(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Berlin und der Deutschen Hochschule für Leibesübungen.)

Ergographische Untersuchungen über den Einfluß der Diathermie auf das Leistungsvermögen menschlicher Muskeln.

Von

Erich Schillf und Walter Sauer,

Assistent d. Instituts

cand. med.

Einleitung.

*Kowallek*¹⁾ hatte unter der Leitung von *Gildemeister* Messungen des Armvolumens mit Hilfe der plethysmographischen Methode bei elektrischer Heizung (Diathermie) gemacht. Wir beziehen uns bei der von uns in vorliegender Arbeit gestellten Frage auf eines der Ergebnisse dieser Arbeit, nach dem „lokale elektrische Erwärmung mit geringer elektrischer Energie lokale Gefäßerweiterung und damit Volumenvergrößerung und Erhöhung der Hauttemperatur des betroffenen Gebietes bewirkt“.

Es wurde also durch die Diathermie eine Hyperämie eines abgegrenzten Körperabschnittes erreicht, wie sie ja auch durch eine Wärmeapplikation — heißer Umschlag, Heißluft — zustande kommt. Ob diese stärkere Durchblutung nur in der Haut oder auch in den unter der Haut liegenden Muskeln stattfindet, diese Frage wurde von *Kowallek* zwar erörtert, aber nicht entschieden.

Allerdings liegen schon Untersuchungen ähnlicher Art vor. So hatte *Ernst Weber* am hiesigen Institut, in nicht veröffentlichten Versuchen, einmal das Volumen einer Extremität eines Hundes vor und dann nach der Enthäutung bei einer nach der Hirnreizmethode hervorgerufenen Blutverschiebung plethysmographisch gemessen. Er fand in beiden Versuchen eine gleichsinnige Änderung der plethysmographischen Kurve im Sinne der Zunahme des Volumens. Hierdurch hatte *Weber* bewiesen, daß die von ihm hervorgerufene Blutverschiebung beim Hunde auch in dem unter der Haut liegenden Gewebe stattfindet.

Von *Weber* abweichende Feststellungen hatte *Doi*²⁾ gemacht. *Doi* reizte die hinteren 7—9 Wurzeln beim Frosch und stellte eine Vasodila-

¹⁾ *A. Kowallek*, Über die Einwirkung hochfrequenter Wechselströme auf den Körper. Arch. f. Physiol. 1919, S. 263.

²⁾ *Yasukazu Doi*, On the existence of antidromic fibres in the frog and their influence on the capillaries. Journ. of physiol. 54, Nr. 4, S. 227. 1920.

tation in der hinteren Extremität fest. Er benutzte sowohl die direkte Beobachtung der Capillaren der Schwimmhaut des Frosches als auch die Plethysmographie. Er fand bei mechanischer Reizung der hinteren Wurzeln eine plethysmographisch gemessene Volumenzunahme, die ausblieb, wenn die Haut entfernt wurde. Aus den Versuchen von *Weber* und *Doi* geht hervor, daß, die Richtigkeit beider Tatsachen vorausgesetzt, die am Plethysmographen festgestellten Blutverschiebungen sowohl in der Muskulatur als auch in der Haut stattfinden können. Allerdings sind die Feststellungen bei 2 Versuchstieren gemacht worden, die in der Tierreihe weit voneinander entfernt sind. Man ist also bei der Blutverschiebung, die *Kowallek* hervorgerufen hatte, nicht ohne weiteres in der Lage, anzugeben, ob sie in der Haut oder in der Tiefe stattgefunden hat.

Wenn wir eine Erweiterung auch der Muskelgefäße annehmen, so wird diese Blutzunahme eine gesteigerte Leistungsfähigkeit des von der lokalen Heizung betroffenen Muskelgebietes zur Folge haben. Die erhöhte Leistungsfähigkeit wird sich vor allem bei einem schon durch Arbeit ermüdeten Muskel zeigen.

Diese Annahme ist auch schon von *Kowallek* gemacht worden. Er hatte ergographische Versuche angestellt, um den Einfluß der Diathermie auf die Leistungsfähigkeit des Muskels zu studieren. Er fand aber, daß die willkürlich am Ergographen geleistete Arbeit von psychischen Faktoren abhängig ist. Denn es trat schon eine Vermehrung der Arbeitsleistung ein, wenn die Versuchsperson nur *glaubte*, diathermiert zu werden. *Kowallek* hatte sich nicht weiter mit den ergographischen Versuchen beschäftigt, weil sie abseits der von ihm behandelten Fragestellung lagen.

Wenn wir deshalb die Frage der Arbeitsvergrößerung beim Eintritt einer vermehrten Blutzufuhr, die, wie wir mit *Kowallek* annehmen, durch die Diathermie erreicht wird, aufgegriffen haben, so war für uns wesentlich bestimmend, die physiologischen Wirkungen des hochfrequenten Wechselstromes, mit dem sich der eine von uns (*Schilf*) befaßt hatte, kennen zu lernen. In zweiter Linie waren es sportliche Fragen und in Zusammenhang damit die *Weberschen* Ermüdungsprobleme, die uns zu der ganzen Fragestellung führten. Als nämlich *Weber* die Beziehung von Arbeit menschlicher Extremitätenmuskeln zur Blutverteilung untersucht hatte, fand er¹⁾, daß eine Zunahme der Arbeitsfähigkeit des arbeitenden Muskels stattfindet, wenn derselbe stärker durchblutet wird. Die stärkere Durchblutung rief er nach seiner bekannten Methode der willkürlichen Muskelkontraktion hervor und kontrollierte sie am Plethysmographen. Die Arbeitsgröße maß er an einem *Mossoschen*

¹⁾ *Ernst Weber*, Eine physiologische Methode, die Leistungsfähigkeit ermüdeten menschlicher Muskeln zu erhöhen. Arch. f. Physiol. 1914, S. 385.

Ergographen. Den psychischen Faktor schloß er teilweise, wie er berichtet, durch elektrische Reizung aus.

Hiermit war im Prinzip die ganze Frage der Steigerung der Leistungsfähigkeit bei stärkerer Durchblutung der arbeitenden Muskeln schon beantwortet. Es handelte sich also bei unserer Frage — wenn wir annehmen, daß bei der Diathermie die Blutverschiebung, die *Kowallek* gemessen hatte, auch im Muskel zustande kommt — nur um eine Wiederholung der *Weberschen* Versuche mit dem einen Unterschied, daß wir die plethysmographisch festgestellte Blutverschiebung nicht wie *Weber* durch willkürliche Arbeit, sondern durch die Diathermie erhielten.

Per-Erik Aschan und *Johannes Wahlberg*¹⁾ hatten insofern die *Weberschen* Versuche über die Leistungssteigerung menschlicher Muskeln bei Änderung der Blutzufuhr bestätigt gefunden, als sie nach örtlicher Heißluftbehandlung ebenfalls die Leistungsfähigkeit der Skelettmuskeln in nachweisbarem Grade erhöhen konnten. *Aschan* und *Wahlberg* arbeiteten am Ergographen *Johannsons* mit *willkürlichen* Muskelkontraktionen, legten also der psychischen Komponente bei der Arbeitsleistung eine geringe Bedeutung bei. Ihre Arbeitsversuche fanden mit einigen Unterbrechungen während der Dauer von 35 Tagen jeden Morgen statt; dieses tägliche Muskeltraining könnte nach Ansicht der beiden Autoren das Ergebnis der Versuche trüben, da die Übung die Leistungsfähigkeit der Skelettmuskeln allmählich steigert, wie *Hellsten*²⁾ auch ergographisch bestätigt hat. Diese erhöhte Leistungssteigerung, hervorgerufen durch Übung, beobachteten *Aschan* und *Wahlberg* auch an sich. Nach Beginn der Heißluftbehandlung setzte aber dann die Steigerung der Leistungen ziemlich plötzlich und unvermittelt ein, ein Beweis der Einwirkung der Heißluft auf die Skelettmuskeln im Sinne einer erhöhten Leistung.

Im Gegensatz zu diesen Versuchen fand *Ranken*³⁾, daß Einwirkung von Wärme mittels eines elektrischen Thermophors eine „Abnahme der Kontraktionsgröße hervorruft. Durch Wärme, Effleurage und Vibrationen wurde die Muskelleistung vermindert und in der sonst gleichmäßigen Kurve erscheint daher ein tiefes Tal“. Der Autor arbeitete an einem von ihm gebauten Handdynamographen mit *willkürlich* hervorgerufenen Muskelkontraktionen.

¹⁾ *Per-Erik Aschan* und *Johannes Wahlberg*, Zur Kenntnis der Einwirkung der Heißluftbehandlung auf das Leistungsvermögen der Skelettmuskeln. Skand. Archiv f. Physiol. **38**, 239. 1919.

²⁾ *A. F. Hellsten*, Über die Einwirkung des Trainierens auf die Leistungsfähigkeit des Muskels bei isometrischer Arbeit. Skand. Archiv f. Physiol. **19**, 218. 1907.

³⁾ *Dodo Ranken*, Einflüsse auf das Leistungsvermögen des Muskels. Skand. Archiv f. Physiol. **41**, 162. 1921.

Die Resultate von *Aschan* und *Wahlberg* einerseits und *Ranken* andererseits widersprechen sich. Wir nahmen deshalb Veranlassung, neben unseren Studien über den Einfluß der Diathermie auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln auch ergographische Versuche mit Heißluft anzustellen.

Bevor wir zur Methodik unserer Versuche übergehen, möchten wir erwähnen, daß auch an eine direkte Wärmewirkung auf die Muskulatur oder auf den Vorgang der Erregungsleitung zu denken wäre. Von *Gad* und *Heymans*¹⁾ und *Fröhlich*²⁾ wissen wir, daß die Hubhöhe eines isolierten und gereizten Froschmuskels von der ihn umgebenden Temperatur abhängig ist.

Für uns kommt wohl eine direkte Wärmewirkung auf Muskel oder Nerv nicht in Betracht, da die zugeführte Energie zu gering war, um Temperaturerhöhungen hervorzurufen, die auf den Muskel oder Nerven einen Einfluß haben könnten.

Der allgemeine Plan der Methode zu den Untersuchungen war gegeben: Wir hatten die Arbeit eines Muskels, bzw. einer Muskelgruppe unter sonst gleichen oder vergleichbaren Bedingungen ungeheizt und geheizt gegenüber zu stellen.

In einer *ersten* Versuchsreihe ließen wir den Muskel bis zum Beginn der Ermüdung arbeiten und heizten dann den Muskel, ohne die Arbeit zu unterbrechen. Wir benutzten den unwillkürlichen, elektrischen Reiz zur Erzeugung der Muskelkontraktion, um den psychischen Faktor auszuschalten.

In einer *zweiten* Versuchsreihe untersuchten wir den Einfluß der Heizung auf den „Normalerholungsversuch“ von *Zoth*³⁾. Hier arbeiteten wir mit willkürlich hervorgerufenen Muskelkontraktionen, weil *Zoth* damit gute Erfolge gesehen hatte.

In einer *dritten* Versuchsreihe nahmen wir Gelegenheit, die Versuche von *Aschan* und *Wahlberg* mit Heißluft nachzumachen. Wir wendeten aber nicht wie die beiden Autoren willkürlich hervorgerufene Muskel-erregung an, sondern gebrauchten einen elektrischen tetanischen Reiz.

Methodik.

Kowallek hatte auf die bekannte Tatsache hingewiesen, daß beim Menschen die Muskelleistung von der jeweiligen Stimmungslage abhängt. Diesen psychischen Faktor galt es nach Möglichkeit auszuschalten.

¹⁾ *J. Gad* und *J. F. Heymans*, Über den Einfluß der Temperatur auf die Leistungsfähigkeit der Muskelsubstanz. Arch. f. Physiol. Suppl. Bd., S. 59. 1890.

²⁾ *F. W. Fröhlich*, Über den Einfluß der Temperatur auf den Muskel. Zeitschr. f. allg. Physiol. 7, 461. 1908.

³⁾ *C. Zoth*, Ergographische Versuche über die Erholung des Muskels. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 111, 391. 1906.

Den willkürlichen Einfluß auf die Arbeitsleistung der Muskeln mit Hilfe der Leitungsanästhesie auszuschließen und den Muskel dann elektrisch zu reizen, war deshalb nicht ratsam, weil neben einer operativen Freilegung eines Nerven der Versuchsperson auch die Anästhesie des Nerven folgen mußte, Eingriffe, die, so ungefährlich sie sein können, im ungünstigen Falle schlimme Folgen haben. Natürlich lag es nahe, zur Beantwortung der ganzen Frage der Arbeitssteigerung eines Muskels bei der Diathermie den Muskel eines Säugetieres heranzuziehen. Bei einem Hunde oder Meerschweinchen kann die soeben erwähnte Operation leicht ausgeführt werden, doch einmal hatte *Kowallek* seine Untersuchungen, auf die wir uns beziehen, am Menschen gemacht; zweitens ist die genauere Messung der Arbeit eines Muskels bzw. einer Muskelgruppe eines lebenden Säugetieres nicht möglich, ohne den Muskel von seiner Umgebung bis zu einem gewissen Grade loszulösen. Wir haben den Gastrocnemius nebst den dazugehörigen Nerven eines Meerschweinchens frei präpariert und uns davon überzeugt, daß zu einer einigermaßen genauen Messung der Muskelarbeit eine Freilegung des Muskels bzw. einer Muskelgruppe gehört, bei der es zu Störungen des Blutkreislaufes kommen muß; diese werden auf die Leistungsfähigkeit des Muskels einen Einfluß haben. Und gerade auf die ungestörte Blutversorgung des Muskels kommt es bei unserer Fragestellung an. Wir haben auch die Arbeit des nicht isolierten Gastrocnemius des Meerschweinchens gemessen: Nach Anlegung einer Leitungsanästhesie stachen wir eine Stecknadel, die als differente Reizelektrode eines Reizstromes diente, in den Muskel. Wir erhielten jedoch ungleichförmige Werte bei den verschiedenen Arbeitskurven, die genaue vergleichende Messungen bei der Arbeit sehr erschwerten.

Unmöglich wegen der Größe und des damit verbundenen schwierigen Transportes der Apparatur zur Erzeugung hochfrequenten Wechselstromes war es, die Untersuchungen in einer chirurgischen Klinik an in Narkose befindlichen Patienten vorzunehmen.

Wir erreichten eine für unsere Zwecke brauchbare Ausschaltung der psychischen Komponente bei der Arbeitsleistung menschlicher Muskeln dadurch, daß wir die am *Mossoschen* Ergographen arbeitende Muskelgruppe einer Versuchsperson direkt oder indirekt elektrisch reizten. *Kowallek* hatte bei seinen Arbeitsversuchen mit willkürlichen Reizen gearbeitet und gefunden, daß schon eine Leistungssteigerung einträte, wenn die Versuchsperson der Ansicht war diathermiert zu werden. Diesen psychischen Faktor glaubten wir bis zu einem gewissen Grade mit der elektrischen Reizungsmethode ausgeschaltet zu haben. Wir überzeugten uns aber von der Möglichkeit, daß die Versuchsperson imstande ist, bei einiger Aufmerksamkeit den elektrischen Reiz durch

einen willkürlichen Reiz zu verstärken. Sowohl *Weber* als auch *Zondek*¹⁾ haben darauf hingewiesen.

Zu der direkten bzw. indirekten tetanischen Reizung des Muskels diente uns ein du *Bois-Reymondscher* Schlittenapparat mit der Eichung der Elektrizitätsmengen nach *Kronecker*. Durch die primäre Spule des Apparates wurde der Strom eines Bleiakkumulators geschickt, der im 2'' Rhythmus durch ein Metronom geschlossen und geöffnet wurde.

Frequenz und Dauer der zur Reizung benötigten Induktionsströme wurde während der Versuche nicht geändert.

Die Stärke des elektrischen Reizes, der den Muskel zur Arbeit befähigte, richtete sich nach der Empfindlichkeit der Versuchsperson; die Einstellung der sekundären Spule des Schlittenapparates auf die Zahlen zwischen 1000—1500 der *Kroneckerschen* Skala machte den tetanischen Reiz gerade noch erträglich.

Die indifferente Reizelektrode war mit der weiter unten angegebenen Heizelektrode zu einer Elektrode verbunden. Die differente Reizelektrode — Metallknopf von 1 cm Durchmesser — wurde auf die bekannten motorischen Punkte des Muskels oder Nerven mit einer Binde befestigt.

Zur vergleichenden Messung der Arbeit gebrauchten wir den *Mosso*-schen Ergographen, der gestattet, gröbere Unterschiede der Arbeitsleistung einer einzelnen Muskelgruppe bei verschiedenen physiologischen Veränderungen annähernd zu vergleichen. Es kam uns ja bei unserer Fragestellung nicht auf absolute Werte an. Entsprechend der Größe des angehängten Gewichtes und der zwischen den Einzelhuben liegenden Erholungspausen erhielten wir Arbeitskurven, wie sie ja seit *Mosso*²⁾ bekannt sind: mehr oder weniger schnelle Abnahme der Hubhöhe bis zu einem Minimum der einzelnen Hubhöhen, das lange Zeit hindurch gehalten werden kann. Dieses Stadium entspricht ungefähr dem Ermüdungsstadium, einem Begriff, der in der Physiologie noch nicht ganz geklärt erscheint. Wir wählten das Überlastungsverfahren, das in seiner Anwendung bei vergleichenden Versuchen zu Fehlerquellen keinen Anlaß gibt.

Zur Heizung diente dieselbe Apparatur, die *Kowallek* zu seinen Untersuchungen benutzt hatte, nämlich ein von der Firma „Telefunken“ gelieferter Röhrensender für ungedämpfte elektrische Wellen. Die Länge der Wellen betrug 1150 m, so daß die Frequenz des Wechselstromes etwas unter 300 000 betrug³⁾.

¹⁾ *B. Zondek*, Der ermüdende Einfluß von einer psychischen affektlosen Arbeit auf den peripherischen Teil der Muskelarbeit. Arch. f. Physiol. 1916, S. 365.

²⁾ *A. Mosso*, Über die Gesetze der Ermüdung. Arch. f. Physiol. 1890, S. 89.

³⁾ $\left(\text{Frequenz } n = \frac{\text{Fortpflanzungsgeschwindigkeit}}{\text{Wellenlänge } \lambda} \right).$

Der arbeitenden Muskelgruppe (*M. flexor digitorum communis* III) wurde der Heizstrom so zugeführt, daß die größere, indifferente Elektrode (Bleiplatte 20 : 30 cm) um den Oberarm der nicht arbeitenden Extremität gelegt wurde. Diese Elektrode war auch zugleich, wie wir schon oben erwähnt haben, indifferente Reizelektrode. Der Heizstrom ging durch den Oberarm der einen Seite zum Unterarm der anderen Seite. Die differente Heizelektrode (Neusilberblech 4,5 : 10 cm) lag auf der Streckseite des Unterarmes. Ein Hitzdrahtamperemeter im Heizstromkreis zeigte die Stromstärke an, die während der Heizung 0,5—1,0 Amp. betrug. Der Widerstand ist zur Zeit der Versuche nicht gemessen worden; nachträgliche Messungen desselben mit Hilfe des Substitutionsverfahrens gaben Werte von 200 Ohm, so daß die in den Arm hineingeschickte Energie 50—200 Watt betrug = 12 — 50 kleine Calorien pro Secunde. Die Versuchsperson hatte nach jeder Einschaltung des Heizstromes in dem betreffenden Abschnitte des Ober- und Unterarmes ein deutliches Wärmegefühl.

Die Versuche der *ersten* Versuchsreihe gestalteten sich so, daß die Muskelgruppe bis zum Eintritt der Ermüdung arbeitete. Wir wählten für gewöhnlich ein Gewicht von 2 kg, das im 2'' Rhythmus gehoben wurde. War ein Abfall der Arbeitskurve erreicht, so schalteten wir, ohne die Arbeit zu unterbrechen, den Heizstrom für die Dauer von 2 Minuten ein, so daß je nachdem 1,4—6 große Calorien in die Muskulatur des Armes hineingeleitet wurden.

In einer *zweiten* Versuchsreihe nahmen wir eine Änderung der ergographischen Arbeit vor: *Zoth* hatte bei seinem „Normalerholungsversuch“ gefunden, daß für jedes innerhalb ergographischer Arbeit mögliche Gewicht eine Erholungspause gefunden werden kann, bei der die einzelnen Hubhöhen über eine lange Zeit hinaus nicht abnehmen. So wird z. B. diese Pause für 2 kg so festgelegt, daß das Gewicht zuerst im 5'' Rhythmus am Ergographen 25 mal gehoben wird. Zeigt sich kein Abfall der Kurve, so wird die Pause auf 4'' bzw. 3'' oder 2'' herabgesetzt. Findet dann innerhalb von 25 Huben bei dem 2'' Rhythmus z. B. gegen das Ende der Arbeit hin ein Sinken der Hubhöhe statt, so genügt gerade die Zeit von 3'', um die durch die Arbeit ($2 \text{ kg} \times \text{Hubhöhe in cm} \times 25$) im Muskel hervorgerufenen Stoffwechselveränderungen rückgängig zu machen und den Muskel sich vollständig erholen zu lassen. Wir rechneten nicht damit, daß sich die Erholungspause eines Normalerholungsversuches bei der Heizung um einen praktisch meßbaren Wert verkürzen würde. Es war auch wenig wahrscheinlich, daß die Heizung den einzelnen Hub eines ergographischen Normalerholungsversuches um ein wenig vergrößern würde, um dadurch die Arbeitsleistung heraufzuschrauben. Wir nahmen nämlich an, daß die Leistungsfähigkeit eines ausgeruhten,

aber trainierten Muskels ein Optimum darstellt, das durch die Diathermie nicht verbessert werden kann.

Es tritt aber nach einer Reihe von hintereinander ausgeführten Normalerholungsversuchen mit dazwischen liegenden Pausen doch allmählich eine Verkleinerung der Hubhöhe ein. Jetzt kann man in den Arbeitspausen entweder den Muskel ohne Heizung ausruhen lassen, oder es wird noch eine Heizung des Muskels hinzugefügt.

Wir wählten jetzt den *willkürlichen* Reiz, weil *Zoth* hiermit gute Ergebnisse bei dieser Arbeit erreicht hatte.

Der eine von uns (*Sauer*) hatte sich zu den neuen Versuchen den ganzen Sommer 1920 am Ergographen so eingeübt, daß er die Arbeit fast mechanisch leistete. Ein „Normalerholungsversuch“ (*Zoth*) — also ein ergographischer Versuch, bei dem infolge einer bestimmten Erholungspause kein Abfall der Arbeitskurve eintritt — verlief bei ihm so, daß jeder Hub dieselbe Höhe hatte. Die Technik dieser willkürlichen Arbeit hielt sich an die Angaben von *Zoth*: Überlastungsarbeit des Muskels, möglichst rasches Heben, möglichst kurzes Halten und möglichst schnelles Fallenlassen des Gewichtes.

Wir legten darauf Wert, daß vor der Arbeit des geheizten Muskels keine ergographische Arbeit geleistet wurde, da von *Zoth* darauf hingewiesen wurde, daß eine leichte Steigerung der Leistung eintritt, wenn eine kurze, ohne Ermüdungsabfall vollendete ergographische Arbeit vorangeht. Es ist dies das bekannte Phänomen der „Treppe“.

Nachdem wir also die Erholungspause festgestellt hatten, warteten wir eine halbe Stunde und heizten dann den Arm 5 Minuten lang mit der oben angegebenen Stromstärke, so daß es sich um eine Energiezufuhr von 15 kg-Calorien handelte. Dann schalteten wir den Heizstrom aus und ließen den Muskel sofort 25 Einzelhube im 2'' Rhythmus arbeiten. Darauf folgte eine Pause von 5 Minuten ohne Heizung, dann wieder 25 Hube, dann 5 Minuten Pause mit Heizung usw. Wir verglichen die Arbeit, die geleistet wurde nach der 5' Pause ohne Heizung und nach der 5' Pause mit Heizung. Wir maßen jeden Einzelhub mit Zirkel und Lineal aus.

Die *dritte* Versuchsreihe bestand in der Nachprüfung der Versuche von *Aschan* und *Wahlberg* mit Heißluft. Uns stand nicht der Ergograph *Johannson* zur Verfügung. Wir benutzten den *Mossoschen* Ergographen und wandten im Gegensatz zu den beiden Autoren die unwillkürliche elektrische Erregung zum Hervorbringen der Muskelkontraktionen an. Sonst hielten wir uns an die Arbeitsmethode, die die Forscher angegeben haben¹⁾.

¹⁾ Die Versuche der dritten Reihe sind im Krankenhaus *Lankwitz* mit Unterstützung des Herrn cand. med. *Schmidt-Ott* ausgeführt worden. Wir sagen ihm sowohl, wie auch Herrn Chefarzt Dr. *Silberstein* für die freundliche Überlassung des Heißluftapparates usw. unsern besten Dank.

Ergebnisse.

Die Heizung hatte bei der *ersten* Reihe der Arbeitsversuche *keinen* Erfolg. Die Hubhöhe hielt sich während der ganzen Dauer der Heizung auf der gleichen minimalen Höhe, die das Ende einer *Mossoschen* Ermüdungskurve darstellt. Das negative Resultat zeigt uns zugleich, daß die direkte bzw. indirekte elektrische Muskelreizung beim Menschen eine Arbeit liefert, die im allgemeinen psychischen Einflüssen entzogen sein kann.

Das Ergebnis der *zweiten* Versuchsreihe war folgendes: Bei 14 Versuchen trat in 9 Fällen ein Ansteigen der Einzellhube auf, was einer Mehrarbeit von 4,5% für alle 9 Fälle durchschnittlich entsprach. Bei einem Versuch änderte sich die Hubhöhe überhaupt nicht. Bei den 4 anderen Versuchen verminderte sich die Arbeitsleistung, durchschnittlich für alle 4 Fälle berechnet, um 7,5% der Arbeit des nicht geheizten Muskels.

In der *dritten* Reihe der Versuche mit Heißluft war kein Einfluß auf die Arbeitsleistung festzustellen.

Besprechung der Ergebnisse.

Wir sind aus den Resultaten unserer ersten beiden Versuchsreihen gezwungen zu folgern, daß die Arbeitsleistung eines mit schwachem hochfrequentem Wechselstrom durchflossenen Muskels bei elektrischer Reizung sich nicht wesentlich ändert. Eine größere Intensität des Wechselstromes anzuwenden war deshalb nicht möglich, weil das Wärmegefühl, das der Wechselstrom beim Durchfließen durch beide Arme hervorrief, an der Grenze des Erträglichen stand.

Es muß also nicht nur die plethysmographisch gemessene Volumenzunahme *Webers* und *Kowalleks* nach der Art des Hervorrufens dieser Blutverschiebung voneinander verschieden sein, sondern auch der Ort, an dem die plethysmographisch gemessene Blutverschiebung stattfindet, kann nicht derselbe sein.

Nach unseren Untersuchungen müssen wir annehmen, daß sich nur die Hautgefäße bei der Diathermie erweitern. Diese Erweiterung der Hautgefäße hat *Kowallek* plethysmographisch gemessen. Sie könnte thermoregulatorisch aufzufassen sein.

Allerdings ist auch die Auffassung nicht zu widerlegen, daß in unseren Versuchen trotz Müdigkeit die Gefäße relativ weit waren, sodaß die durch die elektrische Heizung evtl. hervorgerufene Erweiterung der Muskelgefäße für die Arbeit keine wesentliche Rolle spielte.

Aschan und *Wahlberg* hatten bei Heißluft eine Steigerung des Leistungsvermögens beobachtet. *Ranken* findet bei Wärmeeinwirkung durch den Thermophor eine Abnahme der Kontraktionsgröße. Man könnte die Versuchsergebnisse aus beiden Mitteilungen so erklären, daß

der Einfluß von Heißluft ein anderer ist als der eines Thermophors. Diese Annahme ist wenig wahrscheinlich. Eine andere Erklärungsmöglichkeit ist in der Methode beider Untersuchungen gegeben. Es werden willkürliche Muskelkontraktionen angewandt, die psychischen Einflüssen unterworfen sind. Vielleicht liegt hierin der Widerspruch in den Ergebnissen der Mitteilungen von *Aschan* und *Wahlberg* einerseits und *Ranken* andererseits.

Das Ergebnis unserer Versuche am Ergographen könnte möglicherweise anders ausfallen, wenn die Calorienzufuhr vergrößert würde; dies ist aber nur bei einer Stromzuführung möglich, bei der ein größeres Muskelgebiet, am besten das des ganzen Körpers, durchströmt wird. Hier kann dann nicht die Arbeit am Ergographen als Maß der Arbeitsgröße in Betracht kommen, sondern am besten eine sportliche Betätigung, die sich einigermaßen leicht dosieren läßt. Allerdings kommen dann wieder bei der Beurteilung der Leistung Faktoren hinzu, die die Genauigkeit des Resultates herabsetzen. Es kann dann sogar zu Widersprüchen der Resultate führen, die einmal am Ergographen und das andere Mal bei sportlicher Leistung gefunden werden. Wir führen hier die in neuester Zeit von *Herxheimer*¹⁾ berichtete Tatsache an. Der Autor wies nämlich an 31 Hundertmeterläufern nach, daß „die Einnahme selbst ganz geringer Alkoholmengen kurz vor der sportlichen Arbeit die Leistung beeinträchtigt“. Nach den Versuchen am Ergographen²⁾ findet aber eine anfängliche Leistungssteigerung durch Alkoholaufnahme statt.

Zusammenfassung.

1. Diathermie (1,4—6 kg-Calorien in 2 Minuten) hat eine Änderung der Arbeitsleistung nicht zur Folge, wenn der hochfrequente Wechselstrom von Arm zu Arm geleitet wird und die Arbeitsgröße am *Mosso*-schen Ergographen bei direkter elektrischer Muskelreizung gemessen wird.

2. Die Versuche von *Aschan* und *Wahlberg* bzw. die Feststellung von *Ranken* — Einfluß von Heißluft bzw. Einwirkung eines Thermophors auf die Arbeitsgröße — konnten nicht bestätigt werden. Es wurden nicht willkürliche Muskelkontraktionen benutzt, welche die soeben erwähnten Autoren anwendeten, sondern der direkte elektrische Muskelreiz. Hierdurch wird eine Ausschaltung der psychischen Komponente bei vergleichenden Messungen der Arbeitsgröße unter verschiedenen Umständen gewährleistet.

¹⁾ *H. Herxheimer*, Zur Wirkung des Alkohols auf die sportliche Leistung. Münch. med. Wochenschr. Jahrg. 69, 1922, Nr. 5, S. 143.

²⁾ *A. F. Hellsten*, Über die Einwirkung des Alkohols auf die Leistungsfähigkeit des Muskels bei isometrischer Arbeitsweise. Skand. Archiv f. Physiol. **19**, 1201. 1907.