XII.

Zur principiellen Einigung in Sachen der Gelenkmechanik.

Von

Dr. H. Strasser,

Privatdocent und Assistent der Anatomie zu Breslau.

Nach welchen Principien sollen die Stellungen und Bewegungen des Oberarmes und Oberschenkels im Schulter- und Hüftgelenke definirt und analysirt werden? Nach einem möglichst einfachen, verlangt mit Recht der Praktiker, sei er Mediciner, Künstler oder aus anderem Grunde für die mechanischen Verhältnisse des menschlichen Körpers interessirt; ihm darf kaum zugemuthet werden, mit complicirten geometrischen Methoden und Vorstellungen zu arbeiten, die nicht unmittelbar aus der Anschauung sich ableiten lassen; kaum wird er es dazu bringen, sich derselben im concreten praktischen Fall mit der nothwendigen Sicherheit zu bedienen.

Man ist aber in dem Bestreben, dem Anfänger das Studium der Gelenkmechanik möglichst leicht zu machen und auf das allerkleinste Minimum einzuschränken, über das Ziel hinausgegangen und hat Methoden zur Analyse des Bewegungsumfanges und der Bewegungen angegeben, welche nur für einige wenige Stellungen der Glieder werthbar sind, weil sie der mathematischen Begründung ermangeln. Dadurch ist viel Verwirrung angestiftet, Mancher vom Studium der in Rede stehenden Verhältnisse zurückgeschreckt worden. Die Vereinfachung darf also nicht auf Kosten der Correctheit geschehen.

Ausserdem drängt aber noch ein anderer Umstand dazu, von einer für die gewöhnliche Praxis bestimmten Methode der Beurtheilung der oben angegebenen Verhältnisse zu verlangen, dass sie mathematisch correct sei. Auch für einen Menschen, der sehr geübt ist, räumliche Verhältnisse aufzufassen und in der Vorstellung festzuhalten, wird es schliesslich Fälle geben, wo elementare und complicirtere Hülfsmittel, Phantome, Experimente, Berechnungen beigezogen werden müssen.

Wären nun blos die complicirten Methoden der Analyse unseres Gegenstandes auf ein richtiges theoretisches Princip basirt, so würde der gewöhnlichen approximativen Betrachtungsweise die nothwendige Ergänzung und Vervollkommnung abgehen; die mühevollen, auf richtiger theoretischer Basis ausgeführten Specialanalysen aber würden nicht unmittelbar in die Betrachtungsweise der Praxis zu übersetzen und für sie nutzbar zu machen sein. — Ein solcher Mangel an Zusammenhang zwischen — ich möchte sagen der höheren und niederen — analytischen Gelenkmechanik besteht nun heutzutage noch, wohl namentlich deshalb, weil auf das Missliche der Trennung, auf die Nothwendigkeit eines einheitlichen Principes für beide Gebiete noch nicht ausdrücklich aufmerksam gemacht worden ist. Die verbindende Brücke wird dadurch geschlagen werden, dass für theoretisch correcte Methoden eine Veranschaulichung, für das aus der Anschauung approximativ zu Erschliessende eine theoretische Formulirung gefunden wird.

Die Gestalt und Einlenkung des Oberarms und Oberschenkels bringt es mit sich, dass uns bei jeder Verschiebung dieser länglichen Glieder zunächst die Verschiebung der Längsaxe in die Augen fällt und dass uns die Bewegung zusammengesetzt erscheint

- a) aus einer radiären Bewegung dieser Längsaxe um den Gelenkmittelpunkt, und
- b) aus einer Rotation des Gliedes um diese Längsaxe.

Eine noch so complicirte Bewegung der Längsaxe aber kann in so kleine Phasen zertheilt werden, dass im Verlaufe einer einzelnen Phase die Längsaxe sich annähernd in einer Ebene bewegt; diese Ebene geht dann immer durch den Gelenkmittelpunkt und ist ein grösster Kreis der Kugel oder des Kugelausschnittes, welche wir uns um den Gelenkmittelpunkt gelegt und durch sämtliche mögliche Stellungen der Längsaxe des Gliedes beschrieben denken können (Excursionskugel).

Keine andere Zerlegung der Bewegungen des Gliedes ist uns so leicht verständlich und erscheint uns so natürlich, als gerade die angeführte; zugleich aber ist dieselbe mathematisch vollkommen correct, was wohl hier nicht eingehend bewiesen zu werden braucht.

Weiter lehrt nun die Erfahrung, dass in der Mehrzahl der Fälle das Uebergehen der Längsaxe aus einer Stellung in eine zweite oft recht von der ersten verschiedene Stellung wirklich auf dem Wege eines grössten Kreises geschieht, der ja der kürzeste ist, dass man also in der Mehrzahl der Fälle gar nicht genöthigt ist, besonders

kleine Phasen des Bewegungsvorganges ins Auge zu fassen. Für jene bestimmten combinirten Bewegungen des Oberarms und Oberschenkels, die wir als „Kreisen“ bezeichnen, scheint es freilich auf den ersten Blick bequemer, eine Drehung um eine schräg zur Längsaxe stehende Drehungsaxe anzunehmen; man müsste aber hinzufügen, dass dieselbe sich mit einer Rotation des Gliedes um die Längsaxe combinirt, und eine derartige Zerlegung der Bewegung ist irrationell. Gerade hier ist zur genaueren Würdigung des Vorganges und der wirkenden Kräfte bei keiner Methode eine Sonderung in kürzeren Phasen zu umgehen.

So erscheint es denn als gerechtfertigt, dass die Zerlegung der Bewegung in die Radialbewegung der Längsaxe um den Gelenkmittelpunkt einerseits, in die Rotation des Gliedes um die Längsaxe andererseits zum Ausgangspunkt der ganzen Betrachtung gewählt wird.

1. Definition der Stellung.

Als Ausgangspunkt par excellence mag jene Stellung gewählt werden, bei welcher die Längsaxe oder Längslinie des Oberarmes und Oberschenkels vom Gelenkmittelpunkt aus parallel der Medianebene des Körpers senkrecht nach unten gerichtet ist. Das Glied soll dabei zur Längsaxe so orientirt sein, wie es durch H. Meyer und Andere näher formulirt wurde. Um jede Verwechslung dieser Stellung mit anderen, secundären Ausgangsstellungen zu vermeiden, erscheint es zweckmässig, sie ein für allemal als Grundstellung zu bezeichnen. Aus der Grundstellung bringen wir die Längsaxen der Glieder in jede beliebige andere Stellung auf dem aller kürzesten Wege vermittelt einfacher Hebung. Die Längsaxe bewegt sich dabei in einem senkrecht stehenden grössten Kreise oder Meridian derjenigen Kugel, welche vom Gliede im Raum beschrieben werden kann. Der Rumpf wird dabei wie in der ganzen folgenden Betrachtung als im Raume festgestellt gedacht.

Wir schliessen uns sehr eng an die im praktischen Leben, z. B. auch in der Turnsprache eingebürgerten Bezeichnungen an, indem wir eine Hebung vorwärts, schräg vorwärts, seitwärts u. s. w. unterscheiden. Wir führen dieses Princip nur mehr im Einzelnen aus, wenn wir uns sämtliche senkrechten Meridiankreise gelegt und vom innersten an nach beiden Seiten hin mit positivem und negativem Vorzeichen gradweise nummerirt denken. Hebung im Meridian $+ 90$ ist dann gleich Hebung nach vorn, Hebung im Meridian $+ 135$ gleich Hebung schräg vorwärts, Hebung im Meridian $+ 180$

gleich Hebung seitwärts, Hebung im Meridian $+ 225$ gleich Hebung schräg rückwärts u. s. w.

Während der Dauer irgend einer dieser Hebungen ändert das Glied seine Lage zur Längsaxe nicht, d. h. es wird immer in denselben materiellen Punkten durch die Meridianebene geschnitten. So gewinnt man für jede durch eine Hebung aus der Grundstellung erreichte secundäre Stellung der Längsaxe eine bestimmte Orientirung der übrigen Punkte des Gliedes zur Längsaxe, welche als Ausgangslage für die Rotationsbewegungen in dieser neuen Stellung mit Vortheil angenommen werden kann. Dies entspricht den landläufigen Vorstellungen. Sagt man uns, das Bein ist seitwärts gehoben, so verbinden wir ohne weiteres damit die Vorstellung, dass die Ferse nach hinten sieht, eine Stellung, die eben durch reine Hebung in einem frontalen Meridian aus der Grundstellung gewonnen wird, sieht aber die Ferse nach unten, so drängt sich uns gewiss die Vorstellung auf, dass das Bein nicht bloß seitwärts gehoben, sondern auch um seine Längsaxe auswärts gedreht ist.

Man kann auf diese Weise die reine Hebung von der Hebung mit Rotation unterscheiden. Die reine Hebung, oder die Hebung der Längsaxe an sich wird genau gemessen durch Angabe der Nummer des Meridians in der sie erfolgt (α), und der Anzahl von Winkelgraden, um welche sie stattfindet (β), die Messung der Rotation um die Längsaxe wird durch den Umstand erleichtert, dass es vollständig gleichgültig ist, ob die Rotation um eine bestimmte Anzahl von Graden (γ) vor Beginn der Hebung, oder während oder nach Schluss derselben ausgeführt wird: immer resultirt dabei die gleiche Endstellung. Ich halte diese Art der Definition einer Stellung für die anschaulichste.

Herr A. Fick hat zwei Methoden zur Definition der Stellungen vorgeschlagen ¹⁾; die eine, weitläufig auseinandergesetzte, besteht kurz gesagt in Folgendem.

Man denke sich das Glied zunächst aus der Grundstellung um eine frontale Axe nach vorn gehoben („extendirt oder flectirt“) um die Winkelgrösse α , sodann um eine Axe, welche in dieser sagittalen Hebungsebene liegt und zugleich zur Längslinie des Gliedes senkrecht steht, um die Winkelgrösse β gedreht („ab- oder adducirt“); α und β müssen so gewählt werden, dass nach Ausführung beider Drehungen die Längslinie die zu definirende Lage erlangt hat; dann kommt dem Gliede eine ganz bestimmte Orientirung in

1) Specielle Bewegungslehre in L. Hermann's Handbuch der Physiologie. I. 2. S. 320 u. ff.

Bezug auf die Längslinie zu, und ein dritter Winkel γ gibt an, wie viel die Rotation um die Längsaxe betragen muss, damit sich auch in dieser Hinsicht die Lage des Gliedes mit der zu definirenden deckt. In praxi wird man so verfahren, dass man durch die Längslinie des Gliedes in der zu messenden Stellung eine Ebene senkrecht zur sagittalen Hauptebene durch den Gelenkmittelpunkt legt, oder anders ausgedrückt, man wird die Richtung der Längslinie auf diese sagittale Hauptebene projiciren. Man denkt sich das Glied in die Grundstellung zurückversetzt, hebt es auf dem kürzesten Wege soweit nach vorn oder hinten, bis eine Längslinie mit dieser Projection zusammenfällt, darauf dreht man das Glied in der auf dieser Projection senkrecht stehenden Ebene, bis die Längslinie die zu messende Lage erreicht hat, und misst zum Schluss die nothwendige Rotation um die Längsaxe.

Dieses Verfahren ist vollkommen sicher, die drei Winkelgrössen α , β und γ haben aber andere Werthe als bei meiner Methode.

Nebenbei führt Herr A. Fick noch ein zweites Verfahren an, welches sich im Wesentlichen mit dem von mir vorgeschlagenen deckt; statt die Winkel zwischen der Hebungsebene und der sagittalen Hauptebene des Gelenkes zu messen, wird der Winkel zwischen der Hebungsaxe und einer anderen horizontalen Gelenkaxe (z. B. der frontalen) gemessen, was wesentlich dasselbe ist.

Ich will aber diese zweite Methode im Folgenden kurzweg als die von mir zur Analyse der Stellungen an Kugelgelenken empfohlene der ersten, der von A. Fick zum selben Zweck vorgeschlagenen gegenüberstellen. Meine Methode hat, wie mir scheint, von derjenigen von A. Fick den Vorzug leichter praktischer Verwendbarkeit, sie ist anschaulicher. Es wird sich übrigens im Folgenden zeigen, dass die Fick'sche Methode zur Definition der Stellungen sich eng an das von H. Meyer zur Bestimmung der Bewegungen benutzte Verfahren, die meinige aber an das von mir zu diesem letzteren Zwecke befürwortete anschliesst.

In anatomischen Anstalten könnte man sich, um die erörterten Verfahren zur Bestimmung der Stellung recht deutlich auseinanderzusetzen, mit grossem Vortheile eines Demonstrationsapparates bedienen; derselbe würde vielleicht auch in chirurgischen Kliniken etc. mitunter zur Nachahmung und genauen Definition irgend einer Stellung des Humerus oder Femur gute Dienste leisten. Dieser Apparat müsste, je nachdem man sich meiner oder der Fick'schen Bestimmungsmethode bedient, etwas verschieden gestaltet sein. Bei der Methode von A. Fick bildet (Fig. 1) ein um eine frontale Axe (ff)

drehbarer, mit Gradtheilung versehener Meridianrahmen den Hauptbestandtheil. Im Mittelpunkt o dieses Meridiankreises ist ein Hebelarm (og) mit dem Rahmenwerk, welches den Meridiankreis trägt, in einem Kugelgelenk verbunden. Am Rahmenwerk ist die Richtung einer Ebene markirt, welche senkrecht zur frontalen Axe durch den Gelenkmittelpunkt geht, die sagittale Hauptebene des Gelenkes (SSs). Man gibt nun dem Hebelarm zur Sagittalebene des Rahmens diejenige Stellung, welche der Humerus oder Femur gegenüber der Sagittalebene des betreffenden Gelenkmittelpunktes hat.

Fig. 1.

SSS Sagittale Hauptebene; FF' = frontale Hauptaxe; og = Längsline des Gliedes in der zu def. Stellung; og' Projection auf die Sagittalebene; $Fg'F'g''o$ = bewegliche Meridianebene senkrecht zur sagittalen; $\angle vog' = \alpha$; $\angle g'og = \beta$; K Kreisscheibe zur Messung von α ; K' Kreisscheibe zur Messung der Rotationen.

Man dreht den Meridianrahmen, bis er den Hebelarm og berührt. Dann ist og' die Schnittlinie des Meridians mit der Sagittalebene und zugleich die Projection von og auf diese Ebene. Die Kreisscheibe K erlaubt, abzulesen, welchen Winkel diese Schnittlinie og' mit der verticalen vom Gelenkmittelpunkt aus abwärts gerichteten Linie ov bildet, $\angle g'Ov = \alpha$; die Gradtheilung des Meridians zeigt,

welchen Winkel die Längslinie og mit ihrer Projection auf der Sagittalebene bildet, $\angle g O g' = \beta$.

Denkt man sich das Glied nach der Vorschrift von A. Fick erst um die frontale Axe um $\angle \alpha$ gehoben (Längslinie nach og'), dann um die in der Sagittalebene liegende Transversalaxe um $\angle \beta$ gedreht (Längslinie nach og), dann muss dem drehbaren Meridianrahmen genau dieselbe Seite des Gliedes anliegen, welche in der Grundstel-

Fig. 2.

SSS Sagittale Hauptebene; vv' = verticale Hauptaxe mit dem vertic., beweglichen Meridian; o = Gelenkmittelpunkt; og = Längslinie des Gliedes; K = Kreistheilung zur Ablesung der Nummer dieses Meridians (α); $\angle vog$ = Hebung im Meridian (β); p = festschraubbare Platte zur Führung des Gliedes ohne Rotation, bis Längsaxe mit ov zusammenfällt; K Kreistheilung zur Ablesung der Rotation, welche nöthig ist, damit die Grundstellung vollkommen erreicht wird.

lung nach vorn resp. hinten sah. Um die zu messende Stellung vollkommen nachzuahmen, wird das Glied in der Regel noch um die Längslinie rotirt werden müssen. Eine mit dem Hebelarm verbundene, senkrecht zu ihm stehende Kreisscheibe K mit Gradeintheilung zeigt an, wie gross diese Rotation um die Längslinie ist ($\angle \gamma$).

Man kann mit dem Hebelarme das distale Ende des Humerus oder Femur fest verbinden, um die Rotationsstellungen nachzuahmen. Ist die Rotation $= 0$, so liegt die Verbindungslinie der Epicondylen gg der Ebene des Meridianrahmens annähernd parallel.

An dem Apparat, der zur Erläuterung der von mir empfohlenen Methode dienen soll, ist ein verticaler, d. h. um eine verticale Axe drehbarer Meridianrahmen das Wesentliche (Fig. 2). Auch hier ist am Rahmenwerk die eine Ebene SS markirt, welche die Richtung der durch den Gelenkmittelpunkt o gelegten Sagittalebene (ss) angeben soll. Der Hebelarm og stellt auch hier die Längsaxe des Gliedes, der Stift gg die Verbindungslinie der Epicondylen dar. Die Kreisscheibe K zeigt, um welchen Winkel der Meridian von der Ausgangsstellung aus gedreht werden muss, um die Längslinie og zu berühren $= \angle \alpha$; die Gradtheilung des Meridians gibt die Hebungslage von og in dem Meridian $= \angle \beta$. Eine Platte p wird so an dem Hebelarm festgeschraubt, dass sie dem Meridianrahmen flach aufliegt; dies ermöglicht das Glied ohne Rotation so weit zu senken, dass og mit ov zusammenfällt.

Man dreht nun das Glied mit dem Stifte g so weit um die Längsaxe, bis die Grundstellung vollkommen erreicht ist, und misst die Grösse dieser Rotation (r) an der unter v befindlichen Kreistheilung K .

2. Definition der Stellungsveränderungen.

In vielen Fällen ist es von praktischem Interesse, den Verlauf einer complicirten Stellungsveränderung des Humerus oder Femur, z. B. die zur Reposition einer Luxation nothwendige Bewegung genau zu definiren. Hierzu ist nothwendig, eine mehr oder weniger enge Reihe einzelner Stellungen genau zu bestimmen. Zu diesem Zwecke bedient man sich mit Vortheil der graphischen Methode.

Am besten erfüllt die Anforderungen eine wirkliche Kugel, welche den Spielraum der Längsaxe des Gliedes darstellt; man markirt auf ihr die Hauptebenen des Körpers und zeichnet den Weg, den das Ende der Längsaxe beschreibt, mit Kreide auf. Um auch den Wechsel der Rotationsstellungen graphisch darzustellen, muss man sich ausser dem Endpunkte dieser Längsaxe mindestens noch einen Punkt des Gliedes mit demselben auf der Oberfläche der Kugel bewegt denken, etwa die Verbindungslinie beider Epicondylen und muss die Lage dieser Linie an verschiedenen Stellen des Trajectoriums jenes Endpunktes mit einzeichnen. Bei der schriftlichen Darstellung tritt

an die Stelle der wirklichen Kugel die Globularprojection, wie sie in der Geographie gebräuchlich ist. Indem man sodann die Kugeloberfläche mittelst Meridianen und Breitengraden eintheilt, gewinnt man ein Mittel, die einzelnen Stellungen gemäss den oben auseinander gesetzten Principien der Definition genau mit Worten zu charakterisiren.

Bei der Methode des um die frontale Axe drehbaren Meridians (A. Fick) müssen auf die Kugeloberfläche Meridiane eingezeichnet sein, welche sich in einem medianen und lateralen Pole schneiden; sie lassen den Grad der Hebung der Längslinie um die frontale Axe erkennen. Sagittale Parallelkreise bestimmen das Maass der Abduction oder Adduction.

Fig. 3 zeigt die Globularprojection einer mit einem derartigen Netz versehenen Kugel ($s - s =$ Sagittalebene, die übrigen Buchstaben geben an, was oben, unten, vorn hinten, rechts und links ist). In dieses Netz ist ein solches Trajectorium eingezeichnet. Man erkennt, wie auf diese Weise die Bewegung des Gliedes, von der Geschwindigkeit abgesehen, ganz gut charakterisirt ist.

Fig. 3.

Bei der Methode des verticalen drehbaren Meridians (mibi) müssen die Meridiane der Kugel vertical stehen und sich in einem oberen und unteren Pole schneiden. Die Parallelkreise aber, welche den Grad der Hebung zu messen erlauben, müssen horizontal liegen (Fig. 4).

Das Princip, welches hier benutzt wurde, um die Bewegung eines Gliedes in einem Kugelgelenke zu veranschaulichen, ist von mir schon früher ¹⁾ beiläufig erörtert worden.

1) Zur Mechanik des Fluges. His u. Braune 1878. S. 325 etc.

Die mit Netzen von Meridianen und Parallelkreisen versehenen Globen oder ihre Projectionsbilder sind endlich auch noch dazu dienlich, den Umfang der Excursionen des Gliedes genau graphisch darzustellen.

Fig. 4.

In anderen Fällen der Praxis handelt es sich nun aber nicht um die Definition einer bestimmten Stellungsänderung. Vielmehr werden die verschiedenen Kräfte, welche zusammen eine bestimmte Bewegung von einer bestimmten Ausgangsstellung aus in Scene setzen, ins Auge gefasst; es handelt sich darum, aus der Kenntniss der einzelnen Componenten auf die resultirende Wirkung zu schliessen, vice versa.

Die verschiedenen Kräfte wirken im Allgemeinen auf verschiedene Angriffspunkte, die durchaus nicht in der Längslinie des Gliedes zu liegen brauchen. Da wir aber die resultirende Bewegung des Mobile kaum in der Vorstellung aufzunehmen vermögen, ohne sie als Combination von mindestens zwei einfacheren Bewegungen aufzufassen, so haben wir naturgemäss zu untersuchen, in welcher Weise die einzelne Kraft zu der einzelnen Theilbewegung des Gliedes beiträgt. Erschien uns die Zerlegung der resultirenden Bewegung des Gliedes in die Radialbewegung seiner Längsaxe um den Gelenkmittelpunkt und in die Rotation um die Längsaxe als die anschaulichste, so muss versucht werden, den Einfluss jeder Einzelkraft ebenso in den Einfluss auf diese beiden einfachen Bewegungen des Mobile zu zerlegen.

Dieses Grundprincip ist nun freilich nicht allgemein acceptirt. Vielmehr ist vielfach üblich, die Bewegungen eines um einen Punkt drehbaren Körpers in die Drehungen um drei senkrecht zu einander stehende, im Raum fest gedachte Axen: eine verticale, sagittale und frontale zu zerlegen.

Auch in dem neuesten anatomischen Lehrbuche, dem Grundriss der Anatomie von Pansch ist diese Methode beliebt. Theoretisch lässt sich nichts dagegen einwenden, aber in praxi ist sie nicht brauchbar; denn für irgend eine Stellung, bei welcher die Längsrichtung des Gliedes nicht gerade mit einer der drei Hauptaxen zusammenfällt, ist es schlechterdings unmöglich, sich anschaulich zu vergegenwärtigen, in welcher Weise eine beginnende Bewegung des Gliedes aus den Drehungen um jene drei Axen zusammengesetzt ist.

Die Annahme dreier im Raum fixirter Axen ist keine Vereinfachung, sie ist nicht einmal zur Definition der Stellungen des Gliedes, oder des Umfanges der Gelenkexcursionen mit Erfolg anzuwenden und kann nur Verwirrung stiften.

Dagegen hat H. Meyer in seiner Statik und Mechanik die Analyse der Bewegungen des Oberarmes und Oberschenkels und der dabei beteiligten Muskelwirkungen vollkommen richtig, entsprechend dem oben von uns befürworteten Princip durchgeführt. Dieser Autor stellt drei senkrecht zu einander stehende Gelenkaxen auf, welche fest mit dem Gliede verbunden sind und daher ihre Stellung im Raume mit dem Gliede ändern. Die eine der drei Axen ist die Längslinie des Gliedes, um sie findet die Rotation statt; die beiden anderen liegen in einer Querebene des Gliedes (die also senkrecht zur Längslinie durch den Gelenkmittelpunkt geht); sie werden als Pendelaxe (Flexions-Extensionsaxe) und als Abductionsaxe (Ab-Adductionsaxe) unterschieden.

Nun bewegt sich bei jeder einfachen Radialbewegung die Längslinie in einem grössten Kreise, sie bewegt sich dabei mit dem ganzen Gliede einzig um eine Axe, welche zur Längsrichtung senkrecht steht, also mit der Pendel- und Abductionsaxe Meyer's in derselben Querebene liegt, und mit diesen beiden Axen im Gelenkmittelpunkt zusammentrifft. Entweder fällt die Axe der Radialdrehung mit einer der beiden anderen zusammen, dann ist diese Bewegung eine reine Pendelbewegung oder eine reine Ab-Adduction; oder sie schneidet sich mit beiden und dann lässt sich die Radialbewegung als das Resultat gleichzeitiger Drehung um jede der beiden von Meyer aufgestellten (transversalen) Axen auffassen, gemäss einer bekannten und gesicherten Anschauungsweise der Mechanik.

Grösse und Richtung der Radialbewegung der Längslinie sind also durch die Grösse der Drehung um die Pendel- und Abductionsaxe vollkommen bestimmt.

Die Zerlegung der Radialbewegung (um eine bestimmte transversale Axe) in die Drehungen um zwei senkrecht zu

einander stehende transversale Axen muss aber nothwendiger Weise immer vorgenommen werden, sobald es sich um den Vergleich der Wirkungen verschiedener Kräfte oder um die Beurtheilung ihrer gemeinschaftlichen Wirkung handelt. In der Mechanik charakterisirt man nun bekanntlich Grösse und Richtung der Drehung durch Linien von bestimmter Richtung und Länge, die sogenannten Halbaxen; diese werden wie nach dem Gesetze des Parallelogrammes der Kräfte zerlegt und combinirt.

Aber es ist schwer, im gegebenen Fall mit solchen Axen und Halbaxen in der Vorstellung zu operiren; daher wird der Mediciner lieber folgende anschaulichere Betrachtungsweise bezüglich der Zerlegung der Drehbewegung wählen. Verhalten sich bei einer bestimmten Zeit der Bewegung die Grössen der dabei gegenüber jeder der beiden Transversalaxen ausgeführten Drehungen, wie $a:b$, dann würde bei blosser Drehung um die eine der beiden transversalen Axen das Ende der Längslinie des Gliedes auf der Oberfläche der Excursionskugel jeweilen ein Stück eines grössten Kreises beschrieben haben; beide Kreisbogen müssten senkrecht zu einander stehen und sich ebenfalls wie $a:b$ verhalten. Man kann die Zeit so kurz wählen, dass a und b klein werden und dass auf der Kugeloberfläche über den beiden grossen ein Parallelogramm (Rechteck) construirt werden kann. Die resultirende Bewegung der Längslinie geschieht dann in der Diagonale dieses Parallelogrammes. Auf dem Phantom einer Excursionskugel lässt sich dies durch Construction leicht und sicher veranschaulichen; man könnte eventuell auch die Wirkung einer grösseren Anzahl von Kräften auf die Drehung um jede der drei Axen bestimmen und durch Ausdehnung der soeben erwähnten Construction die resultirende Radialbewegung der Längslinie, welche den Drehungen des Gliedes um die beiden transversalen Axen entspricht, ermitteln.¹⁾

1) Um zu wissen, wie viel zu gleicher Zeit die Winkelbeschleunigung um die Rotationsaxe beträgt, gegenüber den Winkelbeschleunigungen α und β um die transversalen Axen, wenn sich die Kräfte selbst nach Reduction auf einen Hebelarm von der Länge 1 (oder die Kraftmomente) verhalten wie $a:b:c$, muss man noch das Trägheitsmoment des Körpers in Bezug auf jede der drei Axen kennen (T_1, T_2, T_3). Die Winkelbeschleunigungen verhalten sich dann wie $\frac{a}{T_1} : \frac{b}{T_2} : \frac{c}{T_3}$. Wählt man nun, was ausführbar und aus verschiedenen Gründen praktisch ist, die Längslinie am Oberschenkel und Oberarm so, dass sie durch den Schwerpunkt dieser Theile geht, dann ist $T_1 = T_2$, das Trägheitsmoment der Rotation aber ist offenbar ein erheblich anderes. Dies muss berücksichtigt werden, wo es sich um wirklich stattfindende Bewegung handelt. Ein Specialfall der Dynamik ist nun derjenige, bei

Man muss weiterhin zugestehen, dass die von H. Meyer getroffene Wahl der zwei transversalen Haupttaxen manchen Vortheil bietet. Die Drehungsrichtungen der Flexion, Extension, Ab- und Adduction sind zwar nicht constant in derselben Weise zum Raum orientirt, vielmehr ändern sie sich gegenüber dem Raum mit jeder Verschiebung des Gliedes, welcher Art diese auch sei, da sie ja in Bezug zu dem Gliede selbst immer in derselben Weise orientirt bleiben. Aber gerade dieser Umstand gibt Anlass zu der bequemen Beziehung, dass bei der Flexion immer die Fossae ant. des Humerus und am Bein die Kniescheibe, bei der Extension das Olekranon (Fossa olecrani) oder die Kniekehle, bei der Abduction der Epicond. ext., bei der Adduction der Epicondylus int. vorangehen.

Ausser der von H. Meyer vorgeschlagenen Methode der Analyse einer Bewegung des Mobile, kommt noch eine andere in Betracht, die meines Wissens zuerst von mir formulirt und empfohlen worden ist.¹⁾

Während H. Meyer die einfache Radialbewegung um eine transversale Axe in die Drehung um zwei senkrecht zu einander stehende Axen zerlegt, die mit Bezug auf das Glied ihre Lage beibehalten, gegenüber dem Raum aber dieselbe ohne irgend welche Einschränkung wechseln, kann man die Zerlegung auch in der Art vornehmen, dass für die Richtung der Bewegung im Raum ein directerer Anhaltspunkt gewonnen wird. Man kann nämlich die Radialbewegung der Längsaxe immer auffassen als Combination

- 1) einer Hebung resp. Senkung in einem verticalen Meridiane der Excursionskugel gegen deren oberen oder unteren Pol hin (um eine horizontale Axe);
- 2) einer Ablenkung aus diesem verticalen Meridian gegen den einen oder anderen Pol der Hebungsaxe hin.

Wirklich schneiden sich die transversal zum Glied und die horizontal im Raum durch den Gelenkmittelpunkt gehenden Ebenen immer in einer Geraden, wenn sie nicht vollkommen zusammen fallen. Diese Gerade steht senkrecht zur Längsaxe des Gliedes, liegt horizontal und geht durch den Gelenkmittelpunkt, kann demnach immer zu einer der beiden transversalen Haupttaxen gewählt werden; die an-

dem sich alle Kräfte das Gleichgewicht halten, die Bewegung = 0 ist; es muss dann die Summe aller Kraftmomente um die drei Drehungsaxen jede für sich = 0 sein; für diesen Fall braucht man also auf die Trägheitsmomente keine Rücksicht zu nehmen.

1) Zur Mechanik des Fluges. His u. Braune 1878. S. 326 u. ff. 332.

dere ist natürlich durch sie in ihrer Lage bestimmt, und steht senkrecht zu ihr in derselben Transversalebene. Die erste transversale Hauptaxe, welche zur Zerlegung der Radialbewegung aufgestellt wird, kann also immer horizontal sein; die Drehung des Körpers um dieselbe von einer bestimmten Ausgangsstellung aus ist nichts anderes als eine reine Hebung in der Richtung eines verticalen Meridianes. Die Lage dieses Meridianes erfordert nur für zwei Ausgangsstellungen noch besondere Bezeichnungen: für die Fälle, wo die Längslinie vertical nach oben oder unten gerichtet ist.

Die Bewegung, welche ich als Ablenkung bezeichnet habe, besteht also darin, dass die Längslinie dem einen oder anderen Pole der Hebungsaxe genähert wird. Man wird im Allgemeinen immer zwischen einer Ablenkung nach dem ventralen, und einer Ablenkung nach dem dorsalen Pole, kurz gesagt zwischen einer ventralen und dorsalen Ablenkung unterscheiden können, da ja immer mindestens die eine der Seiten der Meridianebene ausgesprochener Maassen der Ventral- oder Dorsalseite des Körpers zugekehrt sein wird. Einzig für die Grundstellung und für den Fall, dass die Längslinie genau nach oben gerichtet ist, muss man sich über ein besonderes Verfahren der Bezeichnung einigen, etwa derart, dass man statt Hebung sagt: Hebung (oder Senkung) nach der Seite, und statt Ablenkung: Hebung nach vorn und hinten.

Um das Princip der Methode recht anschaulich zu erläutern, füge man zu dem zur Definition der Stellungen nach meiner Methode benutzten Globus, der mit verticalen Meridianen und horizontalen Parallelkreisen versehen ist, einen drehbaren, verticalen ganzen

Meridianring Fig. 5 *A*, mit dem ein halber, ebenfalls verticaler Meridianring fest verbunden ist, so dass er zum ersten Meridiankreise senkrecht steht (*B*). Der Meridianreif *B* kann nun an jeden beliebigen Meridiankreis des Globus herangedreht werden; denkt man sich eine Hebung der Längslinie längs eines Meridianes der Kugel und längs des Rahmens *B* ausgeführt, so ist die Axe, um welche

Fig. 5.

dies geschieht, immer der horizontale Durchmesser des ganzen Meridianrahmens dd . Fügt man einen zweiten, halben, um dd drehbaren Meridianreif C hinzu, so kann für irgend einen Punkt m am verticalen Meridian B durch den bis an ihn heran bewegten Rahmen e die Richtung der Ablenkung veranschaulicht werden.

Das äussere Gerüstwerk von Meridianrahmen ist aber im Grunde ganz entbehrlich; denn es ist nichts einfacher, als die Richtung der Ablenkung für einen Punkt m des Meridiankreises M der Kugel zu kennen. Man braucht sich daselbst blos eine kurze Senkrechte zu dem verticalen Meridian als Theil eines auf demselben senkrecht stehenden grössten Kreises zu errichten, oder errichtet zu denken.

Macht man mit Bezug auf die eine transversale Axe die erwähnte Voraussetzung, so hängt, wie man leicht erkennt, die Richtung der Hebung und Ablenkung für jede Ausgangsstellung einzig von der Stellung der Längslinie ab, und es ist bei der Kenntniss der letzteren ziemlich leicht, sich die beiden Bewegungsrichtungen vorzustellen. Es ist sehr wichtig, dass die Beurtheilung der Radialbewegung, welche ja von der ganzen Verschiebung des Gliedes das Augenfälligste ist, auf diese Weise leicht und schnell gelingt. Die Meyer'sche Methode ist in dieser Hinsicht weniger günstig, da bei ihr die Beurtheilung der Radialbewegung, oder der beiden Componenten, der Pendelbewegung einerseits, der Ab-Adductionsbewegung andererseits nicht von der Stellung der Längslinie allein, sondern auch von der Orientirung des Gliedes zur Rotationsaxe abhängt. Ich glaube dieser Umstand wird bei genauer Prüfung geradezu ausschlaggebend sein in der Frage, ob die Meyer'sche Methode oder die von mir befürwortete die praktisch brauchbarere ist.

Man mache einmal den Versuch, eine beliebige Ausgangsstellung und eine von derselben aus stattfindende Bewegung nach jeder der beiden Methoden durch Worte so zu charakterisiren, dass bei dem Leser dadurch eine zutreffende Vorstellung von den Verhältnissen erweckt werde. Bei der Meyer'schen Methode hat man keinen anderen Anhaltspunkt zur Definition der Verschiebung, als die Orientirung des Gliedes zu seiner Längsaxe in der ursprünglichen Stellung; vor Allem muss also diese ganz sicher charakterisirt sein, was nicht einfach ist. Bei meiner Methode dagegen kann man immer die Vorstellung der senkrechten Meridiane zur Beurtheilung und Bestimmung jeder anderen Richtung auf der Kugeloberfläche leicht gewinnen. Der Meridian gibt die Richtung der Hebung, senkrecht zu ihm in der Kugeloberfläche steht die Richtung der Ablenkung. Wenn nun das Glied eine ausgiebige Radialbewegung, ver-

bunden mit Rotation, ausführt, so kann die Vorstellung den Vorgang zergliedern und erst das Trajectorium des Endpunktes der Längslinie verfolgen; denn es ist sehr leicht zu übersehen, wie sich in jeder folgenden Lage die Richtung der Hebung und Ablenkung ändert, man braucht dafür die Rotationsstellung nicht zu kennen; nachträglich wird es leicht, die gewonnene Vorstellung der Radialbewegung auch noch mit der Vorstellung gleichzeitig stattfindender Rotation zu combiniren.

Bei der Meyer'schen Methode kann über keinen Theil der Bewegung, auch nicht der Längslinie allein, eine sichere Vorstellung gefasst werden, bevor nicht die nächst frühere Lage des Gliedes in jeder Hinsicht bekannt ist, und wenn eine Längsrotation stattfindet, so wird die Complication gross.

Untersucht man die Wirkung bestimmter Muskelstellung für eine bestimmte Stellung des Gliedes — Jeder denkt dabei zunächst an die Stellung der Längsaxe — so ist die Art der Rotation des Gliedes nicht gleichgültig. Man hat ein Interesse, die Wirkung der Muskeln bei den verschiedenen Rotationsstellungen zu vergleichen; dies ist aber nur mit meiner Methode direct möglich, da ja die Bewegung nach ihr in dieselben Theilbewegungen zerlegt wird, trotz verschiedener rotatorischer Ausgangsstellung, während bei H. Meyer mit jedem Wechsel der letzteren das Definitionsprincip ein anderes wird.

Als ein kleiner Vorzug meiner Methode mag auch erwähnt werden, dass die Beurtheilung der Einwirkung der Schwere, welche ja nie unterlassen werden kann, bei ihr eine sehr einfache ist; die Längslinie wird, wie schon erwähnt, durch den Schwerpunkt des Gliedes gelegt; dann wirkt die Schwere nie rotirend auf das Glied ein, sondern sucht es immer genau radial in der Richtung des verticalen Meridianes zu bewegen, zu senken.

Im Uebrigen ist es nicht meine Absicht, heute schon, bevor zahlreiche praktische Erfahrungen und das Urtheil meiner Fachgenossen mich unterstützen, von den beiden von H. Meyer und mir empfohlene Verfahren das eine als das brauchbarere rückhaltslos hinzustellen. Viel mehr liegt mir daran, beide als mathematisch correct und verhältnissmässig anschaulich verschiedenen anderen complicirten oder ungenügenden Methoden gegenüberzustellen. Vor allem aus muss, glaube ich, die Zerlegung der Bewegung des Mobile in die Radial- und Rotationsbewegung zum Hauptprincip erhoben werden. Die Radialbewegung aber muss, wo Zerlegung nothwendig ist, in die Radialdrehungen um zwei rechtwinklig zu einander stehende transversale Axen zerlegt werden. Von den drei Hauptaxen der

Drehung muss die eine die Längslinie des Gliedes sein; alle drei müssen zu einander immer senkrecht stehen und daher ihre Lage zum Raume mit jeder Verschiebung der Längslinie des Gliedes ändern. Ob sie ihre Lage zum Raume auch noch mit der Rotation um die Längsaxe ändern sollen (Meyer) oder nicht (meine Methode), mag erst in zweiter Linie entschieden werden.

Ich kann bei dieser Gelegenheit nicht unterlassen, ausdrücklich darauf aufmerksam zu machen, dass die von Henke in seiner Anatomie und Mechanik der Gelenke (1863) beliebte Analyse der Bewegungen am Schulter- und Hüftgelenk weder dem obigen Postulate entspricht, noch überhaupt richtig ist.

Henke unterscheidet

- 1) die Bewegung des Gliedes um seine Längslinie als Rotation.

Der übrige Theil der Bewegung ist also die Radialbewegung der Längslinie, diese wird von Henke zerlegt

- 2) in die Hebung resp. Senkung um eine Axe, welche für die Grundstellung mit der Abductionsaxe H. Meyer's übereinstimmt, aber nicht mit dem Humerus oder Femur, sondern mit dem Rumpfe fest verbunden gedacht ist.

Man kann nun die Radialbewegung einer Linie in so kleine Abschnitte zerlegen, dass unter allen Umständen in der einzelnen Phase die Bewegung eine einfache Drehung ist, und man kann alle diese Drehbewegungen in Drehbewegungen um bestimmte im Raume feststehende Axen zerlegen; aber man braucht dann, um diese Zerlegung consequent durchführen zu können, drei solcher fester Raumaxen, die senkrecht zu einander stehen; auch ist das Verfahren complicirt, durchaus nicht anschaulich und für die praktische Verwerthung ganz ungeeignet.

- 3) Henke nun nimmt ausser der einen, im Raume fixen Hebungs-Senkungsaxe nur noch eine zweite, für Vor- und Rückbewegung an; diese soll nicht absolut fest im Raum gedacht sein.

„Die Axe der Hebung und Senkung, sagt Henke, ist ihrer Lage zum Rumpfe nach bestimmt, also mit diesem unbeweglich verbunden zu denken, die der Rotation als im Oberarm festliegend und ihm folgend, die der Vorwärtsbewegung sogar theils das eine und theils das andere, indem sie mit der Rotation ihre Lage zum Rumpfe, mit der Hebung die zum Arme nicht ändern soll.“ Henke zieht selbst den Schluss, dass diese Art der Zerlegung nicht mathematisch streng sei, hält sie aber trotzdem für praktisch brauchbar.

Es ist leicht einzusehen, dass diese Methode nur genügt, so lange die Längslinie des Gliedes in einer Ebene sich befindet, welche

senkrecht zur Hebungsaxe durch den Gelenkmittelpunkt geht, in jeder anderen Stellung aber vollständig unzureichend ist.

Bis jetzt wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass sich die Wirkung irgend eines Muskels auf das Mobile, gleichgültig, wo er an demselben angreife, mathematisch correct durch drei Componenten, die drehende Einwirkung um drei senkrecht zu einander stehende, im Gelenkmittelpunkt sich schneidende Axen ersetzen lasse; dies ist auch wirklich der Fall und hier nicht weiter zu beweisen, es fragt sich blos, ob diese Zerlegung einigermaassen bequem praktisch auszuführen ist und ob das Verfahren je nach der Wahl der Hauptaxen ein mehr oder weniger complicirtes ist.

Sobald eine Kraft nicht auf die Längsaxe des Gliedes direct wirkt, ist die Beurtheilung ihres Effectes auf keinen Fall eine ganz einfache. Die Muskelcontraction bewirkt dann nicht blos eine Radialbewegung des Gliedes mit seiner Längslinie, sondern rotirt zugleich das Glied um die Längsaxe.

Mag aber diese Rotation noch so wenig gehindert sein, mag die Kraft noch so weit entfernt von der Längsaxe und noch so sehr in der Richtung einer Transversalebene des Gliedes wirken, so bildet doch die Rotation nie den alleinigen Effect, sondern es wird zugleich der Längslinie, die ja durch den Massenmittelpunkt des Gliedes gehen soll, annähernd ein solcher Impuls gegeben, als ob die Kraft in derselben Grösse und Richtung auf sie direct eingewirkt hätte. Man kann den Anfänger nicht eindringlich genug hierauf aufmerksam machen.

Zur approximativen Beurtheilung der Wirkung eines Muskels kann man sich der Projectionsmethode bedienen. Man denkt sich die Grösse und Richtung der Muskelkraft durch eine gerade Linie dargestellt, und projicirt diese Linie auf die drei Hauptebenen der Drehung für die betreffende Ausgangsstellung. Jede einzelne Projection multiplicirt mit ihrem senkrechten Abstände vom Gelenkmittelpunkt gibt ein Maass für das Kraftmoment, mit welchem der Muskel drehend um die Axe der zugehörigen Drehungsebene einwirkt. Dieses Projectionsverfahren wurde von mir in der schon einige Male berührten Abhandlung (S. 328) angegeben. Ich bin der Meinung, es sollte dasselbe am anatomischen Präparate geübt werden. Wer dasselbe einigermaassen beherrscht, was in praxi durchaus nicht so schwierig ist, als es nach dieser Auseinandersetzung vielleicht scheinen möchte, ist im Stande für jede ganz beliebige

Stellung des Humerus oder Femur die Wirkungsweise der einzelnen Muskeln selbstständig zu beurtheilen.

Eine zweite Methode ist zum Zwecke genauer experimenteller Analyse der Muskelwirkung an den Kugelgelenken, so weit diese von den geometrischen Verhältnissen abhängt, von A. E. Fick ersonnen worden. Man untersucht, um wie viel die einzelnen Muskeln sich verkürzen oder verlängern, wenn man das Glied immer von der betreffenden Ausgangsstellung aus der Reihe nach um jede der drei Drehungsachsen um dieselbe kleine Winkelgrösse ($5-10^\circ$) bewegt. Die absoluten Längenveränderungen sind dann proportional den drehenden Einwirkungen (Kraftmomenten) der Muskeln in Bezug auf den entsprechenden Drehungsachsen, wenn man die Spannungen der Muskeln einander gleich setzt. Auch auf Grund dieses Verfahrens kann am anatomischen Präparat die Muskelwirkung approximativ beurtheilt werden. Namentlich aber eignet es sich für experimentelle Specialuntersuchungen. Gerade damit dasselbe in der ausgedehntesten Weise nutzbar gemacht werden könne, ist es wichtig, ein Mittel zu haben, um jede beliebige Ausgangsstellung genau und anschaulich zu definiren, und sich über die Art der Zerlegung der von dieser Stellung aus möglichen Bewegungen zu einigen.

In Bezug auf diesen Punkt sei hier bemerkt, dass namentlich bei der von mir vorgeschlagenen Wahl der Zerlegung die Messung der Muskelverkürzungen nach dem Fick'schen Princip praktisch sehr leicht durchzuführen sind. Man braucht nur einen Apparat von Meridianen, wie er in Fig. 5 dargestellt ist, im Grossen auszuführen, die zwei sich senkrecht kreuzenden Meridiane mit Gradtheilung zu versehen, statt der Kugel das Gelenk selbst mit dem Humerus oder Femur im Inneren so zu befestigen, dass der Gelenkmittelpunkt mit dem Mittelpunkt der Meridiankreise zusammenfällt. Die Längsaxe des Humerus oder Femur wird durch einen Stift verlängert und in der zu messenden Stellung werden beide Meridiane bis an ihn heranbewegt. Die Gradtheilung der Meridiane erlaubt die Längsaxe längs jedem derselben um eine kleine bestimmte Winkelgrösse zu verschieben. Eine Kreisscheibe senkrecht zur Längslinie auf ihr befestigt, erlaubt ausserdem Rotationen von derselben Winkelgrösse vorzunehmen.

Derartige Messapparate sind mit verhältnissmässig leichter Mühe herzustellen, ich verweise auf die Abbildung eines ähnlichen Apparates in der schon mehrmals citirten Abhandlung.

Bis jetzt zeigte sich mein Verfahren gegenüber demjenigen von H. Meyer stets mindestens ebenso praktisch, in einzelnen Be-

ziehungen demselben sogar überlegen. In einem Punkte scheint letzteres auf den ersten Blick brauchbarer; es erlaubt besser, als meine Methode, die Muskeln nach einem physiologischen Gesichtspunkte, nach den von ihr hervorgerufenen Wirkungen um eine der drei Hauptaxen einzutheilen und zu benennen. Es bleibt ja bei dem Meyer'schen Verfahren der Knochen in allen Lagen zu den drei Hauptbewegungsebenen gleich orientirt; die Muskelschleifen, welche der Flexion und Extension in der Grundstellung vorstehen, bleiben bei jeder Stellungsänderung wenigstens mit ihren Ansätzen annähernd in der Flexions- und Extensionsebene u. s. w. Die Ursprünge freilich ändern ihre Lage zu den Hauptebenen und daraus folgt, dass die Flexoren auch hier nicht constant Flexoren, die Adductoren nicht constant Adductoren bleiben können u. s. w. Wenn die Aenderung eine geringere ist, als bei meiner Methode, weil bei dieser sowohl Ansatz als Ursprung der Muskeln ihre Lage zu den Drehungsebenen mit jeder Stellung verändern, so ist der Unterschied doch nur ein gradueller. Die Aenderung der Function der Muskeln mit der Stellung des Gliedes erscheint auch bei der Meyer'schen Zerlegung gross genug, um jedes functionelle Eintheilungsprincip der Musculatur bedenklich erscheinen zu lassen. Man wird sich eben gewöhnen müssen, die Wirkung der Muskeln immer nur für ganz genau bestimmte Ausgangsstellungen zu definiren; man wird demjenigen, der diese Wirkungen kennen muss, zu zeigen haben, wie er auf sie aus den geometrischen Verhältnissen des concreten Falles unmittelbar schliessen kann. Specialuntersuchungen müssen zur Information und Correctur in zweifelhaften Fällen vorhanden sein. — Stellt man sich auf diesen Boden, dann fällt jener Unterschied nicht ins Gewicht, ja man könnte gerade seinetwegen versucht sein, einer Methode den Vorzug zu geben, welche gar nicht zulässt, ein einheitliches functionelles Eintheilungsprincip der Musculatur zu versuchen, und welche die jetzt üblichen Bezeichnungen Ab- und Adduction, Flexion und Extension vollkommen vermeidet. Diese Bezeichnungen geben thatsächlich gegenwärtig, Dank der Verschiedenheit der Systeme, in welchen sie verwendet wurden, Ursache zu Missverständnissen und Verwirrung.

Breslau, April 1880.