

Die sagittal-flexorische Bewegung der menschlichen Halswirbelsäule.

Von

Hans Virchow.

Mit 24 Textabbildungen.

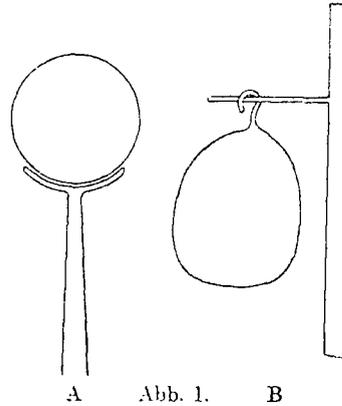
(Eingegangen am 26. Oktober 1927.)

Wie die Überschrift zeigt, werden in der vorliegenden Arbeit von den Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelsäule nur die des Halsteiles und von diesen nur die sagittal-flexorische behandelt werden. Eine so weit gehende Beschränkung könnte kleinlich erscheinen, ja der Fernerstehende wird es vielleicht befremdlich finden, daß eine so alltägliche und scheinbar leicht verständliche Sache nicht schon längst bekannt sein soll. Ich bin in beiden Beziehungen anderer Meinung: Die Mechanik der Wirbelsäule, wenn man diese Aufgabe im strengeren physikalischen Sinne nimmt, soll erst noch festgestellt werden, und für die Lösung dieser Aufgabe ist es geradezu eine Notwendigkeit, sie in ihre Teilaufgaben zu zerlegen und diese für sich zu bearbeiten.

Übrigens ist die Trennung der Halswirbelsäule von der Brust- und Bauchwirbelsäule auch sachlich durch die Verschiedenheit der Aufgaben begründet, denn die Halswirbelsäule trägt die Last auf ihrem oberen Ende (Abb. 1 A), an die Brustwirbelsäule ist aber außerdem eine Last noch vorne angehängt (Abb. 1 B).

Will man aber die Aufgabe noch weiter zerlegen, unter den Bewegungsmöglichkeiten (sagittaler Flexion, seitlicher Flexion, Drehung) eine Auswahl treffen, so wird man die sagittale Flexion bevorzugen, da sie die Hauptbewegung der Halswirbelsäule ist.

Mit der sagittalen Flexion der Halswirbelsäule habe ich mich schon früher beschäftigt und darüber berichtet (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde, Berlin. Jg. 1909 S. 434). Ich fand aber damals, daß die Methode der Untersuchung noch verbesserungsbedürftig und auch verbesserungsfähig sei. Mit verbesserter Methode machte ich eine neue Untersuchung (L I der vorliegenden Mitteilung). Dabei fand ich wieder, daß man die Methode noch besser



A Abb. 1. B

gestalten könne und ich untersuchte wieder (L II). Würde ich noch weiter untersucht haben, so hätte ich noch zwei kleine Verbesserungen hinzugefügt. Aber die Sache kam ins Stocken wegen des Materiales. Dies muß ich erklären.



Abb. 2.

Untersuchungen über Bewegungsmöglichkeiten müssen an frischem Material unternommen werden: es können dazu also nicht Reste von Leichen benutzt werden, welche vorher für andere Zwecke (Präpariersaal) gedient und längere Zeit gelegen haben. Leichen, die mit Konservierungsflüssigkeit behandelt sind, kommen gar nicht in Betracht. Auch gehen, da Teile des Schädels und einige Brustwirbel an dem Präparate bleiben müssen, Kopf und Thorax verloren. Leichen, die durch die Hände des pathologischen Anatomen gegangen sind,



Abb. 3.

können gewöhnlich nicht verwendet werden, da bei der Herausnahme der Rachenorgane das pathologische Messer meist einen oder mehrere Einschnitte in die prävertebralen Halsmuskeln oder gar in die Zwischenwirbelscheiben macht. Ferner

ist störend, daß die Wirbel außerordentlich häufig, bei älteren Individuen sogar gewöhnlich Knochenauflagerungen an den Rändern der Wirbelkörper und andere kleine Unregelmäßigkeiten aufweisen, welche die Bewegungen und Messungen beeinträchtigen müssen. Daher mag man sich mit solchen Körpern schon gar nicht abgeben, da man fürchten muß, daß sich nachträglich herausstellen werde, daß Material, Arbeit und Mühe vergeblich geopfert worden sind. Man kann also mit einiger Sicherheit auf einen befriedigenden Erfolg nur dann rechnen, wenn man für die Untersuchung eine jugendliche, frische, unsezierte Leiche aufwenden durfte. Das läßt sich aber bei der starken Beanspruchung des Materiales an anatomischen Instituten nur ausnahmsweise verantworten, und so können Monate und Jahre vergehen, bevor man wieder einmal an die Herstellung eines solchen Präparates denken kann, wenn man auch noch so lebhaft wünscht, die früher angefangene Arbeit zu Ende zu führen.

Dies war der Grund, warum meine schon vor dem Kriege gemachte Arbeit liegen blieb, und das wäre noch länger der Fall gewesen, wenn nicht zwei Anfragen aus der Praxis mich angeregt hätten; mich wieder um die Sache zu kümmern, eine von chirurgischer Seite durch Herrn Stahl, der wegen Halswirbelfrakturen, und eine von geburtshilflicher Seite durch Herrn von Schubert, der wegen Gesichtslagen bei der Geburt anfragte. So kam es, daß das vergessene Manuskript samt den Photos und Zeichnungen wieder hervorgezogen wurde. Auch X-Bilder fanden sich dabei, die den in unserem Falle zu stellenden sehr hohen Anforderungen genügten. Über letzteren Punkt will ich noch einiges sagen.

X-Bilder der Halswirbelsäule bei seitlicher Durchstrahlung erhielt ich zuerst aus der photographischen Lehranstalt des Lettevereins, wo Fräulein von Falkenhain solche von dem 19jährigen Fräulein Erna Buller anfertigte. Beiden bin ich zu Dank verpflichtet. Die Bilder waren vorzüglich und zeigten das, worauf es ankam. Die Orientierung schien mir aber doch nicht so vollkommen zu sein, wie man bei einer so delikaten Untersuchung wünschen mußte. Die Orientierung für seitliche Durchstrahlung der Halswirbelsäule ist nur dann ganz tadellos, wenn der Zentralstrahl durch die beiden Gelenkspalten zweier zu denselben Wirbeln gehöriger Gelenkfortsatzpaare so hindurchgeht, daß die beiden Spalten als ein Spalt erscheinen. Diese Vollkommenheit wurde erreicht bei Aufnahmen, welche für mich im Krankenhaus am Friedrichshain durch Fräulein Anna Lindenström angefertigt wurden und für welche Fräulein Else Petri den Hals hergab (Abb. 2 u. 3).

Ziele der Untersuchung.

Bei meiner Untersuchung lagen zwei Aufgaben vor:

1. festzustellen, wie groß innerhalb eines gegebenen Gesamtbetrages an Beugung und Biegung in Kopfgelenken und Halswirbelsäule die Einzelbeträge seien;
2. einiges über die Mechanik der sagittalen Flexion an dem genannten Skeletabschnitt zu erfahren, soweit dies an den Knochen allein möglich war.

Dagegen war es nicht meine Absicht, die Extreme der Exkursionsmöglichkeit in den genannten Knochenverbindungen zu finden. Diese Ablehnung muß ich begründen.

In älteren Darstellungen der Gelenkmechanik finden sich bei den einzelnen Gelenken Angaben, wie weit nach der einen und nach der anderen Seite die Beugung, Streckung, Drehung oder sonstige Bewegung getrieben werden könne. Solche Feststellungen wurden gewonnen, indem man die Skeletabschnitte von Fleisch befreite und dann die Bewegungsmöglichkeiten ausprobierte; sie haben aber doch, wenn man als Ziel der Untersuchung das Verständnis des Lebenden im Auge behält, nur einen bedingten Wert. Das will ich an zwei Beispielen klar machen, am Ellbogengelenk und am Kniegelenk.

a) Ellbogengelenk. Die Streckung des Vorderarms gegen den Oberarm gelingt am Lebenden ebensoweit wie am entfleischten Skeletpräparat. Nicht so die Beugung. Ich besitze das Photogramm eines Mannes, der sich als „Kraftturner Bohlig“ vorstellte, der den Vorderarm gegen den Oberarm nur bis zum rechten Winkel beugen konnte, weil dann die mächtigen Muskelmassen an der Beugeseite von Ober- und Vorderarm aneinander stießen und weitere Beugung hinderten.

b) Kniegelenk. Hier liegt es ganz ebenso: Die Streckung des Unterschenkels gegen den Oberschenkel gelingt am Lebenden ganz ebenso wie an dem entfleischten Skeletpräparat. Nicht so die Beugung. Ich denke an einen bestimmten Fall, an einen kräftigen Turner, der bei dem Versuche, in Kniebeuge zu gehen, nur bis zu 90° kam, weil dann die Muskeln der Wade und die an der Rückseite des Oberschenkels sich aufeinanderpreßten.

Diese beiden Fälle aus dem Leben zeigen in besonders schlagender Weise, daß die Feststellung von Extremen der Bewegungsmöglichkeiten an entfleischten Skeletpräparaten nur einen bedingten Wert hat.

Das soll aber nicht heißen, daß sie wertlos sei. Gerade die beiden vorher angeführten Anfragen aus der Praxis zeigen, daß für diese, indem es sich bei ihr um Fälle von gewaltsamer Beugung und Biegung handelt, gerade die Kenntnis der extremen Bewegungsmöglichkeiten besonders wichtig werden kann. Aber es treten dabei Komplikationen auf, welche den einfachen Gang der Bewegung in dem Gelenk abändern und sein Verständnis trüben. Zu den komplizierenden Umständen bei gewaltsamen Biegungen ist zu zählen die Zusammenpressung des Knorpels auf der Seite, nach welcher gebogen wird, und anscheinend auch ein leichtes Aufklappen auf der Seite, von welcher weggebogen wird.

Damit sind die Gründe angedeutet, um derentwillen ich bei den zu besprechenden Versuchen lieber zu wenig als zu viel gebeugt und gebogen habe. Daß letzteres nicht geschehen ist, mag man daraus erschen, daß bei L II der Gesamtausschlag von c 5 bis Sch. (Schädel) nur 75° betrug gegen 96° bei der Lebenden (X-Bild).

Ich gehe nunmehr zur Beschreibung der angewendeten Methoden über.

In dieser Arbeit reichen sich anatomisches Präparat und X-Bild die Hand. Jedes der beiden Verfahren hat seine Vorzüge, welche dem anderen abgehen, und jedes derselben hat Mängel, von welchen das andere frei ist. So fördern sie sich gegenseitig wie der Lahme und der Blinde in der Fabel. Das Knochenpräparat besitzt vollkommene Schärfe und Klarheit und kann von allen Seiten betrachtet werden; aber es gibt nicht in jeder Hinsicht die Verhältnisse des Lebens wieder oder ist wenigstens dem Verdachte ausgesetzt, dies nicht zu tun. Das X-Bild ist vom Lebenden entnommen; aber es ist nur ein Schattenbild,

dessen Einzelheiten unbestimmt, schwer deutbar und durch die bekannten perspektivischen Verzeichnungen verschoben und entstellt sind.

Sowohl um dem Leser die kritische Beurteilung meiner Ergebnisse zu ermöglichen, als auch, um demjenigen, der gleiche Untersuchungen machen will, die Methode an die Hand zu geben, muß ich darstellen, sowohl wie mit dem Leichenmaterial als wie mit den X-Bildern verfahren wurde.

Untersuchung am Skeletmaterial. Methode.

Da hier viele Einzelheiten zu nennen sind, so teile ich zu besserer Übersicht die Besprechung der Methode in Abschnitte.

1. Zurichtung des Präparates.
2. Gewinnung der drei Formen.
3. Anbringung von Meßmarken, Photos vor Durchsägen der Knochen.
4. Mediane Durchsägung der Knochen, Winkelmeßlinien, zwei weitere Marken, Photos der Medianebene.
5. Bestimmung der Winkel.

1. Zurichtung.

Die Halswirbelsäule mit dem oberen Stück der Brustwirbelsäule und dem Schädel werden aus der Leiche entnommen (das Stück der Brustwirbelsäule ist nötig als Handhabe beim Biegen). Die Rippen werden entfernt. Vom Schädel wird alles bis auf die Umgebung des Hinterhauptsloches weggesägt, rechts und links durch sagittale Ebenen, welche den Spitzen der Querfortsätze des Atlas entsprechen. Diese Verkleinerung des Schädels ist notwendig, um das Gewicht des Restes auf ein Minimum zu bringen, damit die Wirbelsäule nicht gehindert werde, ihre „Eigenform“ anzunehmen. Die Halswirbel und das Schädelstück werden auf der einen Seite sorgfältig sauber geschabt (um scharfe Form zu geben), jedoch dürfen die Bänder nicht verletzt werden. Ich habe aber von den Muskeln den Longus colli belassen, weil wegen seiner dichten Auflagerung auf die Knochen bei seiner Entfernung auch das vordere gemeinsame Längsband leiden müßte; ja, in gewissem Sinne tritt dieser Muskel für das genannte Band ein. Drei genau mediane Orientierungsstifte müssen angebracht werden, je einer in dem Epistropheus, Atlas und Schädel, um die Stellung der Knochen zu überwachen, da beim Biegen des Präparates der Atlas die größte Neigung zeigt, in Drehung umzuschlagen.

2. Gewinnung der drei Formen.

Nach den geschilderten Vorbereitungen wird das Präparat seitwärts auf eine glatte Unterlage gelegt, so daß es die Stellung annehmen kann, welche der Spannung der Bandapparate entspricht („Eigenform“). Dann wird Ton um die Knochen gelegt bis zur Medianebene herauf, jedoch ohne irgendwie einen Druck auf die Knochen auszuüben und das Präparat vorsichtig mit Gipsbrei bedeckt.

Ist der Gips starr, aber noch nicht hart geworden, so hebt man das Präparat mit dem Gips zusammen empor, ohne die Verbindung zwischen beiden zu lockern und dreht es auf die andere Seite, so daß die Knochen oben liegen. Dann führt man durch jeden Knochen bis in den Gips hinein zwei sperrende Bohrungen mittels des elektrisch betriebenen Bohrers.

Diese Bohrkanäle sollen später zur Einführung von gleich dicken Stiften dienen, um die Lage der ausmacerierten Knochen in der Form noch mehr zu sichern. Bei L II wurden sie wohl gemacht, wie man an den Photos (Abb. 7, 8, 9) sieht, und zwar damals noch mit dem Drillbohrer; ich vergaß aber nachher von ihnen Gebrauch zu machen.

Dann wird das Präparat aus der Form genommen und nacheinander einmal dorsalwärts, einmal ventralwärts gebogen. Beim Biegen faßt man das Schädelstück mit der einen und die Brustwirbel mit der anderen Hand und biegt möglichst gleichmäßig, wobei man immer auf die Stellung der vorher erwähnten drei Stifte im Schädelstück, Atlas und Epistropheus achten muß, damit der Atlas seiner Neigung, in Drehung umzuzuschnappen, nicht folgen könne. In der Stellung, in welche man das Präparat hineingebogen hat, wird dieses durch Ton, der bis zur Medianebene emporreicht, festgehalten und dann abgekipst.

So erhält man drei Abgüsse, je einen von der Eigenform, von der dorsalflektierten und von der ventralflektierten Haltung.

Nunmehr werden die Knochen durch Maceration gesäubert, entfettet, gebleicht. Das Trocknen darf nicht schnell geschehen, etwa auf der Heizung, weil sonst die Knochen etwas schrumpfen und dann wackelig in den Formen liegen.

3. Anbringung von Meßmarken. Herstellung von Photos vor Durchsägen der Knochen.

In den inzwischen vollkommen ausgetrockneten Formen werden die Lager für die Knochen geschellackt, damit nachher die Knochen eingeklebt und wieder ausgelöst werden können.

Ist die Maceration vollendet, so werden die Knochen in den Gipsabguß für Eigenform eingepaßt, in diesem mit Leim angeklebt und durch Stifte, die in die früher erwähnten Bohrkanäle eingeführt sind, gesichert. Der Leim wird möglichst spärlich verwendet.

Jetzt werden sieben Meßmarken angebracht. Das sind kurze, gerade Striche, die mittels einer feinen Zeichenfeder mit Tusche gezogen werden und die jedesmal an der Stelle, an der sie gemacht sind, rechtwinkelig zum Gelenkspalt stehen, so daß sie zur Hälfte auf dem einen und zur Hälfte auf dem anderen Knochen liegen. Die erste Marke am Condylus occipitalis und an der Atlaspfanne; die zweite an den seitlichen Gelenkflächen von Atlas und Epistropheus; die dritte bis siebente an je zwei Gelenkfortsätzen des zweiten bis siebenten Halswirbels.

Anmerkung: Die erste dieser Marken wurde bei meiner Untersuchung überhaupt versäumt; die sechs anderen sieht man wohl an den Abbildungen für Dorsalflexion und für Ventralflexion (Abb. 5 und 6), aber nicht an der für Eigenform (Abb. 4). Sie wurden zwar gemacht, während die Knochen in dieser Form lagen, aber erst, nachdem photographiert war.

Nun wird das erste Photogramm genommen (Abb. 4, 5, 6). Zu diesem Zweck muß die Form mit den in ihr angeklebten Knochen vor dem Apparat so genau aufgestellt sein, daß die Medianebene genau mit der Linsenebene parallel ist. Die Aufnahme muß peinlich genau in natürlicher Größe und mit Maßstab gemacht werden; der Maßstab muß in die Medianebene der Wirbelsäule gestellt werden.

Nachdem das Photogramm genommen ist, werden die Knochen durch Erweichen des Leims mit etwas warmem Wasser aus der Form wieder frei gemacht,



Abb. 4.

vorsichtig, denn man braucht die Form noch einmal! und werden die Leimspuren von den Knochen und von der Form entfernt.

Während die Knochen noch in der Form liegen, können schon Beobachtungen und Messungen an denselben gemacht und aufgeschrieben werden.

Nun werden die Knochen nacheinander in die beiden anderen Formen eingepaßt und wieder photographiert. Man kann, während sie in den Formen liegen, Beobachtungen und Messungen über Änderungen in der Gestalt der



Abb. 5.

Gelenkspalten und Verschiebung der Hälften der Meßmarken gegeneinander machen; doch sind diese Beobachtungen, falls die Photos in streng natürlicher Größe aufgenommen sind, auch nachträglich an diesen mit völliger Sicherheit auszuführen.

4. Mediane Durchsägung der Knochen usw.

Nachdem die Knochen aus der dritten Form wieder ausgelöst, diese und die Knochen selbst von Leimresten gesäubert sind, wobei man aber immer



Abb. 6.

darauf zu achten hat, daß man nicht mit Wasser an die Meßmarken kommt, schließt sich ein neuer Akt der Methode an. Alle Knochen, d. h. das Schädelstück, Atlas, Epistropheus und die fünf übrigen Halswirbel, werden genau in Medianebene mit der Laubsäge durchschnitten. Darauf werden an denjenigen Hälften der Knochen, welche in die Formen passen, alle Schnittflächen mit einem

Überzuge oder Anstrich einer Masse versehen, auf der sich schreiben läßt. Als solche ist ein Gemisch von Leim und Gips vortrefflich geeignet. Man muß

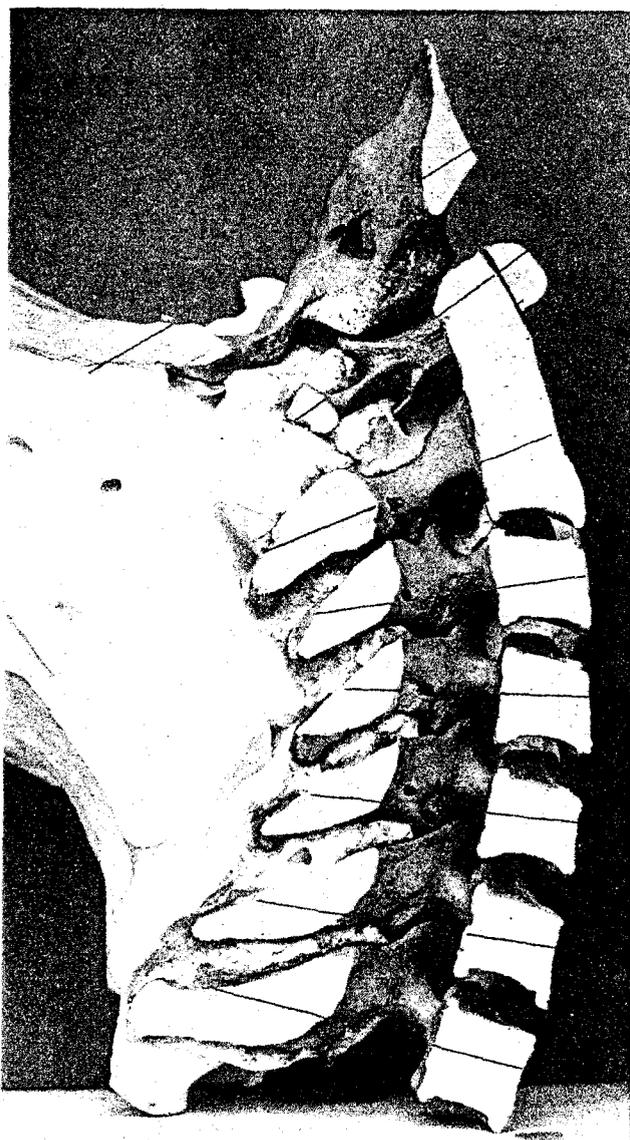


Abb. 7.

aber erst das Mischungsverhältnis an einem anderen beliebigen durchsägten Wirbel ausprobieren. Ist das Verhältnis richtig, so lassen sich nach dem Trocknen auf dem Überzuge die feinsten Linien ziehen, genau so gut wie auf dem besten

Zeichenpapier. Je feiner und klarer die Linien sind, um so besser ist es für die Messungen (Abb. 7, 8, 9).

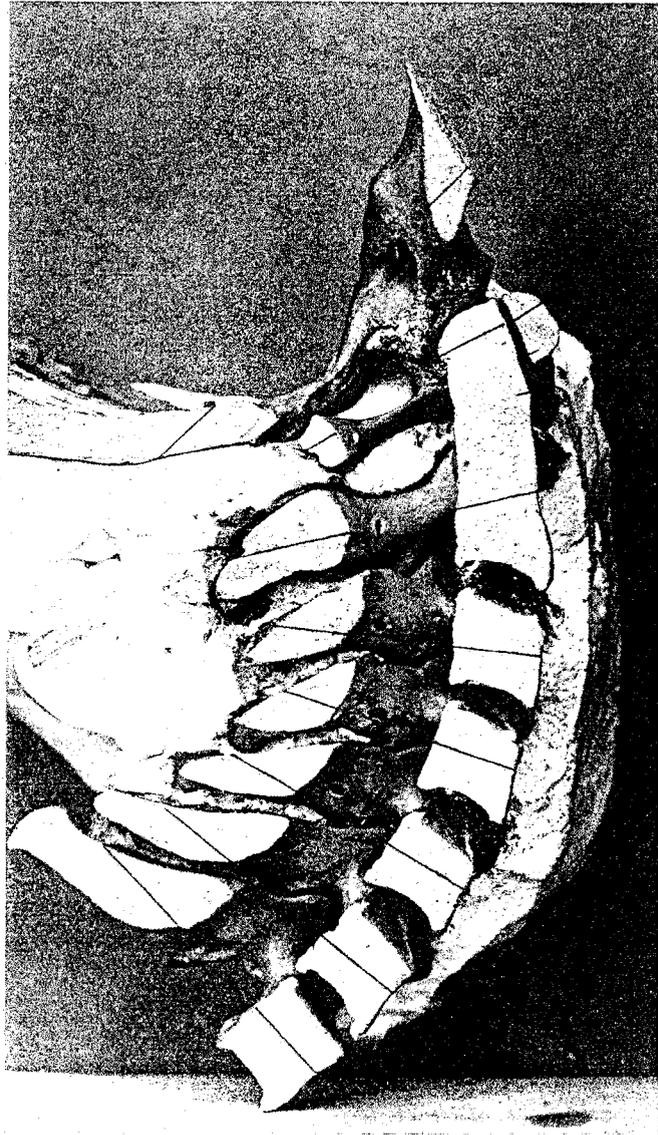


Abb. 8.

Nun werden die mit den Schreibüberzügen versehenen Knochenhälften von neuem in den Abguß für Eigenform gelegt und angeklebt. Nachdem der Leim trocken geworden ist, wird auf jedem Knochen am Lineal mittels der Reißfeder eine feine Linie gezogen, und zwar am Schädel über Basalteil und Schuppe,

am Atlas über beide Bogen, am Epistropheus und an den übrigen Halswirbeln über Körper und Bogen. Auf eine bestimmte Lage dieser Linien kommt es nicht an. Die Atlaslinie wird auch auf dem Zahn des Epistropheus angegeben.

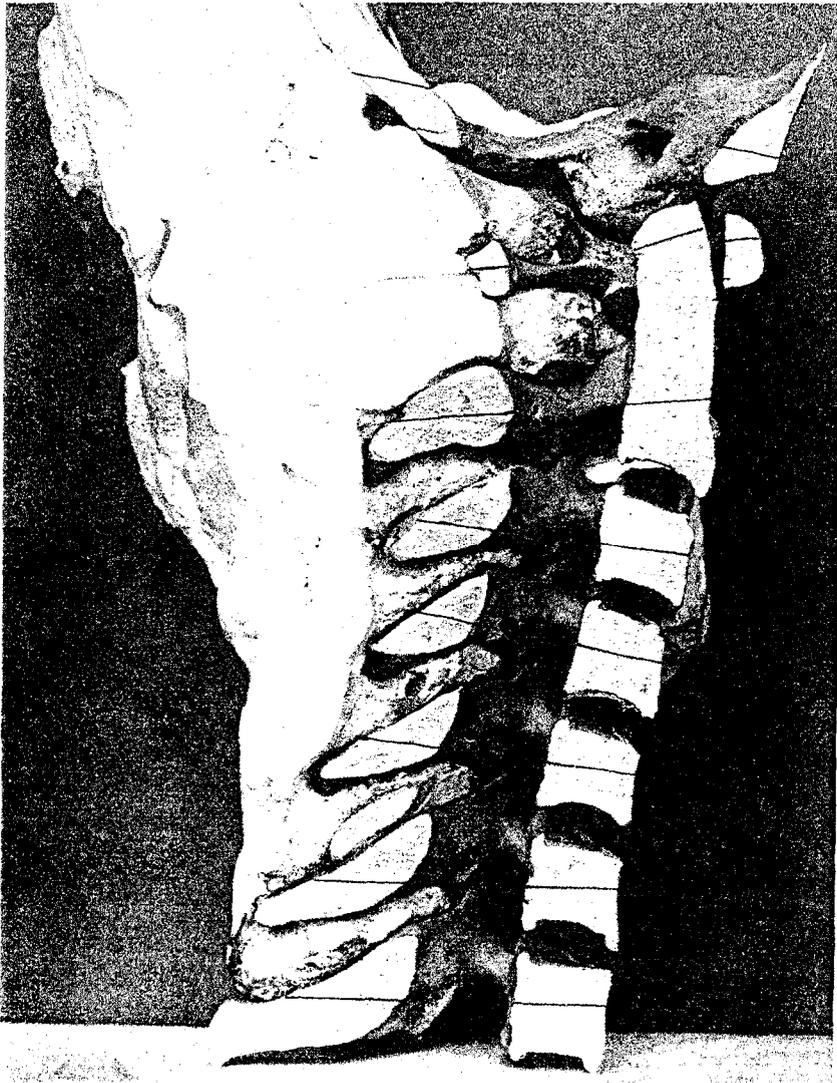


Abb. 9.

Außerdem wird der untere Rand der Gelenkfläche der Rückseite des vorderen Atlasbogens und der untere Rand der Gelenkfläche der Vorderseite des Zahnes durch je einen kurzen Strich kenntlich gemacht.

Das mit den Winkelmeßlinien versehene Präparat wird wieder bei streng frontaler Aufstellung in natürlicher Größe photographiert.

Dann werden die Knochen wieder aus der Form ausgelöst, wobei darauf zu achten ist, daß die Linien nicht mit Wasser in Berührung kommen. Dann werden die Knochen nacheinander in den beiden anderen Formen festgeklebt und beide Male photographiert.

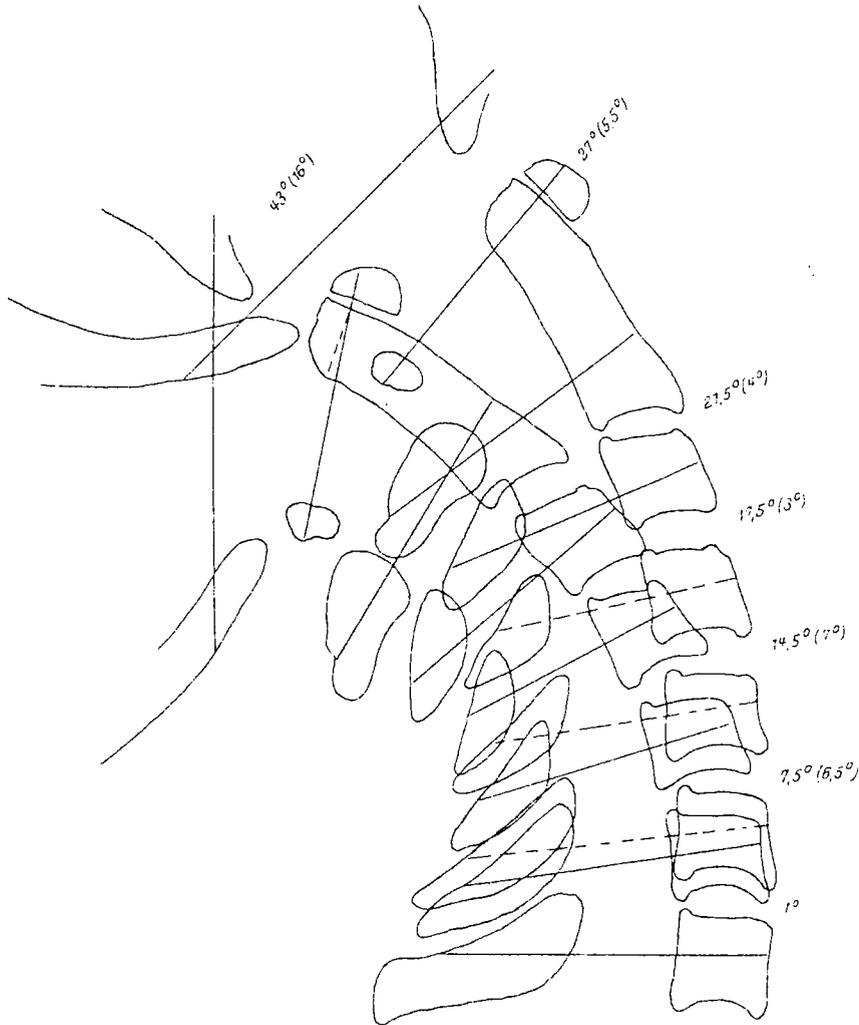


Abb. 10.

Wir haben nunmehr sechs Photos, alle in streng natürlicher Größe aufgenommen und daher aufeinander beziehbar. Das weitere Verfahren besteht in der Auswertung dieser Photogramme.

5. Winkelbestimmung.

Zur Bestimmung der Winkel, welche die Meßlinien miteinander bilden, müssen die Linien so weit verlängert werden, daß sie sich mit den Linien der

benachbarten Wirbel schneiden. Zu dem Zweck kann man in zwei etwas voneinander abweichenden Weisen verfahren: Entweder man macht Kopien auf stumpfem Papier und zieht auf diesem die Linien aus, bis sie sich schneiden,

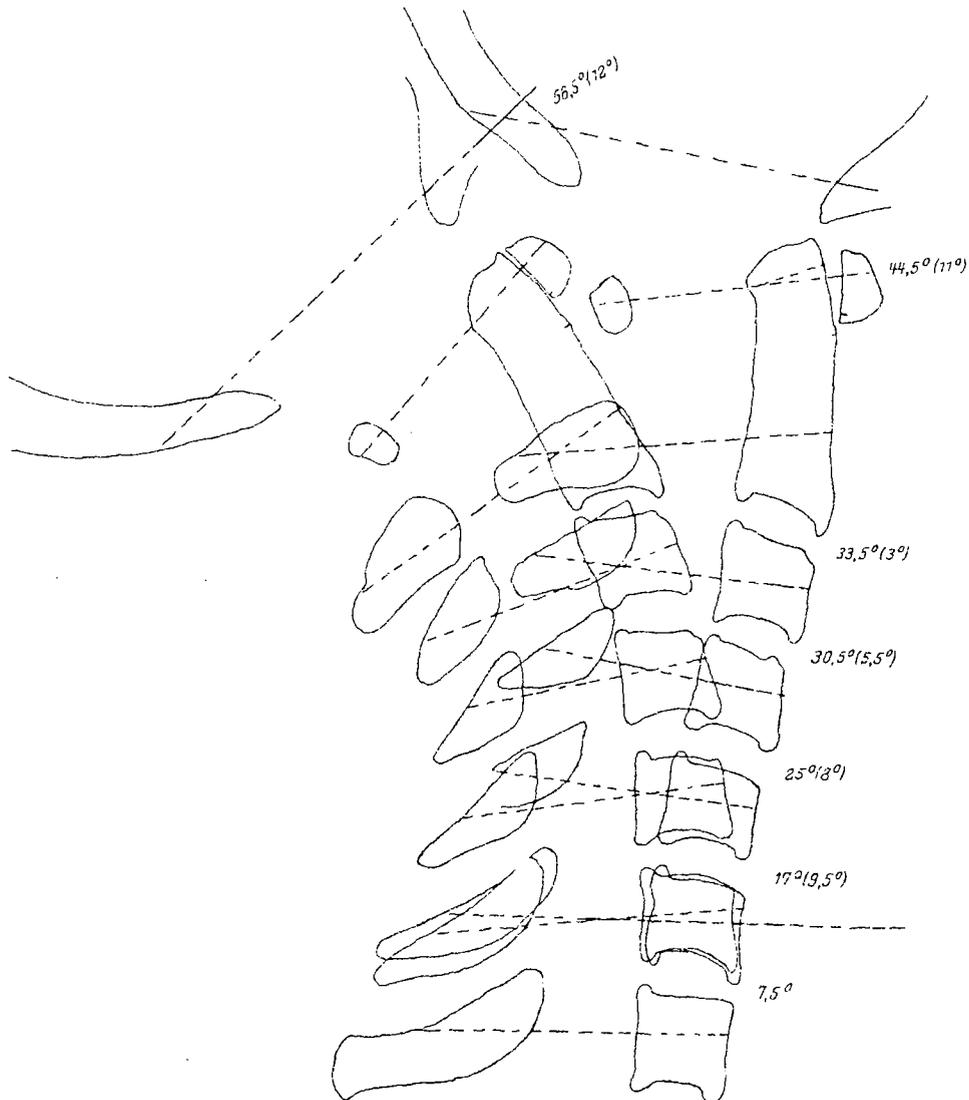


Abb. 11.

wie es bei L I geschehen ist, oder man überträgt mittels Pausen die Umrisse der Schnittflächen und die Maßmarken auf Zeichenpapier, was ich bei L II gemacht habe. Obwohl in diesem zweiten Falle ein Vorgang mehr eingeschaltet ist, so leidet die Zuverlässigkeit darunter gar nicht, denn wenn auch auf der Zeichnung die Umrisse nicht mathematisch genau wiedergegeben sein sollten,

so werden doch davon die Meßlinien nicht betroffen, denn von diesen brauchen ja nur zwei Punkte übertragen zu werden und das läßt sich absolut genau machen.

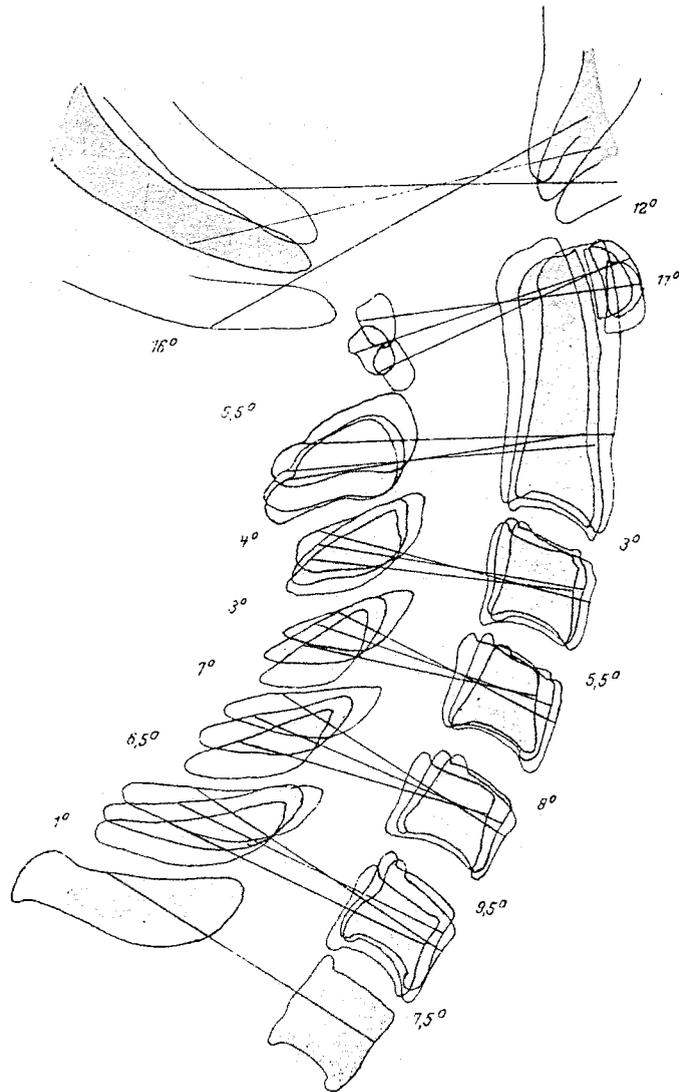


Abb. 12.

Das Pausverfahren bietet aber noch den weiteren eminenten Vorteil, daß man die Umrisse und Meßlinien aus zwei Stellungen oder auch aus allen drei Stellungen aufeinander legen kann, und daß man dadurch die Möglichkeit gewinnt, die Zahlen durch Anschauung zu ergänzen.

Veranschaulichung der Ergebnisse der Winkelbestimmung.

Ich habe für diese Veranschaulichung die beiden Verfahren gewählt, deren ich mich schon bei früherer Gelegenheit (Verhandl. d. anatom. Gesellsch. Leipzig 1911, S. 181 u. 185) bedient habe.



Abb. 13.

Abb. 14.

a) Die Umriss- und Meßlinien von der Eigenform werden aufgepaust und dann werden Umriss- und Meßlinie des siebenten Halswirbels von der Dorsalflexion daraufgelegt und von diesem Wirbel als Grundlage alle übrigen Stücke nach oben hin aufgetragen (Abb. 10). Dasselbe für Ventralflexion (Abb. 11). Es hätte auch noch eine weitere Abbildung gegeben werden können, in welcher Dorsalflexion und Ventralflexion aufeinandergelegt sind.

b) Man beginnt wieder damit, Umriss- und Meßlinien von der Eigenform aufzuzeichnen. Dann werden nacheinander die Pausen von Dorsalflexion und

Ventralflexion so darauf gelegt, daß Umriß und Meßlinie von c 7 sich decken, aber nur c 6 übertragen. Dann werden weiter Umriß und Meßlinie von c 6 zur Deckung gebracht und c 5 übertragen usw., bis oben hin. Die so gewonnene Abbildung (Abb. 12) ist von großer Anschaulichkeit. Wenn man sich in dieselbe hineinsieht, so erblickt man gewissermaßen die Bewegung, welche von der einen

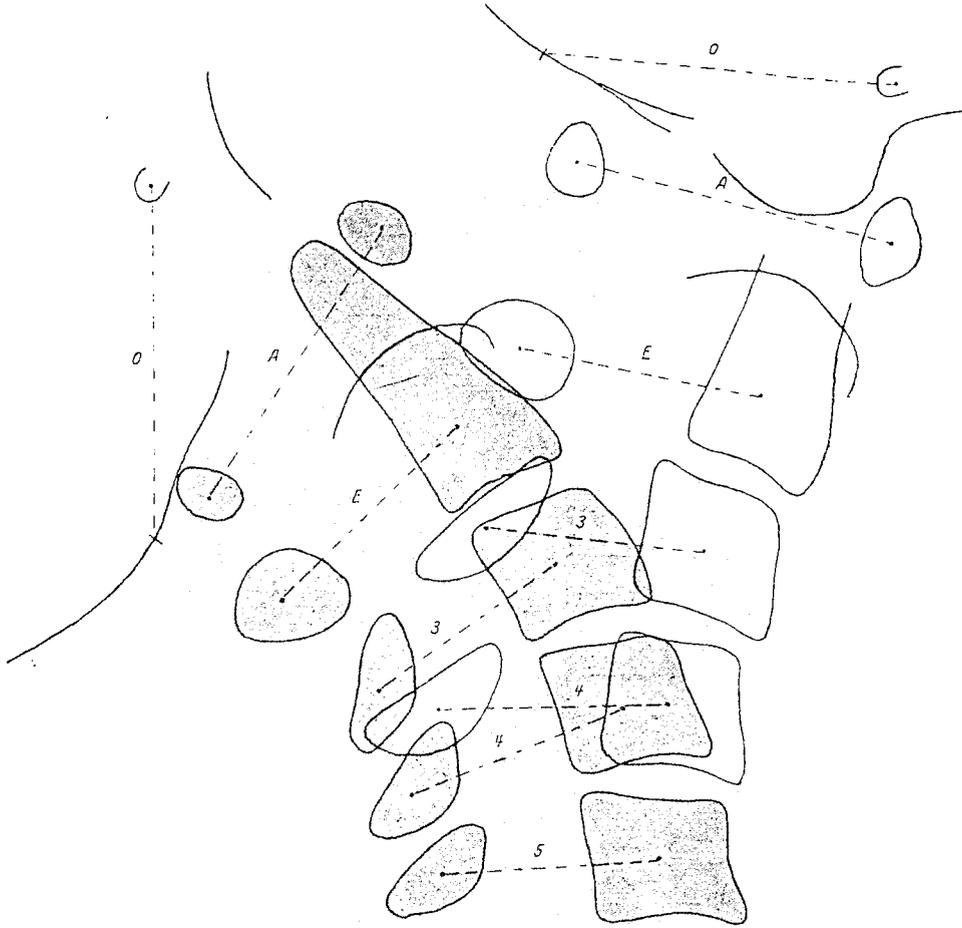


Abb. 15.

Stellung zur anderen führt; namentlich ist dieselbe an den Dornfortsätzen in die Augen fallend.

X-Bilder.

Bei den X-Bildern ist die Aufgabe einfacher, aber doch nicht so einfach, wie diejenigen sie zu nehmen pflegen, die in gewöhnlicher Weise X-Bilder benutzen.

Zunächst kam es darauf an, Zeichnungen zu gewinnen, mit denen sich operieren ließ. Dies wurde in folgender Weise erreicht. Von den beiden Negativen wurde mittels feinen französischen Pauspapieres je eine Pause genommen,

welche die Umrisse der Wirbelkörper und die Durchschnitte der Bogen mit den Dornfortsätzen enthält (Abb. 13 u. 14). Vom Epistropheus war die Spitze des Zahnes bei Ventralflexion (Abb. 14) nicht erkennbar, wohl aber der Körper, was für die Anbringung der Winkelmeßlinie genügte. Vom Atlas war der vordere

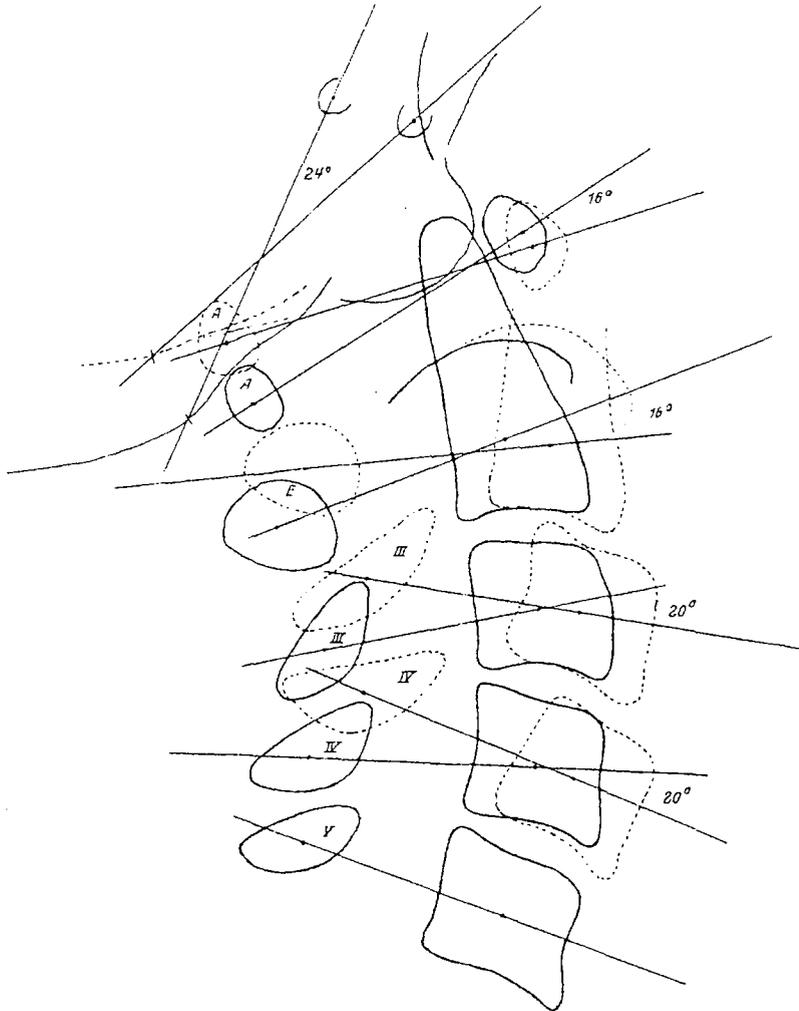


Abb. 16.

und der hintere Bogen erkennbar. Schlimmer stand es mit dem Schädel. Zwar trat der Rand der Squama occipitalis mit voller Schärfe hervor, aber an ihm kein fester Punkt. Der Condylus occipitalis war ganz undeutlich. Doch ließ sich der Canalis hypoglossi als ein heller Fleck erkennen. In dessen Mitte wurde der eine Punkt für die Schädelorientierungslinie angenommen; als zweiter ein Punkt am Rande der Squama, der auf beiden Aufnahmen gleich weit von dem Hypoglossuspunkt entfernt war.

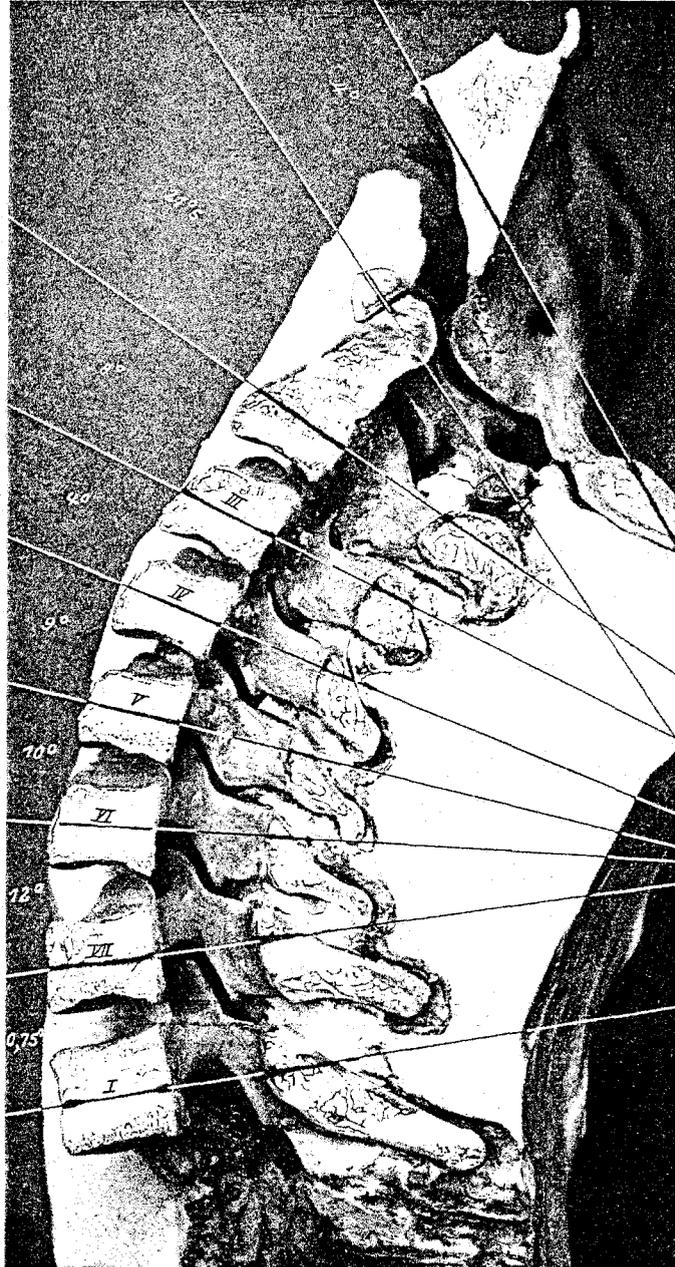


Abb. 17.

Durch Übertragung dieser Pausen auf Zeichenpapier wurden die beiden Bilder gewonnen, die den Abb. 13 und 14 zugrunde liegen.

Meßlinien. Um die Meßlinien anzubringen, mußten in jedem Wirbelbild zwei Punkte, je einer im Körper und einer im Bogen angegeben werden; im Atlas je einer im vorderen und im hinteren Bogen; im Schädel waren es die

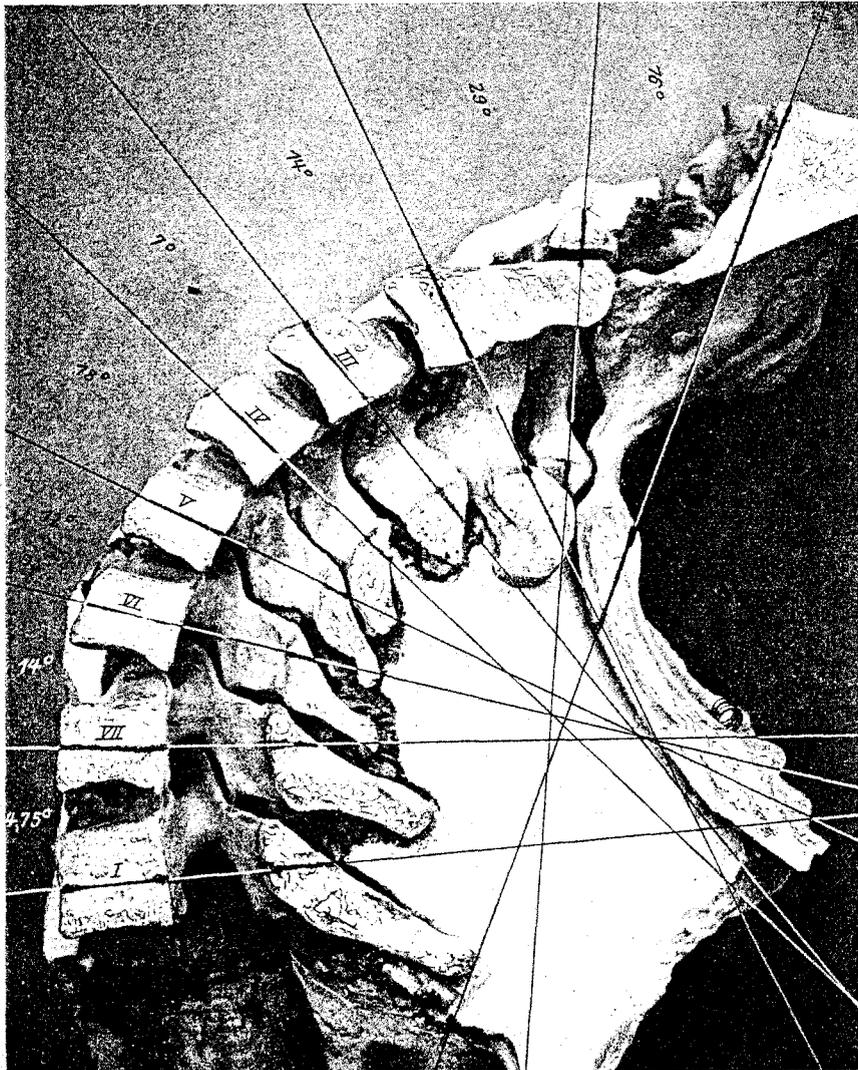


Abb. 18.

beiden Punkte, von denen eben gesprochen wurde. Die gleichen Punkte wurden von der einen Zeichnung auf die andere übertragen. Auf den Abb. 13 und 14 sind diese Punktpaare angegeben.

Durch diese Punktpaare waren die Meßlinien gegeben; durch Ausziehen der Linien bis zum Schneiden mit Nachbarlinien wurden die Winkel gefunden.

die sie miteinander bilden, durch Vergleich der Winkel von Dorsalflexion und Ventralflexion die Änderung der Winkelgrößen.

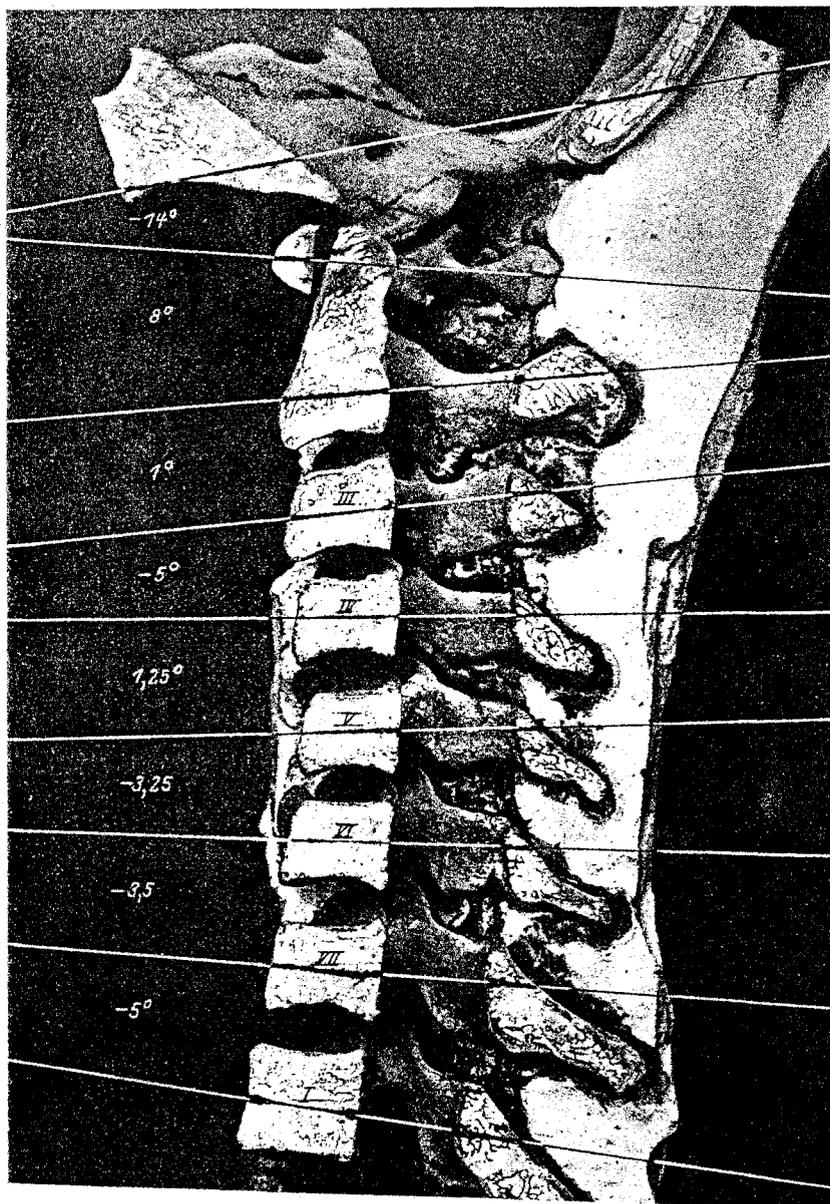


Abb. 19.

Veranschaulichung der Ergebnisse. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden dieselben beiden Verfahren verwendet, die oben schon

beschrieben worden sind (S. 17); dieselben brauchen daher hier nicht wieder beschrieben zu werden (Abb. 15 u. 16).

Das sind die Methoden, welche ich angewendet habe, um die sagittal-flexorischen Bewegungen der Hinterhauptsgelenke und der Halswirbelsäule zu untersuchen. Ich weiß sehr gut, daß nicht jeder, der etwas über diese Bewegungen wissen möchte, Zeit und Neigung hat, um eine so umständliche Untersuchung anzustellen; ich weiß auch, daß in vielen Fällen der Praxis ein angenähertes Ergebnis genügt. Aber einmal mußte die mühsame Arbeit streng durchgeführt werden. Es könnte ja auch sein, daß doch früher oder später jemand den Wunsch hat, genaue Untersuchungen an menschlichen oder tierischen Wirbelsäulen vorzunehmen. Einem solchen mag es dann nützlich sein, die Methode ausgearbeitet vorzufinden.

Ergebnisse.

Wir müssen jetzt feststellen, welche Ergebnisse sich in den drei von mir untersuchten Fällen, zwei Skeletpräparaten und einer Lebenden (X-Bild) gefunden haben. Diese Betrachtung müssen wir, entsprechend den zwei oben formulierten Fragestellungen, in zwei Abschnitte teilen.

Winkelbestimmung.

1. Fall: L I (Abb. 17, 18, 19). Die neben die Bilder geschriebenen Zahlen bedeuten die Winkel, welche die Meßlinien zweier benachbarter Wirbel miteinander bilden. Also z. B. auf dem Bilde der Eigenform (Abb. 17) bedeutet die oben stehende Zahl 4° , daß die Meßlinie des Schädelstückes und die des Atlases miteinander einen Winkel von 4° bilden; bei der dorsalflektierten Haltung (Abb. 18) ist dieser Winkel 16° . Daraus ist sofort zu ersehen, daß sich bei der Umwandlung von Eigenform in Dorsalflexion der Winkel um 12° geändert hat.

Da diese Winkel, welche je zwei Meßlinien miteinander bilden, neben den Abbildungen zu sehen sind, so brauchen sie im Text nicht noch besonders aufgeführt zu werden, sondern ich gebe gleich die aus ihnen hervorgehenden Differenzen in einer Tabelle, in welcher die erste Kolumne die Abweichungen beim Übergange von Eigenform in Dorsalflexion, die zweite die Abweichungen von Eigenform in Ventralflexion und die dritte die Summen aus beiden Abweichungen, also die Gesamtspielräume von dorsaler Flexion bis zu ventraler Flexion gibt.

	Eigenform Dorsalflexion	Eigenform Ventralflexion	Gesamt- biegung
Sch/A	12°	18°	30°
A/E	$7^{\circ 5}$	$13^{\circ 5}$	21°
E/c 3	6°	7°	13°
c 3/c 4	3°	9°	12°
c 4/c 5	9°	$7^{\circ 75}$	$16^{\circ 75}$
c 5/c 6	2°	$13^{\circ 25}$	$15^{\circ 25}$
c 6/c 7	2°	$15^{\circ 5}$	$17^{\circ 5}$
c 7/t 1	4°	$5^{\circ 75}$	$9^{\circ 75}$
Summen . . .	$45^{\circ 5}$	$89^{\circ 75}$	$135^{\circ 25}$

Wenn man diese Kolonnen hinunterblickt, so erhält man den Eindruck einer gewissen Unregelmäßigkeit. Es wäre ja auch bei einer Methode, bei der trotz größter Sorgfalt so viele kleine Fehlermöglichkeiten lauern, nicht zu verwundern, wenn diese oder jene leichte Störung eintritt. Es braucht z. B. bloß einmal ein Wirbel nicht absolut genau in sein Lager eingelegt zu sein, gleich ist der Fehler da. Aber es ist gar nicht gesagt, daß alle Unstimmigkeiten Schuld der Ausführung oder gar der Methode sind. Sie können auch im Gegenstande liegen. Betrachtet man die einzelnen Wirbel von ausmacerierten Säulen genau, so findet man an ihnen allerlei Unregelmäßigkeiten, wie das ja auch allgemein bekannt ist; die menschliche Wirbelsäule gehört nicht zu den bestgearbeiteten, sie kann sich in dieser Hinsicht nicht mit vielen tierischen Wirbelsäulen, insbesondere solchen von Reptilien und Vögeln, messen.

Immerhin hat mich damals, als ich diese Wirbelsäule untersucht hatte, die Unstimmigkeit der Zahlen beunruhigt und mich veranlaßt, die Arbeit zu wiederholen mit womöglich noch größerer Sorgfalt und mit Einschränkung des Spielraumes der Biegung, um jede Gewaltsamkeit zu vermeiden. Ich will aber sogleich im voraus bemerken, daß dadurch keine größere Regelmäßigkeit erzielt wurde.

2. Fall: L II (Abb. 10, 11, 12). Die auf den Abb. 10, 11, 12 beige-schriebenen Zahlen bedeuten nicht das gleiche wie die auf den Abb. 17, 18, 19. Sie bedeuten nicht Winkel, welche zwei benachbarte Meßlinien miteinander bilden, sondern sie bezeichnen die Stellungenänderung, welche die einzelnen Meßlinien erlitten haben beim Übergang von einer Haltung der Wirbelsäule zu einer anderen Haltung. Auf den Abb. 10 und 11 finden sich immer zwei Zahlen, eine eingeklammerte und eine nichteingeklammerte. Die eingeklammerten bedeuten die Stellungenänderung, welche zwischen zwei benachbarten Wirbeln stattgefunden hat, die nicht eingeklammerten bedeuten die Stellungenänderung, welche zwischen dem 7. Hw. und einem anderen Stück der Reihe eingetreten ist. Wenn also auf der Abb. 11 gegenüber dem Spalt zwischen c 3 und c 4 die Zahlen 5⁰⁵ und 30⁰⁵ stehen, so bedeutet das, daß beim Übergange von Eigenform zu Ventralflexion die Stellung des dritten Wirbels gegen den vierten sich um 5⁰⁵ und gegen den siebten Wirbel um 30⁰⁵ geändert hat. In Abb. 12 sind die Einzelbeträge für Ventralflexion vor die Wirbel und die für Dorsalflexion hinter die Wirbel geschrieben. Wir wollen nun wieder dieselbe kleine Tabelle wie im ersten Falle bilden (wobei aber die Kolonnen um eine Stelle kürzer sind, weil der erste Brustwirbel nicht mitberücksichtigt wurde).

	Eigenform Dorsalflexion	Eigenform Ventralflexion	Gesamt- biegung
Sch/A	16 ⁰	12 ⁰	28 ⁰
A/E	5 ⁰⁵	11 ⁰	16 ⁰⁵
E/c 3	4 ⁰	3 ⁰	7 ⁰
c 3/c 4	3 ⁰	5 ⁰⁵	8 ⁰⁵
c 4/c 5	7 ⁰	8 ⁰	15 ⁰
c 5/c 6	6 ⁰⁵	9 ⁰⁵	16 ⁰
c 6/c 7	1 ⁰	7 ⁰⁵	8 ⁰⁵
Summen	43 ⁰	56 ⁰⁵	99 ⁰⁵

3. Fall: X-Bild. Hier ist das Rechnen noch einfacher, da wir keine Eigenform sondern nur Dorsalflexion und Ventralflexion vor uns haben. Wir brauchen nur an einer Knochenverbindung nach der andern den Winkel abzulesen, den man bekommt, wenn Umriss und Meßlinien je zweier Wirbel in der früher beschriebenen Weise aufeinander gepaust sind, und die Differenzen der Winkel bei Dorsalflexion und bei Ventralflexion zu bestimmen. Auf Abb. 16 sind diese Winkel beige beschrieben.

Vergleich der drei Fälle. Wenn wir jetzt die drei Fälle vergleichen wollen, so können wir, da auf der X-Aufnahme bei Dorsalflexion nur noch der fünfte Halswirbel mitgekommen ist, nur das Stück vom Schädel bis zum fünften Halswirbel, also fünf Verbindungen, berücksichtigen. Stellen wir die Gesamtausschläge von diesen zusammen.

	LI	LII	X-Bild
Sch/A	30°	28°	24°
A/E	21°	16°5	16°
E/e3	13°	7°	16°
e3/e4	12°	8°5	20°
e4/e5	16°75	15°	20°
Summen	92°75	75°	96°

Man könnte daran denken, um die Einzelbeträge vergleichbar zu machen, in allen drei Fällen die Summen gleich 100° zu setzen und die Einzelbeträge darauf umzurechnen. Doch geht das nicht aus zwei Gründen:

1. Könnte es ja sein, daß bei dem Beugen und Biegen der ganzen Halswirbelsäule das eine oder andere Stück bereits am Ende seiner Flexionsmöglichkeit angelangt wäre, während bei anderen noch ein Rest aussteht: daß vor allem in der Schädel-Atlas-Verbindung und in der A/E-Verbindung das Maximum schon erreicht ist, während zwischen den übrigen Halswirbeln ein Rest von Biegemöglichkeit noch nicht erledigt ist, weil ja zwischen Schädel und Atlas sowie zwischen Atlas und Epistropheus Gelenke vorhanden sind, zwischen den übrigen Wirbeln dagegen Scheiben.

2. Handelt es sich im dritten Falle (X-Bild) um Bewegungen des Lebenden, die unter der Herrschaft von Muskeln ausgeführt werden.

Übrigens beträgt ja in unserem ersten Falle die Gesamtflexion 92°75, und das ist von den 96° des dritten Falles so wenig verschieden, daß wir die Einzelbeträge gut miteinander vergleichen können.

Es drängen sich nun, wenn wir Zahlen und Bilder zugleich zur Beurteilung heranziehen, drei Betrachtungen auf:

1. Die „Ventralflexion“ der Halswirbelsäule ist eigentlich den beiden anatomischen Präparaten nach gar keine Flexion sondern Streckung, und zwar ist das in den beiden untersuchten Fällen und auch in einem früheren Falle vom Jahre 1909 ganz gleich; nur eine Spur von Konkavität nach der ventralen Seite ist vorhanden. Auf dem X-Bilde (Abb. 3) ist die Konkavität allerdings recht beachtenswert.

Diese Unfähigkeit oder geringe Fähigkeit der Halswirbelsäule zu ventraler Biegung beansprucht deswegen unsere Aufmerksamkeit, weil sie eine allgemeine oder zum mindesten weit verbreitete Eigentümlichkeit der Säugetiere

ist. Ich fand sie zuerst beim Löwen (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde, Berlin, Jg. 1907, S. 46). Damals glaubte ich sie so erklären zu können, daß der Löwe ja mit einer schweren Beute davoneilen müsse und dafür diese Versteifung der Halswirbelsäule brauche. Dann fand ich sie wieder beim Bären (Arch. f. Anat. u. Physiol., Jg. 1913, Anat. Abt., S. 78). Hier ließ sich zur Not an die gleiche Erklärung denken. Über die Hundewirbelsäule war ich in der Lage, etwas reichere Erfahrungen zu machen, weil während des Krieges Herr Pfungst mich zu einer derartigen Untersuchung anregte. Es handelte sich nämlich darum, Sanitätshunde zur Aufsuchung von Verwundeten auszubilden und bei dieser Dressur spielte die Biegsamkeit der Halswirbelsäule eine Rolle. Meine bei dieser

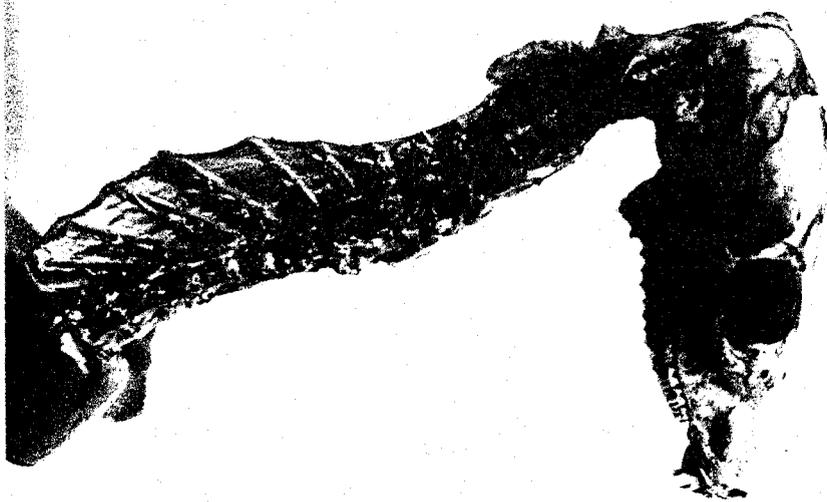


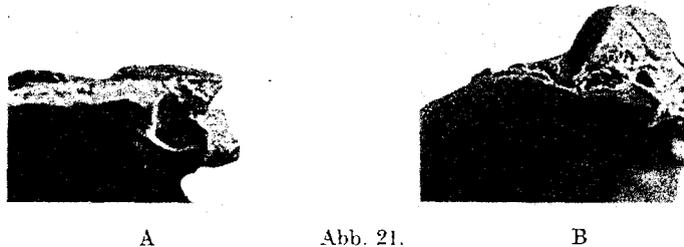
Abb. 20.

Gelegenheit gewonnene Erfahrung geht dahin, daß allerdings bei einigen Hunden ein leichter Grad von ventraler Biegung möglich ist, daß aber doch das Typische in dem Fehlen derselben zu sehen ist. Ich fand dann die Unmöglichkeit der ventralen Biegung der Halswirbelsäule wieder beim wilden Kaninchen (Arch. f. Anat. u. Physiol. Jg. 1915, Anat. Abt., S. 257), welches sicher von dem Verdacht, eine schwere Beute fortzuschleppen, freizusprechen ist. Noch vor wenigen Tagen stellte ich bei einem kleinen Säugetier von ungeheurer Gewandtheit und außerordentlicher Biegsamkeit der Wirbelsäule, einem *Heterohyrax brucei*, diese völlige Unbiegsamkeit der Halswirbelsäule nach der ventralen Seite fest (Abb. 20).

2. Nicht weniger auffallend ist der unerwartet geringe Ausschlag der Schädelflexion. Derselbe ist sogar in unserem Fall bei der Lebenden (24°) geringer wie am anatomischen Präparat (28° und 30°). Allerdings ist zu berücksichtigen, daß im Leben die Muskeln eine Rolle spielen; vielleicht würde bei diesem jungen Mädchen, wenn der Kopf passiv gewaltsam nach vorn und nach hinten gebogen worden wäre, der Ausschlag größer gewesen sein. In unserem

ersten Falle haben sich als Flexionsmöglichkeit zwischen Sch/A 30° ergeben, das ist nur ein Drittel eines rechten Winkels. Wenn wir beobachten, wie Lebende einerseits das Kinn auf die Brust drücken, andererseits den Kopf in den Nacken legen können, so würden wir einen weit größeren Ausschlag erwarten. Wir sind hier offenbar das Opfer einer Illusion, indem wir die Bewegung am langen Hebelarm wahrnehmen und überschätzen.

Übrigens mahnt die anatomische Erfahrung zu besonderer Vorsicht gerade bei diesem Gelenk, denn kein Gelenkkörper im menschlichen Skelet weist so enorme Verschiedenheiten auf wie der *Condylus occipitalis*. Es gibt Fälle, in denen er so gut wie eben ist (Abb. 21 A), andere in denen er eine ganz scharfe Biegung macht (Abb. 21 B) und einen scharfen Knick in der Mitte hat. Ein *Condylus* der letzteren Art erinnert an die Form, die man bei den meisten Säugetieren trifft. Ich habe schon einmal früher die Abbildungen dieser beiden



A

Abb. 21.

B

extremen Formen mitgeteilt (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde, Berlin Jg. 1910, S. 134). Es ist nicht zu bezweifeln, daß bei so außerordentlichen Differenzen auch die Bewegungsmöglichkeit verschieden sein muß.

3. Der dritte Punkt, der Beachtung verlangt, ist die sagittal-flexorische Bewegung im A/E-Gelenk. Früher galt und gilt bei der Mehrzahl der Praktiker und wohl auch der Anatomen noch heute dieses Gelenk als ein reines Drehgelenk, ja, es wurde geradezu als Paradigma eines solchen geführt. Auch ich folgte in den ersten Jahren meiner Lehrtätigkeit diesem Brauch, bis ich erkannte, daß dies nicht richtig ist, daß vielmehr in diesem Gelenk auch sagittale Flexion und seitliche Flexion möglich ist. Ich machte diese Beobachtung zuerst bei einigen Säugetieren (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde 1907, S. 50), dann auch beim Menschen, und zwar an Skeletpräparaten nach Form und trug darüber auf der Anatomerversammlung in Würzburg 1907 vor (Verhandl. S. 141).

Ich habe dann diese Angelegenheit weiter verfolgt, nicht nur beim Menschen, sondern auch bei mehreren Säugetieren. Ich gebe ein Verzeichnis derjenigen, über welche ich Aufzeichnungen besitze, indem ich in Klammern das Jahr beifüge, in welchem die betreffende Beobachtung gemacht bzw. veröffentlicht wurde.

<i>Macropus rufus</i> (1909)	31°
<i>Castor fiber</i> (1918)	40° — 45°
<i>Coelogenys paca</i> (1909)	recht bemerkenswert
<i>Hydrochoerus capybara</i> (1917)	52°

<i>Dasyprocta aguti</i> (1917)	13°
<i>Hystrix cristata</i> (1918)	45°
<i>Dolichotis patagonica</i> (1918)	19°
Wildes Kaninchen (1915)	30°, vielleicht mehr
<i>Subulo nemorivagus</i> (1907)	„sehr stark“
<i>Moschus moschiferus</i> (1908)	„sehr ausgiebig“
Rind (1910)	31°
<i>Tapirus americanus</i> (1918)	10°
Elefant (1910)	5°5
Pferd (1910)	35°
Hund (Neufundländer) (1910)	32°5
<i>Zibethailurus pardalis</i> (1911)	16°5
<i>Zalofus californianus</i> (1925)	vorhanden
<i>Theropithecus gelada</i> (1925)	21°.

Bei letzterem ist sogar der Ausschlag zwischen Atlas und Epistropheus größer wie der zwischen Schädel und Atlas, denn dieser beträgt nur 17°.

Bei allen ergab sich also ein gewisser, bei manchen ein erheblicher Betrag sagittaler Flexionsmöglichkeit, bei *Hydrochoerus* 52°. Unter solchen Umständen darf man nicht mehr von Zufälligkeit, etwa „schlechter Ausführung“ sprechen, sondern es muß sich um etwas „Gewolltes“ handeln.

Hier schließt sich nun unmittelbar die Frage an, ob beim Menschen zwischen der sagittal-flexorischen Bewegung im Sch/A-Gelenk und derjenigen im A/E-Gelenk ein konstantes Verhältnis bestehe. Für die Beantwortung dieser Frage kommen mehrere Umstände in Betracht: erstens ist der Zahn des Epistropheus durch die starken Ligg. alaria und das Ligg. apicis dentis mit dem Schädel verbunden. Die beiden Gelenke bilden infolgedessen eine mechanische Einheit und können bis zu einem gewissen Grade nur gleichzeitig spielen. Aber es fehlt doch meines Wissens jede Kenntnis darüber, ob bei den soeben erwähnten enormen Differenzen der Gestalt des Condylus occipitalis die A/E-Verbindung derartig umgebildet ist, daß das Verhältnis zwischen sagittaler Flexion in beiden Gelenken immer das gleiche bleiben kann. Auch muß man bei der Überlegung dieser Frage unterscheiden zwischen dem anatomischen Präparat und dem Lebenden. Beim letzteren wird die Bewegung ausgeübt durch Muskeln und mit Rücksicht auf letzteres ist nicht zu vergessen, daß es zwar einerseits solche Muskeln gibt, welche mit Überspringung des Atlas vom Epistropheus und den folgenden Wirbeln zum Schädel gehen (*Rectus cap. post. major* und vor allem *Transverso-occipitalis*), bei deren Aktion also der Schädel auf den Atlas drückt und diesen wie einen Meniscus mitnimmt; daß es andererseits aber Muskeln gibt, welche vom Atlas zum Schädel gehen (*Rectus cap. post. minor* und *obliquus capitis sup.*), und diesen Muskeln wird man die Fähigkeit, den Schädel selbständig zu bewegen, an sich nicht abstreiten können. Diese Äußerungen zeigen, wie schwierig das Problem ist.

Für uns liegt nur die Aufgabe vor, zu vergleichen, wie in unseren drei Fällen das Verhältnis der sagittal-flexorischen Bewegung in den beiden Gelenken ist. Da ergibt sich denn, daß in dem ersten Fall (Skeletpräparat) und dritten Fall (X-Bild) das Verhältnis gleich ist, nämlich wie 2 : 3.

Ich will aber noch die anderen Fälle zum Vergleich heranziehen, in welchen ich mit Hilfe des Formverfahrens die Flexionsmöglichkeit in den beiden Gelenken untersucht habe. Es sind ihrer sechs. Ich ordne sie nach der Größe des Sch/A-Ausschlages.

Ausschläge in den beiden Kopfgelenken.

	Sch/A	A/E	Nachweis	
1. Fall	19°5	8°5	1914	79 d. Samml. d. Berl. an. Inst.
2. Fall	20°5	7°5		
3. Fall	21°	18°	1914	79
4. Fall	22°	14°		
5. Fall	31°	19°5	1914	79
6. Fall	36°	11°	1914	79

Aus dieser kleinen Tabelle ergibt sich dreierlei:

1. Der Ausschlag zwischen D/FI und V/FI im Sch/A-Gelenk schwankt zwischen 19°5 und 36°.
2. Der Ausschlag im A/E-Gelenk schwankt zwischen 7°5 und 19°5.
3. Ein konstantes Verhältnis zwischen dem Ausschlag im Sch/A-Gelenk und A/E-Gelenk besteht nicht.

Mechanische Betrachtungen.

Ich komme jetzt zum zweiten Teil meiner Ergebnisse, zur Betrachtung der mechanischen Verhältnisse, soweit sich solche an den Knochen erkennen lassen.

Ich muß zwei Bemerkungen vorausschieken.

Erste Vorbemerkung: Beugen und Biegen. Beim Beugen wird die Stellung eines Skeletabschnittes gegen einen anderen, mit dem er gelenkig verbunden ist, verändert, wie wir uns jederzeit klar machen können, indem wir unseren Vorderarm gegen den Oberarm beugen. Biegen findet statt, indem auf einen nicht starren Stab rechtwinkelig zu seiner Längsrichtung ein Druck ausgeübt wird.

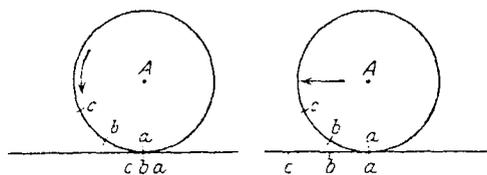


Abb. 22.

In der Sch/A-Verbindung und in der A/E-Verbindung, weil es Gelenke sind, wird gebeugt und in den Verbindungen der übrigen Halswirbel gebogen.

Zweite Vorbemerkung: Schleifen und Rollen. Seit der „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge“ von Eduard und Wilhelm Weber hat der Unterschied von Schleifen und Rollen in der Gelenklehre Heimatsberechtigung (Wilhelm Weber und Eduard Weber, „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge“, Göttingen 1836, S. 175). Wir können uns diesen Unterschied am einfachsten klar machen, wenn wir ausgehen von dem Schema eines konvexen Körpers und einer ebenen Fläche, auf welcher derselbe liegt (Abb. 22). Beim Schleifen bleibt die Achse auf ihrem Fleck und der konvexe Körper dreht sich um die Achse, beim Rollen wird die Achse verschoben; oder — anders ausgedrückt — beim Schleifen kommt immer ein neuer Punkt der konvexen Oberfläche mit dem

gleichen Punkt der Unterlage in Berührung, beim Rollen kommt immer ein neuer Punkt der konvexen Oberfläche mit einem neuen Punkt der Unterlage in Berührung, welcher ebensoweit von dem Ausgangspunkt entfernt ist wie der neue Punkt auf der konvexen Oberfläche. Sind konvexer Körper und Lager kongruent gekrümmt, so ist nur Schleifen möglich. Rollen ist möglich, wenn das Lager entweder eben oder gleichfalls konvex oder auch schwächer konkav wie der konvexe Körper konvex ist. Natürlich kommt auch Schleifen und Rollen gleichzeitig vor.

Wir können jetzt nachschauen, wieweit unsere Präparate zur Erläuterung der Mechanismen dienen, welche bei der sagittal-flexorischen Bewegung der Halswirbelsäule in Betracht kommen.

1. Sch/A-Gelenk.

Hier ist die Aufgabe einfach. Da Condylus und Pfanne gleich gekrümmt sind, so kommt Rollen nicht in Betracht sondern nur Schleifen, wobei es allerdings nach den Photos scheint, daß auf der Seite, nach welcher gebogen wird, der Knorpel zusammengedrückt wird. Wie groß die Verschiebung war, kann ich leider nicht angeben, da ich versäumt hatte, eine Meßmarke am Condylus und Pfannenrand anzubringen (s. S. 7, Anmerk.).

2. A/E-Verbindung.

Die in Berührung stehenden seitlichen Gelenkflächen von Atlas und Epistropheus sind in sagittaler Richtung — und auf diese allein kommt es ja bei unserer Untersuchung an — beide konvex. Es ruht also Konvexität auf Konvexität, so wie es an den lateralen Condylen des Kniegelenkes beim Menschen in Ausnahmefällen und bei Affen stets zu beobachten ist. Es ist klar, daß diese Einrichtung mit der Drehaufgabe in Verbindung steht, indem durch dieselbe die Berührung der Flächen verringert und dadurch die Reibung vermindert wird. Für uns aber, da wir uns hier nur mit der sagittalen Flexion beschäftigen, liegt die Frage so, welchen Einfluß die Doppelkonvexität auf diese hat. An sich würde ja, wie eben auseinandergesetzt wurde, sowohl Schleifen wie Rollen möglich sein. Was aber tatsächlich geschieht, das wird im wesentlichen durch den Zahn des Epistropheus bestimmt, durch seine Verbindung mit dem vorderen Bogen des Atlas und mit dem Rande des Hinterhauptsloches. Und da ist nun allerdings das, was die anatomischen Präparate zeigen, recht befremdlich. Es ist sogar das Verhalten beim Übergange von Eigenform in Dorsalflexion anders wie beim Übergange von Eigenform in Ventralflexion. Glücklicherweise verhalten sich aber in Beziehung auf den Zahn des Epistropheus meine beiden Fälle ganz gleich, so daß sie beanspruchen können, daß man sich klar mache, was es denn ist, was sie zeigen. Man muß dazu beständig die Abb. 17, 18, 19 vom ersten Fall und die Abb. 7, 8, 9 vom zweiten Fall vergleichen und auch noch die drei Seitenansichten des zweiten Falles Abb. 4, 5, 6 hinzunehmen.

Beim Übergange von Eigenform zu Dorsalflexion vergleitet der vordere Bogen des Atlases nicht gegen den Zahn; nur vergrößert sich der Abstand desselben etwas und der Spalt zwischen beiden Knochen wird leicht keilförmig, unten weiter wie oben. Beides wird offenbar durch den Druck des Condylus

auf den hinteren Teil der Atlaspfanne veranlaßt. In Seitenansicht (Abb. 5) haben auffallenderweise die beiden Hälften der Meßmarke ihre Lage nicht gegeneinander geändert.

Beim Übergange von Eigenform zu Ventralflexion ist die Änderung in der Lage des vorderen Bogens des Atlas zum Zahn beträchtlicher, und sie äußert sich sowohl als Gleitbewegung wie als Kippbewegung; der Betrag des Gleitens läßt sich an den Marken abmessen.

Betrachtet man in Seitenansicht das Verhalten der Meßmarke, so bemerkt man, daß das obere, auf dem Atlas befindliche Stück derselben rückwärts gegliitten ist. Es hat also Schleifen nicht Rollen stattgefunden.

Die im vorausgehenden vorgeführten Betrachtungen machen doch recht lebhaft den Eindruck, daß die Atlas-Epistropheus-Verbindung des Menschen nicht für sagittale Flexion gebaut ist. Immerhin darf doch nicht außer acht gelassen werden, daß diese Bewegungsmöglichkeit zwei Drittel derer des Sch/A-Gelenkes betragen, ja ihr fast gleichkommen kann und daß sie bei manchen Säugetieren die erwähnten hohen Grade erreicht.

3. Verbindungen der übrigen Halswirbel.

Ich muß hier drei Vorbemerkungen machen:

a) Über die Messung der Höhen (Dicken) der Zwischenwirbelscheiben. Die Messung der Dicken der Zwischenwirbelscheiben scheint höchst einfach, ist es aber, wie sich sogleich zeigen wird, durchaus nicht; ja, wir befinden uns hier in einer Schwierigkeit, die unlösbar zu sein scheint. Wenn man solche Messungen machen will, so pflegt man die beiden Spitzen eines Zirkels auf der Vorderseite der Wirbelsäule an die oberen und unteren Ränder der Scheiben anzusetzen und auf diese Weise die Maße abzunehmen. Gegen dieses Verfahren sind vier Bedenken zu äußern:

1. An der Vorderseite der Wirbelsäule läuft das vordere gemeinsame Längsband (Lig. longit. vertebrale commune ant.) hinab und verdeckt dadurch die Bandscheiben. Entfernt man aber dieses Band, so verändert sich dadurch etwas die Gestalt der Wirbelsäule; diese krümmt sich mit ihrem oberen und unteren Ende etwas rückwärts, wie ich in meinen Vorlesungen über Skelettlehre seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts an Pappschablonen zu zeigen pflegte. Doch ist der Einfluß auf die Höhe der einzelnen Zwischenwirbelscheiben natürlich so gering, daß wir dieses Moment außer acht lassen können.

2. Die Vorderseite der Zwischenwirbelscheiben geht ohne Grenze in die Knochenhaut über; daher ist eine Grenzlinie höchstens annähernd, aber nicht mit voller Präzision anzugeben. Indessen auch damit könnten wir uns, wo es auf letzteres nicht ankommt, abfinden. Viel mehr aber fällt ins Gewicht etwas Weiteres.

3. Die Endflächen der Wirbelkörper stoßen nämlich mit den Mantelflächen nicht in scharfen Kanten zusammen, sondern biegen mit gerundeten Rändern in sie um, so daß, wenn man die Dicke der Zwischenwirbelscheiben an der Oberfläche mißt, dieses Maß nicht unerheblich beträchtlicher ausfallen muß, als vielleicht 2 mm hinter dieser Stelle. Man muß sich einmal diese Angelegenheit klar machen, was, wie es scheint, noch niemand getan hat, um eine Scheinexaktheit

los zu werden, die keine wirkliche Exaktheit ist. Zu diesem Zwecke nehmen wir aus einer in Eigenform abgekippten Wirbelsäule zwei Wirbel heraus, sägen diese mit der Laubsäge median durch und legen von jedem die eine Hälfte in die Form. Wir haben dann da, wo an der unmacerierten Säule die Zwischenwirbelscheibe ist, eine Lücke, und die Maße der Lücke geben die Maße der Zwischenwirbelscheibe wieder (Abb. 23). Wir sind aber jetzt nicht darauf beschränkt, an der Vorderseite und an der Oberfläche messen zu müssen, sondern wir können an jeder Stelle messen, nicht nur vorn, sondern auch hinten, nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern und in der Mitte, nicht nur dort, wo die Bandscheibe am höchsten, sondern auch dort, wo sie am niedrigsten ist. Erst jetzt, erst auf der Grundlage der durch das Formverfahren erlangten Anschauung können wir uns mit der Frage beschäftigen, wo wir messen wollen bzw. messen dürfen, um erlaubte Zahlen als Ausdruck für die Dicke der Bandscheiben zu gewinnen.

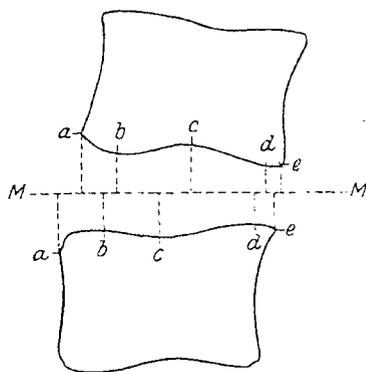


Abb. 23.

Da ergibt sich denn allerdings, daß die Antwort auf diese Frage sehr schwer zu finden, ja eigentlich gar nicht zu geben ist. Die Schwierigkeit liegt zunächst darin, daß die Endflächen der Wirbel nicht eben, sondern wellenförmig, hier konvex, dort konkav begrenzt sind. Mißt man zwischen zwei konvexen Stellen, so fällt das Maß klein aus, mißt man zwischen zwei konkaven Stellen, so fällt es groß aus. Aber damit sind die Schwierigkeiten noch nicht erschöpft, es kommt noch etwas ganz Schlimmes hinzu: die Scheitel der Konvexitäten liegen sich nicht genau gegenüber und ebensowenig tun es die Scheitel der Konkavitäten. Man müßte also schief messen, und zwar an den verschiedenen Stellen verschieden schief. Das geht nicht. Deshalb bin ich in folgender Weise verfahren: Ich habe eine Mittellinie MM gelegt und auf diese von den in Betracht kommenden Stellen Lote errichtet. In Betracht aber kommen:

- a) die vordere Oberfläche,
- b) die geringste vordere Höhe,
- c) die größte innere Höhe,
- d) die geringste hintere Höhe,
- e) die hintere Oberfläche.

Es wurden nun die Längen der oberen und die der unteren Lote gemessen und je zwei zusammengehörige Stücke addiert. Das ergab:

$$\begin{aligned} \text{für a} & 7 + 9 = 16 \text{ mm} \\ \text{für b} & 5,75 + 5,75 = 11,5 \text{ mm} \\ \text{für c} & 7 + 6,5 = 13,5 \text{ mm} \\ \text{für d} & 3,5 + 4,5 = 8 \text{ mm} \\ \text{für e} & 4 + 5,5 = 9,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die Maße schwanken also in unserem Falle zwischen 8 und 16!

Ich wollte diese Gelegenheit benutzen, um darauf aufmerksam zu machen, daß die Bestimmung der Höhen der Zwischenwirbelscheiben, die man sich so

einfach denkt, in Wahrheit ein schwer zu lösendes, jedenfalls bis jetzt noch nicht gelöstes Problem ist.

In unserem Falle brauchen wir uns glücklicherweise über diese schwierige Sache gar nicht den Kopf zu zerbrechen, denn es ist gar nicht nötig zu wissen, wie dick (hoch) die Zwischenwirbelscheiben sind, sondern nur, um wieviel dicker oder dünner sie werden, wenn man nach der einen oder nach der entgegengesetzten Seite biegt.

Dies können wir nun erreichen, wenn wir an unseren Figuren die Meßlinien (Winkelbestimmungslinien) benutzen, wenn wir die beiden Spitzen der Schubleere auf die Stelle setzen, an denen diese Linien die vorderen bzw. hinteren Oberflächen der Wirbelkörper schneiden.

Das setzt freilich voraus, daß die Form so genau genommen war, und daß die Wirbelhälften so genau eingepaßt waren, daß die Wirbel zu ihren Nachbarwirbeln so stehen wie vor der Maceration. Das ist natürlich nötig bei einer Untersuchung, bei der es sich um Bruchteile von Millimetern handelt. Es ist also jeder einzelnen Untersuchung dieser Art gegenüber das kritische Bedenken berechtigt, ob sie auch diese absolute Zuverlässigkeit besitze und man würde gern eine andere Methode an die Stelle setzen, die von solchen Bedenken frei ist. Man könnte z. B., wenn es nur auf die vorderen Höhen ankäme, folgendes Verfahren einschlagen: Man treibt in die Vorderseite eines jeden Wirbelkörpers einen dünnen Stift und mißt dann die Abstände der einzelnen Stifte bei den verschiedenen Stellungen der Wirbelsäule.

Aber es kommt nicht nur auf die vorderen, sondern ganz ebenso auf die hinteren Höhen an, und da gibt es eben doch gar kein anderes Verfahren als das von mir angewendete.

b) Veränderungen in den Bandscheiben beim Biegen der Wirbelsäule. In einigen Darstellungen wird es wie etwas Selbstverständliches ausgesprochen, daß bei Biegung der Wirbelsäule auf der Seite, nach welcher gebogen wird, die Zwischenwirbelscheiben zusammengedrückt und auf der gegenüberliegenden Seite um ebensoviel gedehnt werden. Das ist aber doch nicht zwingend, selbst abgesehen davon, daß durch die elastischen Zwischenbogenbänder und durch die Gelenkfortsätze das Ergebnis beeinflußt wird und auch abgesehen davon, daß, wie an einer halbierten Lendenwirbelsäule sehr deutlich zu sehen ist, die Zwischenwirbelscheiben vorn höher sind wie hinten. Der einzelne Wirbel wiegt sich auf dem Kern der unterliegenden Zwischenwirbelscheibe wie auf einem Wasserkissen. Der Kern wird zusammengehalten durch den Faserring. Der Faserring hat eine Textur, indem er aus ineinandergeschachtelten Lagen besteht, und indem in diesen Lagen die Faserrichtung wechselt (Henle, Handb. d. Knochenlehre, 3. Aufl., 1871, S.19); man kann also sein mechanisches Verhalten bei den Biegungen nicht deduzieren, sondern man muß es beobachten. Nur eines ist a priori wahrscheinlich, daß nämlich an der Seite, nach welcher gebogen wird, der Faserring hervorgepreßt, hervorgewölbt wird. Und das ist auch in der Tat der Fall. Ich pflegte bei den Präparierübungen an den Muskelleichen, wenn die vorderen Halsmuskeln sowie Luft- und Speiseröhre durchschnitten waren, durch Hebung des Kopfes die Halswirbelsäule nach der ventralen Seite zu biegen und die Präparanten aufzufordern, sich durch das Auge und den aufgelegten Finger eine Vorstellung davon zu verschaffen, was mit den Zwischen-

wirbelscheiben geschieht: Das Auge nimmt wahr, daß sie vortreten, und der Finger, daß sie dabei hart werden.

Damit erfahren wir etwas, aber doch nichts Genaueres, und dies müssen wir durch die Beobachtung festzustellen suchen, wovon nachher die Rede sein wird.

c) Bewegungsmöglichkeiten in Flachgelenken. Die Gelenkflächen an den Gelenkfortsätzen der Halswirbel des Menschen sind plan (eben). Die Gelenkfortsätze bilden also miteinander Flachgelenke. Über die Bewegungs-

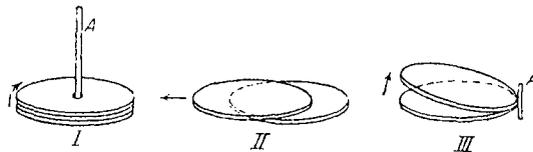


Abb. 24.

möglichkeiten der Flachgelenke (Ebenen-Gelenke) hat sich Rudolf Fick klar geäußert (Handbuch d. Anat. u. Mech. d. Gelenke, 2. Teil, S. 213). Ich unterscheidet ihrer drei: Drehen, Gleiten, Kippen (Abb. 24). Beim

Drehen ist die Achse rechtwinklig zur Fläche gerichtet; beim Gleiten verschiebt sich die eine Scheibe auf der andern; beim Kippen klaffen die beiden Scheiben auf der einen Seite etwas auseinander. Will man für letzteres eine „Achse“ annehmen, so würde sie an dem einen Rande in der Fläche der Scheiben liegen.

Für unseren Fall, für die Gelenkfortsätze der menschlichen Halswirbel, kommt Drehen nicht in Betracht, wohl aber, wie wir sehen werden, Gleiten und Kippen.

Nach diesen Vorbemerkungen gehen wir an die Beobachtungen, die sich an unseren drei Fällen machen ließen.

Beobachtungen an den Zwischenwirbelscheiben.

Ich gebe zuerst die Rohzahlen, d. h. die Abstände der Schnittpunkte je zweier Meßlinien mit den vorderen und hinteren Oberflächen der Wirbelkörper bei L I und L II.

1. Fall: L I.

	Bei Eigenform		Bei Dorsalflexion		Bei Ventralflexion	
	vorn	hinten	vorn	hinten	vorn	hinten
E/c 3 . .	16,6 mm	14,7 mm	18,3 mm	15,0 mm!	15,7 mm	15,4 mm
c 3/c 4 . .	14,7 ..	13,9 ..	14,7 ..	13,2 ..	13,2 ..	14,4 ..
c 4/c 5 . .	15,8 ..	13,8 ..	16,6 ..	12,6 ..	15,3 ..	15,0 ..
c 5/c 6 . .	16,3 ..	13,8 ..	15,8 .. !	13,1 ..	14,0 ..	14,5 ..
c 6/c 7 . .	19,2 ..	16,5 ..	19,2 ..	15,8 ..	16,8 ..	17,4 ..
c 7/t 1 . .	18,0 ..	17,9 ..	19,0 ..	17,8 ..	17,5 ..	18,7 ..
Summen	100,6 mm	90,6 mm	103,6 mm	87,5 mm	92,5 mm	95,4 mm

2. Fall: L II.

	Bei Eigenform		Bei Dorsalflexion		Bei Ventralflexion	
	vorn	hinten	vorn	hinten	vorn	hinten
E/c 3 . .	19,2 mm	16,6 mm	21,7 mm	17,1 mm!	20,5 mm!	18,5 mm
c 3/c 4 . .	15,8 ..	13,8 ..	15,4 .. !	12,7 ..	14,5 ..	13,7 ..
c 4/c 5 . .	16,5 ..	15,7 ..	17,0 ..	14,7 ..	14,9 ..	15,7 ..
c 5/c 6 . .	16,7 ..	16,2 ..	16,6 .. !	14,8 ..	15,1 ..	16,5 ..
c 6/c 7 . .	16,4 ..	15,2 ..	14,4 .. !	12,8 ..	15,4 ..	15,3 ..
Summen	84,6 mm	77,5 mm	85,1 mm	72,1 mm	80,4 mm	79,7 mm

Man sieht, daß hier kleine Fehler bei der Ausführung vorgekommen sein müssen, denn es ist an einigen Stellen Zunahme gefunden worden, wo Abnahme bestehen müßte und umgekehrt. Alle diese fehlerhaften Stellen sind durch Ausrufungszeichen kenntlich gemacht.

Wegen dieses nicht voll befriedigenden Ergebnisses habe ich es noch in anderer Art versucht, indem ich die Eigenform ausschaltete und gleich die Differenzen zwischen dorsalflektierter und ventralflektierter Haltung nahm.

Bei dieser Art der Berechnung ergab sich das Folgende.

1. Fall: L I.

	Bei Dorsalflexion Vorderseite	Bei Ventralflexion Rückseite
E/c 3	2,6 mm	0,4 mm
c 3/c 4	1,5 „	1,2 „
c 4/c 5	1,3 „	2,4 „
c 5/c 6	1,8 „	1,4 „
c 6/c 7	2,4 „	1,6 „
c 7/t 1	1,5 „	0,9 „
Summen	11,1 mm	7,9 mm

2. Fall: L II.

E/c 3	1,2 mm	1,4 mm
c 3/c 4	0,9 „	1,0 „
c 4/c 5	2,1 „	1,0 „
c 5/c 6	1,5 „	1,7 „
c 6/c 7	1,0 „	2,5 „
Summen	4,7 mm	7,6 mm

In den beiden vorstehenden Tabellen gibt die erste Kolumne an, um wieviel bei Dorsalflexion die Vorderseiten der Zwischenwirbelscheiben höher sind wie bei Ventralflexion, die zweite Kolumne gibt an, um wieviel bei Ventralflexion die Rückseiten der Zwischenwirbelscheiben höher sind wie bei Dorsalflexion. (Ein paradoxes Ergebnis ist allerdings doch auch so dabei, daß nämlich bei L II die Scheibe zwischen c 6/c 7 bei Dorsalflexion nicht nur an der hinteren Seite, sondern auch an der vorderen Seite niedriger gefunden wurde wie bei Ventralflexion. Dies muß aber nicht notwendig ein Fehler sein, oder wenigstens, man kann nicht wissen, von was für einer Art der Fehler ist; es kann sein, daß bei der Dorsalflexion diese Scheibe im ganzen so sehr zusammengedrückt wurde, daß sie sich auch an der Vorderseite erniedrigte.)

Auch insofern ist das Ergebnis nicht befriedigend, als zwar im ersten Fall die Zunahme an der Vorderseite bei Dorsalflexion erheblicher ist wie die Zunahme an der Rückseite bei Ventralflexion, im zweiten Falle dagegen das Umgekehrte stattfindet, d. h. die Zunahme an der Rückseite bei Ventralflexion beträchtlicher ist wie die Zunahme an der Vorderseite bei Dorsalflexion.

Darin aber besteht Übereinstimmung beider Fälle, daß nicht nur auf derjenigen Seite, nach welcher hin gebogen wird, Erniedrigung, sondern auch auf derjenigen, von welcher weg gebogen wird, Erhöhung stattfindet.

In unserem dritten Fall, der Lebenden (X-Bild), sind die Rohzahlen in der gleichen Weise gewonnen wie vorher, nämlich als Abstände der Schnittpunkte

der Winkelmeßlinien mit den vorderen und hinteren Oberflächen der Wirbelkörper.

Die Rohzahlen sind:

	Bei Dorsalflexion		Bei Ventralflexion	
	hinten	vorn	hinten	vorn
E/c 3	21,0 mm	23,6 mm	22,5 mm	20,8 mm
c 3/c 4	19,0 ..	23,2 ..	21,9 ..	20,0 ..
c 4/c 5	17,7 ..	23,4 ..	20,6 ..	19,6 ..

Aus diesen Rohzahlen berechnen sich die Unterschiede der Höhen (Dicken) der Zwischenwirbelscheiben bei dorsalflektierter und bei ventralflektierter Haltung an der vorderen und hinteren Seite in folgender Weise.

	Bei Dorsalflexion	Bei Ventralflexion
	Vorderseite	Rückseite
E/c 3	2,8 mm	1,5 mm
c 3/c 4	3,2 ..	2,9 ..
c 4/c 5	3,8 ..	2,9 ..

Diese Reihen machen einen regelmäßigeren, mehr vertrauenerweckenden Eindruck, wie die an den anatomischen Präparaten gewonnenen, und es ist schade, daß sie so kurz sind. Es ergibt sich aus ihnen folgendes:

1. Beim Übergange von der einen Stellung in die andere findet nicht nur Erniedrigung an der Seite statt, nach welcher gebogen wird, sondern auch Erhöhung an der Seite, von welcher weg gebogen wird.

2. Die Erhöhung vorn bei Dorsalflexion ist beträchtlicher wie die Erhöhung hinten bei Ventralflexion.

3. Die Beträge zwischen Epistropheus und c 3 sind geringer wie diejenigen zwischen den übrigen Halswirbeln, wie sich das ja auch an der geringeren Winkelgröße (S. 25) gezeigt hat. Geringere Beweglichkeit, ja sogar fast fehlende Beweglichkeit an der Verbindung E/c 3 habe ich bei Säugetieren mehrfach getroffen z. B. bei *Castor fiber* und *Hystrix cristata*.

Bei der Benutzung der auf X-Bildern gefundenen Beträge ist daran zu denken, daß eine leichte perspektivische Vergrößerung stattfindet.

Auf dem X-Bilde der ventralwärts flektierten Halswirbelsäule ist nun noch etwas wahrzunehmen, was für die mechanische Auffassung von großer Wichtigkeit ist: Faßt man nämlich die unteren vorderen Ecken der Wirbelkörper ins Auge, so bemerkt man, daß diese den oberen vorderen Ecken der nächstfolgenden Wirbelkörper gegenüber nach vorn verschoben sind. Es ist also in der Bewegung der Wirbelkörper gegeneinander auch noch ein scheres Moment enthalten. Auf den Photos der Wirbelsäulen nach Form (Abb. 9, 19) ist dieses Vortreten der oberen Wirbelkörper vor die nächstunteren zwar auch deutlich zu sehen, aber doch so schwach, daß man es vielleicht gar nicht beachten würde, wenn man nicht durch das X-Bild darauf geführt worden wäre. Die weiter oben erwähnte Konkavität der Halswirbelsäule der Lebenden (S. 25) dürfte auf diesem Vortreten der Wirbel beruhen. Man darf wohl annehmen, daß der *M. longus colli* beim Lebenden diese Wirkung ausübt, die beim Skeletpräparat fehlt.

Beobachtungen an den Gelenkfortsätzen.

Vorbemerkung: Eigentümlichkeiten der Gelenkfortsätze der menschlichen Halswirbel. Die Gelenkfortsätze der menschlichen Halswirbel unterscheiden sich durch zwei Merkmale von denen der übrigen Säugetiere:

a) Die Gelenkfortsätze sind nicht nach dem „Radiustypus“ (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde, Berlin, Jg. 1909, S. 282) gestellt, sondern sie bzw. ihre Gelenkflächen — worauf es ja allein ankommt — stehen so, daß die beiden sich entsprechenden Flächen, eine rechts und eine links, in eine Ebene fallen. Dies ist nur bei den Anthropoiden annähernd ebenso (Arch. f. Anat. u. Physiol. Jg. 1916, Physiol. Abt., S. 31), bei den Affen aber ist die Stellung so wie bei den vierfüßigen Tieren.

b) Die Gelenkflächen sind nicht längs, nicht den Längsachsen der Wirbel parallel gerichtet, sondern unter 45° zu diesen geneigt.

Derartig ausgeprägte, dem Menschen eigentümliche Merkmale müssen natürlich eine besondere auf den Menschen beschränkte Bedeutung haben; Grund genug, genau zuzuschauen, wie sich diese Fortsätze bei den Bewegungen der Halswirbelsäule verhalten.

Abb. 4 zeigt, daß schon bei Eigenform der Wirbelsäule die Spalten zwischen zwei zusammenstoßenden Gelenkflächen keilförmig gestaltet sind.

Bei Dorsalflexion (Abb. 5) steigert sich diese Keilform noch mehr, zugleich aber gleitet jeder untere Gelenkfortsatz auf dem oberen Gelenkfortsatz; auf den er sich stützt, rückwärts. Das ist auf Abb. 5 an den Meßmarken deutlich zu erkennen, indem deren obere Hälften gegenüber den unteren rückwärts verschoben sind.

Anschließend an diese Verschiebung sei erwähnt, daß am hinteren Rande der oberen Gelenkfläche von t 1 sich eine Schwelle findet, gegen welche sich der untere hintere Rand des unteren Gelenkfortsatzes von c 7 bei Dorsalflexion stützt; also Knochenhemmung. Diese Schwellung ist auch bei Tieren vorhanden.

Bei Ventralflexion (Abb. 6) verliert sich, wie zu erwarten war, die Keilform der Spalten; die beiden Gelenkflächen werden parallel. Diese Veränderung zeigt sich auch in sehr ausdrucksvoller Weise darin, daß die beiden Hälften der über zwei Gelenkfortsätze gezogenen Meßmarken nicht mehr in gegenseitiger Verlängerung oder parallel stehen, sondern gegeneinander geknickt sind. Dagegen vermißt man etwas anderes, was man a priori erwartet hätte zu finden, nämlich Vorwärtsgleiten der unteren Gelenkfortsätze auf den oberen, auf welchen sie aufruhend. (Nur zwischen c 6 und c 7 ist in unserem Falle ein solches Vergleiten bemerkbar.) Man kann sich des Verdachts nicht erwehren, daß die Bewegungen, welche an dem Skeletpräparat gemacht wurden und überhaupt an einem solchen gemacht werden können, nicht ganz genau denen gleichen, welche im Leben unter der Herrschaft der Muskeln ausgeführt werden. Dies bestätigt sich durch die Betrachtung der X-Bilder.

X-Bilder. Auf dem X-Bilde der Dorsalflexion (Abb. 2) bemerkt man die Keilform der Spalten zwischen den Gelenkflächen auch, aber lange nicht so stark wie am Skeletpräparat; zur Gegeneinanderpressung der hinteren Kanten kommt es nicht. Beim Übergange in Ventralflexion (Abb. 3) gleiten die unteren

Gelenkfortsätze in ganz ausgeprägter Weise auf den mit ihnen zusammenstoßenden oberen nach vorn. Es wird auch an diesem Verhalten der Gelenkfortsätze deutlich, daß doch im Leben unter der Herrschaft der biegenden Muskeln und der antagonistischen, die Biegung überwachenden Muskeln der Mechanismus anders ist wie am Skelet allein.

Aus den vorausgehenden Betrachtungen geht hervor, daß zwischen den Verbindungen der Körper durch die Zwischenwirbelscheiben und den Gelenkfortsätzen enge Beziehungen bestehen müssen; daß — anders ausgedrückt — die Körper nichts machen können, was die Gelenkfortsätze nicht gestatten, und die Gelenkfortsätze nichts, was die Körper nicht gestatten, oder — noch anders ausgedrückt — daß Zwischenwirbelscheiben und Gelenkfortsätze zusammen einen einheitlichen Apparat darstellen, daß sie sich in die gemeinsame Aufgabe teilen.

Was aber ist diese gemeinsame Aufgabe und wie verteilen sich die Rollen der beiden Partner an der Bewältigung derselben? Mit dieser Frage müssen wir uns zum Schluß noch beschäftigen. Zuvor aber soll eine Bemerkung über die „Eigenform“ der Wirbelsäule eingeschoben werden.

Eigenform der Wirbelsäule. Der Begriff der Eigenform der Wirbelsäule hat sich noch nicht eingebürgert. Ich habe ihn aber schon in einigen Arbeiten getroffen. Es ist daher an der Zeit, eine scharfe Begrenzung zu geben, damit nicht aus Unklarheit Irrtümer entstehen. Zwei mögliche Hindernisse sind im Wege. An dem einen bin ich selbst schuld; dieses muß ich daher zuerst beseitigen. Es besteht darin, daß ich von „Eigenform“ nicht nur bei der Wirbelsäule, sondern auch bei anderen Körperabschnitten gesprochen habe, wo der Ausdruck etwas ganz anderes bedeuten muß.

Als Beispiel für letzteres mag der Vorderarm mit Hand dienen. Eigenform bzw. Eigengestalt ist in diesem Falle diejenige Form bzw. Gestalt, welche von Muskeln bedeckte, von Haut überzogene Arm von sich aus besitzt, welche ihm also nicht durch den Untersucher gegeben ist. Natürlich kann diese Eigenform tausendfach verschieden sein, und auch die Gründe, warum wir unser Interesse diesem oder jenem Falle zuwenden, können verschieden sein. Trifft man unter den überhaupt vorkommenden Armen einen solchen an, den man aus irgendeinem bestimmten Grunde der Bearbeitung für wert hält, so kann man ihn durch Einspritzen von Formalin starr machen und weiter behandeln, bis seine Knochen genau in der gegenseitigen Lage zusammengesetzt sind, in der sie sich befanden, solange der Arm noch von Haut überzogen war. Warum man eine derartige Arbeit unternimmt, und was man an einem solchen Präparat lernen kann, wenn es fertig ist, das geht uns hier nichts an; es kommt ja nur darauf an, auszusprechen, daß diese Art Eigenform etwas gänzlich anderes ist, wie die Eigenform der Wirbelsäule.

Die letztere ist die Form, welche die Wirbelsäule annimmt, wenn sie sich selbst überlassen ist, wenn sie den in ihr steckenden Kräften allein folgen kann, wenn sie von allen sie beengenden Einflüssen, von Kopf, Rippen, Muskeln befreit ist. Nur ein fremder Einfluß läßt sich nicht beseitigen: die Schwere. Deswegen scheidet auch aus dieser Betrachtung aus:

1. alle Wirbelsäulen, bei welchen die Körper untereinander durch Gelenke und nicht durch Zwischenwirbelscheiben verbunden sind, also die der Reptilien und Vögel;

2. diejenigen Abschnitte von Wirbelsäulen (Schwänze), die leicht beweglich sind;

3. solche Wirbelsäulen, die im ganzen lang und sehr biegsam sind. Als solche habe ich schon bei anderer Gelegenheit die des Känguruh (*Macropus*) und vor allem die des Seelöwen (*Zalophus*) genannt; dagegen erwiesen sich die des Schimpansen und die des Gorilla unerwarteterweise als recht steif.

Die Eigenform der Wirbelsäule kann man nicht feststellen, nachdem die Leiche durch Einspritzen von Formalin bzw. Formalin + Alkohol im ganzen gehärtet ist, weil hier während der Härtung auf die Wirbelsäule eine ganze Menge ihr selbst fremder Einflüsse eingewirkt hat. Ich kann solche Wirbelsäulen vorweisen, aber sie haben nicht im strengen Sinne „Eigenform“.

Das zweite Hemmnis, welches der Anerkennung der Bedeutung der Eigenform der Wirbelsäule entgegensteht, ist die jetzt noch herrschende Lehre von der Körperhaltung und der Rolle, welche die Wirbelsäule dabei spielen soll. In dieser auf den Erztheoretiker Herm. v. Meyer zurückgehenden Lehre wurde auf der Grundlage einer Anzahl von Annahmen die Gestalt der Wirbelsäule bei der aufrechten Haltung abgeleitet (deduziert). Ich will hier darauf nicht eingehen.

Demgegenüber ist die Eigenform der Wirbelsäule etwas der Untersuchung Zugängliches, etwas was man in die Hand nehmen, an dem man biegen und drehen kann, kurz etwas Wirkliches. Die Eigenform muß in den Mittelpunkt der Untersuchungen über die Haltung der Wirbelsäule gestellt werden. Jede Haltung der Wirbelsäule ist die Eigenform, abgeändert durch die Gesamtheit der Einflüsse, welche auf die Wirbelsäule einwirken.

Natürlich ist die Eigenform nichts Unabänderliches, nichts in allen Fällen Gleiches. Es gibt unendlich viele verschiedene Eigenformen, und dem Untersucher, der sich damit beschäftigen will, steht ein weiter und mühsamer Weg bevor. Aber es geht ihm damit nicht schlimmer, wie es den pathologischen Anatomen und den Klinikern auch gegangen ist, die nur dadurch, daß sie unverdrossen immer neue Fälle untersucht haben, zu der verbreiterten und geläuterten Kenntnis gekommen sind, deren sie sich erfreuen.

Kehren wir nach diesen Bemerkungen zurück zu der oben formulierten Aufgabe, die Beziehung der Zwischenwirbelscheiben und der Gelenkfortsätze der Halswirbelsäule festzustellen.

Über Gestalt und Stellung der Gelenkfortsätze wurde oben schon das Nötige angegeben (S. 37). Über die Verbindung der Körper dagegen muß einiges erinnert werden. Es ist nichts Neues, nichts, was nicht jeder Anatom wüßte, aber wir müssen es doch vielleicht in andere Beleuchtung rücken.

Fünf Merkmale sind zu nennen:

1. An den Körpern der Halswirbel und demgemäß auch an den Zwischenwirbelscheiben übertreffen die Breiten (frontalen Durchmesser) bedeutend die sagittalen (dorso-ventralen) Durchmesser. Dadurch sind die sagittalen Biegungen erleichtert und gegenüber den seitlichen Biegungen begünstigt. Das fühlt man auch gleich, wenn man den Hals erst in sagittaler Richtung und dann seitwärts biegt. Bei vielen, insbesondere älteren Leuten, wird im letzteren Falle ein eigentümliches Knacken oder Knistern bemerkbar, was schon erkennen läßt, daß dies eine ungewohnte Bewegung ist.

2. Auf den oberen Endflächen der Wirbelkörper befinden sich seitliche, sagittal gestellte Leisten, an denen das Interesse sich steigert durch vergleichende Betrachtung. Solche Leisten finden sich bei allen Primaten; bei den Affen sind sie sogar verhältnismäßig höher wie beim Menschen (Arch. f. Anat. u. Physiol. Jg. 1916, Physiol. Abt., S. 21). Ich habe einen besonderen kleinen Apparat (Wirbel-Leisten-Messer, Spondylokraspedometer) für die Messung der Höhe dieser Leisten herstellen lassen (l. c. S. 18, Abb. 3). Ich fand solche Leisten auch beim Känguruh (*Macropus rufus*), (l. c. S. 19) und beim Biber (*Castor fiber*) (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde, Berlin, Jg. 1918, S. 163). Der Umstand, daß die gleiche Einrichtung in drei Familien zu finden ist, die gar keine verwandtschaftlichen Beziehungen haben, zeigt aufs deutlichste, daß es sich um etwas funktionell Bedingtes, Analoges handelt. Dies besteht offenbar in dem Schutze, welchen diese Leisten gegen seitliches Kippen bieten. Also wieder eine Bevorzugung der sagittalen Flexion gegenüber der seitlichen.

3. Die Zwischenwirbelscheiben der Halswirbelsäule sind hoch; sie sind nicht nur relativ, sondern absolut höher wie die im oberen Teil der Brustwirbelsäule. Dadurch in Verbindung mit dem geringen sagittalen Durchmesser, wird die Biegung noch weiter begünstigt.

4. Es ist daran zu denken, daß die Gallertkerne in den Zwischenwirbelscheiben der Halswirbelsäule verhältnismäßig groß sind. Es steht mir zwar darüber keine besondere Untersuchung zur Verfügung, aber es scheint mir so nach dem Anblick von Wirbelsäulen, die gefroren, median durchsägt und dann in starkem Alkohol aufbewahrt waren. Dies wäre ein weiteres die Biegsamkeit förderndes Merkmal.

5. Die unteren Flächen der Halswirbelkörper sind in sehr ausgeprägter Weise in sagittaler Richtung ausgehöhlt (konkav). Auch dies ist ein die sagittale Biegung förderndes Merkmal.

Wir finden also an den Körpern der Halswirbel bzw. an den sie trennenden Scheiben eine Reihe von Eigentümlichkeiten, welche alle zusammen die Beweglichkeit, insbesondere die Biegsamkeit in sagittaler Richtung, begünstigen oder — was dasselbe sagen will — die Stabilität vermindern.

Es muß übrigens im Interesse der Klarheit bei „Biegsamkeit“ unterschieden werden: Leichtigkeit der Biegung und Ausgiebigkeit der Biegung. Wenn soeben von einer Begünstigung der Biegsamkeit gesprochen wurde, so ist damit zunächst Leichtigkeit der Biegung gemeint, obwohl ja auch eine größere Ausgiebigkeit der Biegung in der Halswirbelsäule vorhanden ist (Verhandl. d. anat. Ges. a. d. 25. Vers. in Leipzig 1919, S. 184).

Vergegenwärtigen wir uns aber, was die menschliche Halswirbelsäule zu leisten hat.

Der menschliche Kopf ist ein recht gewichtiger Gegenstand, das weiß jeder, der einen abgetrennten Kopf auf den Händen gehabt hat; und dieser Kopf wird getragen und spielend hin und herbewegt von einem wenig stabilen Wirbelsäulenabschnitt. Es ist klar, daß dies, und zwar nicht nur die Bewegung, sondern auch die ruhige Haltung, erhebliche Tätigkeit von Muskeln beansprucht. Solche sind ja auch reichlich in der Nackengegend angehäuft. Zieht man in

Betracht, daß diese Arbeit den ganzen Tag über fort dauert, so kommt ein gewaltiger Gesamtbetrag dabei heraus.

Merkwürdigerweise haben wir von dieser Arbeit, die wir fort dauernd leisten, gar keine Empfindung. Nur in Augenblicken der Abspannung, vor allem aber der Mutlosigkeit „lassen wir den Kopf sinken“ oder „hängen“, und es ist sehr beachtenswert, daß es ein psychischer Umstand ist, welcher uns die Last einer Arbeit empfinden läßt, die wir bei gehobener Stimmung und sogar bei alltäglicher Stimmung gar nicht spüren.

Auch die akademische Lehre, wofern sie sich um diese Dinge überhaupt bekümmert, pflegt uns von dieser dauernden Arbeit gar nichts zu sagen. Sie gibt uns einen Stein statt Brotes; sie erzählt uns von einer „aufrechten Körperhaltung“, bei der durch geschickte Verteilung der Gewichte vor und hinter der Schwerlinie die Muskelarbeit so sehr als möglich vermindert, womöglich ganz ausgeschaltet wird.

Nur die Künstler, vorausgesetzt, daß es wirkliche Künstler sind, d. h. daß sie ein feineres Gefühl haben als andere Sterbliche, haben eine Empfindung dafür, daß der Kopf eine schwere Blume auf einem schwanken Stiel ist, und sie bringen es in ihrer Sprache, in der Sprache der Formen, zur Geltung. Daher die Schwanhälse Botticellischer Gestalten und die übernatürlich langen Hälse der böotischen Kleinplastik (Tanagra-Figuren). Was diesem Empfinden zugrunde liegt, wenn es auch nicht anatomisch klar begründet ist, das ist, daß bei der tragenden Tätigkeit des Halses Statik verhältnismäßig wenig, Muskelarbeit verhältnismäßig viel leistet. An jedem Abschnitt der Wirbelsäule ist das Verhältnis: statische Kräfte, Muskelkräfte, besonders geregelt. Am Halse ist die Muskelarbeit gegenüber den statischen Kräften verhältnismäßig groß. Das wird schlagend erläutert durch eine Tatsache, die ich mehrmals beobachtet und früher schon mitgeteilt habe.

Es kommt nämlich vor, daß bei selbst sehr schwerer skoliotischer Verkrümmung der Brust- und Lendenwirbelsäule die Halswirbelsäule völlig symmetrisch und unverbildet bleibt (Zeitschr. f. orthop. Chirurg., Bd. 29, S. 269). Dadurch, daß sie beständig unter strenger Herrschaft der Muskeln stand, ist es ihr möglich gewesen, sich der Belastungsdeformität zu entziehen und zur Ausbildung ihrer normalen Form zu gelangen. Sie ist nicht deswegen von der Verbildung verschont geblieben, weil sie statisch besonders günstig gestellt gewesen wäre, sondern umgekehrt deswegen, weil sie durch die Muskeln dagegen geschützt war, statisch stark in Anspruch genommen zu werden.

Im Verfolg der vorausgehenden Betrachtungen kommen wir zu der Vorstellung, daß eine Verminderung der statischen Festigkeit der Wirbelsäule am Halse nicht etwa nur aus dem negativen Grunde eintritt, weil die zu tragende Last nach oben hin immer geringer wird, sondern auch aus dem positiven Grunde, weil die Beweglichkeit der Halswirbelsäule im Dienste des Kopfes gesteigert werden soll.

Damit bin ich an die Beantwortung der Frage herangekommen, was die eigentümliche Gestalt und Stellung der Gelenkfortsätze der Halswirbel bedeuten kann.

Ich möchte hier eine Vermutung von neuem vorlegen, die ich schon einmal ausgesprochen habe (Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. Freunde, Berlin, Jg. 1909, S. 273 u. Verhandl. d. Anat. Ges. in Innsbruck 1914, S. 136).

Stellen wir uns eine Haltung vor, bei welcher Hals und Kopf nach vorn geneigt sind. Wir können das leicht tun, indem wir unsere Abb. 6 um 45° drehen. Dann stehen die Gelenkflächen, die bei der aufrechten Haltung um 45° zum Horizont geneigt sind, horizontal; jeder untere Gelenkfortsatz ruht auf dem oberen des nächsten Wirbels und indem die Wirbel von hinten her durch die Nackenmuskeln festgehalten werden, stützt sich einer auf den anderen.

Diese vornüber geneigte Haltung ist ja aber nichts, was wir uns besonders auszudenken brauchen; wir sehen sie beständig um uns. So sitzen unsere fleißigen Medizin-Studierenden stundenlang über ihr Präparat gebückt, ohne etwas von Anstrengung zu merken, so sitzt der Mikroskopiker unverdrossen hinter seinem Instrument, die Frau hinter Näh- und Stickarbeit, das Schulkind hinter seinen Büchern; dies ist aber auch die Halshaltung des Fischers beim Aufziehen der Netze, des Jägers beim Ausweiden und Zerlegen des Wildes, die Haltung des primitiven Bauern, der das Land mit der Hacke bearbeitet und des noch Primitiveren, der am Boden Wurzeln, Früchte und Tiere aufliest. Kurz, dies ist die Arbeitsstellung des Halses in allen Ländern und bei allen Völkern und ist es immer gewesen. Während die aufrechte Haltung der Wirbelsäule mit dem rechtwinklig zu ihr getragenen Kopf die Haltung ist, in welcher der Mensch um sich und in die Weite blickt, so ist die Haltung in welcher zwar der Lenden- und der untere Brustabschnitt senkrecht, Kopf und Hals und auch der obere Brustabschnitt dagegen vorgeneigt gehalten werden, diejenige Haltung, in welcher sich Auge und Hand zu gemeinsamer Arbeit verbünden; ihr Wirkungsbereich ist umschrieben durch die Reichweite der Hände.

Die vorhergehenden Betrachtungen haben zu der Vorstellung geführt, daß einerseits der Halswirbelkörpersäule etwas von der statischen Fähigkeit genommen ist, um die schnellen und leichten Bewegungen des Halses und Kopfes, die wir ja an lebenden, insbesondere jungen Menschen bewundern, zu begünstigen; daß dagegen andererseits den Gelenkfortsätzen eine gewisse statische, tragende Aufgabe zugeteilt ist, die bei der vornüber geneigten Haltung zur Geltung gelangt.