Beschreibung
eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der
Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im gesunden und
kranken Zustande.

Von
Dr. W. Wundt.

Nach dem nothwendigen Entwicklungsgang, den jede naturwissenschaftliche Untersuchung zu nehmen hat, ist die Auffindung der Gesetze, welchen die Erscheinungen folgen, zwar der wichtigste, aber nicht der letzte Schritt der Untersuchung. Zur vollständigen Durchführung gehört stets noch die Anwendung der gefundenen Gesetze. Keine Theorie ist als vollständig gesichert zu betrachten, bevor sie, angewandt auf die Erfahrung, in jedem einzelnen Fall sich bestätigt hat, und jede Theorie, wenn sie auch noch so feststeht, gewinnt erst ihren Hauptwerth, sobald sie einer praktischen Anwendung fähig wird.

In dieser doppelten Rücksicht sind die Untersuchungen über die Bewegung der Augen, deren ersten Theil ich veröffentlicht habe, noch der Vervollständigung bedürftig. Es ist zwar durch jene Untersuchungen das statische Gesetz der Augenstellungen mit Sicherheit festgestellt, und es sind auch die Methoden zur Messung

der Augenstellungen, sowie zur Bestimmung der Muskel­längen aus der Augenstellung im Allgemeinen angegeben worden. Aber es lässt sich nicht verkennen, dass der Verwerthung dieser Untersuchungen sowohl für die Beantwortung einzelner physiologischer Fragen als auch namentlich für die ophthalmologische Praxis noch mancherlei Schwierigkeiten im Wege stehen. Die Vergleichung der Beobachtungsergebnisse mit der Theorie kann nur durch ziemlich umständliche Rechnungen geführt werden, und die Bestätigung der Theorie bleibt daher auf eine immerhin kleine Anzahl von Fällen eingeschränkt. Es musste deshalb wünschenswerth erscheinen, eine Methode ausfindig zu machen, die eine bequemere und kürzere Bestätigung der Theorie in einer grösseren Zahl von Beobachtungen zuliesse. Noch misslicher ist es aber mit der praktischen Anwendung der gefundenen Gesetze. Prinzipiell steht derselben zwar nichts im Wege, aber doch ist sie im einzelnen Fall immer noch allzu weitläufig. Die Berechnung jeder einzelnen Muskellänge aus der Augenstellung erfordert schon eine ziemliche Zeit, und diese Berechnung muss in mehreren Fällen wiederholt werden, wenn z. B. aus Abweichungen in der Augenstellung die veranlassenden Abweichungen in der Muskelwirkung gefunden werden sollen.

Ruete hat das Verdienst, zuerst ein Modell ersonnen zu haben, mit Hülfe dessen sich die einfachsten Fragen, die in Bezug auf die Muskelwirkungen am Auge gestellt werden können, beantworten lassen. Das Ruete'sche „Ophthalmotrop“ gestattet nicht nur, die Wirkungsweise der einzelnen Muskeln zu demonstrieren, sondern man kann auch mittelst der Messungsvorrichtungen, die mit demselben verbunden sind, leicht die Verkürzungen und Verlängerungen der Muskeln bei den Veränderungen der Augenstellung bestimmen. Dabei muss jedoch die Augenstellung selber zuvor bekannt, durch besondere

Versuche am lebenden Auge gefunden sein. Dies macht die Anwendbarkeit des Ophthalmotrops immerhin sehr beschränkt: man kann direct an das Instrument keine weiteren Fragen stellen, sondern man kann es nur benutzen, um das, was man am wirklichen Auge schon gefunden hatte, sich anschaulich zu machen. Das Ophthalmotrop ist nur ein Modell für die Lage der Muskeln, darüber, wie die Muskelwirkungen in ihrer Zusammensetzung wirklich beschaffen sind, sagt es nichts aus. Man kann also z. B. leicht sehen, um welche Axe jeder einzelne Muskel das Auge dreht, und in welche Lage er es demzufolge bringt, aber um wie viel jeder Muskel sich bei einer bestimmten, in der Natur gegebenen Bewegung verkürzt oder verlängert, das lässt sich höchstens im Allgemeinen nach der Lage der Muskeln vermuthen, aber nie mit Sicherheit aussagen, wenn man nicht fortwährend den physiologischen Versuch am lebenden Auge zu Hülfe nimmt. Das Ophthalmotrop ist, um es in ein Wort zusammenzufassen, bloß eine anatomische, aber keine physiologische Nachbildung des Augenmuskelsystems.

Es ist klar, dass erst eine treue Nachbildung der sämtlichen am Auge vorhandenen physiologischen Bedingungen der Untersuchung einen positiven Vorschub zu leisten vermag. Zu diesen physiologischen Bedingungen gehören aber nicht bloß die Lagen der Muskeln, sondern auch die Kräfte, mit denen sie wirken, und die Widerstände, die sie überwinden müssen. Erst ein Instrument, das all' diese Bedingungen vereinigt, kann ein künstliches Augenmuskelsystem genannt werden, insofern es, da in ihm die mechanischen Bedingungen mit den im Auge gegebenen identisch sind, auch nach den nämlichen Gesetzen wie das lebende Auge sich bewegen muss. Ein solches Instrument ist in Bezug auf seine Bewegungsleistungen ein künstliches Auge, es ist an ihm

diese bestimmte Seite der physiologischen Leistungen des Sehorgans herausgegriffen und durch eine künstliche Nachbildung verwirklicht, dabei aber von allem Anderen abstrahirt, was nicht mit den Bewegungsleistungen im Zusammenhang steht.

Die künstliche, experimentelle Erzeugung der in der Natur beobachteten Erscheinungen ist das letzte Ziel aller naturwissenschaftlichen Untersuchungen. Das letzte Ziel der Physiologie ist der Homunculus, und wenn es auch höchst wahrscheinlich stets zu den vergeblichen Wünschen gehören wird, den ganzen Homunculus zusammenzusetzen, so hat man doch stückweise schon Einiges davon zuwege gebracht, und die Physiologen werden sich auch ohne den ganzen zufrieden geben, wenn sie nur erst alle Stücke in der Hand haben.

Um die Bewegungsgesetze des menschlichen Auges an einem künstlichen Mechanismus zu verwirklichen, muss man vor Allem jene Gesetze selber kennen, und wenn man sie gefunden hat, lässt sich erst untersuchen, wie sie sich am zweckmässigsten realisiren lassen. In der veröffentlichten ersten Abtheilung meiner Untersuchungen „über die Bewegung der Augen“ ist zwar erst das statische Gesetz für die Augenstellungen abgeleitet, und zu einer vollständigen Kenntniss des Mechanismus der Bewegungen gehört natürlich auch das dynamische Gesetz der Augenbewegungen, aber trotzdem genügt das gefundene statische Prinzip vollständig zur Herstellung eines auch für die Dynamik des Auges gültigen Muskelsystems. Ich schicke daher der Veröffentlichung der zweiten Abtheilung meiner Untersuchungen die Beschreibung des künstlichen Augenmuskelsystems um so mehr voran, als dasselbe gerade bei der dynamischen Untersuchung ein fast unentbehrliches Hilfsmittel abgibt, indem es nicht bloß eine fortwährende Controle der Beobachtungen am natürlichen Auge erlaubt, sondern auch

manche Aufgaben direct experimentell löst, die sich nur durch eine sehr mühsame mathematische Analyse bewältigen liessen.

Das erwähnte statische Prinzip lässt sich in folgenden Ausdruck fassen: Bei jeder willkürlich bestimmten Stellung der Sehaxe nimmt das Auge diejenige Lage an, bei welcher der Widerstand seiner Muskeln der kleinste ist. Da die Muskeln sowohl der Ausdehnung, als der bei der Contraction stattfindenden Zusammendrückung einen Widerstand entgegensetzen, der direct proportional ihrem Querschnitt und umgekehrt proportional ihrer Länge ist, und da dieser Widerstand, wie in der obigen Abhandlung nachgewiesen wurde, wächst im Verhältniss des Quadrates der Formänderung, so nimmt das Gesetz die folgende mathematische Form an:

$$\frac{q_1}{l_1} e_1^2 + \frac{q_2}{l_2} e_2^2 + \frac{q_3}{l_3} e_3^2 \dots + \frac{q_n}{l_n} e_n^2 = \text{Minimum},$$

worin q_1, l_1, q_2, l_2 u. s. w. die Dimensionen der einzelnen Muskeln, e_1, e_2 u. s. w. die Verkürzungen oder Verlängerungen bezeichnen.

Die Aufgabe, die wir uns gestellt haben, besteht darin, die in dieser Formel ausgesprochenen Bedingungen an einem künstlichen Mechanismus so zu verwirklichen, dass die Grössen, auf deren Bestimmung es in einzelnen Fällen ankommt, leicht und genau gemessen werden können.

Der Sehaxe kann innerhalb des möglichen Drehungsumfanges jede beliebige, durch zwei Winkel bestimmbare Stellung gegeben werden. Die Lage, welche bei dieser Stellung der Sehaxe das ganze Auge vermöge der Widerstandskräfte der Muskeln einnehmen muss, wird dann noch durch einen dritten Winkel, den Drehungswinkel um die Sehaxe oder den Raddrehungswinkel bestimmt. Von den drei Winkeln, welche die ganze Augenstellung

angeben, ist aber wieder die Verkürzung und Verlängerung der sämtlichen sechs Augenmuskeln abhängig. Darnach sind an den zu construierenden Mechanismus von vornherein folgende Anforderungen gestellt: es muss derselbe erstens so beschaffen sein, dass die Sehaxe in jede mögliche genau messbare Stellung übergeführt und darin fixirt werden kann, in dieser Stellung muss aber das ganze Auge noch frei um die Sehaxe drehbar sein, und der durch die elastischen Kräfte der Muskeln erzeugte Raddrehungswinkel muss genau gemessen werden können. In dem Vorigen liegt als zweite Bedingung schon eingeschlossen, dass an unserem Mechanismus künstliche Muskelwiderstände angebracht werden müssen, d. h. Vorrichtungen, welche die nämlichen elastischen Kräfte in den nämlichen Richtungen äussern, wie die Muskeln des natürlichen Auges. Dazu kommt viertens die Aufgabe, die Verkürzungen und Verlängerungen, welche diese den Muskeln entsprechenden Vorrichtungen bei der bestimmten Augenstellung erfahren haben, ebenfalls leicht und genau messbar zu machen.

Es erhellt von vornherein, dass zur Herstellung der elastischen Muskelkräfte am zweckmässigsten elastische Federn mit veränderlicher Spannung verwendet werden können: es lässt sich dann die Spannung der Federn so lange abgleichen, bis die Grösse ihrer Elasticität der Elasticität der Muskeln am lebenden Auge entspricht. Dabei versteht es sich von selbst, dass es für die Bestimmung der Augenstellung und der Augenmuskellängen nur auf die relative, nicht auf die absolute Elasticitätsgrösse ankommt. Indem man Federn von veränderlicher Spannung nimmt, gewinnt man den grossen Vorzug, das Instrument mit Leichtigkeit zur Analyse pathologischer Fälle verwenden zu können. Alle Augenmuskelerkrankungen lassen sich zurückführen auf Spannungszunahme oder Spannungsabnahme einzelner Muskeln, Indem man die Spannung

der Muskeln von vornherein veränderlich nimmt, vermag man daher den Mechanismus jedes beliebigen schielenden Auges herzustellen und die dabei in Betracht kommenden Veränderungen in den Augenstellungen und in den Muskellängen messend zu verfolgen. In der That ist diese praktische Anwendung des Instruments bei Weitem die wichtigste, insofern sie nicht, wie die Beobachtung der Stellungen und Bewegungen des normalen Auges, mit einer Untersuchung abgeschlossen ist, sondern fast in jedem einzelnen Fall eine neue sein wird.

Ein nach den erörterten Prinzipien construirtes Instrument ist ausreichend zur Lösung aller statischen Aufgaben, mögen diese nun das normale Auge oder ein Auge mit pathologisch verändertem Muskelsystem betreffen. Um aber das nämliche Instrument auch für die dynamischen Untersuchungen anwendbar zu machen, dazu bedarf es noch einiger weiterer Erwägungen.

Die dynamische Untersuchung hat zwei Hauptaufgaben: erstens die Untersuchung der Bewegungen, welche das Auge ausführt, und zweitens die Bestimmung der bei diesen Bewegungen wirksamen Muskelkräfte. In letzterer Rücksicht ist nun zu beachten, dass bei jeder Muskelbewegung die Contractionskräfte der Muskeln mit ihren elastischen Kräften in Conflict gerathen. Der Contractionskraft wird ein Widerstand entgegengesetzt durch die Elasticität der Antagonisten, sie findet aber ausserdem auch einen Widerstand in dem sich contrahirenden Muskel selber, der gleichsam sich selber zusammendrückt und dabei einen mit dem Grad der Zusammendrückung wachsenden Elasticitätswiderstand zu überwinden hat. Dieses nämliche Verhältniss müssen wir nun auch am künstlichen Augenmuskelsystem realisiren: es müssen an diesem die Zugkräfte der Muskeln so angebracht sein, dass sie bei der Verkürzung die elastischen Federn, welche

die elastischen Kräfte repräsentiren, zusammendrücken. Damit ferner das Instrument über die absolute Grösse der bei der Bewegung wirkenden Kräfte Aufschluss gebe, müssen die elastischen Federn so beschaffen sein, dass sie nicht nur in demselben Verhältnisse zu einander stehen wie die elastischen Kräfte der Muskeln — was für die statische Aufgabe genügend war —, sondern es muss die Elasticitätsgrösse jeder einzelnen Feder gleich der absoluten Elasticitätsgrösse des ihr entsprechenden Muskels sein. Sind nämlich die Widerstände des künstlichen Systems gleich denen des natürlichen, so sind auch die Kräfte, welche, diese Widerstände überwindend, eine bestimmte Bewegung erzeugen, in beiden Systemen einander gleich. Endlich haben wir mit Rücksicht auf die dynamische Untersuchung dem Instrument noch eine solche Einrichtung zu geben, dass die Vorrichtung, welche die Sehaxe in einer bestimmten Stellung fixirt, entfernt oder beweglich gemacht werden kann, so dass der Augapfel nur noch in einem einzigen Punkt, in seinem Mittelpunkt, befestigt und um diesen nach allen Richtungen leicht drehbar ist, damit bei plötzlicher Einwirkung der Zugkräfte das Auge sich frei bewege und in seiner Bewegung durch die Beobachtung verfolgt werden könne.

Dies sind die wesentlichen Gesichtspunkte, von welchen bei der Construction des künstlichen Augenmuskelsystems ausgegangen wurde. Ich werde nun zunächst das Instrument genauer beschreiben und sodann eine Uebersicht der verschiedenen Anwendungen desselben für physiologische und pathologische Zwecke geben.

1. Beschreibung des künstlichen Augen-Muskelsystems.

Der Apparat besteht aus folgenden vier Theilen: erstens aus der um ihren Mittelpunkt drehbaren Augen-

kugel mit der Sehaxe, zweitens aus den Vorrichtungen zur Messung der Augenstellung (der Sehaxenstellung und des Raddrehungswinkels), drittens aus den künstlichen Muskeln nebst den Vorrichtungen zur Messung der Muskellängen, und viertens aus dem Belastungsapparat zur Erzeugung der Muskelzugkräfte bei den Versuchen über die Bewegung des Auges.

Der Durchmesser der Augenkugel ist doppelt so gross genommen, als der mittlere Durchmesser des normalen menschlichen Auges (24 mm.), also 48 Millim. gross. Sie ist aus Messing gedreht und aussen vergoldet. Innen ist sie hohl und an ihrem hinteren Ende fehlt ein Segment, das gerade so gross ist, dass eine Drehungsamplitude von etwas über 35° von der mittleren Stellung aus nach jeder Richtung möglich bleibt. Am innern Rand dieses hintern Umfangs hat sie einen Bleiring *b* (Fig. 2), der mit den Massen, welche sie vorn trägt, genau in's Gleichgewicht gebracht ist, so dass sie beim Drehen um ihren Mittelpunkt in jeder Lage, wenn keine weiteren Kräfte auf sie wirken, stehen bleibt.

Um die Vorrichtung, durch welche die Fixation des Mittelpunktes und die Drehung um denselben bewirkt ist, deutlich zu machen, ist in Fig. 2 ein schräger Durchschnitt der Augenkugel gezeichnet. Derselbe ist in einer durch die Richtung der Feder *m* (s. Fig. 1) und den Mittelpunkt gelegten Ebene gedacht. Die Vorrichtung zur Fixation des Mittelpunktes hängt unmittelbar mit der Sehaxe *S* zusammen. Diese ist aus Stahl, an ihrem hinteren Ende ist sie an einer kleinen Messingplatte *n* befestigt, die in ein cylindrisches Messingstäbchen *e* übergeht. Die Platte *n* liegt dicht an der vorderen, inneren Seite der Kugel an, sie trägt hier bei *s* einen kleinen Zapfen, der durch ein entsprechendes Loch in der Kugel gesteckt ist. Die Sehaxe selbst hat unmittelbar vor der Platte einen Schraubengang, in den ein anderes Messing-

plättchen *o* eingeschraubt werden kann. Durch Anschrauben des letzteren ist die Sehaxe und mit ihr die Platte *n* mit dem Stab *e* vollkommen befestigt. An den Stab *e* ist ein Ansatz *s* aus Stahl angeschraubt, in welchen eine Pfanne im Winkel von ungefähr 70° (dem Drehungsumfang der Augenkugel entsprechend) gedreht ist. Diese Pfanne hat an ihrer Spitze ein kleines Loch, das in einen kleinen Hohlraum *p* führt, in welchem gerade der Knopf eines Fadens liegen kann. In der Pfanne liegt frei drehbar eine Stahlkugel *k*, welche von den Seitenwänden der Pfanne tangirt wird. Diese Kugel ist gerade so wie die Pfanne, nur unter einem etwas kleineren Winkel, ausgebohrt und an der Spitze dieser Ausbohrung hat sie gleichfalls ein kleines Loch. Dieses letztere geht in eine Canüle über, die sich durch den cylindrischen Messingschaft *l*, auf welchem die Stahlkugel aufsitzt, hinzieht und bei *i* mündet. Der Messingschaft ist an einer Stütze *g* beschäftigt, welche eine Feder *m* trägt, die durch eine kleine Schraube angespannt werden kann. An dieser Feder befindet sich der Oeffnung *i* gegenüber ein kleines Loch. Der Augapfel ist nun durch einen Faden, der von *p* an durch die Canüle *l* gezogen ist, frei drehbar befestigt; an jedem Ende hat nämlich dieser Faden einen Knopf, den einen bei *p*, den andern hinter dem Loch der Feder *m*, und durch die letztere kann der ganze Faden beliebig gespannt werden. — Die Reibung ist bei dieser Aufhängungsmethode der Kugel ungemein klein, nicht merklich grösser, als bei der Drehung auf einer Spitze, die sich wegen der nach vorn gehenden Wirkung der schiefen Augenmuskeln, durch welche bei jeder bedeutenderen Drehung der Augapfel von der Spitze herabfällt, in diesem Fall nicht anbringen liess.

Die Vorrichtungen zur Messung der Augenstellung sind unmittelbar mit der Sehaxe *S* verbunden.

Die letztere ist nach vorn verjüngt, wird dann an einer Stelle, bei z , cylindrisch und läuft zuletzt in eine Spitze aus. An der Stelle des Verticalkreises V ist sie frei drehbar durch ein Elfenbeinröllchen ε gesteckt, welches vor dem Zurückweichen nach vorn und hinten durch zwei kleine Messinghülsen geschützt ist, so jedoch, dass es zwischen denselben noch einigen Spielraum der Bewegung hat; die hintere Messinghülse ist an S festgeschraubt, die vordere liegt frei zwischen dem Röllchen und dem Zeiger z . Der Zeiger z ist an dem cylindrischen Theil von S festgeschraubt und dient zur Messung des Raddrehungswinkels.

Zur Bestimmung der Sehaxenstellung sind der Verticalkreis V und der Horizontalkreis H bestimmt. Der letztere kann durch eine Schraube x an dem letzteren in jeder beliebigen Stellung nach aussen oder innen fixirt werden, und es bewegt sich damit natürlich entsprechend die Sehaxe nach aussen oder innen. An der Schraube x befindet sich ein Zeiger, der den Winkel dieser Drehung unmittelbar an dem Horizontalkreis H angiebt.

Der Verticalkreis V ist in der Mitte im grössten Theil seines Umfangs durchbrochen, und es kann die Sehaxe mittelst des gerade in den Schlitz h einpassenden Elfenbeinröllchens frei auf- und abgehen. Die Eintheilung dieses Kreises ist nach vorn gekehrt. Die Vorrichtung zur Fixation der Sehaxe in einer beliebigen Höhestellung ist mit dem Winkelkreis R für die Messung des Raddrehungswinkels verbunden. In Fig. 1 ist diese Vorrichtung von der Seite, in Fig. 3 von vorn gezeichnet. Im Wesentlichen besteht dieselbe aus zwei Metallplatten, r und q , mit einem an die letzteren geschraubten Fortsatze π . Beide Metallplatten stehen durch zwei von r ausgehende mit kleinen Federn umwickelte Zapfen in Verbindung und können durch eine Schraube y an den Verticalkreis V mehr oder weniger fest angepresst oder

auch ganz gelöst werden. In Fig. 1 ist die Vorrichtung von der Sehaxe entfernt und nach oben festgestellt, in Fig. 3 ist die Sehaxe durch dieselbe fixirt. Um letzteres zu bewerkstelligen, löst man die Schraube, so dass sich die beiden Metallplatten gerade weit genug von einander entfernen, damit das Röllchen ε zwischen π und V Platz hat. In der vorderen Platte befindet sich ein Einschnitt, um das vordere Ende der Sehaxe aufzunehmen, ebenso in der Platte π für das hinter ε gelegene Stück derselben. Schraubt man daher nun die zwei Platten an H fest, so ist die Sehaxe in Bezug auf Drehung nach oben oder unten vollkommen fixirt, dagegen innerhalb des Elfenbeinröllchens noch freidrehbar in der Richtung des Raddrehungswinkels.

Durch die erläuterten Vorrichtungen kann die Sehaxe in jeder beliebigen, durch die zwei an V und H abzulesenden Winkel bestimmten Stellung fixirt werden, ohne dass dabei die Raddrehung gehindert wird. Man kann dann leicht, von der Ruhestellung ausgehend, beliebige Stellungenänderungen herbeiführen, indem man die Schrauben x und y nur so weit löst, dass man durch einen leichten Druck noch eine Drehung in die neue Lage bewerkstelligen kann. Wenn man nämlich die Schraube y nur wenig löst, so bleibt die Sehaxe zwischen den Metallplatten fixirt, und erst bei noch weiterem Oeffnen der Schraube fällt das Elfenbeinröhrchen sammt der ganzen Sehaxe heraus. — Es ist somit Drehung und Fixation sowohl in Bezug auf die verticale als in Bezug auf die horizontale Axe möglich. Um nun auch die dritte Axe, die Sehaxe, fixiren zu können — was unter Umständen, namentlich zur Controle pathologischer Fälle, wünschenswerth ist — befindet sich an der Vorrichtung, unmittelbar das vordere Ende der Sehaxe umgebend, eine kleine, mit Löchern versehene Drehscheibe δ , d. h. eine kleine Messingscheibe, die innerhalb einer anderen

etwas grösseren Messingscheibe γ mit hinreichend viel Reibung drehbar ist, um in jeder Lage stehen zu bleiben. Es ist dem Apparat ein besonderer Schlüssel (Fig. 4) beigegeben, welcher zur Aufnahme des vorderen Endes der Sehaxe S ausgehöhlt ist, und dessen zwei Zapfen so in zwei Löcher der Scheibe δ passen, dass von ihnen der Zeiger z und mit diesem die Sehaxe und das ganze Auge genau umfasst und fixirt wird. Man kann dann also durch beliebige Drehung mit diesem Schlüssel, trotz der entgegenwirkenden Federkräfte der künstlichen Muskeln, einen ganz beliebigen Raddrehungswinkel herstellen.

Endlich ist an der nämlichen Vorrichtung für Fixirung der Sehaxe auch noch der Winkelkreis R zur Messung des Raddrehungswinkels angebracht. Der Nullpunkt findet sich in der Mitte, nach beiden Seiten gehen die positiven und negativen Winkelwerthe für Drehung nach aussen und nach innen. Man hat von Anfang an den Zeiger z so an der Sehaxe festzustellen, dass er auf den Nullpunkt zeigt.

Die sechs künstlichen Augenmuskeln zerfallen in drei wesentliche Theile: erstens in sechs Fäden, die der Zugrichtung und Lage der natürlichen Muskeln entsprechend angeordnet sind, zweitens in die Spiralfedern, welche die elastischen Muskelkräfte darstellen, und drittens in die Gewichtsschalen, durch deren Belastung die Zugkräfte hergestellt werden können. Da die elastischen und bewegenden Kräfte nicht in den engen Raum, in dem sie sich an den natürlichen Muskeln finden, gebracht werden konnten, so mussten alle diese Theile auseinander gelegt werden, und es machen desshalb die künstlichen Muskeln den grössten Theil des ganzen Instrumentes aus. Ich habe in Fig. 1 durch Ziffern die einzelnen Muskeln angedeutet, nämlich mit 1 Rectus superior, 2 Rectus inferior, 3 Rectus externus, 4 Rectus internus, 5 Obliquus superior, 6 Obliquus inferior.

Die Ansatzpunkte der Muskelfäden an die Augenkugel sind nach den von Ruete nach mehreren Messungen angegebenen Mittelwerthen, die ich auch meinen sonstigen Untersuchungen zu Grunde legte, bestimmt; ebenso die Ursprungspunkte. An der Stelle der letzteren finden sich kleine Rollen, von denen jede, zur möglichsten Verringerung der Reibung, auf Spitzen läuft. Die Muskelfäden bestehen, so weit sie bei den umfangreichsten Drehungen über die Augenkugel zu liegen kommen, aus Silberdrähten, im weiteren Verlauf bis zu den Rahmen aus Seidenfäden; auf der Augenkugel selbst sind die letzteren nicht anzuwenden, weil sie allzu leicht einander adhären. Die Ursprungsrollen sind in eine solche Lage gebracht, dass auch bei den bedeutendsten Bewegungen möglichst wenig Klemmung der Fäden an denselben entsteht. Bei der aus der Zeichnung zu ersiehenden Stellung dieser Rollen wurde dies Resultat in der erwünschten Vollkommenheit erreicht. Nach hinten von den Messingrollen ist an dem horizontalen Messingstab *d* eine zweite Reihe von Rollen angebracht. Diese sind gleichfalls zwischen Spitzen drehbar und gegen die ersten Rollen so gestellt, dass die Fäden nicht geklemmt werden. Durch die zweiten Rollen sind nun sämtliche sechs Muskelfäden in eine Verticalebene gebracht. Die Vorrichtung zur Herstellung der Muskelkräfte, die dann hier an jedem Faden aufgehängt ist, ist folgende. (S. die Bezeichnung bei Muskel 3). Sie besteht aus einem Messingrahmen *g*, der unten an Platindrähten die Wagschale *w* trägt. Innerhalb des Messingrahmens ist die aus Messingdraht gewundene Spiralfeder *v* aufgehängt. An der am Apparat festen Horizontalstange *u* findet sich eine Reihe von Schraubenklemmen, von denen jede zum Festschrauben des unteren Endes einer Feder bestimmt ist. Die Stange *u* geht so durch die sechs Rahmen hindurch, dass diese sich frei auf- und abwärts bewegen können. Durch

beliebiges Anziehen und Festschrauben kann man den Federn jede gewünschte Spannung ertheilen. Die sechs Federn sind aus dem gleichen Draht genommen und gleichmässig gewunden, ihre Länge ist dann proportional dem Quotienten $\frac{q}{l}$ (Querschnitt dividirt durch Länge) der Muskeln am normalen Auge genommen worden. Als diejenigen Längen, bei welchen gerade die Dehnbarkeit jedes einzelnen künstlichen Muskels der aus den Dimensionen q und l und dem Elasticitätscoëfficienten der Muskelsubstanz berechneten Dehnbarkeit des natürlichen Muskels gleich sein sollte, ergeben sich folgende: 1 (Rect. sup.) 100, 2 (Rect. inf.) 87, 3 (Rect. ext.) 81, 4 (Rect. int.) 74, 5 (Ohliq. sup.) 62, 6 (Obliq. inf.) 101 Millim. Diese Werthe wurden mit Ausnahme der Länge des Muskels 5 günstig für die Anwendung gefunden. Bei 5 war aber die Dehnbarkeit viel zu klein, und ich substituirte daher hier eine Federlänge von 100 Millim.

An dem Rahmen g ist ausserdem noch die Vorrichtung zur Messung der Muskellängen angebracht. An jedem Rahmen ist eine Skala, die ihren Nullpunkt in der Mitte hat und durch eine Feder an den hinteren Stab des Rahmens gedrückt ist, so dass sie verschoben werden kann und doch in jeder Lage festbleibt. Zum Aequilibriren der Skala befindet sich am vorderen Stab des Rahmens ein kleines Gewicht μ . Vor den Skalen sind an den von der Stange u ausgehenden Fortsätzen λ zwei Fäden gezogen. Die Skalen müssen zu Anfang der Beobachtungen so eingestellt werden, dass bei horizontalem Visiren die zwei Fäden und der Nullpunkt aller Skalen zusammenfallen. Es bedeuten dann bei jeder Stellungsänderung die Zahlen nach oben vom Nullpunkt, wenn sie zur Ablesung kommen, Verkürzung, die Zahlen nach unten vom Nullpunkt Verlängerung. Da die Dimensionen des Augapfels doppelt genommen sind, so bekommt

man auch die Veränderungen der Muskellängen an der Skala verdoppelt. Es sind daher mit grosser Schärfe noch Längenänderungen von mindestens $\frac{1}{8}$ Millimeter zu messen.

Der letzte Theil des Apparates ist endlich die Vorrichtung zur plötzlichen Auslösung der Muskelzugkräfte. Sie besteht aus dem Unterstützungsstab *U*, der rechts und links in einer Führung *F* geht. In dem Unterstützungsstab befinden sich, durch Schrauben auf- und ab bewegbar, die Träger *T*. Der Stab kann mittelst des Excentrique *E* so nach oben gedrückt werden, dass jeder der Träger *T* eine Gewichtsschale unterstützt. Die feinere Regulirung, damit die Schale nur gerade aufliegt, wird durch die Schraube vorgenommen. Dreht man nun rasch das Excentrique wieder um, so fällt der Stab *U* plötzlich herab, und, wenn einige der Schalen mit Gewichten belastet waren, so wirken diese nun plötzlich auf das Auge ein und bewegen dasselbe in die neue Stellung. Um den Fall sicher zu bewirken, ist über jeder Führung eine Spiralfeder ϕ aus Stahl angebracht, die beim Heben des Unterstützungsstabes zusammengedrückt wird und dann mit grosser Kraft sich wieder auszudehnen strebt.

Herr Mechanikus L. Zimmermann in Heidelberg hat den ganzen Apparat äusserst sorgfältig und elegant ausgeführt. Seiner präzisen Arbeit verdanke ich wesentlich das Gelingen, da nur bei der sorgfältigsten Vermeidung der Reibungswiderstände am Drehpunkt und an den Rollen das Instrument die an dasselbe gestellte Forderung befriedigt: eine getreue Nachbildung der am lebenden Auge gegebenen mechanischen Bedingungen zu sein. Das Instrument hat diese Forderung in einem Maasse erfüllt, wie ich es kaum zu erwarten gewagt hatte.

2. Anwendung zur Untersuchung der Augenstellungen und Muskellängen.

Um die durch den Winkel der Raddrehung gegebene Stellung des normalen Auges für eine beliebige Richtung der Sehaxe und die dabei stattfindenden Verkürzungen und Verlängerungen der sechs Augenmuskeln zu finden, bringt man die Federn in die Normalspannung, wobei die Sehaxe und die ganze Augenkugel in der Ruhestellung befindlich ist. Die zwei Winkel, welche die Stellung der Sehaxe bestimmen, werden auf ihren Nullpunkt gebracht, und der Zeiger, der den Raddrehungswinkel angiebt, sowie die Skalen für die Messung der Muskellängen werden gleichfalls sämtlich auf Null eingestellt. Ist dies geschehen, so führt man die Sehaxe in die durch den Horizontal- und Verticalwinkel am Horizontal- und Verticalkreis des Instrumentes bestimmte Stellung über. Man fixirt die Sehaxe in dieser Stellung, so dass nur sie noch die drehbare Axe der Augenkugel bildet, und liest dann an dem Winkelkreis der Raddrehung sowie an den Muskelskalen die zu beobachtenden Grössen ab. Bei diesen Messungen muss man jedoch Folgendes berücksichtigen.

Trotz der sorgfältigen Arbeit der zwischen Spitzen drehbaren Rollen für die Muskelfäden und des Drehpunktes der Kugel kann natürlich an dem Instrument nicht alle Reibung vermieden sein. Es ist daher auch die Kugel nicht in einer einzigen Lage im Gleichgewicht, sondern sie hat einen gewissen Spielraum des Raddrehungswinkels, um welchen sie gedreht werden kann, und welcher mit der Vergrösserung der Reibungswiderstände wächst. Dieser Spielraum beträgt an dem Instrument bei dem gewöhnlichen Spannungsgrad der Federn 5 Winkelgrade in der Ruhelage, bei bedeutender Abweichung des Auges von der Ruhelage wächst derselbe bis auf 10 Win-

kelgrade. Die wirkliche Gleichgewichtsstellung des Augapfels ist die Mitte zwischen den beiden excentrischen Stellungen, die sich demselben geben lassen; sie lässt sich leicht finden, indem man den Augapfel zuerst nach der einen, dann nach der anderen Richtung dreht, und die beiden excentrischen Raddrehungswinkel abliest.

Dagegen erhält man nach Ueberführen der Sehaxe in die neue Lage auf beliebigem Wege nicht immer von selbst die richtige Mittelstellung, und zwar aus folgendem Grunde. Führt man die Sehaxe in irgend eine Schrägstellung dadurch über, dass man die Augenkugel zuerst um ihre Horizontalaxe und dann um ihre Verticalaxe (also zuerst nach Oben oder Unten und dann nach Innen oder Aussen) dreht, so bleibt dabei die Lage der Seidenfäden auf den Rollen bei der ersten Drehung nahezu ungeändert, bei der zweiten Drehung werden die Fäden allmählig etwas gegen die entsprechende Seite der Rollen angedrückt, und es wird dadurch die Reibung einseitig vermehrt. Diese Reibungsvermehrung macht sich aber erst bei ziemlich excentrischen Stellungen merklich geltend, und man erhält daher bei dieser Methode, die Sehaxe in ihre neue Stellung überzuführen, den Raddrehungswinkel beinahe richtig, nur wegen der Reibung um ein Minimum kleiner, als er sein sollte, und man erhält für ihn denselben Werth, wie bei dem Ausprobiren der Mittelstellung. Führt man dagegen die Sehaxe so in die neue Stellung über, dass man die Augenkugel zuerst um ihre verticale und dann um ihre horizontale Axe (also zuerst nach Aussen oder Innen und dann nach Oben oder Unten) dreht, so wird bei der ersten Drehung sogleich die Reibung einseitig vergrößert, und nachdem dies geschehen, wird erst die zweite Drehung ausgeführt. Hier muss nothwendig durch das Hinzukommen des fast während der ganzen Bewegung vorhandenen einseitigen Reibungswiderstandes der Raddrehungswinkel in der Richtung

dieses Widerstandes erheblich verringert werden, und zugleich entspricht der Werth dieses Winkels nicht mehr der Mitte zwischen den zwei äussersten Werthen, innerhalb deren die Reibung einen Spielraum gestattet, sondern er liegt dem einen Extrem ziemlich nahe.

Von diesem bei verschiedener Aufeinanderfolge der Drehung in verschiedener Weise zur Geltung kommenden Einflüsse der Reibung könnte man das Instrument nur dadurch befreien, dass man die Rollen beweglich machte. Da jedoch leicht entweder die Regel der bestimmten Aufeinanderfolge der Drehung sich einhalten, oder die Bestimmung der Mittelstellung sich vornehmen lässt, und da die unter Berücksichtigung dieser Vorsichtsmaassregeln gewonnenen Werthe des Raddrehungswinkels mit den am normalen Auge gefundenen in wünschenswerther Weise übereinstimmen, so erschien es überflüssig, die bedeutende Complication an dem Apparat anzubringen, die bewegliche Rollen erfordern würden. Von vornherein wird zu erwarten sein, dass wegen des sonach nicht vollständig eliminirten Einflusses der Reibung bei den excentrischen Augenstellungen am künstlichen Augenmuskelsystem etwas kleinere Werthe für den Raddrehungswinkel zu finden sein werden, als am normalen Auge. Dies stellt sich bei den Bewegungen in der That heraus, doch ist die Abweichung so klein, dass sie vernachlässigt werden kann, indem die dadurch bedingte Abweichung in den Muskellängen selten die Grenze von 1 Millim. erreicht.

Die Augenkugel kann bei sehr verschiedenen Spannungen der Federn in derjenigen Lage im Gleichgewicht sein, die der Ruhestellung mit gerade nach vorn gerichteter Sehaxe entspricht. Unter der Voraussetzung, dass alle Muskeln am lebenden Auge gleichmässig gespannt seien, müsste man auch am künstlichen System jede einzelne Feder gleich viel spannen. Die hierbei erhaltenen Werthe für den Raddrehungswinkel stimmen aber nicht

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. II.

Fig. V.

Fig. IV.

Fig. I.

so vollkommen mit den Beobachtungen am lebenden Auge überein, wie die Werthe, die man bei etwas davon abweichenden Federspannungen erhält. Ich habe durch Ausprobiren diese günstigen Federspannungen, die für die folgenden Messungen benutzt wurden, bestimmt. Sie sind folgende:

	Länge der ungespannten,	der gespannten Federn.
I. (Rectus sup.)	100	130
II. (Rectus inf.)	87	120
III. (Rectus ext.)	81	110
IV. (Rectus int.)	74	110
V. (Obliquus sup.)	100	114
VI. (Obliquus inf.)	101	114

Ich führe nun die bei diesen Federspannungen erhaltenen Raddrehungswinkel in den von 10 zu 10 Graden variirten Sehaxenstellungen auf. Dabei sind die direkt nach Ueberführung in die neue Stellung erhaltenen Winkelwerthe genommen worden. Bei den schrägen Sehaxenstellungen geschah diese Ueberführung nach der angegebenen Regel durch Drehung zuerst um die horizontale und dann um die verticale Axe der Augenkugel. h und b sind die Winkel, welche die Sehaxenstellung angeben, h der Drehungswinkel um die Horizontalaxe (der Höhenwinkel), b der Drehungswinkel um die Verticalaxe (der Breitenwinkel), r ist der beobachtete Raddrehungswinkel, und unter r' ist der aus den Versuchstabellen über die Stellungen des lebenden Auges entnommene Raddrehungswinkel zur Vergleichung angeführt. Die Vorzeichen haben dieselben Bedeutung wie früher: bei der Sehaxenstellung sind die Drehungen nach oben und nach innen positiv genommen, bei der Raddrehung ist die Drehung der oberen Hälfte des verticalen Meridians nach innen positiv.

h	b	r	r'
0	+10	-1	-1
0	+20	-2	-2
0	+30	-2	-2,5
0	-10	+1,5	+1
0	-20	+3	+2,5
0	-30	+4	+3,5
+10	0	0	0
+20	0	+3	+2
-10	0	0	0
-20	0	-1	-1,5
-30	0	-3	-2
+10	+10	0	-1
+10	+20	-0,5	0
+10	+30	-2	+0,5
+20	+10	+1	0
+20	+20	+1	+1
+20	+30	0	+1,5
+10	-10	+2	+0,5
+10	-20	+3	0
+10	-30	+3	+0,5
+20	-10	+1	0
+20	-20	+2	-2
+20	-30	+1	-2,5
-10	+10	-2	-3
-10	+20	-4	-4,5
-10	+30	-7,5	-6
-20	+10	-3	-5
-20	+20	-6	-7
-20	+30	-10	-12
-30	+10	-3	-6
-30	+20	-8	-12
-10	-10	+2	+2,5
-10	-20	+3	+4
-10	-30	+5,5	+5,5
-20	-10	+3	+3,5
-20	-20	+5	+5
-20	-30	+6,5	+9
-30	-10	+3	+4,5
-30	-20	+6	+8
-30	-30	+10	+10,5

Man sieht, dass die Verschiedenheiten des Raddrehungswinkels am künstlichen und natürlichen Auge ziemlich klein sind. Sehr unbedeutend sind auch die hierdurch bedingten Abweichungen in den Muskellängen. Ich habe in drei Augenstellungen, in welchen die Differenz am künstlichen und natürlichen Auge ziemlich stark ist, die Verkürzungen und Verlängerungen sämtlicher Augenmuskeln bestimmt und zwar für die beiden Raddrehungswinkel r und r'

	$h = -30, b = +20$		$h = -30, b = -20$		$h = -20, b = +30$	
	$r = -8$	$r' = -12$	$r = +6$	$r' = +8$	$r = -10$	$r' = -12$
I.	-5	-5,5	-5,5	-5,5	-3,25	-3,5
II.	+5,75	+6	+5,25	+5,25	+5	+5
III.	-1,5	-1	+4	+3,75	-3,5	-3,5
IV.	+3,5	+3	-3,25	-3	+5	+5
V.	+2,75	+2	+2,5	+3	+2	+1,75
VI.	-1,25	-0,75	-3,5	-4	-0,25	0

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Abweichungen in den Muskellängen stets noch in die Bruchtheile eines Millimeter fallen. Diese Grösse kommt, wenn es sich z. B. darum handelt, das normale Auge mit einem schielenden Auge zu vergleichen, gegen die weit bedeutenderen Abweichungen, die sich hier finden, gar nicht mehr in Betracht.

3. Anwendung zur Untersuchung der Augenbewegungen.

Um das künstliche Augenmuskelsystem für die Untersuchung der Augenbewegungen zu benutzen, ist es zweckmässig, den sechs Federn eine schwächere Spannung zu geben, als bei der Beobachtung des Raddrehungswinkels. Erstens nämlich braucht man, je stärker die

Federn gespannt sind, um so bedeutendere Gewichtskräfte zur Ausführung einer bestimmten Bewegung, und es kann desshalb bei allzu starker Federspannung leicht einer der Muskelfäden reissen, oder sonst ein Theil des Apparates Noth leiden. Zweitens aber kann man blos bei schwächerer Federspannung aus den angewendeten Gewichten unmittelbar auf die am Auge wirksamen bewegendenden Kräfte schliessen. Da nämlich die Federn gerade so lang genommen sind, dass die Dehnbarkeit jeder einzelnen der Dehnbarkeit des entsprechenden Muskels am lebenden Auge ungefähr entspricht, so ist, nach dem Prinzip, dass in dem am Auge verwirklichten System, wo immer zwei Antagonisten eine Drehung um nahezu dieselbe Äxe zu erzeugen streben, die aufgewandte bewegende Kraft dem Widerstand, den sie überwindet, gleich ist, das Gewicht, welches am künstlichen Muskel eine bestimmte Bewegung bewirkt, immer gleich der absoluten Kraft, welche der entsprechende natürliche Muskel zur Erzeugung derselben Bewegung braucht. Dies ist aber offenbar nicht mehr verwirklicht, sobald die Federn so stark gespannt sind, dass ihre Dehnbarkeit erheblich kleiner geworden ist. Ich habe desshalb bei diesen Untersuchungen den Federn nur die Hälfte der früheren Spannung gegeben.

Zur Untersuchung der Bewegungen der Sehaxe nimmt man am besten den Verticalkreis *V* nebst dem Winkelkreis *R* ganz vom Instrument weg, so dass die Sehaxe vollkommen frei steht. Man kann dann die Spitze der Sehaxe selbst ihren Weg auf berusstes Papier aufzeichnen lassen. Das letztere spanne ich auf einen kleinen, an einem besonderen Gestell befestigten Rahmen, der nach allen Richtungen gedreht und in jeder Lage fixirt werden kann. Man bringt den Rahmen mit dem aufgezogenen Papier in eine solche Stellung, dass seine Ebene das Stück der Kugeloberfläche, in welchem sich voraus-

sichtlich die Sehaxe bewegen wird, ungefähr tangirt. Da der Augapfel eine ziemlich kleine Drehungsamplitude hat, so lässt sich leicht eine Stellung ausfindig machen, bei welcher die Spitze während ihrer ganzen Bewegung in der Ebene des Papiers bleibt. Ist der Rahmen eingestellt, so wird der Unterstützungsstab *U* in die Höhe gedreht und dann jeder Träger *T* so weit herauf geschraubt, dass er gerade die entsprechende Wagschale unterstützt. Jetzt belastet man die Muskeln, deren Wirkung man zu beobachten beabsichtigt, mit beliebig zu wählenden Gewichten und lässt dann durch eine rasche Drehung des Excentrique den Unterstützungsstab *U* plötzlich herabfallen, worauf die Sehaxe ihre Bewegung selbst auf das berusste Papier zeichnet.

Diese Bewegungsversuche lassen sich sowohl ausführen mit während der ganzen Bewegung constant bleibenden Zugkräften — was den am lebenden Auge für wenig umfangreiche Bewegungen vorhandenen Bedingungen entspricht — als auch mit plötzlicher Veränderung der Muskelkräfte während der Bewegung, was bei grösserem Umfang der Bewegungen auch am lebenden Auge häufig vorkommt. Letzteren Fall kann man dadurch verwirklichen, dass man den Träger, der die Wagschale des Muskels, den man später will wirken lassen, unterstützt, etwas höher schraubt, so dass das Gewicht erst frei wird, wenn die Bewegung schon im Gange ist. Soll nicht eine Muskelkraft neu hinzukommen, sondern bloss eine schon vorhandene während der Bewegung zunehmen, so muss man rasch im Verlauf der Bewegung ein Zusatzgewicht auffallen lassen. Uebrigens haben die auf diese Weise zu Stande kommenden Bewegungskurven, die dann immer an der betreffenden Stelle einen Wendepunkt zeigen, bloss für das Verständniss gewisser Formen des Blicks einiges Interesse. Eine physiologische Wichtigkeit haben hauptsächlich nur die Bewegungen bei constant bleibenden

Muskelkräften. In der zweiten Abtheilung meiner Untersuchungen über die Bewegung der Augen werde ich die verschiedenen Bewegungsformen, die vorkommen und ihre mechanische Bedeutung näher zergliedern. Einstweilen begnüge ich mich mit der Mittheilung einiger Curven, die unmittelbar von dem künstlichen Auge auf berusstes Papier gezeichnet und auf diesem mittelst alkoholischer Mastixlösung fixirt worden sind. Die Figuren *A* und *B* geben zwei Bewegungscurven nach aussen und oben: *A* mit ausschliesslicher Wirkung des oberen und äusseren geraden Augenmuskels, *B* mit überwiegender Nebenwirkung des unteren schiefen Augenmuskels. Die Figuren *C* und *D* geben zwei Bewegungscurven nach innen und unten: *C* mit ausschliesslicher Wirkung des unteren und inneren geraden Augenmuskels, *D* mit überwiegender Nebenwirkung des oberen schiefen Augenmuskels.

4. Anwendung zur Untersuchung der Augenstellungen und Augenbewegungen bei krankhaften Zuständen der Augenmuskeln.

Jede Mobilitätsstörung des Auges lässt sich zurückführen auf Spannungszunahme oder Spannungsabnahme bestimmter Muskeln. Das Resultat dieser Spannungsveränderung ist die Abweichung des Augapfels von seiner normalen Ruhelage, die Schielstellung.

Am künstlichen Augenmuskelsystem können ganz die nämlichen Bedingungen verwirklicht werden, die an einem Auge mit beliebiger Mobilitätsstörung verwirklicht sind. Wir haben zu diesem Zweck blos 'die Spannungen der elastischen Federn genau so zu verändern, wie die Spannungen der Muskeln an dem betreffenden pathologischen Auge verändert sind. Man macht also die beiden Axen, welche das Auge festhalten, frei, indem man die Schraube an dem Horizontalkreis löst und den Winkelkreis *R*

Bewegung nach Aussen und Oben.

A

B

Rect. sup. 60
 „ *ext. 30*

Rect. sup. 20
 „ *ext. 20*
Obliq. inf. 40

Bewegung nach Innen und Unten.

C

D

Rect. inf. 30
 „ *int. 20*

Rect. inf. 20
 „ *int. 40*
Obliq. sup. 40

losschraubt und nach oben stellt. Dann sucht man diejenige Spannungsveränderung der Federn aus, bei welcher das künstliche Auge genau die nämliche Ruhelage einnimmt, wie das kranke Auge, das untersucht werden soll. Da die Schielstellung das Resultat der Spannungsveränderung ist, so hat man damit das normale Augensystem in ein pathologisches umgewandelt, und zwar in ein solches, dessen Mechanismus genau dem Mechanismus des lebenden Auges mit gleicher Schielstellung entspricht, das sich von seiner Ruhestellung aus gerade nach den nämlichen Gesetzen wie dieses schielende Auge bewegt. Man hat also hier den Vortheil, aus einer einzigen, leicht zu beobachtenden Erscheinung alle möglichen Folgerungen ableiten zu können. Es lässt sich ferner jede beliebige Erscheinung am künstlichen mit der entsprechenden am natürlichen Auge vergleichen und so die Sicherheit gewinnen, dass die hergestellte Spannungsveränderung wirklich diejenige ist, die an dem pathologischen Auge besteht. Es ist hiermit nicht nur für die qualitative Diagnose der Mobilitätsstörungen ein wesentliches Hilfsmittel gewonnen, sondern es wird dadurch auch unmittelbar eine genaue quantitative Diagnose ermöglicht.

Ich werde zwei Beispiele anführen, in welchen nach Erzeugung einer bestimmten Schielstellung der Raddrehungswinkel in verschiedenen Sehaxenstellungen gemessen wurde. r bedeutet den normalen, r_1 den abweichenden Raddrehungswinkel.

1. Schielstellung, 20° nach innen, durch Spannungszunahme des Rectus int.

Sehaxenstellung.		Raddrehungswinkel.	
h	b	r	r_1
+ 20	+ 20	+ 1	— 1
+ 20	— 20	+ 2	— 5
— 20	+ 20	— 6	+ 2
— 20	— 20	+ 5	+ 10

2. Schielstellung, 20° nach aussen, durch Spannungszunahme des Rectus ext.

Sehaxenstellung.		Raddrehungswinkel.	
<i>h</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>r'</i>
+ 20	+ 20	+ 1	+ 7
+ 20	- 20	+ 2	+ 4
- 20	+ 20	- 6	- 12
- 20	- 20	+ 5	- 2

Entsprechend diesen bedeutenden Abweichungen im Raddrehungswinkel erhält man natürlich auch merkliche Veränderungen in den Verkürzungen und Verlängerungen der Muskeln. Ich unterlasse es, weitere Beispiele von Abnormitäten des Muskelsystems anzuführen. Die Erscheinungen, die in jedem denkbaren Fall von Mobilitätsstörung eintreten, sind an dem Instrument selbst mit Leichtigkeit zu verfolgen, und es wäre leicht, ein Schema für die wichtigsten Mobilitätsstörungen zu entwerfen. Aber ich halte es für angemessen, diese Untersuchung den praktischen Ophthalmologen zu überlassen, denen hier die stete Vergleichung mit dem lebenden Auge und dadurch die directe Verwerthung für die Praxis ermöglicht ist. Ueberdies wird es, wenn man sich einmal der Hülfe des Instrumentes bedienen will, jedenfalls zweckmässiger sein, statt auf Zahlentabellen sich zu verlassen, in jedem einzelnen wichtigeren Fall dasselbe direct zu Rathe zu ziehen, da man hierdurch allein von den mechanischen Bedingungen des abnormen Systems ein anschauliches Bild gewinnt.