspannung bestimmte und dies grundsätzlich erst nach der Verabfolgung des Reizes ausführen konnte, wird bei dem Gerät von Bini mit einer kleinen variablen Gleichspannung (maximal 2 V.) nach dem Prinzip des Ohmmeters aus der Stromeinstellung auf 1 mA vorher der Widerstand ermittelt. Auf Grund dieses Widerstandes wird zur Stromdosierung, nach Angabe der Autoren in den Grenzen von 300 bis 600 mA, die zugehörige Wechsellspannung unter der Annahme, daß sich der Schädelwiderstand wie ein frequenz- und spannungsunabhängiger Widerstand verhält, voreingestellt und dann der

Reiz durch Betätigen des Zeitrelais ausgelöst. Auf den Wert dieser Widerstandsermittlung zum angegebenen Zweck komme ich später zurück.

Die von Cerletti und Bini benutzten Elektroden bestehen aus zwei dünnen Metallnetzen, die jeweils an einem Metallkreuz befestigt sind und in einem Kopfbügel eingebaut oberhalb der Schläfen angedrückt werden. Zwischen Metallnetz und Metallkreuz befindet sich aus Gründen des besseren Sitzes ein Gummikissen. Zur Erzielung eines möglichst geringen Übergangswiderstandes ist eine sorgfältige Vorbereitung der Schläfengegend durch Entfernen der Haare, Anfeuchten mit Kochsalzlösung usw. erforderlich.

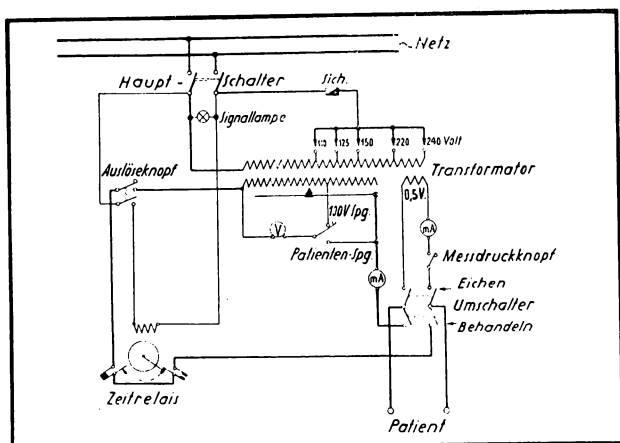


Abb. 1.

Prinzipialschaltung des älteren Gerätes zur Elektrokrampf-Erzeugung.

Bild 1 zeigt die Prinzipialschaltung eines Gerätes, das wir in Anlehnung an die Konstruktion von Bini gebaut haben und das zuerst in der Universitäts-Nervenklinik Erlangen (5) praktisch erprobt wurde. Den Hauptbestandteil bildet ein Transformator mit zwei Sekundärwicklungen, die eine für die innerhalb der Grenzen von 35 bis 130 V. regelbare Spannung zur Auslösung des Krampfes, die andere für eine konstante Meßspannung von 0,5 V. Nach Anlegen der Elektroden wird die Meßspannung kurzzeitig eingeschaltet und der bei 0,5 V. fließende Strom gemessen (ca. 0,7—1,3 mA). Auf Grund des daraus ermittelten

Widerstandes wird die Reizspannung an Hand eines Kurvenblattes so eingeregelt, daß bei Annahme von Verhältnissen, wie sie bei einem spannungsunabhängigen Widerstand gegeben wären, nach Auslösung des elektrischen Reizes der Strom den gewünschten Wert zwischen 150 und 600 mA annimmt. Das Zeitrelais wird vorher auf die beabsichtigte Stromflußdauer (0,1... 2 Sek.) eingestellt, die Abschaltung erfolgt selbsttätig. Die Messung der tatsächlich durch den Schädel geflossenen Stromstärke mit einfachen Mitteln stößt wegen der kurzen Zeiten von vorzugsweise 0,3—0,8 Sekunden auf Schwierigkeiten. Mit technischen Wechselstrommessern ist die Ablesung unsicher, technisch einwandfreie Lösungen wie Milliamperesekundenrelais usw. erfordern einen zu großen Aufwand.

Abweichend von dem Gerät Binis ist im wesentlichen nur die Verwendung von Wechselspannung (0,5 V.) zur Widerstandsmessung. Diese Abänderung wurde von uns bewußt vorgenommen, da die Benutzung von Gleichstrom zur Widerstandsbestimmung, die doch die Grundlage für die Dosierung der Behandlungsstromstärke (Wechselstrom) liefern soll, wegen der bekannten großen Abweichungen, die die Polarisierung des biologischen Gewebes, insbesondere der Haut, hervorruft, von vornherein äußerst problematisch erscheint.

So hat bereits Sogliani (6), der über große klinische Erfahrungen mit der neuen Methode verfügt, auf die Bestimmung des Schädelwiderstandes mit Gleichstrom und damit auf eine Voreinstellung der Behandlungsstromstärke ganz verzichtet, nachdem er beobachtet hatte, daß dieser Messung keinerlei Wert für eine praktische Dosierung zukommt. Er arbeitet deshalb immer mit ein und derselben Spannung von 110 V., dosiert lediglich nach Zeit und begrenzt den Strom nach oben durch einen Überstromschalter. Diesem Vorgehen hat sich in Deutschland weitgehend von Braunmühl (7) angeschlossen.

Unsere Elektroden bestehen aus einem haltbaren Panzergliedergeflecht, das in einen Metallring von 40 mm Durchmesser eingefast ist. Sie werden ähnlich wie bei der italienischen Ausführung durch ein mit Kochsalzlösung getränktes Gummipolster weich an den Schädel gedrückt und durch ein Stirnband gehalten.

Außer regelmäßigen Behandlungen in der Erlanger Universitäts-Nervenklinik (5) und in der Insulinstation der Heil-

und Pflgeanstalt Eglfing-Haar bei München (7), bei denen sich dieses Gerät sehr gut bewährte, benutzten wir es zu nachfolgenden Messungen, die die Grundlage zu der weiteren Entwicklung abgaben. Für die Ermöglichung und Unterstützung dieser Meßarbeiten an Patienten sind wir Herrn Prof. Meggen-dorfer und Herrn Oberarzt Dr. Bingel, Universitäts-Nerven-klinik Erlangen, zu großem Dank verpflichtet.

Im Vordergrund stand für uns die Frage, inwieweit die einfache Widerstandsmessung aus Stromstärke bei 0,5 V. den für die Behandlungsspannung von ca. 100 V. geltenden Wert richtig vermittelt. Unseres Wissens ist noch nirgends am lebenden, menschlichen Körper, insbesondere am Schädel, bei so hohen Spannungen der Wechselstromwiderstand gemessen worden. Wir oszillographierten zu diesem Zweck an einer größeren Anzahl von Patienten Strom und Spannung während der Auslösung des Elektrokrampfes (Behandlungszeiten von 0,3—0,8 Sek.) und gewannen u. a. folgende Ergebnisse:

1. Unregelmäßigkeiten der Stromkurven beim Ein- und Ausschaltvorgang treten nicht auf.
2. Die Amplitude des Stromes bzw. der Spannung ist während der gesamten Behandlungsdauer konstant. Im Gegensatz zu der allerdings langsam erfolgenden zeitlichen Zunahme des Stromes bei normaler Galvanisation und Faradisation sowie beim Meßvorgang mit 0,5 Volt konnte hierbei keinerlei Abhängigkeit des Widerstandes von der Zeit beobachtet werden.
3. Eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung ist bei den hier benötigten hohen Spannungen von ca. 100 V. nicht vorhanden. Demgegenüber treten bei der kleinen Meßspannung Phasenwinkel von ca. 20° im Sinne kapazitiver Impedanz auf.
4. Über den Schädelwiderstand bei 0,5 V. und bei der krampfauslösenden Spannung von ca. 100 V. gibt Bild 2 Auskunft. Es enthält eine Zusammenstellung der Meßwerte, die an sieben Patienten gewonnen wurden.

Spalte 1 bezeichnet die Versuchsperson.

Spalte 2 enthält den bei 0,5 V. ermittelten Wechselstromwiderstand.

Spalte 3 nennt die aus dem Oszillogramm entnommene Elektrodenspannung, die bei der Krampfauslösung wirksam war.

Spalte 4 zeigt die während der Behandlung tatsächlich geflossene Stromstärke an.

Spalte 5 ergibt den wirksamen Schädelwiderstand bei der Behandlungsspannung.

Spalte 6 schließlich enthält die Verhältniszahl für den Schädelwiderstand bei 0,5 V. zu dem bei der Behandlungsspannung wirksamen.

Patient Nr.	$R_{0,5} \Omega$ bei $U=0,5V$	U Volt	I m Amp	R_w Ω	$R_{0,5} : R_w$
1	1350	94	300	313	4,3
2	925	87	356	244	3,8
3	785	110	359	306	2,6
4	830	81,5	242	337	2,5
5	710	95	315	300	2,4
6	650	95	335	283	2,3
7	485	111	355	312	1,6
$\overline{R_{0,5}} = 820 \Omega \pm \begin{smallmatrix} 65\% \\ 41\% \end{smallmatrix}$		$\overline{R_w} = 300 \Omega \pm \begin{smallmatrix} 12\% \\ 19\% \end{smallmatrix}$			

Abb. 2.

Schädelwiderstand bei 0,5 und ca. 100 V Wechselspannung. $f = 50$ Hz.

Man sieht aus diesen Messungen zunächst, daß die bei 0,5 V. Wechselspannung ermittelten Widerstandswerte $R_{0,5}$ sich von Patient zu Patient stark unterscheiden. So beträgt der maximale Widerstand 1350 Ω und der minimale 485 Ω . Der Mittelwert aus den sieben Widerstandswerten liegt bei $\overline{R_{0,5}} = 820 \Omega$ mit einer größten Abweichung nach oben von 65% und der entsprechenden nach unten von 41%.

Dagegen liegen die jeweils sofort anschließend bei der Behandlungsspannung von ca. 100 V. festgestellten wirksamen Schädelwiderstände R_w durchgehend wesentlich tiefer, und, worauf hier besonders hingewiesen sei, unterscheiden sie sich von

Patient zu Patient weniger stark. Der maximale Widerstand ist hier 337Ω , der minimale 240Ω , der Mittelwert $\overline{R_w} = 300 \Omega$ und die entsprechenden größten Abweichungen betragen nur $+12\%$ bzw. -19% .

Untersuchungen an weiteren fünf Versuchspersonen machten keine Änderungen an diesen Feststellungen erforderlich. Immerhin wäre es wünschenswert, wenn das in Bild 2 enthaltene Zahlenmaterial durch oszillographische Messungen an weiteren Versuchspersonen wesentlich vergrößert würde.

Die praktische Konsequenz aus obigen Beobachtungen liegt auf der Hand. Nicht nur die Widerstandsbestimmung mit kleinen Gleichspannungen, sondern auch die mit 0,5 V. Wechselspannung ergibt unrichtige und zwar zu große Werte, so daß die darauf fußende Voreinstellung der Behandlungsspannung fehlerhaft wird und unvorhergesehene Vergrößerungen der Behandlungsstromstärke theoretisch bis zum ca. vierfachen Sollwert vorkommen können. Praktisch werden zwar so starke Stromüberdosierungen wegen des dafür zu kleinen Spannungsbereiches der bisher in den Geräten benutzten Transformatoren nicht zustande kommen, immerhin konnten wir Stromüberdosierungen von 200—300% des beabsichtigten Stromwertes beobachten.

Wenn auch die praktische Erfahrung zu lehren scheint, daß trotz bewußter und unbewußter Überdosierungen bis zum mehrfachen Strom- und Zeitwert gegenüber dem Schwellenwert ernsthafte Zwischenfälle nicht vorgekommen sind, und deshalb wohl angenommen werden kann, daß zwischen Reizschwelle für die Auslösung eines epileptischen Anfalles und dem Beginn der Schädigungsdosis ein breiter Wirkungsbereich von Strom- und Zeitwerten vorhanden sein wird, so ist die quantitative Kenntnis obiger Zusammenhänge unerläßlich, wenn man anstrebt, immer in der Nähe der Reizschwelle der Dosis, die mit Sicherheit gerade eben noch einen Anfall auslöst, zu arbeiten.

Was bedeutet nun physikalisch betrachtet die große Spannungsabhängigkeit des Schädelwiderstandes und welches sind die für die Weiterentwicklung des Gerätes sich aus diesen Messungen ergebenden Folgerungen?

Zur Beantwortung dieser Fragen müssen wir auf die grundlegenden Arbeiten von Gildemeister (8) zurückgehen, die

wesentliche Klärung des Problems der elektrischen Leitung im Organismus gebracht haben. Danach haben wir den Körper als Polarisationszelle aufzufassen. Fließt durch eine solche elektrolytische Zelle ein Gleichstrom, so entstehen bekanntlich infolge von Konzentrationsänderungen der Ionen und durch Auftreten elektrischer Doppelschichten an den Phasengrenzen elektromotorische Gegenkräfte, die den wahren Elektrolytwiderstand scheinbar erhöhen.

Sind wie im Falle biologischer Gewebe halbdurchlässige Membranen zugegen, so verändert sich die Ionenkonzentration an der Membran und es entsteht nach Nernst eine Konzentrationskette. Die Ionen diffundieren von Stellen höherer Konzentration nach Stellen niederer Konzentration und erzeugen dabei, weil die positiven und negativen Ionen im allgemeinen eine verschiedene Beweglichkeit haben bzw. in den verschiedenen Lösungsmitteln zu beiden Seiten der Membran verschiedene Geschwindigkeiten annehmen, eine Potentialdifferenz. Die elektromotorische Gegenkraft führt einen Gleichgewichtszustand mit der Kraft herbei, die die ursprüngliche Ionenverschiebung bewirkt. Im übrigen lassen sich auf thermodynamischem Wege, wie es Nernst gezeigt hat, aus Lösungstension und osmotischem Druck die elektromotorischen Kräfte physikalisch definierter Konzentrationselemente berechnen.

Gildemeister konnte die für den Stromdurchgang durch den Organismus wesentlichsten Schlußfolgerungen aus dieser Theorie experimentell bestätigen. U. a. fand er dabei, daß insbesondere die Haut der Sitz für die starke Polarisation biologischer Gewebe ist. Für unsere Fragestellung ist vor allem die Feststellung wichtig, daß der Körperwiderstand bei Gleichstrom sich mit steigender Meßspannung stark erniedrigt und daß er bei technischem Wechselstrom wegen der schon geringeren Polarisation unter sonst gleichen Verhältnissen erheblich kleiner ist als bei Gleichstrom. Immerhin treten auch bei 50 Perioden während einer Halbwelle noch Konzentrationsänderungen an den Zellwänden und deshalb Polarisationsspannungen auf, die, wenn auch in geringerem Ausmaße als bei Gleichstrom, doch noch eine Spannungsabhängigkeit des Widerstandes verursachen. Die Abnahme des Körperwiderstandes mit der Spannung erklärt sich danach daraus, daß die Gegen-EMK. der Polarisation nur ein

bestimmtes Maximum erreichen kann und bei wesentlich höheren, von außen aufgedrückten Spannungen immer mehr an Bedeutung verliert. Bei sehr hohen Spannungen strebt theoretisch jedenfalls der wirksame Körperwiderstand dem wahren Widerstand, wie er nur bei Hochfrequenz gemessen werden kann, zu.

Eine zweite Hypothese zur Erklärung der Spannungsabhängigkeit des Körperwiderstandes, die in anderem Zusammenhang Gildemeister ausgesprochen hat und die insbesondere Freiburger (9) zur Deutung seiner Widerstandsmessungen an Leichen benutzt, geht davon aus, daß oberhalb bestimmter Spannungs- und Zeitwerte die Membranen der Hautzellen durchschlagen werden. Freiburger weist nach, daß schon bei Spannungen von ca. 50 V. an Körperstellen mit dünner Haut derartige Durchbrüche auftreten, die er als einen dem „Wärmedurchschlag“ ähnlichen Vorgang auffaßt. Da in unseren Oszillogrammen keine Anzeichen für die zeitliche Zunahme des Stromes vorhanden sind, müssen wir annehmen, daß bei den in der Elektrokrampftherapie zur Anwendung gelangenden Strom- und Zeitwerten derartige Durchschläge innerhalb der Kopfhaut nicht auftreten. Wahrscheinlich sind dafür insbesondere die Behandlungszeiten zu kurz.

Auf andere, für unsere Fragestellung weniger wichtige Abhängigkeiten, die in Zusammenhang mit der Wechselstromleitung durch den Organismus stehen, braucht hier nicht eingegangen zu werden.

Unserer Auffassung nach dürfte den Untersuchungen der Spannungsabhängigkeit des Schädelwiderstandes am lebenden Körper entsprechend den in Bild 2 mitgeteilten Ergebnissen außer ihrer praktischen Bedeutung für das Dosierungsproblem beim Elektrokrampfverfahren auch ein electrophysiologisches Interesse zukommen insofern, als es hier möglich war, in derartige Messungen erstmalig hohe Spannungswerte von 100 V. und mehr einzubeziehen. Bisher wurden die Gesetzmäßigkeiten vor allem an der Elektrodenanordnung Hand-Hand studiert, wo man aus Gründen der Schmerzhaftigkeit und der Gefährlichkeit nicht höhere Spannungen als ca. 30 V. anwenden konnte. Bild 3 zeigt derartige Messungen der Spannungsabhängigkeit des Körperwiderstandes nach Raschorn (8) (punktierte Kurve) sowie eigene (ausgezogene Kurven). Im Falle trockener Hände kommt

zur Polarisation noch Übergangswiderstand und elektrostatische Kapazität zwischen Metallelektroden und Haut hinzu. Die Anfeuchtung der Hand mit Kochsalzlösung setzt den Übergangswiderstand stark herab und vermindert die in Erscheinung tretende Spannungsabhängigkeit beträchtlich. Die Pfeilrichtung der oberen ausgezogenen Kurven deutet den zeitlichen Verlauf ihrer Aufnahme an. Man sieht, daß das bei längerem Anfassen unvermeidliche Feuchtwerden der ursprünglich vollkommen trockenen Hände bereits eine erhebliche Widerstandsverringerung mit sich bringt. Die individuellen Schwankungen der Körperwiderstände sind im Falle trockener Hände so groß, daß es gar keinen Sinn hat, einen Mittelwert anzugeben. Wie es bereits die drei

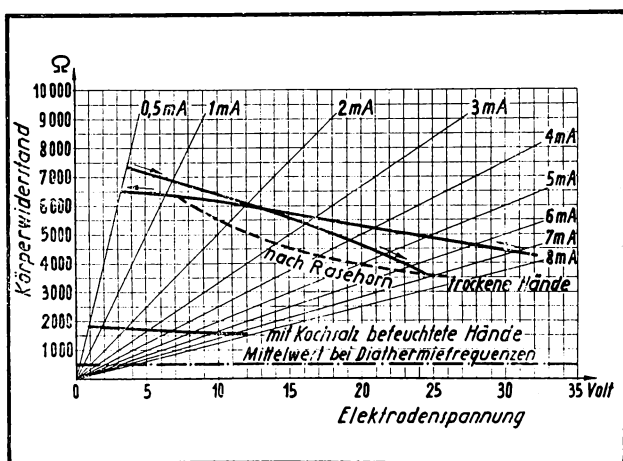


Abb. 3.

Wechselstromwiderstand des Körpers von Hand zu Hand. $f = 50 \text{ Hz}$.

in Bild 3 für trockene Hände gezeigten Kurven erkennen lassen, ist auch der Kurvencharakter uneinheitlich. Anders ist es im Falle der mit Kochsalzlösung befeuchteten Hände; hier betrugen die Abweichungen von der gezeichneten Kurve bei sechs Versuchspersonen nicht mehr als ca. 15%. Alle Meßreihen sind bis zu Stromstärken ausgedehnt, die eben noch erträglich waren, d. h. bis etwa 8 mA. Der Darstellung in Bild 3 können die jeweils benutzten Stromwerte mit entnommen werden. Als unterer Grenzwert des wirksamen Widerstandes, der theoretisch bei weiterer

Spannungserhöhung jemals erreicht werden könnte, ist der entsprechende Hochfrequenzwiderstand eingetragen.

Sind bei derartigen Messungen mit Röhrenelektroden in beiden Händen vor allem wegen der Gefährdung des Herzens enge Grenzen für die anwendbaren Spannungen gezogen, so sind es im Falle der Schädelwiderstandsmessungen die starken Nebenwirkungen der Gehirndurchströmungen, nämlich mit steigender Spannung zunehmende Schmerzhaftigkeit, schließlich Bewußtseinsauslöschung und Auslösen epileptischer Anfälle, die die Aufnahme der Spannungsabhängigkeit im ganzen Wertebereich von 0,5—100 V. an einer Versuchsperson unmöglich machen. Wir müssen uns deshalb leider mit jeweils zwei Meßspannungen und zwar mit der unschädlichen von 0,5 V. und der krampfauslösenden von ca. 100 V. begnügen.

Wenn bei den Schädelmessungen (Bild 2), bei denen Elektroden und Haut sorgfältig durchfeuchtet waren, das Widerstandsverhältnis bei kleinster und größter Spannung Werte bis über den Faktor 4 annimmt und demgegenüber das entsprechende Widerstandsverhältnis bei den Messungen mit Röhrenelektroden in den Händen (Bild 3) nur 1,2 beträgt, so offenbar deshalb, weil wir es im ersten Falle mit dem sehr großen Spannungsbereich von 1 : ca. 200 zu tun haben, während bei den Widerstandsmessungen von Hand zu Hand der Spannungsbereich nur 1 : ca. 10 umfaßt.

Unbefriedigend bleiben die großen Unterschiede in den Schädelwiderstandswerten von Mensch zu Mensch bei 0,5 V. gegenüber den kleinen individuellen Schwankungen bei ca. 100 V. und damit die uneinheitlichen Werte des Verhältnisses von $R_{0,5} : R_w$. Wir glauben nicht, daß dieser Befund durch mehr oder weniger große Übergangswiderstände zwischen Elektroden und Haut gedeutet werden kann, da auf das Anfeuchten viel Sorgfalt verwendet wurde. Wir vermuten vielmehr, daß diese Schwankungen auf unterschiedliche Polarisationswiderstände der Haut verschiedener Individuen zurückzuführen sind.

Nachdem sich die zur Voreinstellung der Behandlungsstromstärke bisher benutzte Widerstandsmessung bei einer kleinen unschädlichen Spannung bzw. Stromstärke als fehlerhaft erwiesen hat, bleibt für die Praxis nur folgende einfache und hinreichend

genaue Lösung der Stromdosierung offen. Wir benutzen die experimentell gefundene Tatsache (Bild 2), daß die bei der Behandlungsspannung von ca. 100 V. ermittelten Schädelwiderstände sich unter der Voraussetzung gleichgroßer Elektroden individuell nur relativ wenig unterscheiden. Es läßt sich dann durch Serienschaltung erträglich großer Ohmscher Widerstände in an sich bekannter Weise die Patientenstromstärke bis auf wenige Prozente genau einstellen. Schaltet man, wie wir es bei dem neuen Gerät (Konvulsator, Bild 4) ausführen, in Serie zum

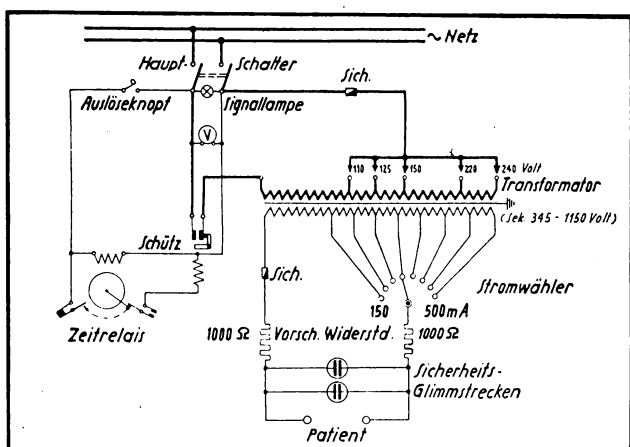


Abb. 4.

Prinzipialschaltung des neuen Gerätes zur Elektrokrampf-Erzeugung.

Patientenwiderstand $2000\ \Omega$ und nehmen wir den auf Grund unserer oszillographischen Messungen bestimmten mittleren Schädelwiderstand von $300\ \Omega$ als richtig an, so können wir es leicht durch entsprechende Anzapfungen des Transformators erreichen, daß innerhalb des gewünschten Strombereiches von 150—500 mA jeweils die am Stromwähler stufenweise von 50 zu 50 mA vor-einstellbare Behandlungsstromstärke exakt fließt. Bei $400\ \Omega$ bzw. $200\ \Omega$ wirksamen Schädelwiderstand — das sind Werte, die nach unseren in Bild 2 mitgeteilten Meßergebnissen bereits außerhalb der Schwankungsbreite der bei einer Behandlungsspannung von ca. 100 V. wirksamen Schädelwiderstände zu liegen scheinen — betragen dann die Abweichungen vom Sollwert der

Behandlungsstromstärke im ungünstigsten Falle nur 5%. Selbst bei 600 Ω würden die Fehler erst ca. 10% und bei 1000 Ω noch nicht 25% ausmachen!

Diese einfache und in bezug auf das Dosierungsproblem voll befriedigende Lösung vermeidet jede Widerstandsmessung; es ist lediglich am Stromwähler die gewünschte mA-Zahl und am Zeitrelais die Behandlungsdauer vor der Auslösung des Elektrokampfes einzustellen. Als Nachteil dieser Lösung kann zunächst die entsprechend dem zusätzlichen Spannungsabfall in den Vorwiderständen erforderliche wesentlich höhere Leerlaufspannung angesehen werden. Sie beträgt bei dem neuen Gerät ca. 1200 V. An den Abnahmeklemmen jedoch können durch einen entsprechenden Überspannungsschutz nie höhere Werte als 240 V. auftreten. Eine weitere Herabsetzung der an den Patientenklemmen jeweils herrschenden Spannung ist aus Gründen einer umfassenden Anwendbarkeit des Gerätes nicht möglich. So werden z. B. bei sehr kurzzeitigen Behandlungen mit großen Stromstärken (500 mA) für Patienten mit hohen Schädelwiderständen noch Elektrodenspannungen bis ca. 200 V. benötigt. Die Schutzmaßnahmen richten sich vor allem gegen zufällige Berührungen, vorzugsweise für den Fall, daß die sich nicht in Benutzung befindlichen Elektroden mit den Händen (Anschlußwiderstand dabei hochohmig gegenüber den Schädelwiderständen, siehe Bild 3) angefaßt werden und versehentlich das Zeitrelais ausgelöst wird. Es sind zu diesem Zweck Überspannungsableiter eingebaut, die beim Überschreiten der für die einzelnen Strombereiche und Schädelwiderstände zugehörigen Spannungen an den Elektroden (ca. 70—240 V.) ansprechen und mit Sicherheit ein Ansteigen der Elektrodenspannung über diese Werte verhindern. Damit ist bereits die Gefährlichkeit des Gerätes selbst bei falscher Bedienung auf das normale Maß der üblichen Netzspannungen herabgesetzt. Darüber hinaus bewirkt eine Relaischaltung in diesem parallel zum Patienten liegenden Überspannungsschutzkreis bei Ansprechen der Überspannungsableiter das momentane Abschalten des gesamten Apparates.

Es braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß selbstverständlich auch die Apparate bisheriger Ausführung mit ca. 150 V. Leerlaufspannung beim Zusammentreffen unglücklicher äußerer Umstände wie dem soeben konstruierten Fall

keineswegs frei von Lebensgefahr sind. Es muß in jedem Fall gefordert werden, daß das Auslösen des Reizes erst nach Beendigung der sorgfältig vorzunehmenden Elektrodenanlage bewerkstelligt wird.

Wir hoffen damit dem Arzt ein Gerät zur Elektrokrampferzeugung übergeben zu können, das ihm erstmalig die Möglichkeit einer zuverlässigen Stromdosierung bei denkbar einfachster Handhabung bietet.

Schrifttum.

1. Cerletti und Bini: Boll. Acad. med. Roma (1938), Bd. 16, H. 5/9, S. 136.
Ach. gen. di Neur. (1938), Bd. 19, S. 266.
2. Fritsch und Hitzig: Virchows Archiv f. pathol. Anatom. u. Physiologie (1870), S. 300.
3. Schilf: Zeitschr. f. d. ges. experim. Medizin (1922), Bd. 28, S. 127.
4. Bini: Italienisches Patent Nr. 369 762.
5. Bingel und Meggendorfer: Psychiatr.-neurol. Wschr. (1940), Jahrg. 42, Nr. 5.
6. Sogliani: Deutsche Zeitschr. Nervenheilk. (1939), Bd. 149, S. 159.
7. v. Braunmühl: Münchener Med. Wochenschr. (1940), Nr. 19, S. 511.
8. Gildemeister: Elektrotechnische Zeitschr. (1919), H. 38, S. 463.
9. Freiburger: Der elektr. Widerstand d. menschl. Körpers gegen techn. Gleich- u. Wechselstrom, Verlag Springer, Berlin 1934.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1940-1941

Band/Volume: [72](#)

Autor(en)/Author(s): Pätzold Johannes

Artikel/Article: [Das Gerät zur Elektrokrampf-Erzeugung und seine physikalischen Grundlagen. 47-60](#)