

(Aus der Untersuchungsabteilung des *W. G. Kerckhoff* Herzforschungsinstitutes
Bad Nauheim [Leiter: Prof. Dr. *W. Lueg*].)

Über Messungen der Polarisationskapazität der Haut.

Von

W. Quensel.

(Eingegangen am 17. Mai 1934.)

Die von *Gildemeister* und seiner Schule in die biologische Forschung eingeführte Messung der Polarisationskapazität (P.K.) tierischer Gewebe mittels Wechselströmen hat neben einer Reihe wesentlich physiologischer Fragestellungen zu einer für die klinische Diagnostik wichtigen Untersuchungsmethode geführt.

Lueg und Mitarbeiter haben in verschiedenen Arbeiten den Nachweis geführt, daß man durch Messung des Wechselstromwiderstandes der Haut eine Konstante erfaßt, die eine weitgehende Abhängigkeit zeigt von dem Funktionszustand der Schilddrüse. Diese zunächst am Tier gefundene Erkenntnis ließ sich auf den Menschen übertragen. Es ergab sich eine weitgehende Parallelität zwischen Grundumsatz und dem P.K.-Wert. Der klinischen Einführung der Methode stand bisher wesentlich der Umstand im Wege, daß die zu diesen Messungen benutzte Apparatur kostspielig und nicht einfach zu handhaben war. Es wurde ein Röhrengenerator benutzt. Meist wurden die dem als Nullinstrument in der Meßbrücke liegenden Telefon zugeleiteten Ströme noch in einem mehrstufigen Verstärker weiter verstärkt. Zur Vereinfachung und Verbilligung dieses Verfahrens hat die Firma Siemens & Halske in Zusammenarbeit mit *Lueg* einen Mikrophonsummer entwickelt, über den *Kötschau* berichtet hat. Fast gleichzeitig hat *Wohl* in Amerika Arbeiten veröffentlicht, die durch die *Luegschen* Untersuchungen angeregt waren. Auch er hat zu seinen Messungen einen Mikrophonsummer benutzt, ebenso auch mit einer asymmetrischen Schaltung gearbeitet. Er teilt auch mit, daß später angestellte Kontrollen mit einer symmetrischen Schaltung mit variablem Meßkondensator vergleichbare Ergebnisse hatten und die Messung erleichterten. Über Einzelheiten soll weiter unten im Zusammenhang berichtet werden. Er kommt zu dem Ergebnis, daß in der P.K.-Messung eine wichtige neue Methode zur Diagnostik der Schilddrüsendysfunktionen zur Verfügung stehe, gleichberechtigt neben der Grundumsatzbestimmung. Er zitiert in diesem Zusammenhang *Crile*: Wenn zu viel Jod im Körper ist, ist die Leitfähigkeit, Kapazität, Spannung und chemische Aktivität der verschiedenen Organe und Gewebe des Körpers abnorm gewachsen. *Crile* bezieht sich dabei auf Messungen an verschiedenen isolierten Organen, an denen er Parallelität von P. K. und Jodgehalt festgestellt hat.

Die mit der neuen Apparatur angestellten Messungen von *Kötschau* zeigen aber nun derartige Schwankungen, daß man zumal in den Fällen von Hyperthyreosen, für deren Untersuchung die Methode auch bestimmt ist, nicht mehr von einer Konstanten, sondern von einer von den verschiedensten Faktoren abhängigen Variablen sprechen mußte. Es war notwendig, eine Erklärung für dieses Verhalten zu finden, um, wenn möglich, die auftretenden Schwankungen auszuschalten.

Zur Prüfung dieser Fragen standen uns sowohl ein im *Gildemeister*-schen Institut in Leipzig entwickelter Röhrengenerator für beliebige Frequenzen und variable Intensitäten mit hinter die Meßbrücke geschaltetem dreistufigem Verstärker, wie auch der von *Kötschau* benutzte Mikrophonsummer zur Verfügung. Bei den mit diesem angestellten Messungen ergaben sich einige Gesichtspunkte, welche die Bedienung der Apparatur erleichtern und die Zuverlässigkeit der Messungen besonders bei ungeübten Beobachtern erhöhen würden.

Die Apparatur war zunächst unter dem Gesichtspunkt einer möglichst einfachen Bedienung entwickelt worden. Dies wurde dadurch erreicht, daß nur ein Vergleichskondensator vorgesehen ist und die Abgleichung der Brücke lediglich durch Veränderung der Widerstandsverhältnisse der beiden wirksamen Brückewiderstände hergestellt wird. Bei Einstellung von abnorm hohen pathologischen Werten ergibt sich eine stark unsymmetrische Brückeneinstellung, das Minimum wird unscharf, zumal auch der Reihenwiderstand der Vergleichskapazität in weitem Bereich geändert werden muß. Nach Rücksprache mit der Firma Siemens soll jetzt dieses Mikrophonsummergerät insofern geändert werden, als der Meßbereich durch drei Vergleichskapazitäten in drei Teile zerlegt werden soll, die durch einfaches Umschalten leicht zu wechseln sind. Es ist dann die Symmetrie der Brücke ziemlich gewahrt, die Minima sind obertonfrei und scharf. Wir behelfen uns inzwischen in fraglichen Fällen mit einer Kontrollmessung mit dem Röhrensummer-Meßgerät.

Die mit beiden Apparaten unter gleichen Bedingungen gemessenen Werte mit der gleichen Frequenz zeigen eine weitgehende Parallelität. Allerdings liegen die mit dem Röhrengenerator gemessenen Werte im Durchschnitt 10–15% niedriger. Eine daraufhin angestellte Messung der bei beiden Apparaturen angewandten Meßstromintensitäten ergab, daß diese Differenz dadurch zustande kommt, daß man beim Mikrophonsummer mit Intensitäten arbeiten muß, die um mindestens eine Zehnerpotenz höher liegen, um bei der mangelnden Verstärkung noch scharfe Minima zu bekommen.

Wir stellten zunächst längere Untersuchungsreihen an verschiedenen normalen Versuchspersonen an, die zur gleichen Tageszeit durch Wochen gemessen wurden, mit beiden Apparaturen und auch mit verschiedenen Frequenzen. Einige Male wurden auch Tageskurven aufgenommen. Es zeigte sich dabei ein erhebliches Schwanken der Werte. Schon innerhalb eines Tages traten solche Veränderungen des P.K.-Wertes auf, daß eine wirkliche Normung unmöglich war. Als differente Elektrode benutzten wir die 12 qcm Silberelektrode, wie sie *Lueg* und auch *Kötschau* und wiederum *Wohl* zu ihren Untersuchungen benutzt haben. Die Veränderungen wiesen auf Faktoren wie Zimmer- und Wassertemperatur, Feuchtigkeit des dazwischengelegten Löschpapiers hin. Auch *Wohl* erwähnt die Wichtigkeit der Temperaturkonstanz bei seinen Messungen. Eine genaue Durchsicht der von *Kötschau* erwähnten Faktoren, die nach seinen Untersuchungen einen wesentlichen Einfluß auf die Werte hatten — Trockenheit, Temperatur und Sprödigkeit der Haut, Anspannung derselben, Schwitzen — erwies, daß alle diese einen wesentlichen Einfluß auf den Kontakt der Meßelektrode mit der Haut hatten, damit auf die

Größe der wirksamen Elektrodenfläche. Es ist aber die Größe der P.K. proportional der Elektrodenfläche. Sehr deutlich wird das durch die Veränderung des Meßwertes an behaarten Körperstellen. Daß die Veränderung des Kontaktes von Interesse sein kann, zeigen auch die Angaben *Kötschus* über Abweichungen der Werte bei mehr oder minder deutlichen Hautveränderungen. Legt man aber Wert auf die P.K. des Gesamtorganismus, so muß man nach Möglichkeit von diesen Schwankungen sich frei machen. Es lag daher nahe, den Übergangswiderstand Elektrode — Flüssigkeit konstant und den Flüssigkeit — Haut korrekt und leicht kontrollierbar zu machen. Wir taten dies zunächst provisorisch, indem wir die Elektrode nach Abdecken der Rückseite mit Picein (um eine Vergrößerung der Fläche zu vermeiden) in ein Glasgefäß setzten. Dessen untere Öffnung wurde mit Cellophanpapier überspannt und diente als Kontaktfläche mit der Haut. Gefüllt wurde das Gefäß nach dem Vorgange von *Gildemeister* mit etwa 0,2%iger Kochsalzlösung. Durch die Membran diffundiert immer so viel Wasser, daß sie gleichmäßig feucht bleibt. Man muß daher die Flüssigkeit im Innern öfter erneuern. Diese Anordnung gestattet gleichzeitig eine gute Kontrolle des Kontaktes zwischen Elektrode und Haut, da sich Stellen, wo dieser schlecht ist, durch glänzende Luftperlen kennzeichnen. Man taucht daher am besten die Elektrode vor jeder Messung in Wasser und setzt sie von der Seite her auf. Diese Elektrode ist natürlich auch wesentlich anschmiegsamer als eine Metallplatte mit Fließpapier. Es ließ sich so zeigen, daß man nur an wenigen Körperstellen bei Menschen aller Konstitutionen Messungen anstellen kann, nur dort, wo ein genügendes Weichteilpolster zugleich einen gewissen gleichmäßigen Widerstand gibt. Wir haben als Meßstellen konstant benutzt: Flexorenwulst des Unterarms, am Oberarm die Haut an der lateralen Seite des Biceps, schließlich die laterale Seite des Unterschenkels. Messungen an Stirn, Hals und Thorax erwiesen sich als viel zu sehr beeinflußt durch die jeweilige Hautunterlage. Soweit sich solche Messungen an einzelnen Personen durchführen ließen, ergab sich eine ziemlich gleichmäßige Größenbeziehung der einzelnen Werte untereinander. Es sei als Beispiel der Verschiedenheit der Werte verschiedener Körperstellen und ungefähre Norm eine solche Reihe gezeigt.

Tabelle 1. Siemens Apparatur.

Durchschnittswerte von zwei Messungen. μF .

25. 10. 33. Versuchsperson Str.

Unterarm	0,256	Oberschenkel	0,237
Oberarm	0,229	Unterschenkel medial . .	0,215
Hals	0,379	Unterschenkel lateral . .	0,220
Brust	0,192		

Die Widerstandswerte sind in allen Tabellen weggelassen, da diese von der indifferenten Elektrode wesentlich abhängig sind. Die Messungen

an den drei obengenannten Stellen, Unter- und Oberarm, Unterschenkel gaben nun bei wiederholten Messungen bei Benutzung möglichst der gleichen Meßstelle eine sehr gute Konstanz. Die Werte zeigen gleichzeitig, daß wir von einer Tageskurve hierbei nicht sprechen können. Nach jeder Messung ist die Elektrode neu aufgesetzt:

Tabelle 2. Röhrenschwinger.

Frequenz 500. μ F. Meßstelle Unterarm.

13. 10. 33. Versuchsperson Str.

9 Uhr 45 Min.	0,241	16 Uhr 28 Min.	0,237
	0,248		0,251
	0,242		0,241
	0,251		0,246
	0,249		0,253
11 Uhr 50 Min.	0,249		
	0,251		
	0,253		
	0,252		

Die Differenz der äußersten Werte beträgt 6—7%. Etwas größer ist die Streuung, wenn man diese Werte durch längere Zeit verfolgt. Es spielen dabei leichte Verschiebung der Meßstelle und vielleicht auch Verschiedenheiten der Temperatur eine Rolle. In den folgenden Tabellen sind nebeneinander die Kondensator-Meßwerte der 3 genannten Stellen und ihre Summe aufgeführt. Es empfiehlt sich, diese Summe bei

Untersuchungen als Vergleichswert zu nehmen, da sich geringe Schwankungen ausgleichen können. Aus den oben angeführten Gründen ist sie der von *Lueg* früher benutzten

Summe der Werte Vorderarm, Stirn, Thorax vorzuziehen. Zu beachten ist dabei aber die schon von *Lueg* und *Graßheim* angegebene und jetzt auch von *Wohl* bestätigte Tatsache, daß es Fälle gibt, bei denen Ober- und Unterkörper-

werte nicht übereinstimmen, d. h. die einen gegen die Norm erhöht und die anderen normal oder erniedrigt sein können.

Tabelle 3. Röhrenschwinger. Frequenz 1280. Versuchsperson Str.

Datum	Vorderarm	Oberarm	Unterschenkel	Summe
19. 10. Vormittag	0,193	0,183	0,194	0,570
Nachmittag	0,207	0,182	0,208	0,597
21. 10.	0,212	0,192	0,175	0,579
25. 10.	0,213	0,189	0,201	0,603
28. 10. Vormittag	0,205	0,185	0,184	0,574
Nachmittag	0,213	0,184	0,204	0,601
31. 10. Vormittag	0,205	0,185	0,202	0,592
Nachmittag	0,212	0,205	0,205	0,622
6. 11. Vormittag	0,196	0,199	0,197	0,592
Nachmittag	0,206	0,205	0,200	0,611

Tabelle 4. Siemens Apparatur. Versuchsperson Str.

Datum	Vorderarm	Oberarm	Unterschenkel	Summe
20. 10.	0,235	0,220	0,218	0,673
21. 10.	0,242	0,230	0,216	0,688
25. 10.	0,256	0,229	0,220	0,705
28. 10.	0,238	0,210	0,225	0,673
31. 10.	0,227	0,220	0,209	0,656

Die Schwankungsbreite dieser wie anderer Reihen liegt unter 10%. Es ist also bei Messungen mit einer Flüssigkeitselektrode eine Meßgenauigkeit von etwa $\pm 5\%$ zu erwarten. Es sei auch noch erwähnt, daß wir bei Hyperthyreosen ebenfalls eine sehr gute Konstanz der Messungen im Gegensatz zu *Kötschau* feststellten.

Daß *Lueg* und Mitarbeiter in ihren früheren Untersuchungen eine verhältnismäßig große Regelmäßigkeit der Werte gefunden haben, die eine Auswertung der Ergebnisse gestattete, ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß sie mit der stets eindeutige Werte liefernden Röhren-Schwingapparatur unter außerordentlich konstanten äußeren Verhältnissen arbeiteten. Die Messungen wurden in einem Kellerraum mit gleichmäßiger hoher Feuchtigkeit, geringen Temperaturschwankungen, an stets der gleichen Arbeitsstelle, mit möglichst gleicher Körperhaltung der Versuchsperson ausgeführt. Soviel wir wissen, hat *Kötschau* dies nur teilweise eingehalten, ebenso hatten wir hier bei unseren ersten Versuchen diese Einflüsse absichtlich unbeachtet gelassen. Es ist schon ein Vorteil, wenn die Anwendung einer Flüssigkeitselektrode von diesen in der Praxis schwer einhaltbaren Bedingungen weitgehend befreit.

Es lag uns nun daran, zu untersuchen, ob mit der neuen Versuchsanordnung die von verschiedenen Untersuchern angegebenen akuten Änderungen des Polarisationswertes bestätigt werden konnten, oder ob diese in die gleiche Linie mit den Spontanschwankungen fielen. Für den Anstieg des P.K.-Wertes nach Jodpinselung (*Lueg, Peschkowski, Kötschau*), dem auch theoretische Bedeutung zugemessen wird, traf ersteres vollkommen zu. Es zeigte sich der schnelle typische Anstieg, dessen Höhe von der Intensität der Pinselung abhängig ist, mit langsamer Rückkehr zur Norm, lange ehe die Braunfärbung der Haut verschwindet. Um dem eine ausgesprochene Hyperämie des Gewebes gegenüberzustellen, die nach den bisherigen Versuchen ohne Einfluß auf den P.K.-Wert sein sollte, machten wir Versuche über die Änderung dieses Wertes nach Kohlensäurebädern. Hierzu benutzten wir den uns zur Verfügung stehenden Nauheimer Thermalsprudel XII. Bei den Versuchspersonen trat eine deutlich sichtbare Rötung der Haut auf. Trotzdem bekamen wir niemals eine Steigerung, die über 10% hinausgegangen wäre — eine Größe, die wir auch durch mittelwarme Bäder mit gewöhnlichem Wasser erreichten, ohne daß dabei eine Farbänderung der Haut aufgetreten wäre. Diese Änderung liegt ja auch in der Fehlergrenze der Methode — in einer ganzen Reihe von Untersuchungen blieben die Werte auch vollkommen normal. Es bestätigt sich also die Feststellung, daß die Durchblutung keinen Einfluß auf den Haut-P.K.-Wert hat.

Es sollen nunmehr von anderer Seite Reihenmessungen an Dysthyreosen mit der neuen Anordnung gemacht werden, um zu zeigen, daß diese ihren Wert hat auch für das angestrebte Ziel: Funktionsprüfung der Schilddrüsenfunktion. Im Winter stand uns hier nicht ein

entsprechend großes Untersuchungsmaterial zur Verfügung. Wenige Messungen, zu denen wir bisher Gelegenheit hatten, bestätigen die früheren von *Lueg* und jetzt von *Wohl* gemachten Angaben. Es müssen dann auch neue Standardwerte festgelegt werden; wir geben in dieser Arbeit absichtlich keine solchen an, da erst eine Normalelektrode gebaut werden soll. Es ist zu erwarten, daß die Firma Siemens & Halske die verbesserte Apparatur zusammen mit einer unserer Versuchselektrode analog gebauten Elektrode herausbringt, so daß dann die Methode wie in Amerika Eingang in die Diagnostik findet und auch von einer größeren Zahl von Untersuchern nachgeprüft werden kann¹.

Literaturverzeichnis.

Cobet, R. u. W. Lueg: Arch. f. exper. Path. **125**, 343 (1927). — *Crile, G.*: Diagnosis and treatment of diseases of thyroid gland. Philadelphia 1932. — *Gildemeister, M.*: Bethe-Bergmann, Bd. 8, 2. Hälfte. — *Graßheim, K.*: Dtsch. med. Wschr. **1930**, Nr 39. — *Kötschau, Karl*: Z. exper. Med. **91**, H. 5/6., 764. — *Lueg, W.*: Dtsch. med. Wschr. **1930**, Nr 39. — Z. klin. Med. **104**, 337 (1926). — Z. klin. Med. **106**, 21 (1927). *Peschkowsky, P.*: Z. klin. Med. **111**, 179 (1929). — *Wohl, M. G.*: Endocrinology **17**, 299 (1933).

¹ Der *W. G. Kerckhoff*-Stiftung Bad Nauheim danke ich für eine Stipendienbeihilfe auch für diese Untersuchungen.