

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Leyden.)

Über die Richtung und die manifeste Grösse der Potentialschwankungen im menschlichen Herzen und über den Einfluss der Herzlage auf die Form des Elektrokardiogramms.

Von

W. Einthoven, G. Fahr und A. de Waart.

(Mit 22 Textfiguren.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
1. Allgemeines	275
2. Die Atembewegungen	276
3. Zusammenhang zwischen den bei den drei üblichen Ableitungen aufgenommenen Kurven	288
4. Das Schema des gleichseitigen Dreiecks. Richtung und manifeste Grösse des resultierenden Potentialunterschiedes im Herzen	292
5. Der Einfluss veränderter Körperlage	302
6. Der Einfluss gesteigerter Herzfrequenz	305
7. Pathologische Verhältnisse	307
8. Anhang	308

1. Allgemeines.

Die Herzlage beeinflusst die Form des E. K. G. Es ist uns jedoch bei der elektrokardiographischen Untersuchung hauptsächlich darum zu tun, die Tätigkeit des Herzens besser zu ermitteln, und man sieht leicht ein, dass, wenn schon durch eine Lageabweichung dieses Organs eine Veränderung in die Form der Kurve hervorgerufen wird, eine Schwierigkeit entstehen muss, um mittels dieser Form auch über die Tätigkeit des Herzens zu urteilen.

Diese Schwierigkeit kann am besten gelöst werden, wenn man den Einfluss der Lage vorher genau kennen gelernt hat.

Das einfachste und zugleich das schlagendste Beispiel von dem Einflusse der Lageveränderung auf die Form des E. K. G. wird durch

einen Fall von Situs inversus viscerum geliefert. Schon Waller hat derartige Fälle untersucht, und nach ihm sind noch viele andere publiziert worden. Wir erlauben uns, hier obendrein eine Kurve, die bei Ableitung I von einem siebenjährigen Knaben mit Situs inversus aufgenommen wurde, zu reproduzieren, siehe Fig. 1.

Man sieht sofort, dass die Zacken der Fig. 1, verglichen mit denjenigen eines normalen E. K. G., umgekehrt sind. Vertauscht man bei der Stromableitung die rechte und linke Hand des Knaben, so

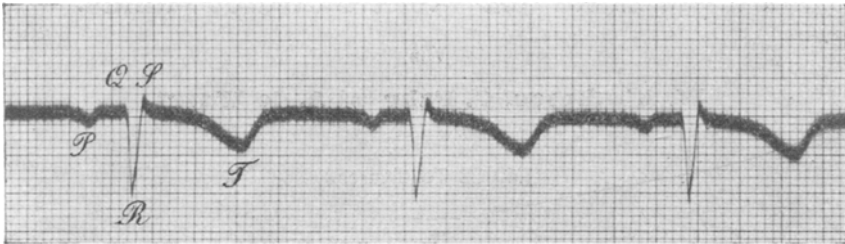


Fig. 1. Ein Fall von Situs inversus viscerum bei Ableitung I. Abszisse 1 Skalenteil = 0,02 Sek.; Ordinate 1 Skalenteil = 10^{-4} Volt.



Fig. 2. Wie Fig. 1, mit diesem Unterschiede jedoch, dass die rechte und linke Hand bei der Verbindung mit dem Galvanometer vertauscht worden sind.

entsteht eine Kurve, die nicht von einem normalen E. K. G. unterschieden werden kann und die in Fig. 2 abgebildet ist. Die Figuren 1 und 2 sind gegenseitig vollkommene Spiegelbilder.

2. Die Atembewegungen.

Während das E. K. G. bei Situs inversus viscerum auf sehr einfache Weise erklärt wird und zu keiner näheren Besprechung Anlass gibt, treten in anderen Fällen von Lageveränderung des Herzens Erscheinungen zutage, die komplizierter sind und ausführlich analysiert werden müssen, um sie verstehen zu können. Wir werden zunächst

diejenigen Lageveränderungen des Herzens besprechen, die mit den Atembewegungen verbunden sind.

Die meisten Atembewegungen bei der Frau wie beim Mann sind zu einem kleineren oder grösseren Teil diaphragmatisch, und wenn das Zwerchfell rhythmisch eine hohe und niedrige Lage einnimmt, muss auch das Herz im Thorax sich rhythmisch verschieben.

Noch vor der Konstruktion des Saitengalvanometers demonstrierte schon Samojloff¹⁾ mit Hilfe des Kapillar-Elektrometers in seinen Vorlesungen, dass die verstärkte Respiration einen bedeutenden Einfluss auf die Grösse der Hg-Ausschläge habe. Bei Ableitung I werden in der Phase der Expiration die Ausschläge grösser, in der Phase der Inspiration kleiner.

Unter den zahlreichen anderen Forschern, die den Einfluss der Atembewegungen auf die Form des E. K. G. untersucht haben, erwähnen wir besonders Vaandrager²⁾, Kahn³⁾, Grau⁴⁾.

Bei vielen Individuen ist der Einfluss der gewöhnlichen, normalen Respiration kaum bemerkbar, und bisweilen sieht man, dass auch deutlich vertiefte Atembewegungen ohne nennenswerte Folgen bleiben. Man findet ein Beispiel davon bei einem Kranken, der schon bei einer früheren Gelegenheit beschrieben wurde und der in hohem Grade das Cheyne-Stokes'sche Phänomen zeigte⁵⁾. Zeiten von oberflächlichen, kaum bemerkbaren Atembewegungen wechselten regelmässig mit Zeiten ab, in denen der Kranke stark dyspnöisch war und tiefe, kräftige, frequente Atembewegungen machte. Die von diesem Patienten während der Zeit der Apnöa und der Dyspnöa erhaltenen E. K. G. waren nur wenig voneinander verschieden.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen treten bei anderen Menschen schon bei der gewöhnlichen Respiration regelmässige Veränderungen

1) A. Samojloff, Elektrokardiogrammstudien. Hermann's Festschrift Beitr. zur Physiol. u. Pathol., herausgeg. von Otto Weiss, 1908 S. 171.

2) B. Vaandrager, Inauguraldissertation. Leiden 1907. Vgl. auch Weiteres über das E. K. G. Pflüger's Arch. Bd. 122 S. 517. 1908.

3) R. H. Kahn, Weitere Beiträge zur Kenntnis des E. K. G. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 129 S. 291.

4) H. Grau, Über die Bedeutung äusserer Momente für die Form der elektrokardiographischen Kurve. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 23 Nr. 14. — H. Grau, Über den Einfluss der Herzlage auf die Form des E. K. G. Zeitschr. f. klin. Medizin Bd. 69 H. 3 und 4.

5) Vgl. Weiteres etc., a. a. O. S. 564.

des E. K. G. an den Tag, die denselben Rhythmus wie die Atembewegungen haben und daher aufs innigste mit diesen zusammenhängen müssen. Sind die Atembewegungen tief genug, so treten bei allen Individuen auffällige Veränderungen hervor.

Diese näher zu studieren, haben wir eine systematische Untersuchung an zehn gesunden Männern, deren Alter von 19 bis 65 Jahren variierte, angestellt. Um ein Maass für die Tiefe der Atembewegungen zu erhalten, wurde vorher die vitale Kapazität jeder Versuchsperson gemessen und ihr instruiert, während der photographischen Aufnahme

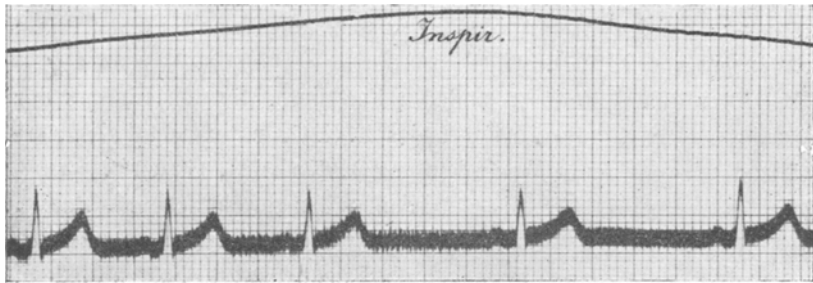


Fig. 3. B1. Ableitung I. Während Inspiration. Abszisse 1 Skalenteil = 0,04 Sek.; Ordinate 1 Skalenteil = 10^{-4} Volt. Die obere Kurve ist das Pneumogramm.

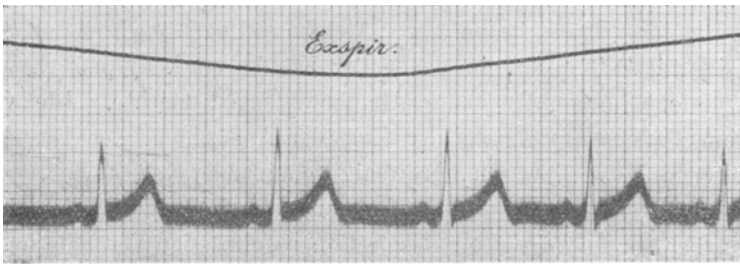


Fig. 4. Ein anderes Stück derselben photographischen Aufnahme wie die der vorigen Figur. Während Expiration.

des E. K. G. einige tiefe In- und Expirationen in ein Hutchinson'sches Spirometer zu machen. Die zu versetzende Menge Luft sollte dabei ungefähr zwei Drittel der vitalen Kapazität betragen. Diese Grösse der Atembewegungen wurde deshalb gewählt, weil sie einerseits für unseren Zweck gross genug war, andererseits aber für die Versuchspersonen keine Schwierigkeiten darbot.

In den vorstehenden Figuren 3 und 4 sieht man zwei Stücke eines Photogramms, das von B1., einem der zehn Untersuchten, bei

Ableitung I erhalten wurde¹⁾. Die Bewegungen des Spirometers, in welches er atmete, wurden mittels einer speziellen, von Scheibß versehenen Vorrichtung derart auf die photographische Platte registriert, dass eine Bewegung des Schreibstiftes aufwärts einer Inspiration, eine Bewegung abwärts einer Expiration entsprach. Der Schreibstift bewegte sich genau senkrecht vor der Spalte der Registriervorrichtung, und zwar um 1 Skalenteil für je 250 ccm ein- oder ausgeatmeter Luft.

Das Pneumogramm, d. h. die obere Schattenlinie in den beiden Figuren, zeigt Wellen, deren Amplitude zwischen 11,3 und 11,5 Skalenteilen schwankt; die Luftbewegung zwischen der maximalen Inspirations- und der maximalen Expirationslage beträgt also 2,8 bis 2,9 Liter, während bei einer vorhergegangenen Messung der vitalen Kapazität der Versuchsperson ein Betrag von 4,4 Litern ermittelt worden war.

Das Pneumogramm gibt die Volumveränderungen des Thorax ohne ins Gewicht fallende Verspätung wieder, wie mittels der Zitterungen, welche die Versuchsperson auf dem Höhepunkt der Einatmung zeigt, bewiesen werden kann. Man sieht die Zitterungen deutlich im E. K. G. hervortreten. Sie werden durch die kräftige Muskelanstrengung veranlasst, die in der äussersten Inspirationsphase stattfindet. Sobald die Inspiration beendet ist, die Muskeln sich erschlaffen und die passive Ausatmung anfängt, hören die Zitterungen im E. K. G. auf. Wir bemerken, dass dieses Aufhören des Zitterns so gut wie genau mit der Wellenspitze des Pneumogramms in Fig. 3 zusammenfällt, wobei wir kleine Unterschiede von z. B. 5 Skalenteilen, d. h. 0,2 Sek., für unseren Zweck wohl vernachlässigen dürfen.

Abgesehen von der Form und der Höhe der Zacken des E. K. G. ist es auffallend, dass die Herzfrequenz während der Atembewegungen grossen Schwankungen unterlegen ist. In den abgebildeten Figuren 3 und 4 tritt das deutlich hervor, und zu gleicher Zeit sieht man, dass die Maxima und Minima der Herzfrequenz nicht den Spitzen des Pneumogramms entsprechen. So wird z. B. die längste Herzpause am Ende der Fig. 3, die kürzeste Pause am Beginn derselben Figur gefunden, während an beiden Stellen die Füllung der Lungen mit Luft ungefähr gleich gross ist. Ebenso ist in Fig. 4 die Füllung der Lungen beim Beginn und beim Ende der Figur gleich, während

1) In diesen und allen folgenden Figuren entspricht 1 Skalenteil einer Abszisse genau 0,04 Sek., während 1 Skalenteil einer Ordinate 10^{-4} Volt entspricht.

die Herzfrequenzen an diesen Stellen bedeutende Unterschiede aufweisen.

Die Erklärung der Erscheinung ist bekannt: Während langsamer, tiefer Atembewegungen schwankt der Gasgehalt des Blutes in genügendem Maasse, um den Tonus der Nn. vagi, insbesondere dort, wo dieselben im verlängerten Mark ihren Ursprung nehmen, zu beeinflussen. Und weil das Maximum und das Minimum des Vagustonus nicht mit den äussersten In- und Expirationslagen zusammenfallen, müssen im allgemeinen auch die Zeiten der geringsten und der grössten Herzfrequenzen gegen diese Lagen verschoben sein.

Die Verschiebung ist nicht bei allen Menschen gleich gross. Bei einigen unserer Versuchspersonen ist das Maximum der Herzfrequenz

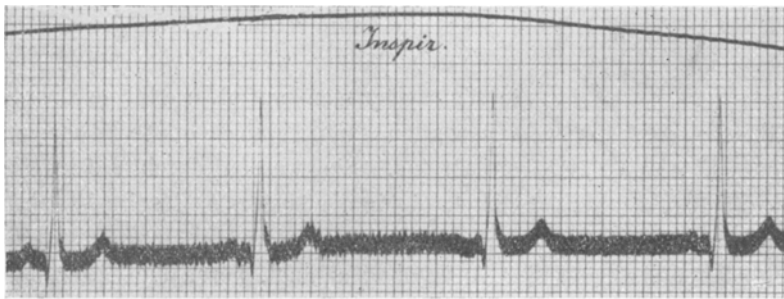


Fig. 5. B1. Ableitung III. Während Inspiration. Die obere Kurve ist das Pneumogramm.

in der äussersten Inspirationslage, bei anderen in der äussersten Expirationslage vorhanden, während es sich bei noch anderen in verschiedenen mittleren Phasen der Atembewegung zeigt.

Wir haben diesen Umstand hier besonders erwähnt, weil ihm Rechnung getragen werden muss, wenn der Einfluss der Atembewegungen auf die Form des E. K. G. erörtert wird. Denn wir wissen, dass durch Vermittlung der Nn. vagi die Form und die Grösse der Zacke *T* und namentlich der Vorkammerzacke *P* bedeutend verändert werden können.

In den Fig. 5 und 6 reproduzieren wir zwei Stücke einer Kurve, die von derselben Person bei Ableitung III aufgenommen worden ist. Hier zeigt sich der Einfluss der Vagusreizung auf die Bildung der *P*-Zacke deutlich. Nach langen Herzpausen ist *P* klein, bisweilen diphasisch, bisweilen ganz negativ, während nach den

kurzen Pausen, d. h. also bei grösseren Frequenzen und verringertem Vagustonus, P wieder ihre normale Form und Grösse zurückerlangt.

Die maximalen Veränderungen von P sind nicht synchron mit den Veränderungen in der Form des Kammer-E. G. In Fig. 5 zeigen z. B. der erste und der dritte Herzschlag Kammerzacken, die kaum voneinander unterschieden werden können, während P im ersten Herzschlag positiv, im dritten negativ ist.

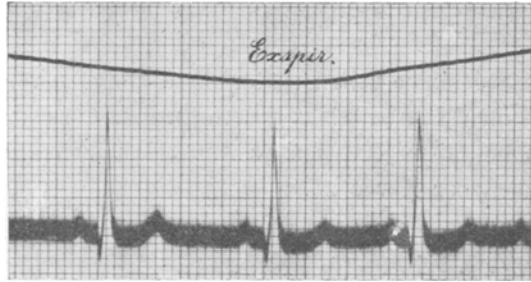


Fig. 6. Ein anderes Stück derselben photographischen Aufnahme wie die der vorigen Figur. Während Expiration.

Weiter ist aus den Fig. 5 und 6 ersichtlich, dass die maximalen Veränderungen von P auch nicht mit den Zuständen der äussersten

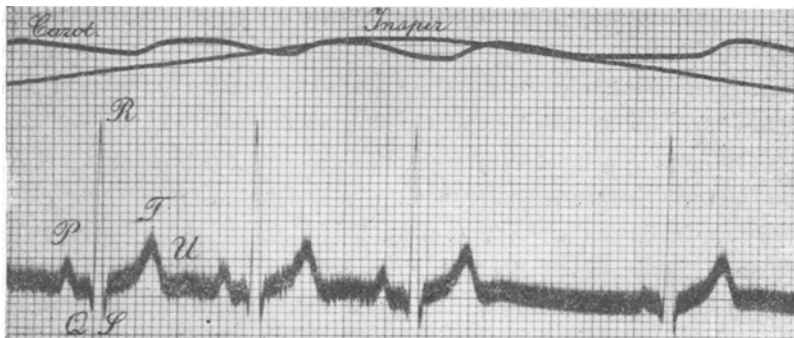


Fig. 7. Br. Ableitung II. Die Atemkurve erreicht bei *Inspira*. ihren Höhepunkt. *Carot.*, Karotispuls.

In- und Expiration synchron sind. Dies wird vielleicht noch besser durch eine andere Kurve dargetan; siehe Fig. 7. Die Mitte der Figur entspricht ungefähr der äussersten Inspirationslage, wie aus der Atemkurve ersichtlich ist. Rechts und links von der Mitte ist die Füllung der Lungen mit Luft ungefähr gleich, während die Herzfrequenzen sehr verschieden sind: An der linken Seite, wo die Herz-

pause kurz ist, sieht man, dass eine hohe Zacke *P*, an der rechten Seite der Figur, wo die Herzpause lang ist, dass eine niedrige Zacke *P* zum Vorschein kommt.

Aus obenstehenden Betrachtungen geht hervor, dass man auf eine Schwierigkeit stösst, wenn man mittels der Atembewegungen den Einfluss zu ermitteln wünscht, den die Form des gesamten E. K. G. von einer Ortsveränderung des Herzens erfährt. Denn die *P*-Zacke ist während der Atembewegungen mehreren Einflüssen ausgesetzt.

Wir werden einige Seiten später diese Einflüsse voneinander zu trennen und den Betrag eines jeden gesondert zu ermitteln versuchen, wenden aber jetzt unsere Aufmerksamkeit besser einigen anderen Zacken der Kurve zu.

Aus den Fig. 3—6 ist ersichtlich, dass bei Ableitung I die Zacken des Kammer-E. G. bei Ausatmung grösser, bei Einatmung kleiner, bei Ableitung III dahingegen bei Ausatmung kleiner und bei Einatmung grösser werden. Betrachten wir dieses Ergebnis im Zusammenhang mit der Formel Ableitung III = Ableitung II — Ableitung I, so müssen wir schliessen, dass bei Ableitung II die Veränderungen der E. K. G.-Zacken nur gering sind. Tatsächlich ist dies auch bei B1. und bei den meisten der untersuchten Individuen der Fall, woraus das praktische Resultat hervorgeht, dass man diese Ableitung bei einem Kranken anwenden soll, wenn man die Form seines E. K. G. soviel wie möglich frei von dem Einflusse der Atembewegungen zu untersuchen wünscht.

Es muss jedoch betont werden, dass auch bei Ableitung II bisweilen bemerkbare Grössenveränderungen der Zacken an den Tag treten, und zwar in einem der Veränderungen bei Ableitung I entgegengesetzten Sinne. Ein typisches Beispiel eines solchen Verhaltens zeigt Wi., dessen E. K. G. bei Ableitung II in den Fig. 8 und 9 reproduziert ist. Man sieht, wie die Atemkurve, deren Wellen eine Amplitude von ungefähr 10,5 Skalenteilen zeigen, immer sehr nahe an den Spitzen der Zacken *R* verläuft. Eine Linie, die durch die wirklichen Spitzen der Zacken *R* gezogen wäre, würde dem Pneumogramm fast parallel laufen. Die Figuren zeigen, dass die Zacken sich während der Einatmung vergrössern, während der Ausatmung verkleinern. Die mit jeder Respirationsbewegung versetzte Luftmenge beträgt 2,6 Liter, während die vitale Kapazität der betreffenden Versuchsperson 4,1 Liter beträgt.

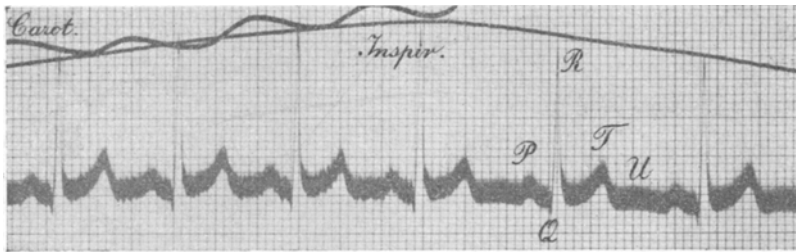


Fig. 8. Wi. Ableitung II. Carot., Karotispuls. Während Einatmung.

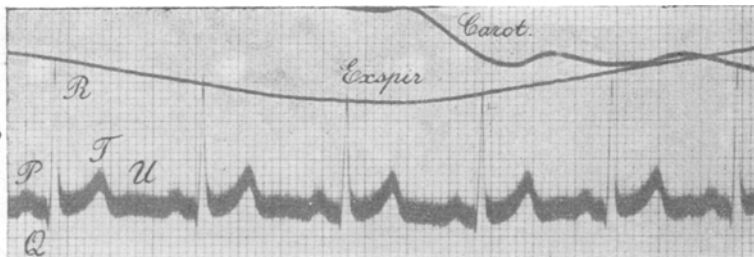


Fig. 9. Ein anderes Stück derselben photographischen Aufnahme wie die der vorigen Figur. Während Ausatmung.

In allen obenstehenden Figuren von 3—9 sind die Zacken R und T in den verschiedenen Phasen der Atembewegung ungefähr gleichmässig verkleinert oder vergrössert, so dass das Höhenverhältnis der Zacken einer bestimmten Person bei einer bestimmten Ableitung unverändert bleibt und die Kurve also im allgemeinen ihren Typus beibehält.

Wenn wir z. B. die Zacken der Fig. 3 und 4 ausmessen, so finden wir in der äussersten Inspirationslage $R = 6$, $T = 2,8$ und $\frac{R}{T} = 2,14$; in der äussersten Expirationslage $R = 11$, $T = 5$ Zehnteln eines Millivolts und $\frac{R}{T} = 2,20$. Das Verhältnis $\frac{R}{T}$ ist also unter beiden Umständen nahezu gleich gross.

Aber nicht bei allen Individuen werden gleichartige Veränderungen beobachtet. Man findet bei einigen Abweichungen, die bei oberflächlicher Betrachtung vollkommen unregelmässig erscheinen und dadurch etwas Rätselhaftes bekommen.

Wir werden erst einige dieser Abweichungen gesondert beschreiben und danach versuchen, sie alle unter einem Gesichtspunkt zu vereinigen.

Erstens weisen wir darauf hin, dass in vielen Fällen die Veränderung, welche R erfährt, bedeutend grösser sein kann als die Veränderung von T . Als Beispiele reproduzieren wir die Fig. 10 und 11. Fig. 10 A und B stellt das E.K.G. von Bak. vor, das bei Ableitung I aufgenommen worden ist. Aus der ursprünglichen Kurve sind zwei Teile geschnitten, und zwar gibt A die Aufnahme

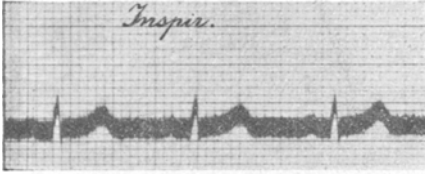


Fig. 10 A.

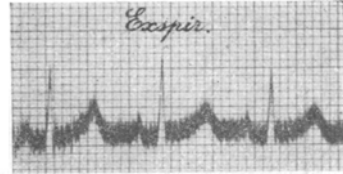


Fig. 10 B.

Fig. 10. Bak. Ableitung I. Fig. 10 A und B sind Stücke einer und derselben kontinuierlichen photographischen Aufnahme. Fig. 10 A während Einatmung; Fig. 10 B während Ausatmung.

in Einatmungslage, B in Ausatmungslage wieder. Man sieht, dass bei der Expiration die R -Zacke bedeutend mehr vergrößert wird als T , wodurch die Kurve eine ganz andere Form erhält.

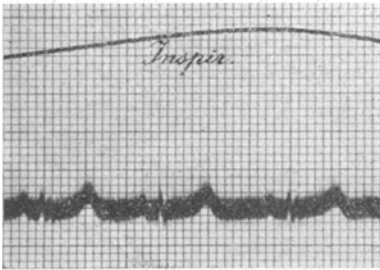


Fig. 11 A.

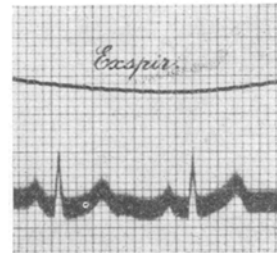


Fig. 11 B.

Fig. 11. Wi. Ableitung I. Fig. 11 A und B sind Stücke einer und derselben kontinuierlichen photographischen Aufnahme. Fig. 11 A während Einatmung; Fig. 11 B während Ausatmung.

Noch stärker tritt diese Ungleichheit in Fig. 11 A und B, die von Wi. stammt, hervor. Beide Teile sind wieder Reproduktionen von Stücken einer und derselben Kurve, die bei Ableitung I aufgenommen wurde; A entspricht der Einatmungs-, B der Ausatmungslage der Versuchsperson. In der ersten Lage ist R kleiner als T , in der zweiten ist das Verhältnis umgekehrt.

Eine andere Abweichung besteht darin, dass in derselben Phase einer Atembewegung eine Zacke, die bei Ableitung I wächst, auch bei Ableitung III vergrössert wird. Diese Erscheinung tut sich auf, sobald die Zacke bei den beiden genannten Ableitungen eine entgegengesetzte Richtung zeigt. Als Beispiel weisen wir auf Fig. 12 A und B hin, die das E. K. G. bei Ableitung III derselben Person B a k. wiedergibt, von dem auch die Kurve der Fig. 10 stammt. Die T_{III} -Zacke ist hier negativ, und wir sehen, dass während der Ausatmung sowohl T_{III} (Fig. 12) als T_I (Fig. 10) vergrössert werden.



Fig. 12 A.

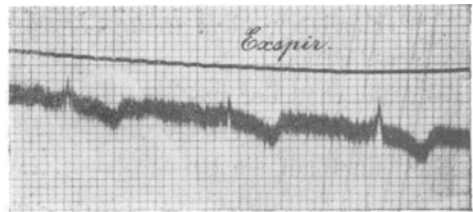


Fig. 12 B.

Fig. 12. B a k. Ableitung III. Fig. 12 A und B sind Stücke einer und derselben kontinuierlichen Kurve. Fig. 12 A während Einatmung; Fig. 12 B während Ausatmung.

Ganz ähnliche Betrachtungen wie über T sind auf die QRS -Gruppe anwendbar.

Wir werden jedoch jetzt versuchen, die Frage zu beantworten, wie der scheinbar so regellose Einfluss der Atembewegungen auf die Form des Kammer-E. G. erklärt werden soll.

Erstens bemerken wir, dass bei den untersuchten Personen ohne Ausnahme die Maxima und Minima der Zacken genau mit den äussersten Respirationslagen zusammenfallen, und dass man also bei jedem Erklärungsversuch auf diese Erscheinung Rücksicht zu nehmen hat. Zweitens schliessen wir die Möglichkeit aus, dass durch einige Nebenursachen, wie z. B. durch die behufs der Atembewegung benötigte Muskelaktion oder durch Verschiebungen der Elektroden, solche Potentialunterschiede hervorgerufen werden, wie sie in unseren Kurven zutage treten. Denn falls derartige Nebenursachen einen mit den Atembewegungen synchronen Einfluss ausübten, würde die Kurve, die eine Reihe von aufeinanderfolgenden E. K. G. wiedergibt, in ihrer Gesamtheit rhythmisch auf und nieder gehen. Wir sehen aber, dass die Linie, welche durch die Herzpausen gezogen werden könnte, einen derartigen Rhythmus nicht

aufweist, sondern sogar, wie mit Hilfe des Quadratmillimeternetzes leicht konstatiert werden kann, in vielen Photogrammen vollkommen gerade verläuft.

Als zweite Möglichkeit, der wir Rechnung tragen müssen, erwähnen wir den Einfluss des veränderlichen Körperwiderstandes, worauf Samojloff¹⁾ die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Wir nehmen an, dass während der Atembewegung der Körperwiderstand zwischen den Ableitungsstellen konstant bleibt. Wenn hier sehr kleine Schwankungen vorkommen sollten, so dürften dieselben wohl ohne Bedenken hinsichtlich des grossen Galvanometerwiderstandes vernachlässigt werden. Aber während der Respiration muss durch den veränderten Luft- und Blutgehalt des Brustkorbes der elektrische Widerstand der um das Herz herum gelagerten Organe rhythmische Schwankungen erfahren, und diese müssen notwendigerweise einen Einfluss auf die Grösse der E. K. G.-Zacken ausüben. Allein offenbar ist derselbe nur sehr gering, was unseres Erachtens schon daraus hervorgeht, dass die Kurve bei Ableitung II meistens nur kleine Veränderungen erfährt, während die bei Ableitung III beobachteten Veränderungen gewöhnlich den bei Ableitung I erzielten entgegengesetzt sind.

Wäre Widerstandsänderung die Ursache der Grössenveränderungen der Zacken, so müsste man annehmen, dass bei einer Atembewegung der Widerstand des Brustkastens in querer Richtung abnähme, während er zu gleicher Zeit in der Längsrichtung zunähme und in schräger Richtung unverändert bliebe. Eine solche Annahme kommt uns aber als sehr unwahrscheinlich vor, namentlich auch darum, weil bei einer nicht übermässigen Respirationsbewegung die Ausdehnung des Thorax in den verschiedenen Richtungen ziemlich gleichmässig ist.

Auch die Tatsache, dass oft das Verhältnis der Zackengrössen eine bedeutende Veränderung erleidet, ist nicht durch eine Veränderung des Körperwiderstandes erklärlich. Hierauf hat schon Samojloff selbst hingewiesen, und er schliesst mit Recht, dass jedenfalls die Widerstandsänderung nicht die alleinige Ursache der Erscheinung sein kann.

Obgleich wir aus physikalischen Gründen a priori annehmen müssen, dass ein Einfluss des veränderlichen Körperwiderstandes existiert, so berechtigen doch die oben gegebenen Auseinandersetzungen

1) A. a. O. S. 183.

zu dem Schluss, dass er nur gering ist und praktisch in den meisten Fällen wohl unberücksichtigt bleiben darf.

Als dritte Ursache weisen wir darauf hin, dass die Art und Weise, wie das Herz sich zusammenzieht, von den veränderten Druckverhältnissen sowohl im Herzen als im Thorax beeinflusst werden kann. Der negative interpleurale Druck, der während der Einatmung verstärkt, während der Ausatmung geschwächt wird, übt einen deutlichen, direkt mechanischen Einfluss auf die Zirkulation aus. Das rechte Herz wird wegen seines schwächeren Muskelsystems diesen Einfluss stärker empfinden als das linke, und wenn die Tätigkeit der einen Herzhälfte mehr oder weniger verändert wird als die der anderen, da wird sich besonders die *QRS*-Gruppe im E. K. G. modifizieren. Es ist tatsächlich auch diese Gruppe, welche durch die Atembewegungen die deutlichsten Veränderungen erfährt.

Für ein ausführliches Studium des Einflusses, den extreme Schwankungen des intrathorakalen Druckes auf das E. K. G. ausüben können, verweisen wir auf die Untersuchungen von Kahn¹⁾, der Menschen elektrokardiographierte, während sie den Valsalva'schen Versuch ausführten. Die dabei zum Vorschein kommenden Veränderungen im E. K. G. werden von Kahn als sehr prägnant beschrieben.

Bei den gewöhnlichen und sogar bei ziemlich tiefen Respirationsbewegungen bilden jedoch die Druckverhältnisse nicht die Hauptursache der Form- und Grössenveränderungen des E. K. G., denn sie können die oben beschriebenen, scheinbar so regellosen Variationen nicht erklären.

Wir erörtern schliesslich den Einfluss der Lageveränderungen, die das Herz bei den Atembewegungen im Thorax erfährt. Dieser Einfluss ist schon von Grau²⁾ in den Vordergrund gerückt worden, der seine Untersuchungen namentlich bei „Menschen mit beweglichen Herzen“ ausgeführt hat, bei denen er die Herzlage röntgenologisch kontrollierte.

Schon früher hatten wir es als gar nicht befremdlich betrachtet³⁾ dass die durch die Atembewegungen herbeigeführte rhythmische Ortsveränderung des Herzens die Form des E. K. G. auch rhythmisch

1) A. a. O. S. 307.

2) A. a. O.

3) Vgl. Weiteres über das E. K. G. S. 563.

modifiziere. Allein offenbar ist der durch die gewöhnliche Respiration bedingte Lagewechsel bei den meisten Menschen ungenügend, bemerkbare Formveränderungen des E. K. G. hervorzurufen. Diese Tatsache, die noch durch den Umstand erhärtet wird, dass bisweilen auch ziemlich tiefe Atembewegungen ohne nennenswerten Einfluss bleiben, ist an und für sich etwas Merkwürdiges. Denn die Atembewegungen sind nur selten rein thorakal, und die anatomischen Verhältnisse machen es notwendig, dass bei abdominaler Atmung das Herz eine Lageveränderung erfährt. Durchleuchtet man die menschliche Brust mit Röntgenstrahlen, so sieht man diese Lageveränderungen auch deutlich zum Vorschein kommen.

Es tauchen noch mehrere Fragen auf, sobald man die Formveränderung des E. K. G. aus den Lageveränderungen des Herzens zu erklären wünscht. Wie ist es möglich, dass die verschiedenen Zacken oft ganz ungleichmässig vergrössert oder verkleinert werden? Warum zeigt das E. K. G. bei Ableitung II soviel geringere Modifikationen als bei den Ableitungen I und III?

All diese Schwierigkeiten werden wie mit einem Schlag gelöst, wenn man sich nicht auf die Form der registrierten Kurven beschränkt, sondern aus den E. K. G., die durch die Anwendung verschiedener Ableitungen erhalten werden, die Richtung und die manifeste Grösse¹⁾ herzuleiten versucht, welche die resultierenden Potentialunterschiede im Herzen selbst besitzen.

3. Zusammenhang zwischen den bei den drei üblichen Ableitungen aufgenommenen Kurven.

Bevor wir dazu übergehen, die Art und Weise zu beschreiben, wie man den resultierenden Potentialunterschied im Herzen ausfindig macht, ist es wünschenswert, die gegenseitige Beziehung, die zwischen den drei jetzt allgemein üblichen Stromableitungen besteht, mit ein paar Worten in Erinnerung zu bringen.

Die Formel²⁾ Ableitung III = Ableitung II — Ableitung I kann nur Gültigkeit haben, wenn der durch das Galvanometer fließende Strom keinen Einfluss auf die an den Extremitäten vorhandene Spannung ausübt. Nun ist aber tatsächlich dieser Einfluss so gering, dass er, ohne einen merkbaren Fehler zu verursachen, vernachlässigt

1) Über die Bedeutung des Ausdrucks „manifeste Grösse“ vgl. den weiteren Text.

2) Vgl. Weiteres über das E. K. G. S. 558.

werden darf. Denn der gesamte Widerstand des Kreises, worin sich das Galvanometer und der menschliche Körper befinden, ist, verglichen mit dem Widerstande der Herzmuskulatur, sehr gross. Wir dürfen also a priori annehmen, dass die erwähnte Formel richtig ist.

Bei oberflächlicher Betrachtung vieler Kurven scheint jedoch einiger Zweifel an der praktischen Gültigkeit der Formel auftauchen

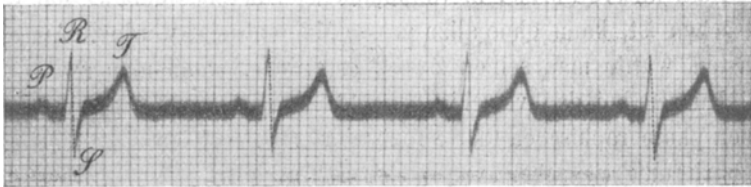


Fig. 13. Fl. Ableitung I.



Fig. 14. Fl. Ableitung II.

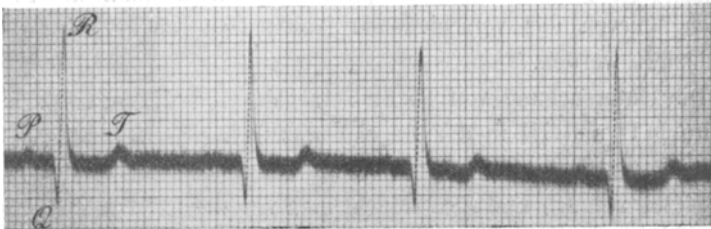


Fig. 15. Fl. Ableitung III.

zu können. Dies bezieht sich namentlich auf solche E. K. G., die bei den drei Ableitungen grosse Verschiedenheiten der Form aufweisen. Man vergleiche z. B. die vorstehenden, bei einer früheren Gelegenheit schon publizierten Kurven von Fl.; s. die Fig. 13, 14 und 15:

Diese und derartige Kurven machen rücksichtlich ihres gegenseitigen Zusammenhanges einen falschen Eindruck, der durch den Umstand hervorgerufen wird, dass oft die Zacken, die wir mit den

gleichen Buchstaben anzudeuten gewohnt sind, nicht in identische Phasen einer Herzperiode fallen. Man kann das auf verschiedenen Wegen beweisen, unter anderem auch dadurch, dass man die Abstände zwischen den Spitzen P , R und T in der Kurve bei Ableitung I mit den entsprechenden Abständen in den Kurven bei Ableitung II und Ableitung III vergleicht. Es zeigt sich dann, dass die erwähnten Spitzen bei Ableitung I in der Regel näher aneinanderstehen.

Dass unsere Formel in vollkommener Übereinstimmung mit den Tatsachen ist, kann ohne allzu grosse Mühe gezeigt werden. Am einfachsten würde man seinen Zweck erreichen, wenn man zwei oder drei Kurven bei den verschiedenen Ableitungen gleichzeitig auf derselben photographischen Platte registrierte. Eine gleichzeitige doppelte Registrierung ist schon von anderen Forschern ausgeführt worden, die dabei, soweit mir bekannt ist, zwei kleine Modelle des Saitengalvanometers verwendet und auf eine exakte Messung der Kurven verzichtet haben. Ein Oszillograph ist zu dem erwähnten Zweck ungeeignet.

Eine andere Methode wurde von Fahr¹⁾ angewendet. Er registrierte, ebenso wie Kahn, zu gleicher Zeit das E. K. G. und die Herztöne. Bei einer und derselben Person wurden unter vollkommen gleichen Verhältnissen die E. K. G. bei den drei Ableitungen aufgenommen, während mit jedem E. K. G. die Kurve der Herztöne kombiniert wurde. Auf diese Weise konnte ein fixer Zeitpunkt markiert werden, der immer in dieselbe Phase einer Herzperiode fiel. Mit Hilfe dieses fixen Zeitpunktes konnten dann die Phasen in den Kurven der verschiedenen Ableitungen genau miteinander identifiziert werden.

Die Untersuchung von Fahr zeigt, dass das Kammer-E. G. bei Ableitung II und III in der Regel etwas früher anfängt als bei Ableitung I, und dass die Spitze von R_I etwas eher gebildet wird als die Spitzen von R_{II} und R_{III} . Macht man von diesen Daten Gebrauch, so fällt es schliesslich nicht mehr schwer, auch bei scheinbar komplizierten Formen von E. K. G. die Gültigkeit der Formel zu beweisen.

Als Beispiel geben wir hier in Fig. 16 die QRS -Gruppe der E. K. G. von Fl. (vgl. die obenstehenden Fig. 13, 14 und 15) schematisch in einem und demselben Koordinatensystem wieder. Bei der Konstruktion sind deutlichshalber die Abszissen viermal mehr

1) G. Fahr, On simultaneous records of the heart sounds and the electrocardiogram. Heart vol. 4 no. 2 p. 147. 1912.

verlängert als die Ordinaten, so dass die ganze Figur in der Breite ausgedehnt erscheint: ein Skalenteil einer Abszisse entspricht 0,01 Sekunde, ein Skalenteil einer Ordinate 10^{-4} Volt. Die vertikalen Linien geben verschiedene Phasen einer Herzperiode an, und für jede Phase gilt die Regel: Ableitung II — Ableitung I = Ableitung III.

Man sieht, dass die Zacken Q_{II} und Q_{III} 0,01 Sekunde vor R_I anfangen, während die Spitzen der erstgenannten Zacken mit einem Punkte des anakrotischen Teiles der letztgenannten Zacke zusammenfallen. Die ganze Zacke S_I entspricht dem katakrotischen Teil von R_{III} , während die ganze Zacke S_{II} nur dem anakrotischen Teil von S_I entspricht.

Ähnliche Konstruktionen, welche unsere Einsicht in die Bedeutung der QRS -Gruppe aufzuklären imstande sind, können wohl immer ohne grosse Schwierigkeiten ausgeführt und auch auf die Zacken P und T angewandt werden. Man muss aber dabei bedenken, dass sie ihren Wert verlieren, wenn man die Verhältnisse, unter welchen die E. K. G. bei den drei Ableitungen aufgenommen werden, verändert. Selbstverständlich muss man der Versuchsperson bei den Aufnahmen eine selbe Körperhaltung geben, während die Skalenteile der

10^{-4} Volt
0,01 sec.

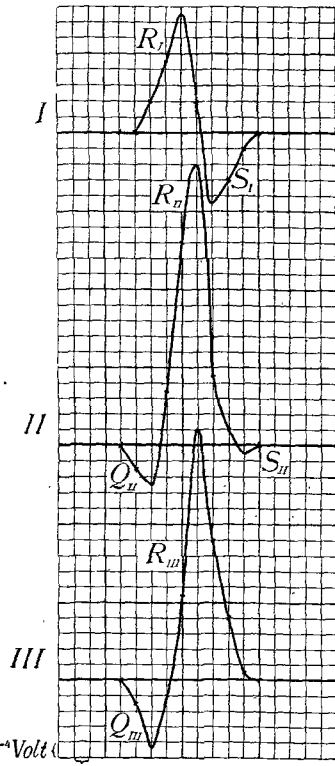


Fig. 16. Konstruktion der QRS -Gruppe von Fl. bei den drei Ableitungen. Jede Ordinate entspricht identischen Phasen einer Herzperiode. Abszisse 1 Skalenteil = 0,01 Sek.; Ordinate 1 Skalenteil = 10^{-4} Volt.

drei Koordinatensysteme den gleichen Zeitintervallen und den gleichen Potentialunterschieden entsprechen müssen. Weiter muss auch das Galvanometer schnell genug reagieren, um die zu registrierenden Potentialschwankungen ohne einen ins Gewicht fallenden Fehler unmittelbar anzuzeigen.

Zum Schluss soll hier noch eine Bemerkung über die Berechnung derartiger Kurven gemacht werden. Indem absolute Präzision

natürlich niemals erzielt werden kann und immer kleine Fehler, sagen wir von einigen wenigen Prozenten, vorkommen können, wird die Genauigkeit sehr gering, mit welcher man eine kleine niedrige Zacke durch Subtraktion zweier einander nahezu gleich grossen Zacken ermittelt.

Sind z. B. T_I und T_{II} ungefähr gleich gross, so ist der berechnete Wert von T_{III} nach der Formel $T_{III} = T_{II} - T_I$ sehr ungenau. Die wirklich registrierte T_{III} gibt ihre Grösse dann viel genauer an als die berechnete, und bei einer Vergleichung der drei Kurven ist es unter diesen Verhältnissen angemessen, von einer der beiden ersten und von der dritten Ableitung auszugehen, um mittels der hierdurch erhaltenen Daten die Kurve der übrigbleibenden Ableitung zu finden.

Obenstehende Betrachtung macht es deutlich, dass man sich in der Regel nicht mit zwei Ableitungen begnügen darf in der Meinung, die Kurve der übrigbleibenden Ableitung sei nun schon aus den Daten der beiden erstgenannten genügend bekannt. Denn die Dimensionen einer mittels Berechnung konstruierten Kurve können nicht nur einfacher, sondern auch viel genauer durch direkte Registrierung ermittelt werden.

4. Das Schema des gleichseitigen Dreiecks. Richtung und manifeste Grösse des resultierenden Potentialunterschiedes im Herzen.

Wie wird man aus den Kurven, die bei den drei Stromableitungen aufgenommen sind, die wirkliche Richtung der Potentialunterschiede im Körper kennen lernen?

Wenn man diese Frage zu beantworten sucht, so kommt man auf die einfachste Weise zum Ziel, indem man zunächst den menschlichen Körper schematisiert. Als besonders zweckmässig darf die Anwendung des folgenden Schemas — das wohl als das Schema des gleichseitigen Dreiecks ¹⁾ bezeichnet werden darf — empfohlen werden. Hierin wird der menschliche Körper durch eine flache, homogene Platte von der Form eines gleichseitigen Dreiecks RLF , s. Fig. 17, vorgestellt. Der Strom wird von den Ecken zum Galvanometer abgeleitet. R entspricht dem rechten, L dem linken Arme,

1) Vgl. auch einen Vortrag, der den 19. März 1912 in der „Chelsea Clinical Society“ in London abgehalten wurde. The Lancet p. 853 vom 30. März 1912.

während F das Potential beider Füße angibt. Eine Ableitung von R und L entspricht also der Ableitung I, von R und F der Ableitung II und von L und F der Ableitung III.

Ein kleiner Fleck H in der Mitte des Dreiecks stellt das Herz vor. Wir nehmen an, dass in einem bestimmten Momente die Potentialunterschiede im Herzen so verteilt sind, dass ihre Resultierende die Richtung des in der Figur angegebenen Pfeiles hat. Eine Stromableitung vom Herzen in dieser Richtung weist dann einen maximalen Potentialunterschied auf, und zwar so, dass in der Richtung der Pfeilspitze das Herz positiv, in der entgegengesetzten Richtung negativ ist.

Wir können die Sache auch so vorstellen, dass zwischen zwei nahe beieinanderliegenden Punkten des kleinen Fleckes H ein Potentialunterschied entwickelt wird. Der in der Figur gezeichnete Pfeil fällt dann mit der Linie zusammen, welche beide Punkte vereinigt und die Richtung des maximalen Potentialunterschiedes im Herzen angibt. Der gegenseitige Abstand der Punkte ist, verglichen mit der Länge einer Seite des Dreiecks, sehr klein.

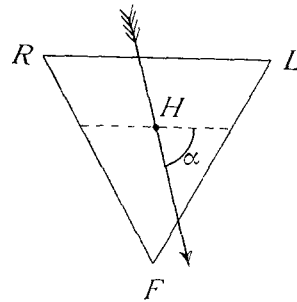


Fig. 17. Schema des gleichseitigen Dreiecks. R entspricht der rechten, L der linken Hand und F den beiden Füßen. Das Herz H befindet sich im Mittelpunkt. Der Pfeil gibt die Richtung des Potentialunterschiedes im Herzen an.
 $\alpha = 76^\circ$.

Der Winkel, den der Pfeil mit der Seite RL macht, wird α genannt und positiv berechnet, wenn der Pfeil im Sinne der Zeiger einer Uhr, negativ, wenn er in der entgegengesetzten Richtung gedreht ist. Bei dieser Bestimmung wird der Standpunkt eines Beobachters eingenommen, der die vordere Brustwand der Versuchsperson betrachtet.

Wir nehmen nun weiter an, dass von einer Versuchsperson ein E. K. G. registriert wird, das bei einer jeden der drei Ableitungen eine einfache Form hat, so dass die Zacken R_I , R_{II} und R_{III} in übereinstimmende Phasen einer Herzperiode fallen. Nach der bekannten Formel kann dann leicht konstatiert werden, dass $R_{II} - R_I = R_{III}$.

Tragen wir die bei der Versuchsperson gefundenen Werte auf das Schema über, so können wir in demselben die Richtung des Potentialunterschiedes ermitteln, der während der Registrierung der

R -Zacken im Herzen vorhanden und also die Ursache von der Bildung dieser Zacken war.

Als Beispiel möge das E. K. G. von Bak. in Inspirationslage dienen. Dabei findet man bei den drei Ableitungen die nachfolgenden Werte. Dieselben sind in Zehnteln eines Millivolts ausgedrückt: $R_I = 3,2$, $R_{II} = 12,5$, $R_{III} = 9,3$.

In der homogenen dreieckigen Platte, die das Herz im Zentrum enthält, können diese Werte nur durch einen resultierenden Potentialunterschied erzeugt sein, dessen Richtung mit derjenigen des gezeichneten Pfeiles übereinstimmt, und zwar so, dass $\alpha = 76^\circ$.

In Expirationslage wird bei derselben Person gefunden:

$R_I = 9,2$, $R_{II} = 11,2$, $R_{III} = 2,0$,
woraus man berechnen kann, dass unter diesen Umständen $\alpha_1 = 40^\circ$, s. Fig. 18.

Mittels des Schemas sind wir auf diese Weise in der Lage zu zeigen, dass während der Expirationsbewegung das Herz sich im Körper um eine sagittale Achse gedreht hat. Die Grösse der Drehung im Schema ist $\alpha_1 - \alpha = -36^\circ$.

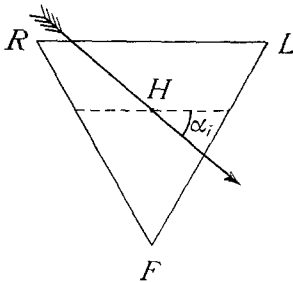


Fig. 18. Erklärung der Abbildung s. Fig. 17. $\alpha_1 = 40^\circ$.

Bei der Konstruktion unseres Schemas haben wir angenommen, dass das Herz als ein materieller Punkt in einer homogenen Masse liegt, und dass die Abstände des Herzens von den drei Ableitungsstellen und also auch die betreffenden Widerstände gleich gross sind. Dies ist selbstverständlich in Wirklichkeit nicht der Fall. Der elektrische Leitungswiderstand in den Lungen ist verschieden von demjenigen im Herzen selbst und in der Brustwand. Für die beiden Füße ist im Schema nur ein einziger Punkt angenommen, während doch, obgleich kleine, noch messbare Potentialunterschiede zwischen linkem und rechtem Fuss erzeugt werden.

Nichtsdestoweniger haben wir genügenden Grund, anzunehmen, dass die wirkliche Drehung des Herzens im Körper für praktische Zwecke hinreichend genau mit der Drehung im Schema übereinstimmt, und wir werden darum in den folgenden Zeilen die Richtung, die der Potentialunterschied im menschlichen Körper annimmt, einfach der Richtung des Pfeiles im Schema gleichsetzen und mit α andeuten.

Die Art und Weise, wie man den Winkel α aus den gemessenen Potentialunterschieden berechnet, wird im Anhang näher auseinander-

gesetzt. Wir erwähnen hier nur, dass die Berechnung einfach ist und schnell ausgeführt werden kann.

Es liegt auf der Hand, zu versuchen, die gefundenen Ergebnisse mittels einer Untersuchung mit Röntgenstrahlen zu kontrollieren. Es müssen jedoch hohe Anforderungen an die Röntgentechnik gestellt werden, wenn man den Winkel, um welchen die Herzachse während einer Atembewegung sich dreht, genau zu ermitteln wünscht. Man müsste dabei über Momentaufnahmen verfügen können, die einer bestimmten Phase der Herzperiode entsprechen, z. B. so wie sie von v. Korányi und v. Elischer¹⁾ ausgeführt worden sind.

Weiter ist zu bemerken, dass bei verschiedenen Menschen die Beweglichkeit des Herzens grosse Unterschiede aufweist, und dass wir also zur Erreichung unseres Zweckes die Röntgenogramme und die E. K. G. bei derselben Person und unter denselben Verhältnissen aufnehmen müssen. Einige Versuche, die wir in dieser Richtung anstellten, sind noch nicht weit genug vorgeschritten, um sie hier näher erörtern zu können.

Im Röntgenbilde kann die Richtung der Herzachse nur schwerlich mit einiger Sicherheit angegeben werden, und insofern uns bekannt ist, wird auch nirgends in der umfassenden Röntgenliteratur eine einigermaassen entscheidende Behandlung der Frage über die Drehung der Herzachse angetroffen.

Es sind aber doch Daten veröffentlicht worden, die für unseren Zweck nicht ohne Wert sind. Insbesondere erwähnen wir hier das Buch von Groedel²⁾, worin ein Herzkinematogramm bei forcierter Atmung abgebildet wird. Groedel kommt zu dem Schluss, dass bei der Atmung der linke Herzrand sich stärker verschiebt als der rechte, nämlich im Verhältnis von 6,5:4,8. Das Herz dreht sich dabei gleichsam um einen Punkt, der an der Stelle liegt, wo rechtes Zwerchfell und rechter Vorhof zusammenstossen.

Diese Ergebnisse stimmen im allgemeinen wohl mit den Resultaten der Elektrokardiographie überein. Eine befriedigende Kontrolle auf diese letzteren können sie jedoch schon darum nicht sein,

1) A. v. Korányi und J. v. Elischer, Teleröntgenographie des Herzens in beliebigen Phasen seiner Tätigkeit. Zeitschr. f. Röntgenkunde u. Radiumforschung Bd. 12 S. 265. 1910.

2) F. M. Groedel, Die Röntgendiagnostik der Herz- und Gefässerkrankungen S. 68—70. Hermann Meusser, Berlin 1912.

weil die Drehung der Herzachse mit grösserer Genauigkeit elektrokardiographisch als röntgenographisch gemessen wird.

Das Schema des gleichseitigen Dreiecks gibt nicht nur die Richtung der Potentialunterschiede an, sondern es setzt uns auch in den Stand, eine Vergleichung zwischen ihren Beträgen zu machen, so wie dieselben im Herzen selbst vorhanden sind. Zur Verdeutlichung können wir eine Bezeichnung: „den manifesten Potentialunterschied im Herzen“, einführen, und wenn bestimmte Zacken, z. B. P , R oder T , zur Sprache kommen, dieselben mit den Zeichen P_m , R_m , T_m andeuten. Mit diesen Zeichen werden dann die manifesten Werte jener Zacken gemeint.

Wir definieren den manifesten Potentialunterschied im Herzen als die Grösse, die sich bei einer der drei Stromableitungen ergibt, sobald die Stromrichtung zwischen den Ableitungsstellen mit der Richtung des resultierenden Potentialunterschiedes im Herzen übereinstimmt. Dabei wird nur den Potentialunterschieden in der Frontalfläche Rechnung getragen.

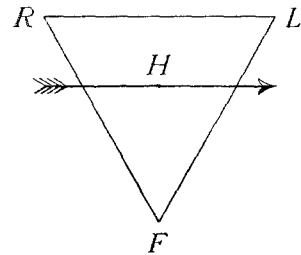


Fig. 19. Erklärung der Abbildung s. Fig. 17. $\alpha = 0^\circ$.

Nehmen wir an, dass ein gegebener Potentialunterschied im Herzen die Zacken T_I , T_{II} und T_{III} hervorruft, und dass die Stromrichtung im Schema durch einen der Seite RL parallelen Pfeil vorgestellt wird, s. Fig. 19, so ist T_I die grösste der drei Zacken, während T_{II} und T_{III} einander entgegengesetzt sind und die halbe Grösse von T_I erreichen. Unter diesen Umständen ist $T_m = T_I$.

Die manifeste Grösse einer Zacke kann immer aus der Höhe der registrierten Zacken berechnet werden und kann also immer im absoluten Maasse, z. B. in Zehnteln eines Millivolts, wiedergegeben werden.

Die Berechnung wird ebenso wie diejenige des Winkels α leicht und schnell ausgeführt, was im Anhang näher auseinandergesetzt werden soll. Wenden wir die Berechnung auf die R -Zacke von Bak. an, wovon die Daten oben schon mitgeteilt worden sind, so finden wir R_m in Inspirationslage = 13, in Expirationslage = 12 Zehntel eines Millivolts.

In der nachstehenden Tabelle I sind die gleichartigen Werte von vier Versuchspersonen zusammengebracht.

Tabelle I.

Versuchsperson	R_I	R_{II}	R_{III}	Richtung von R und Drehung bei der Expiration	Manifeste Grösse von R in Zehnteln eines Milliv. R_m
	in Zehnteln eines Millivolts				
Bak., Inspir. . .	3,2	12,5	9,3	76° } - 36°	13
„ Exspir. . .	9,2	11,2	2,0		40°
Bat., Inspir. . .	6,2	20,0	14,0	73° } - 20°	20
„ Exspir. . .	12,2	20,2	8,0		53°
de Bl., Inspir. . .	6,0	26,0	20,0	77° } - 12°	27
„ Exspir. . .	11,0	26,0	15,0		65°
Br., Inspir. . . .	6,5	21,0	14,5	73° } - 23°	21
„ Exspir. . . .	13,0	20,0	7,0		50°

Man sieht aus den in die Tabelle eingetragenen Zahlen, dass die Drehung des im Herzen vorhandenen resultierenden Potentialunterschiedes R bei allen Versuchspersonen während der Atembewegung im gleichen Sinne stattfindet, dass aber, wie wohl zu erwarten war, die Grösse dieser Drehung bei den verschiedenen Personen ungleich ist. Die Drehungen variieren von -12° bis auf -36° .

Die manifeste Grösse von R , die wir R_m genannt haben, bleibt innerhalb der Fehlergrenzen der Methode während der Respirationsbewegung bei einer und derselben Person unverändert, obgleich dieselbe bei den verschiedenen Personen grosse Unterschiede aufweist. Bei Bak. beträgt sie ungefähr 12,5, bei de Bl. ungefähr $26,5 \times 10^{-4}$ Volt.

Die Unveränderlichkeit der manifesten Grösse von R bei derselben Person weist erstens darauf hin, dass der Einfluss des veränderlichen Körperwiderstandes auf die Grösse der Zacken des E. K. G. nur gering ist, und zweitens kann es als ein Zeugnis für die Tauglichkeit des angewendeten Schemas betrachtet werden.

Wir müssen jetzt die Richtung und die manifeste Grösse von T auf gleiche Weise bestimmen wie von R , müssen aber bedenken, dass die T -Zacke nicht geeignet ist, die durch die Atembewegungen bedingte Lageveränderung des Herzens rein an den Tag zu bringen. Denn die Veränderungen, welche T während der Atembewegungen zeigt, haben zwei Ursachen, von denen die erstere mit der Lageveränderung, die zweite mit der Frequenzveränderung des Herzens zusammenhängt. Es fällt aber nicht schwer, den Anteil, den jede

der beiden Ursachen an der Modifikation von T hat, aus den Daten der Kurven einzeln zu bestimmen.

Erstens soll die Aufmerksamkeit auf die manifeste Grösse von T gelenkt sein. Aus der untenstehenden Tabelle II, die auf ähnliche Weise wie Tabelle I eingerichtet ist, ist ersichtlich, dass T_m regelmässig bei der Ausatmung wächst, und zwar bei unseren Versuchspersonen in einem Minimumverhältnis von 1,2, in einem Maximumverhältnis von 1,9.

Tabelle II.

Versuchsperson	T_I	T_{II}	T_{III}	Richtung von T und Drehung bei der Expiration	Manifeste Grösse von T in Zehnteln eines Millivolts T_m	Verhältnis der manif. Grössen von T $\frac{T_m \text{ in Exsp.}}{T_m \text{ in Insp.}}$
	in Zehnteln eines Millivolts					
Bak., Insp. . .	2,0	1,5	- 0,5	16° } - 24° - 8° }	2,1	} 1,9
„ Exsp. . .	4,0	1,5	- 2,5		4,0	
Bat., Insp. . .	1,5	2,5	1,0	53° } - 4° 49° }	2,5	} 1,2
„ Exsp. . .	2,0	3,0	1,0		3,1	
de Bl., Insp. . .	2,7	5,0	2,3	57° } - 14° 43° }	5,0	} 1,4
„ „ Exsp. . .	5,0	6,5	1,5		6,85	
Br., Insp. . . .	3,0	5,0	2,0	53° } - 13° 40° }	5,05	} 1,2
„ Exsp. . . .	4,5	5,5	1,0		5,9	

In Übereinstimmung mit dem Schema des gleichseitigen Dreiecks kann die Zu- oder Abnahme der manifesten Grösse einer Zacke niemals durch eine Drehung der Herzachse erzeugt werden. Auch eine Verschiebung des Herzens wird, wenn dieselbe innerhalb normaler Grenzen beschränkt bleibt, die manifeste Grösse der Zacke nicht merkbar beeinflussen. Eine Veränderung dieser Grösse muss also ausschliesslich anderen Einflüssen zugeschrieben werden, und als einen solchen haben wir eben die Wirkung des Vagustonus, womit auch die Herzfrequenz zusammenhängt, kennen gelernt.

Mit der Drehung einer Zacke ist es jedoch anders beschaffen als mit der manifesten Grösse. Wir wissen aus den Daten der Tabelle I, wieviel die Herzachse bei den vier genannten Versuchspersonen während der von ihnen ausgeführten und mittels des Spirometers gemessenen Atembewegung gedreht wird. Die Daten der Tabelle II beziehen sich auf dieselben Atembewegungen wie diejenigen der Tabelle I und sind denselben E. K. G. entnommen.

Findet man also für die Drehung von T einen anderen Winkel als für die Drehung der Herzachse, so muss der Unterschied zwischen den beiden Drehungen durch die Wirkung des hinzukommenden Einflusses verursacht sein. Für den letzteren kann bei unseren Versuchen nur der veränderliche Vagustonus verantwortlich gemacht werden ¹⁾.

Tatsächlich finden wir für die Drehungen von T Werte, die meistens bedeutend kleiner sind als die Drehungen von R . So wird z. B. bei Bak. für die Drehung von R , d. h. also für die Drehung der Herzachse, gefunden $\beta_R = -36^\circ$, während in denselben E. K. G. für die Drehung von T der Wert $\beta_T = -24^\circ$ gefunden wird. Der Unterschied $\gamma = \beta_T - \beta_R = 12^\circ$ ist dann die durch den veränderten Vagustonus bedingte Drehung.

Es zeigt sich, dass γ in der Regel positiv ist, sobald die manifeste Grösse von T zunimmt. Eine Kontrolle dieses Ergebnisses kann man erhalten, indem man die E. K. G. einer Anzahl von Personen aufnimmt, bei welchen der Vagustonus auf andere Weise als durch eine forcierte Atembewegung verändert wird. Man kann z. B. die Versuchspersonen in Ruhe und unmittelbar nach kräftiger Körperanstrengung, also bei gesteigerter Herzfrequenz, untersuchen.

Die Resultate einer solchen Untersuchung, die einige Seiten weiter mitgeteilt werden, bestätigen die oben erwähnten Schlüsse.

Ebensowenig wie T ist P geeignet, die durch die Atembewegungen bedingte Lageveränderung des Herzens aufzuweisen, denn P wird noch stärker durch eine Veränderung der Herzfrequenz beeinflusst als T . Ausserdem ist P oft klein und weniger einfach. Insofern es aber bei unseren zehn Versuchspersonen möglich war, die Richtung dieses Vorkammerstromes festzustellen, zeigte sich ohne Ausnahme, dass während der Atembewegung eine Drehung im selben Sinne stattfindet wie bei R und T .

Die kleinen und etwas inkonstanten Zacken Q und S kommen meistens vor, wo die QRS -Gruppe kompliziert ist, so dass ihre Messung erschwert wird. Von denselben kann aber das nämliche gesagt werden wie von P . Wo es möglich war, die Messung aus-

1) Bei dieser Erwägung ist der Möglichkeit keine Rechnung getragen, dass vielleicht die Beweglichkeit des Herzens im Zustande der Diastole grösser sein könne als im Zustande der Systole. Man vergleiche über diesen Punkt den Text ein paar Seiten weiter.

zuföhren und aus kleinen Modifikationen einen nicht allzu unsicheren Schluss zu ziehen, ergab sich immer das Resultat, dass die beiden Zacken sich bei den Atembewegungen in derselben Richtung drehen wie die übrigen Zacken des E. K. G.

Die Ursache all dieser im gleichen Sinne stattfindenden Drehungen ist klar. Denn das ganze Herz wird bei den Atembewegungen durch die Lageveränderung des Diaphragmas um eine sagittale Achse gewendet.

Es wäre nicht ohne Interesse, zu untersuchen, ob die Herzachse während der Diastole und der Systole dieselbe Richtung behält. Während der Diastole hat das Herz so gut wie keine Tendenz, eine eigene Form anzunehmen, und kann es also den Zwerchfellbewegungen besser folgen als während der Systole. *P* fällt in einer Phase, wo die Herzkammern noch in Diastole verharren, während die *QRS*-Gruppe im ersten Anfange der Kammerkontraktion erzeugt wird und also wahrscheinlich in eine solche Phase dieser Kontraktion fällt, wo die Muskulatur ihre systolische Härte noch nicht ganz erreicht hat. Schliesslich fällt *T* in eine Phase, wo die Kammern ihre volle Härte zeigen.

Könnte man die Richtung einer jeden Zacke und den Einfluss, den die Atembewegung auf ihre Drehung ausübt, immer genau ermitteln, so wäre es auch möglich, über die Drehung der Herzachse in Diastole und in Systole gesondert zu urteilen. Aber die Schwierigkeiten bei der Messung von *P* und die Komplikation durch die veränderte Herzfrequenz lassen nicht zu, mit Sicherheit zu bestimmen, ob die durch die Lageveränderung bedingten Drehungen von *P* und von der *QRS*-Gruppe ebenso stark oder stärker sind als diejenigen von *T*.

Wir lassen diesen Punkt darum besser unentschieden und bemerken noch, dass bei den Atembewegungen keine nennenswerte Wendung des Herzens um eine vertikale Achse stattfindet. Dies wird durch das Verhalten der Zacke *S_I* bewiesen. Wie sofort noch näher erörtert werden wird, zeigt *S_I* bei einer Wendung des Herzens um die vertikale Achse bei einigen Personen sehr grosse Modifikationen, während diese Zacke bei den Atembewegungen derselben Personen sich nur wenig verändert.

Schliesslich kommen wir noch auf die im Anfang aufgeworfenen und scheinbar viele Schwierigkeiten darbietenden Fragen zurück, die jetzt aber leicht beantwortet werden können.

Erstens die Frage, wie es möglich ist, dass man bei den gewöhnlichen Respirationsbewegungen, wobei die Röntgendurchleuchtung oft deutliche Lageveränderungen des Herzens kennbar macht, doch in der Regel keine nennenswerten Veränderungen im E. K. G. beobachtet.

Die Erklärung muss darin gesucht werden, dass während einer gewöhnlichen, nicht exkursiven Atembewegung in vielen Fällen hauptsächlich eine sich selbst parallele Verschiebung des Herzens stattfindet. Eine solche Verschiebung übt nur einen sehr geringen Einfluss auf die Form des E. K. G. aus, während eine kleine Drehung des Herzens um die sagittale Achse, so wie sie durch eine tiefere Atembewegung erzielt wird, schon genügt, die Form und Höhe der verschiedenen Zacken der Kurve wahrnehmbar zu modifizieren. Dies geht unmittelbar aus dem Schema des gleichseitigen Dreiecks hervor.

Dass die verschiedenen Zacken des E. K. G. durch eine veränderte Lage des Zwerchfells oft ganz ungleichmässig vergrössert oder verkleinert werden, und dass die Kurve bei Ableitung II soviel geringere Modifikationen zeigt als bei den Ableitungen I und III, wird durch das Dreieckschema ebenfalls auf leichte und befriedigende Weise erklärt. Ein im Herzen vorhandener Potentialunterschied, dessen Richtung nach dem Schema in der einen Herzlage durch $\alpha = 80^\circ$, in der anderen durch $\alpha_1 = 40^\circ$ angegeben wird, erzeugt eine Zacke, die bei Ableitung II unverändert bleibt, bei den Ableitungen I und III dahingegen bedeutend modifiziert wird.

Hat die Zacke bei Ableitung II in der ersten Herzlage eine Grösse von $9,4 \times 10^{-4}$ Volt, so behält sie diesen Wert bei derselben Ableitung in der zweiten Herzlage. Bei Ableitung I wird sie dahingegen von $1,7 \times 10^{-4}$ Volt in der ersten Herzlage, auf $7,7 \times 10^{-4}$ Volt in der zweiten Herzlage vergrössert. Bei Ableitung III wird sie von $7,7 \times 10^{-4}$ Volt in der ersten Herzlage, auf $1,7 \times 10^{-4}$ Volt, in der zweiten Herzlage verkleinert.

Wenn der resultierende Potentialunterschied T eine andere Richtung hat als R , so müssen durch die Drehung des Herzens um eine sagittale Achse die Zacken T_I , T_{II} und T_{III} auf andere Weise modifiziert werden als R_I , R_{II} und R_{III} . Es ist also im allgemeinen nicht gestattet, aus der Tatsache, dass T sich unter gewissen Umständen anders verhält als R , zu schliessen, dass die Elektrizitäts-

entwicklung, wodurch T erzeugt wird, eine andere Ursache hätte als die Elektrizitätsentwicklung, wodurch R hervorgerufen wird¹⁾.

Es ist ebenfalls deutlich, warum eine Zacke, die bei den Ableitungen I und III gleichgerichtet ist, bei einer Lageveränderung des Zwerchfells entgegengesetzte Veränderungen erleidet, während eine andere Zacke bei beiden Ableitungen vergrössert oder bei beiden Ableitungen verkleinert wird, sobald sie bei der ersten einen positiven, bei der letzten einen negativen Wert besitzt. Letzteres findet statt, wenn der Winkel α zwischen -90° und $+30^\circ$ liegt.

5. Der Einfluss veränderter Körperlage.

Es gibt gute Gründe, um anzunehmen, dass die wichtigsten Zacken des Kammer-E. G., T und R , durch Potentialunterschiede erzeugt werden, die in ungefähr frontalen Flächen des Herzens lokalisiert sind. Dies kann man durch das Verhalten der S -Zacke bei Ableitung I beweisen. Wenn eine Person erst horizontal auf seiner linken Seite liegt und sich danach auf seine rechte Seite wendet, kommt die auffallende Erscheinung an den Tag, dass die S_T -Zacke, die bei der ersten Lage oft gar nicht vorhanden oder nur klein war, bei der Wendung des Körpers deutlich hervortritt und bisweilen eine erhebliche Höhe erreicht.

Als ein Beispiel von dem Hervortreten einer grossen S -Zacke bei der Wendung des Körpers auf die rechte Seite weisen wir auf die Fig. 20 und 21 hin, die beide bei Ableitung I aufgenommen sind. Fig. 20, die bei der Lage auf der linken Seite registriert wurde, zeigt eine kleine S -Zacke, die fast vernachlässigt werden darf, während Fig. 21, die bei der Lage auf der rechten Seite aufgenommen wurde, eine so grosse S -Zacke zeigt, dass man geneigt ist, sich einigermaassen darüber zu wundern, dass beide Kurven von derselben Person bei derselben Ableitung und — mit Ausnahme der Körperlage — unter vollkommen gleichen Verhältnissen erhalten worden sind.

Die befriedigendste Lösung dieser bei oberflächlicher Betrachtung so rätselhaften Erscheinung wird wohl gefunden, wenn man annimmt, dass bei der Wendung des Körpers von der linken auf die rechte

1) Man vergleiche über diesen Punkt auch „Über die Deutung des E. K. G.“. Pflüger's Arch. Bd. 149 S. 65. 1912.

Seite das Herz im Thorax um die Längsachse des Körpers gedreht wird.

Wenn im Herzen ein Potentialunterschied vorhanden ist, der eine sagittale Richtung hat, so kann eine geringe Drehung des Herzens um die Längsachse des Körpers eine bedeutende Veränderung in der Grösse der zugehörigen Zacke verursachen, und dies wird



Fig. 20. Fl. Ableitung I, auf der linken Seite liegend.

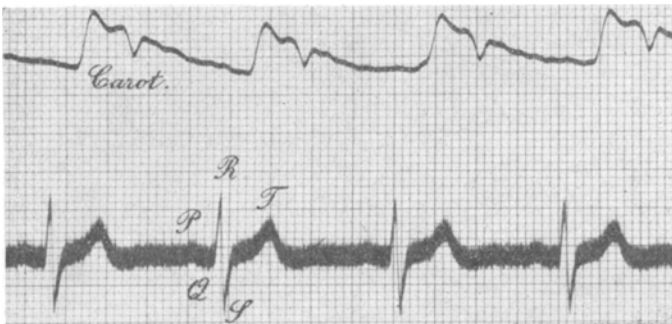


Fig. 21. Dieselbe Person bei derselben Ableitung, auf der rechten Seite liegend.

namentlich bei Ableitung I stark hervortreten. Falls der Potentialunterschied genau sagittal gerichtet ist, verschwindet die Zacke auch vollständig. Es ist wohl wahrscheinlich, dass durch diesen Umstand sowohl die grossen Unterschiede der *S*-Zacke bei den verschiedenen Menschen als im allgemeinen ihre Inkonstanz erklärt werden müssen.

In den Fig. 20 und 21 bemerken wir, dass die Zacken *P*, *R* und *T* nahezu keine Veränderung erfahren. Wenn wir aus der enormen Modifikation der *S*-Zacke schliessen, dass eine Drehung des Herzens um die Längsachse des Körpers stattgefunden hat, so müssen

wir auch annehmen, dass die Zacken P , R und T in ungefähr frontalen Flächen oder besser in solchen Flächen erzeugt werden, die mit der sagittalen Fläche relativ grosse Winkel bilden. Denn auf diese Weise kann ihre geringe Veränderlichkeit unter diesen Umständen am einfachsten erklärt werden.

Das Unverändertbleiben der Zacken P , R und T gibt noch zu einer anderen Bemerkung Anlass. Die anatomischen Verhältnisse bringen mit sich, dass bei einer Wendung des Körpers auf die linke Seite das Herz sich im Thorax etwas nach links, bei einer Wendung des Körpers auf die rechte Seite etwas nach rechts verschiebt. Dass diese Ortsveränderung keine Modifikation in den Zacken P , R und T hervorruft, bestätigt die Resultate, welche die Untersuchung der Atembewegungen ergeben haben, nämlich, dass eine sich selbst parallele Verschiebung des Herzens nur einen sehr geringen Einfluss auf die Form des E. K. G. ausübt.

Bei fünf der zehn untersuchten Personen wurde, ebenso wie im oben erwähnten Fall von Fl., die Zacke S_I grösser, sobald der Körper von der linken auf die rechte Seite gewendet wurde. Bei drei Versuchspersonen fehlte S_I in beiden Körperlagen, und bei den zwei sonstigen behielt diese Zacke dieselbe Grösse.

Wenn wir die E. K. G. miteinander vergleichen, die von Menschen erhalten werden, welche nacheinander auf dem Rücken und auf dem Bauche liegen, so zeigt sich, dass bei der Wendung auf den Bauch das Herz sich um eine sagittale Achse im selben Sinne wie bei der Ausatmung dreht. Die zehn untersuchten Personen zeigten diese Drehung ohne Ausnahme.

Die Erklärung bietet keine Schwierigkeiten, denn in der Bauchlage ist der Druck in der Bauchhöhle vergrössert, und durch das Drängen der Baueingeweide gegen das Zwerchfell wird dieses Organ aufwärts gepresst.

Abgesehen von der Drehung um die sagittale Achse konnte noch unter denselben Umständen mittels des Verhaltens von S_I eine geringe Drehung um die Längsachse des Körpers konstatiert werden.

Wir erwähnen jetzt noch kurz die Unterschiede, die das E. K. G. zeigt, wenn eine Person in sitzender Haltung und beim Liegen auf dem Rücken untersucht wird. Bei den zehn untersuchten Personen waren die Unterschiede im allgemeinen nur gering; bei einigen war es deutlich, dass das Herz in der Rückenlage auf ähnliche Weise

um die sagittale Achse gedreht war wie bei der Einatmung, beim Sitzen wie bei der Ausatmung. Bei anderen waren diese Drehungen aber kaum bemerkbar.

Weil diese Frage eine für die Klinik praktische Bedeutung hat, sei hier noch in Erinnerung gebracht, dass bei unseren Untersuchungen der Rumpf der Versuchspersonen beim Liegen wirklich horizontal, beim Sitzen vertikal war. In der Regel wird man aber in der Klinik diese Bedingungen nicht erfüllen. Denn wenn ein Patient sitzend untersucht wird, so lässt man ihn bequem im Stuhl zurücklehnen — wenigstens sind wir selbst immer so verfahren —, während auch gewöhnlich bei einem im Bette liegenden Kranken die Schulter sich auf einem etwas höheren Niveau befinden als das Becken.

Auf diese Weise nähern sich die beiden Körperhaltungen einander, so dass der Unterschied zwischen den E. K. G. geringer wird und man in der Regel wohl ohne viel Bedenken die beim Liegen registrierten Kurven unmittelbar mit den beim Sitzen registrierten vergleichen darf.

6. Der Einfluss gesteigerter Herzfrequenz.

Mit Hilfe des Schemas des gleichseitigen Dreiecks ist man in der Lage, unter allerlei Umständen die Form des E. K. G. besser zu beurteilen. Betrachten wir z. B. den Einfluss einer durch Körperanstrengung gesteigerten Herzfrequenz etwas näher. In „Weiteres über das E. K. G.“ sind schon eine Anzahl diesbezüglicher Kurven beschrieben worden ¹⁾, aber die dortige Beschreibung musste sich auf die einzelnen, bei den drei Ableitungen aufgenommenen E. K. G. beschränken. Jetzt können wir dahingegen die Ergebnisse kombinieren und z. B. aus den Messungen von P_I , P_{II} und P_{III} herleiten, dass die manifeste Grösse des im Herzen vorhandenen Potentialunterschiedes P_m bei gesteigerter Herzfrequenz, also bei vermindertem Vagustonus, zunimmt.

Merkwürdig ist die Veränderung, welche das Kammer-E. G. unter dem Einflusse des verminderten Vagustonus erfährt. Wir weisen namentlich auf die Veränderungen der *T*-Zacke hin und geben in der nachstehenden Tabelle III die durch diese Zacken erreichten Höhen bei fünf Personen an ²⁾.

1) A. a. O. S. 565 f.

2) Die Daten sind den Kurven entnommen, die in „Weiteres über das E. K. G.“ gedient haben.

Tabelle III.

Versuchsperson	Herzfrequenz in Schlägen pro Minute	T_I	T_{II}	T_{III}	Richtung von T und Drehung bei gesteigerter Herzfrequenz	Manif. Grösse von T in Zehnteln eines Milliv. T_m	Verhältnis der manif. Grössen: T_m bei gest. Frequenz T_m in Ruhe
		in Zehnteln eines Milliv.					
Ga. in Ruhe.	72	5,0	4,5	-0,5	25°	5,5	} 1,3
„ nach Bewegung . .	112	5,0	7,0	2,0	46°	7,2	
v. d. Sch. in Ruhe . . .	76	4,0	5,0	1,0	41°	5,3	} 1,6
„ nach Bewegung	97	6,0	8,0	2,0	44°	8,3	
Fu. in Ruhe.	86	1,5	2,0	0,5	44°	2,1	} 1,7
„ nach Bewegung . .	137	2,5	3,5	1,0	46°	3,6	
Tj. in Ruhe	91	3,0	3,3	0,3	35°	3,6	} 1,6
„ nach Bewegung . .	131	3,5	5,5	2,0	51°	5,6	
Jo. in Ruhe.	89	3,0	4,2	1,2	46°	4,3	} 1,6
„ nach Bewegung . .	96	3,0	7,0	4,0	65°	7,0	

Aus den Werten der sechsten Reihe ist ersichtlich, dass in allen untersuchten Fällen die Richtung von T ein wenig in positivem Sinne gedreht wird, wenn die Herzfrequenz zunimmt, während die siebente und achte Reihe angeben, dass dann auch die manifeste Grösse von T wächst.

Die Untersuchung ist ziemlich umständlich. Behufs der Zusammensetzung obenstehender Tabelle mussten sechs E. K. G. einer jeden Versuchsperson, also 30 E. K. G. im ganzen, ausgemessen werden. Solange man die Person im Zustande der Ruhe untersucht, ist ihre Herzfrequenz während der Aufnahme bei den drei Ableitungen in der Regel ziemlich konstant. Aber wenn man das Photogramm unmittelbar nach Körperanstrengung und also bei einer gesteigerten Herzfrequenz aufnimmt, tut sich eine Schwierigkeit auf, weil es nicht immer gelingt, dabei die richtigen Augenblicke zu treffen, worin die Frequenzen einander gleich sind. Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass die E. K. G. von v. d. Sch. und Fu. aus der Tabelle dieser Anforderung besser genügen als diejenigen der drei anderen Versuchspersonen, die also nicht so zuverlässige Resultate ergeben haben.

Die Drehung von T , die, wie aus der Tabelle ersichtlich, bei allen untersuchten Personen positiv ist, wird nicht durch eine Drehung der Herzachse bewerkstelligt. Erstens gibt es keinen Anlass für die Annahme, dass unter den oben erwähnten Umständen eine Drehung

der Herzachse stattgefunden habe, und zweitens kann die unveränderliche Richtung dieser Achse auch unmittelbar mit Hilfe der Messungen der *R*-Zacke bewiesen werden.

Sowohl die positive Drehung als die Zunahme der manifesten Grösse von *T* hängen also ausschliesslich mit der Steigerung der Herzfrequenz zusammen und müssen durch die Verminderung des Vagustonus erklärt werden. Der Vagustonus beeinflusst also den Weg, den die Erregung und die Kontraktionswelle im Herzmuskel nehmen.

7. Pathologische Verhältnisse.

Zum Schluss mögen ein paar Beispiele aus der Pathologie erörtert werden.

Bei Myodegeneratio Cordis und in vielen Fällen von Vorhofflimmern ist *T* bei allen drei Ableitungen klein. Es braucht nicht näher auseinandergesetzt zu werden, dass unter diesen Umständen *T_m* auch klein sein muss.

In vielen Fällen von Hypertrophie des linken Herzens findet man (*QRS*)_{III} negativ. Welchen Schluss kann man hieraus ziehen? Ganz im allgemeinen könnte die Modifikation der *QRS*-Gruppe vielleicht durch eine Lageveränderung des Herzens, namentlich durch eine Drehung des Herzens um die sagittale Achse, bedingt sein. Tatsächlich verkehrt der Kliniker oft im Zweifel, ob er die bei seinem Patienten beobachteten Erscheinungen einer wirklichen Hypertrophie oder einfach einer Lageveränderung des Herzens zuschreiben soll.

Das Schema des gleichseitigen Dreiecks kann in einem solchen Falle oft die Lösung bringen.

Wir fanden z. B. in einigen Fällen von Hypertrophie der linken Kammer die wichtigste Zacke der *QRS*-Gruppe oder bisweilen auch wohl die *QRS*-Gruppe als ein Ganzes, in einer Richtung, die durch $\alpha = -40^\circ$ vorgestellt wird, während für diese Zacke resp. Gruppe bei normalen Herzen der Betrag von α zwischen $+40^\circ$ und $+90^\circ$ variiert.

Wünschte man in diesen Fällen die Drehung der *QRS*-Gruppe aus einer Drehung des Herzens um die sagittale Achse zu erklären, so müsste man annehmen, dass diese Drehung 80° und sogar 130° betrage — was wohl für unmöglich gehalten werden darf.

Die Anwendung des Schemas berechtigt also zu dem Schluss, dass wir in diesen Fällen es mit einer bedeutenden Veränderung in

der Erregungsleitung und dem Fortschreiten der Kontraktionswelle durch den Herzmuskel zu tun haben. Es ist wohl wahrscheinlich, dass man durch die elektrokardiographische Ermittlung einer solchen Veränderung eher als auf irgendeine sonstige Weise eine beginnende Hypertrophie des linken Herzens wird diagnostizieren können.

Eine Hypertrophie des rechten Herzens und auch die atypischen Herzkontraktionen können nach demselben Schema beurteilt werden. Letztere sind von grosser Wichtigkeit und einer speziellen, ausführlichen Besprechung wert. Aber die obengenannten Beispiele mögen genügen. Sie beweisen hinlänglich, dass man mittels des Schemas imstande ist, die wesentlichen Veränderungen der Herztätigkeit und die scheinbaren, welche nur durch Lageveränderungen des Herzens verursacht werden, voneinander zu unterscheiden.

8. Anhang.

Über die Art und Weise, wie man die Richtung und die manifeste Grösse des resultierenden Potentialunterschiedes berechnet.

A. Die Richtung des resultierenden Potentialunterschiedes.

In dem gleichseitigen Dreieck RLF , s. Fig. 22, ist durch den Mittelpunkt H ein Pfeil gezeichnet, der einen willkürlichen Winkel α mit der Seite RL macht. Auf diesem Pfeil ist ein Stück $p q$ von willkürlicher Länge abgetragen worden. Die Projektion von $p q$ auf die Seite RL sei $p_1 q_1$, diejenige auf die Seite RF sei $p_2 q_2$, und diejenige auf die Seite LF sei $p_3 q_3$.

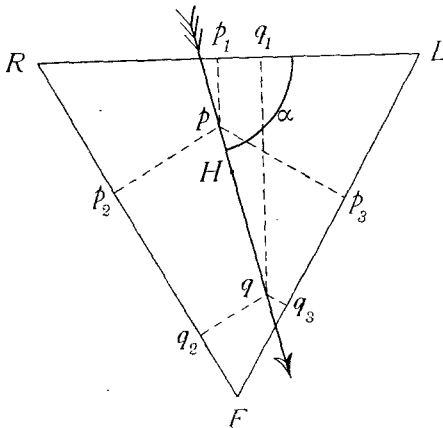


Fig. 22.

Setzen wir $p q = E$, $p_1 q_1 = e_1$, $p_2 q_2 = e_2$ und $p_3 q_3 = e_3$, so ist:

$$e_1 = E \cos \alpha \dots \dots (1)$$

$$e_2 = E \cos (\alpha - 60^\circ) \quad (2)$$

$$e_3 = E \cos (120^\circ - \alpha) \quad (3)$$

$$e_3 = e_2 - e_1 \dots \dots (4).$$

Wir nehmen an, dass das gleichseitige Dreieck RLF eine homogene flache Platte vorstellt, dass in zwei sehr nahe bei-

einanderliegenden Punkten in der unmittelbaren Nähe von H ein Potentialunterschied angebracht wird, und dass eine die beiden Punkte miteinander verbindende Linie mit dem in der Figur gezeichneten Pfeil zusammenfällt. Unter diesen Umständen müssen die zwischen den Ecken des Dreiecks vorhandenen Potentialunterschiede sich verhalten wie $e_1 : e_2 : e_3$.

Wenn α unbekannt ist, kann dieser Winkel aus dem Verhältnis von zwei dieser drei Potentialunterschiede berechnet werden. Benutzt man bei der Berechnung e_1 und e_2 , so findet man mit Hilfe der Formeln (1) und (2)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 e_2 - e_1}{e_1 \sqrt{3}} \quad (5).$$

Benutzt man e_1 und e_3 , so findet man

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 e_3 + e_1}{e_1 \sqrt{3}} \quad (6),$$

und wendet man e_2 und e_3 an, so findet man

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{e_2 + e_3}{(e_2 - e_3) \sqrt{3}} \quad (7).$$

Der Winkel α stellt die Richtung des resultierenden Potentialunterschiedes im Körper vor. Mittels einer jeden der Formeln (5), (6) und (7) ist man also imstande, diese Richtung aus den Potentialunterschieden zu berechnen, so wie dieselben bei den drei üblichen Ableitungen gefunden werden.

Es verdient jedoch nicht immer Empfehlung, die erwähnten Formeln anzuwenden, weil man auf anderem Wege seinen Zweck oft viel schneller erreichen kann. Begnügt man sich mit einer geringen Genauigkeit, so dass ein Fehler von 10° oder 15° noch zulässig ist, so kann man eine geometrische Konstruktion anwenden, wobei α unmittelbar aus der Figur abgeleitet werden kann. Man sieht z. B. leicht ein, dass bei Winkeln von 0° , 30° , 60° , 90° usw. das Verhältnis von $e_1 : e_2 : e_3$ sehr einfach ist, und zwar ist

bei 0°	$e_1 : e_2 : e_3 = 1 : 0,5 : -0,5$
„ 30°	$e_1 : e_2 : e_3 = 1 : 1 : 0$
„ 60°	$e_1 : e_2 : e_3 = 0,5 : 1 : 0,5$
„ 90°	$e_1 : e_2 : e_3 = 0 : 1 : 1$ usw.

Die Winkel von dazwischen liegenden Grössen müssen dann abgeschätzt werden.

Ist eine grössere Genauigkeit erwünscht, so kann man mit Vorteil von einer Zahlentafel Gebrauch machen. Auf der letzten Seite dieser Abhandlung wird eine solche Tafel abgedruckt. Mit deren Hilfe ist man in der Lage, in jedem vorkommenden Falle innerhalb einer Minute den Wert von α abzulesen. Die hinzugefügte Interpolationstafel gibt dabei den gesuchten Wert für jede zwei Grade unmittelbar an.

Beispiel 1a.

Bei Bak. wird in Inspirationslage für die *R*-Zacke in Zehnteln eines Millivolts gefunden: $R_I = 3,2$, $R_{II} = 12,5$, $R_{III} = 9,3$. Wir haben also für diese Zacke:

$$e_1 : e_2 : e_3 = 3,2 : 12,5 : 9,3.$$

Da die Tafel die Verhältnisse der Potentialunterschiede für einen Maximumbetrag von ± 10 angibt, müssen wir die drei obenstehenden Zahlen mit $\frac{10}{12,5}$ multiplizieren und erhalten dann

$$e_1 : e_2 : e_3 = 2,6 : 10 : 7,4.$$

Aus der Tafel ist ersichtlich, dass dieses Verhältnis einem Winkel α entspricht, der zwischen 70° und 80° liegt. Nach Angabe der Tafel nimmt zwischen 70° und 80° der Wert von e_1 von 3,5 auf 1,8 ab. Darum soll eine Interpolationstafel aufgesucht werden, die zwischen denselben Zahlen 3,5 und 1,8 liegt. Eine solche ist II.

Hier findet man für $e = 2,5$ — das ist für den Wert, welcher der Grösse 2,6 am nächsten steht — den zugehörigen Winkel $\alpha = 6^\circ$. Daraus folgt, dass der gesuchte Wert ist $\alpha = 70^\circ + 6^\circ = 76^\circ$.

Beispiel 2a.

Bei Bak. wird in Exspirationslage für die *T*-Zacke in Zehnteln eines Millivolts gefunden: $T_I = 4$, $T_{II} = 1,5$, $T_{III} = -2,5$. Wir haben also für diese Zacke

$$e_1 : e_2 : e_3 = 4 : 1,5 : -2,5.$$

Da die Tafel die Verhältnisse der Potentialunterschiede für einen Maximumbetrag von ± 10 angibt, so müssen die obenstehenden Zahlen mit $\frac{10}{4}$ multipliziert werden. Wir erhalten dann:

$$e_1 : e_2 : e_3 = 10 : 3,75 : -6,25.$$

Aus der Tafel ist ersichtlich, dass dieses Verhältnis einem Winkel α entspricht, der zwischen -10° und 0 liegt.

Nach Angabe der Tafel nimmt zwischen 0° und -10° der Wert von e_2 von 5 auf 3,5 ab. Darum wird eine Interpolationstafel

aufgesucht, die zwischen denselben Zahlen 5 und 3,5 liegt. Eine solche ist III.

Hier findet man für $e = 3,8$ — das ist für einen Wert, der dem Werte 3,75 am nächsten steht — den zugehörigen Winkel $= 8^\circ$. Daraus folgt, dass der gesuchte Wert ist $\alpha = -8^\circ$.

Es wird nur selten vorkommen, dass man die Verfügung hat über Daten, womit man α genauer als auf 1° oder 2° berechnen kann. Wir haben schon darauf hingewiesen, dass es bisweilen nicht leicht ist zu entscheiden, ob die Potentialunterschiede, die bei einer jeden der drei Ableitungen an den Tag treten, genau in dieselbe Phase einer Herzperiode fallen. Weiter gibt es unausbleibliche Messungsfehler, die bei der Verwendung eines zweckmässigen Saitengalvanometers weniger durch die Unvollkommenheiten des Instrumentes oder durch den varriierenden Körperwiderstand veranlasst werden, als vielmehr in der Schwierigkeit ihre Ursache haben, die Empfindlichkeit der Saite genau auf einer im voraus bestimmten Grösse einzustellen.

Wir sind wohl genötigt, dem Umstande Rechnung zu tragen, dass den Messungen Fehler von einigen, sei es auch nur einigen wenigen Prozenten anhaften. Es ist darum oft wünschenswert, die direkten Messungsergebnisse zu korrigieren, bevor man zur Berechnung des Winkels α übergeht. Man trage dabei Sorge dafür, dass die korrigierten Werte immer der Bedingung der Formel (4) genügen, nämlich, dass $e_3 = e_2 - e_1$, denn nur unter diesen Umständen kann α mit der erwünschten Genauigkeit berechnet werden.

Die Anwendung der Korrektion soll mit einem Beispiele erläutert werden. Nehmen wir an, dass man für eine gewisse Zacke des E. K. G., z. B. für die T -Zacke, bei den drei Ableitungen die nachfolgenden, in Zehnteln eines Millivolts ausgedrückten Werte findet: $T_I = 10$, $T_{II} = 10$, $T_{III} = -1$. So müssen diese Werte korrigiert werden. Setzen wir voraus, dass der prozentische Fehler in der Höhe der Zacke bei einer jeden der drei Ableitungen ungefähr gleich gross ist, so ist der absolute Wert des Fehlers in der kleinen Zacke T_{III} am geringsten. Nach prozentischer Korrektion und Abrundung auf Hundertstel eines Millivolts bleibt die Grösse von $T_{III} = -1,0$ unverändert, während T_I und T_{II} in dem Sinne modifiziert werden, dass $T_I = 10,5$ und $T_{II} = 9,5$ gesetzt werden muss. Mit Hilfe

dieser korrigierten Werte, die jetzt der Anforderung der Formel (4) genügen, wird der Winkel α berechnet.

Es verdient bemerkt zu werden, dass namentlich diejenigen E. K. G. sich zur Berechnung der Richtung des resultierenden Potentialunterschiedes eignen, die eine einfache Form haben und bei welchen für jede Zacke, auch ohne Korrektion, die Formel (4) schon so gut wie vollkommen gültig ist. Bei E. K. G. von komplizierter Form, in welchen man die identischen Phasen einer Herzperiode schwerlich bei den drei Stromableitungen wiederfinden kann, kann die Berechnung von α zeitraubend werden.

Glücklicherweise kommen zahlreiche einfache Formen von, wobei, wie oben gezeigt wurde, die Messungsmethode ohne einen grossen Aufwand von Zeit mit Frucht angewendet werden kann.

B. Die manifeste Grösse des resultierenden Potentialunterschiedes.

Die manifeste Grösse des resultierenden Potentialunterschiedes wird in Fig. 22 durch die Länge von pq , die wir gleich E gesetzt haben, vorgestellt. Dieser Wert muss scharf von dem wirklichen Potentialunterschiede in H selbst unterschieden werden. Das Verhältnis zwischen E und dem Potentialunterschiede in H selbst ist von dem gegenseitigen Abstände der beiden in H liegenden Punkte, zwischen welche der Potentialunterschied angebracht wird, abhängig.

Bei unseren Betrachtungen nehmen wir an, dass der Abstand zwischen den genannten Punkten, verglichen mit den Seiten des Dreiecks, sehr klein ist, während wir sonst diesem Abstände keine Rechnung tragen. Darum kann auch von der Grösse des Potentialunterschiedes in H nichts anderes gesagt werden, als dass er, verglichen mit E , sehr gross ist.

Der Wert von E ist aus den Grössen, die bei den Stromableitungen von den Ecken des Dreiecks ermittelt werden, zu berechnen. Wir drücken ihn in den Winkel α und in eine der drei Projektionen e_1 , e_2 oder e_3 aus und schreiben dazu die Formeln (1), (2) und (3) in der Form:

$$E = \frac{e_1}{\cos \alpha} \dots \dots \dots (7)$$

Der zu diesem Winkel gehörige Wert 10,1 des manifesten Potentialunterschiedes wird unmittelbar auf der betreffenden Interpolationstafel abgelesen. Weil die Tafel aber den Wert für den Fall angibt, dass das Maximum der registrierten Potentialunterschiede $e = 10$ ist, während in unserem Fall tatsächlich der maximale Wert $T_I 4 \times 10^{-4}$ Volt beträgt, so muss die manifeste Grösse von T als $T_m = \frac{4 \times 10,1}{10} = 4,0 \times 10^{-4}$ Volt berechnet werden.

Wünscht man die Interpolationstafel nicht zu benutzen, so liest man die Grössen des manifesten Potentialunterschiedes auch schon ziemlich genau unmittelbar von der Tafel selbst ab.

Das Vorzeichen des manifesten Potentialunterschiedes soll immer positiv sein. Man braucht keine negativen Werte einzuführen und bedenke, dass die Bezeichnung des manifesten Potentialunterschiedes vollständig ist, sobald man den Zeitpunkt seines Vorhandenseins, seine Richtung und seine Grösse angibt.

In untenstehender Tabelle IV sind die Richtungen und die manifesten Grössen der QRS -Gruppe von F1., so wie dieselbe in Fig. 16 konstruiert worden ist, von hundertstel zu hundertstel Sekunden eingetragen.

Tabelle IV.

Zeit in Sek.	Potentialunterschiede in Zehnteln eines Millivolts bei den Ableitungen			Resultierender Potentialunterschied	
	I	II	III	Richtung α	Manif. Grösse 10^{-4} Volt
0,01	0	0	0	—	0
0,02	0	—1,5	—1,5	—90°	1,7
0,03	2,0	—2,5	—4,5	—64°	4,5
0,04	4,5	3,5	—1,0	18°	4,7
0,05	7,5	13,0	5,5	55°	13,0
0,06	2,0	18,0	16,0	84,5°	19,8
0,07	—4,5	4,5	9,0	120°	9,0
0,08	—3,0	1,0	4,0	136°	4,2
0,09	—1,0	—0,5	0,5	± 180°	1,0
0,10	0	0	0	—	0

Tafel der registrierten und der manifesten Potentialunterschiede bei verschiedenen Werten von α .

Für jede Gruppe von drei Ableitungen wird das Maximum der registrierten Potentialunterschiede = ± 10 gesetzt.

α	Registrierte Potentialunterschiede e			Manif. Potent.-Unterschiede E	Interpolationstafel				
	e_1	e_2	e_3		Unterschiede in Graden	Potent.-unterschiede $\pm e$	Unterschiede in Graden	E	
0°	10	5,0	-5,0	10,0	0°	0	10°	11,5	
10°	10	6,5	-3,5	10,2	I	2°	8°	11,3	
20°	10	8,2	-1,8	10,7					
30°	10	10	0	11,5					
40°	8,2	10	1,8	10,7					
50°	6,5	10	3,5	10,2					
60°	5,0	10	5,0	10,0	II	10°	1,8	0°	10,7
70°	3,5	10	6,5	10,2					
80°	1,8	10	8,2	10,7					
90°	0	10	10	11,5					
100°	-1,8	8,2	10	10,7					
110°	-3,5	6,5	10	10,2	III	2°	8°	10,5	
120°	-5,0	5,0	10	10,0					
130°	-6,5	3,5	10	10,2					
140°	-8,2	1,8	10	10,7					
150°	-10	0	10	11,5					
160°	-10	-1,8	8,2	10,7	III	4°	6°	10,4	
170°	-10	-3,5	6,5	10,2					
$\pm 180^\circ$	-10	-5,0	5,0	10,0					
-170°	-10	-6,5	3,5	10,2					
-160°	-10	-8,2	1,8	10,7					
-150°	-10	-10	0	11,5	III	6°	4°	10,3	
-140°	-8,2	-10	-1,8	10,7					
-130°	-6,5	-10	-3,5	10,2					
-120°	-5,0	-10	-5,0	10,0					
-110°	-3,5	-10	-6,5	10,2					
-100°	-1,8	-10	-8,2	10,7	III	8°	2°	10,2	
-90°	0	-10	-10	11,5					
-80°	1,8	-8,2	-10	10,7					
-70°	3,5	-6,5	-10	10,2					
-60°	5,0	-5,0	-10	10,0					
-50°	6,5	-3,5	-10	10,2	III	10°	3,5	0°	10,2
-40°	8,2	-1,8	-10	10,7					
-30°	10	0	-10	11,5					
-20°	10	1,8	-8,2	10,7					
-10°	10	3,5	-6,5	10,2					
0°	10	5,0	-5,0	10,0	10°	5,0	0°	10,0	