

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXV. Jahrgang 1895.

München.

Verlag der K. Akademie.

1896.

In Commission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Zur Anthropologie der Halswirbelsäule.

Beitrag zur Entwicklungsmechanik der menschlichen Körperform.

Von **Johannes Ranke.**

(Eingelaufen 5. Januar.)

Bei der Fortsetzung der Studien zur Entwicklungsmechanik der menschlichen Körperform wurde ich von der Untersuchung der anthropologischen Bauverhältnisse der Schädelbasis¹⁾ zu jenen der Halswirbelsäule geführt.

Hier fesselt zunächst die Bildung des Atlasgelenkes die Aufmerksamkeit. So ähnlich der Bau dieses Gelenkes bei dem Menschen und den menschenähnlichen Affen auch ist, so zeigt sich doch ein mechanisch wichtiger Unterschied in der Stellung der im Gelenk vereinigten Knochenflächen. Die beiden Gelenkhöcker des Hinterhauptbeins, die Condylen, welche sich mit dem Atlas in einem zweifachen Gelenke vereinigen, sind bei dem Menschen bei normaler aufrechter Kopfhaltung direkt nach unten gerichtet, während ihre Richtung bei den menschenähnlichen Affen, wie bei allen Wirbelthieren, mehr oder weniger nach hinten geht.

Bei dem Menschen steht daher der Hauptkrümmungsradius der Gelenkfläche der Condylen auf dem Scheitel ihrer

¹⁾ über welche Herr Professor Dr. von Kupffer in der Sitzung der k. b. Akademie d. W. vom 8. Juli 1893 berichtete unter Vorlage meines Buches: Ueber einige gesetzmässige Beziehungen zwischen Schädelgrund, Gehirn und Gesichtsschädel. 4^o. 132 S. Mit 30 Tafeln. München 1892. Fr. Bassermann.

Convexität senkrecht, sodass der nach vorn und der nach hinten gewendete Abschnitt des von der Gelenkfläche gebildeten Bogens gleich gross ist. Bei dem Gorilla bildet der Krümmungsradius der Gelenkfläche unter denselben Verhältnissen einen Winkel von ca. 45° mit der Horizontalen und $\frac{4}{5}$ des Bogens sind nach hinten gewendet. Dabei sind die Gelenkflächen der Condylen bei dem Gorilla viel stärker gekrümmt, bei dem Menschen entsprechend flacher. Bei beiden hat der von der Gelenkfläche gebildete Bogen eine Länge von circa 28—30 mm. Der Krümmungsradius¹⁾ beträgt aber bei dem Gorilla nur 10, bei dem Menschen dagegen 18 mm, also fast das Doppelte. Ganz entsprechend verhalten sich die Gelenkgruben des Atlas, sie sind bei dem Gorilla entsprechend tiefer und umgreifen die Condylen in weiterer Ausdehnung als bei dem Menschen, das Gelenk ist bei dem Gorilla daher fester und weniger frei.

Der eben beschriebenen Stellung der Gelenkflächen der Condylen entspricht die Stellung der für ihre Aufnahme im Schädelatlasgelenke bestimmten Gelenkgruben des Atlas. Der Vorder- und Hinterrand dieser Gelenkgruben ist bei dem Menschen bei horizontaler Stellung des Wirbels etwa gleich hoch. Bei dem Atlas des Gorilla erhebt sich der Hinterrand wie die Lehne eines Stuhles, während der Vorderrand niedrig ist. Durch diese Lehnenebildung wird für die nach hinten gewendeten Gelenkfortsätze des Schädels ein Widerlager geschaffen.

Auch die seitlichen Gelenke zwischen Atlas und zweitem Halswirbel sind bei dem Gorilla weniger frei als bei dem Menschen. Bei letzterem gleiten fast ebene Flächen an einander hin, während die betreffenden Gelenkflächen bei dem Gorilla ausgesprochen gewölbt sind mit einem Radius von etwa 65 mm.

¹⁾ Durch Abnahme der Krümmungen mittelst Blechdraht gemessen.

Der ganze Bau der Halswirbelsäule überhaupt ist bei den menschenähnlichen Affen weit mehr auf Festigkeit und Stabilität gerichtet als bei dem Menschen. Auf Festigkeit zielt schon die tiefe zapfenförmige oder gelenkkopfartige Einsenkung der einzelnen Körper der Halswirbel in einander bei dem Gorilla wie bei allen Affen. Bei der menschlichen Halswirbelsäule ist eine solche Einsenkung der einzelnen Wirbelkörper in einander viel geringer, worauf z. Th. die hohe Beweglichkeit des Menschenhalses im Ganzen beruht. Die untere convexe Randeurve des menschlichen 2. Halswirbels hat in der Mitte einen Krümmungsradius von circa 11 mm und flacht sich nach beiden Seiten zu noch weiter etwas ab; die Krümmungscurve bildet im Ganzen, einschliesslich jener seitlichen Abflachung, ziemlich genau einen Halbkreis¹⁾ mit dem Radius von 11 mm. Bei dem männlichen Gorilla misst der Krümmungsradius nur ca. 6 mm, die Krümmungscurve ist eine sehr gestreckte Ellipse²⁾; der Bogen beträgt mehr als einen Halbkreis, sodass der obere Wirbelkörper zapfenartig in den unteren eingesenkt ist.

Der gesteigerten Festigkeit der Halswirbelsäule entspricht auch das im Ganzen beträchtlichere Volumen der einzelnen Halswirbel bei den grossen menschenähnlichen Affen (Gorilla), während bei dem Menschen gerade die Halswirbel besonders wenig voluminös sind. Dieses höhere Volumen der Gorillahalswirbel spricht sich für die äussere Betrachtung vor Allem in den extrem lang- und starkentwickelten Dornfortsätzen aus, welche annähernd senkrecht auf die Längsachse des Halses gerichtet sind. Ganz entsprechend sind die Verhältnisse bei allen Anthropoiden. Während bei dem Menschen die Halswirbel und namentlich ihre Dornfortsätze (mit Ausnahme des 7.) besonders schwach, die Dornfortsätze gabelförmig ausgeschnitten sind, sind die Dornfortsätze der Halswirbel bei den grossen Anthro-

1) In Wahrheit eine Parabel.

2) Resp. Parabel.

poiden besonders stark. Der 4. Halswirbel des Menschen hat oft einen besonders schwachen gewöhnlich gabelig ausgeschnittenen nach abwärts gebogenen Dornfortsatz, der sich nur etwa 10 mm oder wenig mehr über die Hinterfläche des Wirbels in senkrechter Projection erhebt; bei dem Gorilla ragt er dagegen ca. 80—90 mm hoch über den Bogen hervor.

Der erste Halswirbel hat, soviel ich sehe, bei keinem menschenähnlichen Affen einen längeren Dornfortsatz; beim Gorillamännchen ist auch der zweite relativ kurz, da die Hinterfläche des Schädels bei vorwärts gewendetem Gesichte direkt auf dessen Spitze aufrucht, sodass er sich schon aus diesem Grunde nicht höher entwickeln kann. Bei allen, welche ich untersuchen konnte, ist der Dornfortsatz des 4. Halswirbels am grössten und endigt, wie das beim Gorilla alle Halsdornfortsätze zeigen, in eine Art von Knopf. Huxley¹⁾ hebt als eine menschenähnliche Bildung des Schimpanse (Troglodytes) den gabeligen Ausschnitt seines 2. Halswirbel-dornfortsatzes hervor, indem er sagt: „Aber dieser menschliche Charakter fehlt den übrigen Anthropoiden.“ Die Sache verhält sich doch etwas anders. Bei dem von mir untersuchten Schimpanse umgreift die gabelig ausgeschnittene Spitze des Dornfortsatzes des zweiten Halswirbels zangenartig die Spitze des dritten, sodass beide zusammen eine einheitliche breite und hohe Stützfläche für Band- und Muskelansatz bilden. Aehnlich zeigt sich eine Einrichtung bei dem zu den Halbaffen, Lemuren, gezählten grossköpfigen und namentlich extrem grossäugigen „plumpen oder faulen Lori“, *Stenops* (Ill.) oder *Nycticebus tardigradus* (Geoffr.). Bei diesem umgreift der ebenfalls gabelförmig oder besser gesagt zangenartig ausgeschnittene Dornfortsatz des zweiten Halswirbels sogar die Spitzen der Dornfortsätze des dritten und vierten Halswirbels, offenbar um die Festigkeit und Tragfähigkeit der Halswirbelsäule zu

¹⁾ Handbuch der Anatomie der Wirbelthiere. Uebersetzt von F. Ratzel. S. 399.

steigern. Auch bei niederen Säugethieren kommen ähnliche und mechanisch ähnlich wirkende Bildungen an der Halswirbelsäule vor. So bilden die Dornfortsätze des 2.—5. Halswirbels bei einigen geschickt kletternden mittel- und süd-amerikanischen Beutelratten (*Didelphis cancrivora* und *Azarae*) eine in gewissem Sinne gemeinschaftliche Bildung, indem die Halsdornfortsätze vom 2. Halswirbel an eine relative hohe und dicke, convexgewölbte, annähernd geschlossene, gegen Kopf und Brust zu abfallende Leiste bilden.

Diese besondere Festigkeit bedarf die Halswirbelsäule der grossen anthropoiden Affen zum Tragen und Halten ihres schweren Kopfes und zwar in ihrer der menschlichen aufrechten Körperhaltung angenäherten, wie man gewöhnlich sagt, halbbrechten Stellung.

Die moderne Zoologie erkennt als ein den Menschen von den menschenähnlichen, sowie den niederen Affen unterscheidendes systematisches Merkmal den aufrechten Gang¹⁾ an, aber es wäre ein Missverständniss, wenn man annehmen wollte, nur der Mensch sei zu dem „aufrechten Gang“ befähigt. Auch die anthropoiden Affen haben diese Fähigkeit in ausgesprochener Weise und benützen sie gelegentlich, am besten verstehen diese Kunst die, eine Mittelstellung zwischen höheren und niederen catarrhinen Affen (den Anthropoiden und Cynomorphen) einnehmenden Gibbonarten, die Langarmaffen. Gelegentlich aus Bedürfniss oder durch Dressur dazu gezwungen, sehen wir viele der Säugethiere den aufrechten Gang annehmen.²⁾

Die speciellen Skeleteinrichtungen, welche soeben von den grossen anthropoiden Affen geschildert worden sind, beziehen sich, wie die nähere Untersuchung ergibt, speciell auf das Bedürfniss, den grossen und schweren, an der Wirbelsäule

1) R. Hertwig, Lehrbuch der Zoologie. II. Aufl. S. 566 f.

2) Wie die auf den beiden Hinterfüssen, die Vorderfüsse in der Luft, zweibeinig einerschreitenden Elephanten Hagenbeck's u. a.

seitlich befestigten Kopf in der mehr oder weniger aufrechten Körperstellung zu halten.

Bei den wirklich vierfüßig gehenden Thieren sind die Halteeinrichtungen für den Schädel am Skelet anders als bei den menschenähnlichen Affen. Den betreffenden niederen Säugethieren fehlen die mächtig entwickelten Dornfortsätze der Halswirbel der Anthropoiden, ebenso wie dem Menschen. Dagegen ragen bei den eigentlichen „Vierfüßlern“ die Dornfortsätze der ersten Brustwirbel, welche bei dem Menschen wie bei den menschenähnlichen Affen dachziegelförmig nach abwärts geneigt sind, mächtig in die Höhe, um den starken elastischen und muskulösen Haltorganen des Kopfes, dem Nackenband und der Nackenmuskulatur als feste Angriffs- und Stützpunkte zu dienen. Von diesen Nackendornen aus spannt sich das elastische Nackenband zur Hinterfläche des (2. Halswirbels und) Kopfes. Der letztere wird dadurch, wie der Querbalken eines Galgens oder eines Krahns seitlich an der Spitze der, vom Nacken vielfach annähernd senkrecht sich aufrichtenden Halswirbelsäule gehalten. Je schwerer der Kopf ist, desto mächtiger sind auch die Nackendornen; bei dem Skelet eines erwachsenen Bison¹⁾ fand ich die Dornfortsätze der ersten Brustwirbel, der Nackenwirbel, länger als irgend einen der langen Extremitätenknochen, speziell der Dornfortsatz des 4. Brustwirbels hat eine Länge von 470 mm.

Dass diese auffallende Bildung der Nackendornen wirklich mit dem Tragen eines schweren Kopfes correspondirt, ergibt sich bekanntlich daraus, dass bei den Geweih- oder Hörner-tragenden Säugethieren ihre Höhe und Stärke im Allgemeinen bedeutender erscheint, und dass sie einerseits bei den hornlosen Weibchen der Schafe, der Hirsche u. a. schwach bleiben, während andererseits die gehörnten Männchen, der weit schwerern Last des Schädels entsprechend, besonders hoch und stark

1) Münchener zoologische Sammlung.

ausgebildete Nackendornen aufweisen. Die Dornfortsätze der Halswirbel sind dagegen bei all den eigentlich vierfüssiggehenden Säugethieren¹⁾ auffallend klein und in diesem Sinne menschenähnlich, nur der zweite Halswirbel hat entwickeltere Ansatzflächen für die elastisch-muskulösen Haltapparate des Kopfs.

Schon ohne nähere Untersuchung erweckt die Betrachtung der mächtigen Halsdornen des Gorilla und der andern grossen menschenähnlichen Affen, Orangutan und Schimpanse, den Eindruck, dass man es hier mit einem den eben geschilderten Nackendornen entsprechenden Halteapparat für den schweren, ebenfalls seitlich an der Spitze der Wirbelsäule, befestigten Kopf zu thun habe. Entsprechend der halblichten Stellung dieser Affen könnte ja der Halteapparat von dem Nacken auf die Halswirbelsäule verlegt sein: das ist die Frage.

Wie gesagt sind die Dornfortsätze der Rückenwirbel bei den Anthropoiden relativ schwach und menschenähnlich, dagegen bieten die Dornfortsätze der Halswirbel die nöthigen Angriffsflächen für Ansatz oder Ursprung der mächtigen Band- und Muskelmassen, welche nothwendig sind, um den gewaltigen Kopf, trotz seines, wie wir sahen, seitlichen Ansatzes an der Spitze der Wirbelsäule bei der halblichten oder aufrechten Körperhaltung des Thieres beim Gehen und Klettern mit parallel zur Bodenfläche gerichteten Augenachsen geradeaus vor sich hinsehen zu lassen, ganz ähnlich wie letzteres beim Menschen der Fall ist.

Um die eben gestellte Frage nach der mechanischen Bedeutung des Halsdornenapparates der Anthropoiden zu lösen, gibt es eine einfache Betrachtung. Ist die besondere Grössenausbildung der Halsdornen bei den menschenähnlichen Affen wirklich eine mechanische Bedingung für die halblichte oder mehr weniger aufrechte Körperhaltung, so muss

¹⁾ Ausnahmen s. oben S. 7 und unten S. 11, Anmerkung.

sie sich bei allen Thieren finden, die sich darin den menschenähnlichen Affen ähnlich verhalten, dagegen denen fehlen, welchen die mehr weniger aufrechte Körperhaltung fehlt.

Das Charakteristische der Halsdornenbildung der Anthropoiden besteht darin, dass im Gegensatz gegen das bei dem Menschen, wie bei der übergrossen Mehrzahl aller Säugthiere, bestehende Verhältniss, dass die Dornfortsätze der Halswirbel kürzer sind als die Dornfortsätze der Brustwirbel, bei den Anthropoiden dagegen die Brustwirbeldornfortsätze kürzer sind als die Halswirbeldornfortsätze.

Bei den relativ kleinköpfigen Gibbons und der Mehrzahl der niederen Affen der alten und neuen Welt besteht insofern eine Annäherung an die Halsdornenbildung der Anthropoiden, als die Dornfortsätze der Hals- und der Brustwirbel wenig an Grösse unterschieden sind, vielfach sind sogar die Halsdornen etwas länger. Es stimmt das in dem fraglichen Sinne mit der Lebensgewohnheit der niederen Affen gut überein.

Unter den Lemuren¹⁾ gibt es aber ein Thier, welches vielleicht in noch höherem Grade als irgend ein menschenähnlicher Affe es liebt, eine ganz oder halb aufrechte Rumpfhaltung anzunehmen. Es ist das der Liehanotus Indri Geoff., der Madagassische Jagdaffe, welcher gern und gut aufrecht geht und, namentlich in Hinblick auf die Längenproportionen der Beine und Arme, eine auffallende Menschenähnlichkeit zeigt, nur der kleine Kopf mit der thierischen Schnauze u. n. a. passt nicht zu diesem Eindruck. Abgesehen vom Kopf sieht das wunderliche Thier ganz wie eine menschliche Puppe in Pelzkleidern aus. Obwohl nun der Kopf für die Körpergrösse verhältnissmässig klein und wenig voluminös ist, sind bei dem Indri doch die Halsdornen länger und breiter als die Nackendornen, und entsprechen in der Form

1) Ueber den faulen Lori s. oben S. 6.

weitgehend den Dornfortsätzen der Lendenwirbel. Vom dritten Halswirbel an nimmt die Höhe und sagittale Breite seiner Halsdornen bis zum siebenten Halswirbel zu, von da, vom ersten Nackenwirbel an, wieder ab, sodass der erste Nackenwirbeldornfortsatz in Grösse und Form etwa dem vierten, der zweite und dritte dem dritten Halswirbel entsprechen; vom vierten Nackenwirbel an beginnt die typische dachziegelförmige Abwärtsneigung der Brustwirbeldornfortsätze.¹⁾

Unter den Vögeln gibt es eine Anzahl aufrecht sitzender und gehender Formen: die Pinguine (*Aptenodytes*), Eistaucher- (*Colymbus*) und Steissfuss- (*Podiceps*) Arten, auch bei diesen findet sich eine entsprechende Bildung an den Halswirbeln. Namentlich die Pinguine besitzen im Gegensatz gegen die mit horizontaler Rumpfhaltung gehenden und sitzenden Vögel wie z. B. die Hühner und Gänse u. v. a. an den oberen Halswirbeln starke Dornfortsätze neben noch anderen seitlichen knöchernen Halteinrichtungen, welche der weit überwiegenden Mehrzahl der Vögel fehlen. Eine Andeutung davon zeigt sich sonst nur noch bei solchen Arten, bei welchen der Hals einen ganz besonders schweren und grossen Kopf auch annähernd aufrecht zu tragen hat, wie *Buceros*, *Alcedo*, grosse Vultur-Arten.

Aus dieser Umschau ergibt es sich, dass die oben gestellte Frage im bejahenden Sinne beantwortet werden darf: die mächtig entwickelten Halsdornen der grossen Anthropoiden sind ein den Nackendornen der eigentlich vierfüssig gehenden Säugethiere entsprechender Halteapparat für den schweren Kopf, welcher im mechanischen Zusammenhang mit der

¹⁾ Merkwürdigerweise findet sich auch bei den niedrigsten Säugethiern, dem Schnabelthier und dem Ameisenigel, das Verhältniss, dass die Halsdornfortsätze länger sind als die Brustdornfortsätze, offenbar auch, wie bei einigen der oben erwähnten Vögel: *Buceros* etc., zur Haltung und Bewegung ihres relativ schweren Kopfes.

mehr oder weniger aufrechten Rumpfhaltung der höchsten Affen auf die Halswirbelsäule verlegt ist. Hier findet sich eine entsprechende Skeleteinrichtung bei allen sich aufrecht haltenden Wirbelthieren. Die grossen Halswirbeldornen ergänzen sonach die zuerst geschilderten knöchernen Einrichtungen zur Kopfhaltung am Hals der Anthropoiden, wofür am Schädel selbst die mächtig entwickelten Ansatzflächen am Hinterhaupt mit dem Hinterhauptkamm an der oberen Grenze der Hinterhauptschuppe u. a. zählen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die mehr oder weniger aufrechte Körperhaltung der Anthropoiden, in welcher man in älterer Zeit manchmal eine Art von Uebergang zu der typisch menschlichen Körperhaltung finden wollte, mechanisch auf principiell verschiedenen Ursachen wie letztere beruht.

Der schwere seitlich an der Wirbelsäulenspitze befestigte Kopf der Anthropoiden wird durch elastische und Muskelkräfte in seiner bei der halbrecten Körperstellung horizontalen Lage gehalten, die aufrechte Körperhaltung wird bei ihnen mechanisch ermöglicht durch eine namentlich zwischen Hinterkopf und den Dornfortsätzen der Halswirbel specifisch entwickelte Haltevorrichtung für den Schädel, für welche, abgesehen von den elastisch-muskulösen Apparaten, specielle Skeleteinrichtungen (am Schädel und der Halswirbelsäule) vorhanden sind. Die aufrechte Körperhaltung der anthropoiden Affen beruht sonach zum grossen Theil auf Muskelarbeit.

Bekanntlich ist das mechanische Verhältniss der Kopfhaltung bei dem Menschen ein anderes.

Die Verbindungsstelle des Kopfes mit der Wirbelsäule ist bekanntlich an allen Schädeln dort, wo das Rückenmark aus der Schädelhöhle durch das grosse Hinterhauptsloch, Foramen magnum, aus- und in die Rückgrathöhle eintritt. Zu beiden Seiten der Vorderhälfte des Hinterhauptsloches befinden sich

die beiden oben besprochenen convexen Gelenkhöcker, die Condylen, zur Verbindung des Schädels mit dem ersten Halswirbel, dem Atlas. Bei dem Menschen sehen nun, wie gesagt (S. 3), die Gelenkflächen der Condylen bei normaler, horizontaler, Kopfhaltung direkt nach unten, während sie, wie wir oben sahen, auch bei dem Gorilla, dem menschenähnlichsten Affen, wie bei allen anderen Wirbelthieren bei der normalen, d. h. für die Anthropoiden auch horizontalen Kopfhaltung nach hinten gewendet sind. Ist der Menschenschädel an dieser Stelle unterstützt, so genügt nachweislich ein Minimum von Kraftaufwand, um ihn in seiner für den lebenden Menschen normalen Rubestellung zu erhalten, während ein Gorillaschädel dabei nach vorne herabsinkt. Der mechanische Grund dafür ist bekanntlich der, dass das Foramen magnum mit den Condylen bei dem Menschen sehr annähernd in die Mitte der Unterfläche des Schädels gerückt ist, sodass bei senkrechter Unterstützung der Condylen der Schädel auf diesen, wie ein Waggelbalken auf seinem Hypomochleon, im Gleichgewicht zu ruhen vermag. Ein Minimum von Muskel- und elastischer Spannung genügt, um diese Gleichgewichtsstellung zu erhalten. Daher kann die Halswirbelsäule des Menschen trotz des mächtigen Kopfes, den sie zu tragen und zu halten hat, so schwach sein, dass dieses Verhältniss als ein besonderes typisches für den Menschen schon den alten Anatomen, z. B. Eustachius, auffallen musste.

Bei den menschenähnlichen Affen, wie bei allen anderen Säugethieren ist dagegen, wie ich wiederhole, der Kopf an der Spitze der Wirbelsäule nicht balancirt, sondern an ihr seitlich aufgehängt. Bei alleiniger senkrechter Unterstützung der Gelenkflächen der Condylen fällt daher der Kopf, bei horizontaler Haltung, wie sie der normalen Körperhaltung der Anthropoiden bei ihrer typischen Körperstellung entspricht, nach vorne herab, wenn er nicht durch eine Kraft gehalten wird, welche der Schwere des Kopfes, einschliesslich der bei solcher Stellung

sich geltend machenden Hebelwirkung, gleichkommt. Die Ursache für die seitliche Befestigung des Schädels an der Wirbelsäule liegt darin, dass das Hinterhauptsloch mit den Condylen bei den Anthropoiden an das hintere Ende der Schädelbasis, bei der Mehrzahl der Wirbelthiere auf die Hinterseite des Schädels, gerückt ist. Dieser Stellung der Condylen entspricht dann die oben beschriebene, von der menschlichen Einrichtung sich so auffallend unterscheidende, Rückwärtswendung ihrer Gelenkflächen.

Bei dem Menschen beansprucht sonach die Aufrechterhaltung des Kopfes so gut wie keine Muskelarbeit, sie ist die aufrechte Ruhestellung des Kopfes, und durch diese ist dann, was hier keines weiteren Beweises bedarf, die aufrechte Körperhaltung des Menschen im Ganzen und Einzelnen, als eine Ruhestellung, zu deren Erhaltung ein Minimum von Muskelarbeit gehört, bedingt. In dieser Hinsicht ist die aufrechte Körperhaltung des Menschen in ihrem mechanischen Zustandekommen etwas Besonderes. Während doch auch der menschenähnlichste Affe eine wirklich aufrechte Körperhaltung, die er ja relativ leicht anzunehmen vermag, durch, auf die Dauer ermüdende, Muskelanstrengung erzwingt, ist bei derselben Stellung der ganze Körper des Menschen in all seinen Theilen sehr annähernd im (labilen) Gleichgewicht balancirt. Die aufrechte Stellung ist, wie gesagt, eine Ruhestellung des Menschenkörpers, zu deren Erhaltung das geringste Mass von Muskelanstrengung erforderlich ist, ganz entsprechend der vierfüssigen Stellung der meisten Säugethiere oder der typisch halbrecten Haltung der Menschenaffen, bei welchen auch sie sich auf ihr vorderes Extremitätenpaar stützen. Für Maximaldauerleistungen nehmen Thier und Mensch diejenige Körperhaltung an, welche auf die Dauer für sich selbst am wenigsten Muskelleistungen in Anspruch nimmt, sodass, z. B. für rasche Flucht, von der im Ganzen dem Körper zur Ortsbewegung und Körperhaltung zu

Gebote stehenden Summe von Muskelkraft noch möglichst viel übrig bleibt. Bei raschester Flucht richtet sich der Mensch auf, aber auch der menschenähnliche Affe benützt dazu, wie die niederen Vierfüssler, seine vier Extremitäten. In dem dargelegten Sinne muss der Mensch aufrecht gehen, kein Säugethier muss das. Der Grund dafür liegt, wie wir gesehen haben, in der verschiedenen Art der Befestigung des Kopfes auf der Wirbelsäule.

Dafür ist nun die Lage des Hinterhauptsloches resp. der beiden zu seinen Seiten gelegenen Gelenkhöcker für das Atlasgelenk das entscheidende Moment: die typische mühelose menschliche Kopfhaltung und damit die gesammte mühelose aufrechte Körperhaltung wird durch die centrale Lage der Schädelcondylen an der Schädelbasis bedingt, die bei den menschenähnlichen Affen weit nach hinten rücken.

Für ein kausales mechanisches Verständniss dieses entscheidenden Unterschiedes im Skeletbau haben wir sonach die mechanische Ursache zu erforschen für die centrale Lage des Hinterhauptsloches (resp. der Condylen) bei dem Menschen einerseits und die Ursache der Verschiebung desselben auf die Hinterseite der Schädelbasis (resp. des Schädels) bei den anthropoiden Affen sowie bei allen anderen Wirbelthieren andererseits.

Die Frage nach der Kausalität der aufrechten Körperhaltung des Menschen spitzt sich sonach zu zu der Frage nach der mechanischen Ursache für die typische Stellung des Hinterhauptsloches am Schädelgrund.

In der schon oben (S. 3) erwähnten Untersuchung: Ueber einige gesetzmässige Beziehungen zwischen Schädelgrund, Gehirn und Gesichtsschädel ist mir der so lange vergeblich gesuchte Nachweis gelungen, dass die besondere Gestaltung des Schädelgrundes bei Mensch und Thier von dem relativen Grössenverhältniss des Gehirns zum Gesamtschädel ursächlich bedingt ist.

Bei der Formausgestaltung des Schädels der Vertebraten sind wesentlich die zwei Organsysteme betheiligt, welche überhaupt die gesammte Körperausgestaltung beherrschen: das Nervensystem und das Darmsystem, von ersterem zunächst, und für den Menschen immer überwiegend, das Gehirn, von dem zweiten die Kauwerkzeuge. In gegenseitiger Beeinflussung gestalten einerseits das Gehirn mit Sinnesorganen und andererseits die Kauwerkzeuge die spezifische Schädelform.

Bei der ersten Anlage der definitiven Schädelform ist bei allen Säugern, wie eigentlich bei allen Vertebraten, das formgestaltende Prinzip das Gehirn, während der Einfluss der Organe des Darmsystems am Kopfe, der Kauwerkzeuge, sehr zurücktritt. Bei der ersten embryonalen Ausgestaltung des Kopfes, so lange dieselbe noch nicht stärker durch die Kauwerkzeuge beeinflusst wird, sind bei allen Säugethieren die Bildungsverhältnisse des Kopfes und seines Schädelgrundes in so hohem Grade menschenähnlich, dass man für manche Fälle sogar fast von Identität reden konnte. Bei allen Säugethieren geht die nähere Ausgestaltung der Kopfform von einem Stadium aus, welches man als anthropine Kopfform bezeichnen darf. Jene rel. frühe anthropine Periode ist dadurch charakterisirt, dass unter der stärkeren Beeinflussung der Wachsthumenergie der Schädelbasis durch das übermächtig wachsende Gehirn, der dann noch weich bewegliche Schädelgrund in der Gesichtskopfbeuge eine scharfe Abknickung ungefähr in der Mitte der Schädelbasis erfährt. Die Knickungsstelle entspricht im Allgemeinen jener Knorpelfuge (*Symphysis pheno-basilaris*), durch welche der Basilartheil des Hinterhauptsbeines (*pars basilaris oss. occ.*) mit dem Körper des Keilbeins, wie R. Virchow schon vor mehr als einem Menschenalter bewiesen hat, auch noch bei Neugeborenen und jugendlichen Individuen bis zu einem gewissen Grade beweglich verbunden ist. An dieser Fugenstelle ist

bei den Säugethierembryonen wie bei dem ungeborenen Menschen der Basilartheil des Hinterhauptsbeins gegen den Körper des Keilbeins winkelig abgекnickt, ein Verhältniss, welches bekanntlich Virchow als Sattelwinkel messend verfolgte.

Bei dem Menschen bleibt nun dieses embryonale Verhältniss während der ganzen Entwicklungsperiode sich wenig vermindernd vor der Geburt bestehen und erhält sich auch im nachembryonalen Leben nicht nur, sondern steigert sich unter dem steigenden Wachstum des Gehirns noch weiter, sodass die Knickung der Schädelbasis bei dem Erwachsenen beträchtlich stärker ist als bei dem Neugeborenen und wieder die primären embryonalen Verhältnisse erreicht. Bei der Kopfbildung des Menschen bleibt auch in den späteren Stadien der embryonalen Entwicklung, in welchen sich auch bei ihm der umgestaltende Einfluss der Kauwerkzeuge (d. h. der Organgruppe des Darmsystems) in gesteigertem Maasse geltend macht, die primär führende Rolle dem Gehirn gewahrt, die Schädelbasis bleibt geknickt. Bei der Kopfbildung der Thiere sehen wir dagegen bald die führende Rolle von dem in seinem Wachstum relativ zurückbleibenden Gehirn auf die Organe des Darmsystems, die Kauwerkzeuge, übergehen. Dieses letztere Verhalten, welches sich schon im embryonalen Leben geltend macht, tritt immer greller hervor im nachembryonalen Leben bis zur Vollendung des Schädelwachstums.

Die Knickung der Schädelbasis ist Wirkung des übermächtigen Gehirnwachstums auf den Schädelgrund; tritt dieser gestaltende Einfluss des Gehirns mehr und mehr zurück, indem die relative Grösse des Gehirns (resp. der Hirnschädelkapsel) immer weiter gegen die fortgesetzt gesteigert wachsenden Kauwerkzeuge (Gesichtsschädel) zurückbleibt, so vermindert sich die Knickung der Schädelbasis mehr und mehr, bis der Verlauf ihrer sagittalen Mittellinie zuletzt ein vollkommen gerader, gestreckter

wird. Bei den niederen Säugethieren (Pferden, Rindern u. v. a.) biegt sich sogar in der Hinterhauptskeilbeinfuge der hintere Abschnitt der Schädelbasis, im umgekehrten Sinne wie der Sattelwinkel, nach aufwärts, einen nach oben offenen Winkel bildend.

Das mechanische Verhältniss dieser Abknickung ist im Sinne der bekannten His'schen Theorie einfach zu verstehen. Wir wissen z. B. aus den Untersuchungen Rüdigers über die Entstehung der Bogengänge im Labyrinth und aus anderen Beobachtungen mehr makroskopischer Art z. B. über die Ausbildung der embryonalen Schwanzkrümmung, dass, wenn von zwei mit einander verbundenen elastisch beweglichen Schichten die eine stärker wächst, das im Allgemeinen zu einer convexen Aufwärtswölbung dieser stärker wachsenden und zu einer concaven Einkrümmung der im Wachstum zurückbleibenden Schichte führt. Ist die im Wachstum zurückbleibende Schichte, wie in dem vorliegenden Falle relativ starr, nicht im Ganzen elastisch krümmbar, sondern nur an einer Stelle gleichsam wie in einem Scharniere beweglich, so erfolgt, wie eine einfache Ueberlegung lehrt, keine im Allgemeinen concave Krümmung, sondern eine nach der schwächer wachsenden Schichte hin offene winkelige Abknickung. Umgekehrt, wenn das Wachstum der anfänglich stärker wachsenden Schichte mehr und mehr von der anfänglich schwächer wachsenden Schichte eingeholt und schliesslich übertroffen wird, so gleicht sich diese Knickung wieder aus, die den Verlauf repräsentirende Mittellinie der anfänglich schwächer wachsenden und daher eingeknickten Schichte streckt sich endlich gerade und wenn das Verhältniss der Wachstumsenergie in den beiden betreffenden Schichten sich umkehrt, so tritt eine Knickung in der entgegengesetzten Richtung ein.

Aus meinen schon citirten Untersuchungen über den Schädelgrund hat sich aus zahlreichen Messungen ergeben,

dass je grösser im Verhältniss zu dem übrigen Schädel die Hirnkapsel, resp. das diese erfüllende Gehirn, ist, dass um so menschenähnlicher die Knickung der Schädelbasis ist. Mit der relativen Zunahme des Gehirns zum Gesamtschädel knickt sich thatsächlich, wie bei dem Menschen nach der Geburt leicht nachweislich ist, die Schädelbasis in der Hinterhauptkeilbeinfuge, Synchondrosis sphenobasilaris, um so stärker ab; mit der relativen Abnahme des Gehirns im Verhältniss zum Gesamtschädel, wie das in immer steigendem Maasse sich bei Anthropoiden und allen anderen Säugethieren ausbildet, gleicht sich äusserlich die Knickung mehr und mehr aus und geht schliesslich in die entgegengesetzte Knickung über.

So zeigen auch die Schädel des Gorilla, des Orangutan, des Schimpanse im erwachsenen Zustand, wenn sich die bei ihnen wie bei allen Säugethieren primär typisch menschliche Schädelform vollkommen in die Thierform umgebildet hat, äusserlich einen horizontalen flächenhaften Verlauf der Schädelbasis. Es gibt sich das besonders deutlich an der Stellung des Basilartheils des Hinterhauptbeins, pars basilaris ossis occip., zu erkennen, welches sich vorne durch die erwähnte Knorpelfuge, wie gesagt in der Jugend beweglich, mit dem Körper des Keilbeins verbindet und nach hinten den Vorderrand des grossen Hinterhauptloches bildet.

Bei der flachen gestreckten Lage des Basilartheils des Hinterhauptbeins rückt sonach das Hinterhauptloch — wie ein Blick auf die schematische Zeichnung S. 20, Fig. 2 u. 1a lehrt — an die Rückseite des Schädels; mit einer nach oben offenen Knickung der Schädelbasis gelangt das Hinterhauptloch ganz auf die Rückseite des Hinterhaupts. Mit dem übermächtig sich entwickelnden Gehirn, welches die Schädelbasis in einem nach unten offenen Winkel abknickt, gelangt das Foramen magnum mehr auf die Unterseite des Schädels und rückt endlich bei dem Menschen in der Zeit, in welcher er laufen lernt, in seine typisch centrale Stellung in der Schädelbasis ein, Fig. 1.

Man kann von diesem mechanischen Vorgang leicht eine schematische Vorstellung gewinnen. Gehen wir von einer menschlichen Schädelkapsel, Fig. 1, aus, deren Schädelbasis wir durch ein Scharnier in der Hinterhauptkeilbeinfuge *f* beweglich gemacht haben und schneiden quer ein keilförmiges Stück heraus (die Schneide dieses Keils an der Sphenobasilar-

Fig. 1.

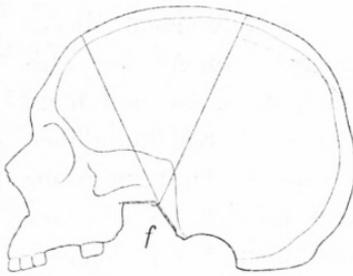


Fig. 2.

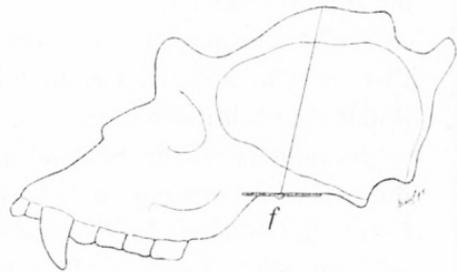
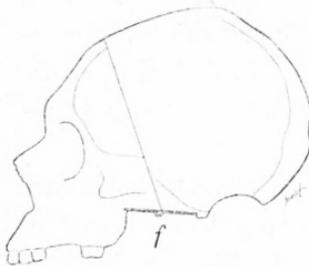
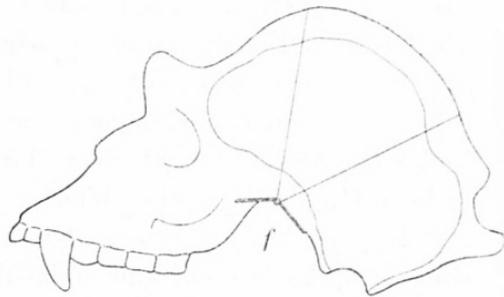


Fig. 2a.

Fig. 1a.



Mensch.



Gorilla.

fuge, den breiten convex von dem betreffenden Ausschnitt des Schädeldaches begrenzten Theil nach oben), so können wir in dem Scharnier der Sphenobasilarfuge den nach diesem Ausschnitt übrig bleibenden vorderen und hinteren Theil des Schädels an einander legen. Ich habe die Grösse des ausgeschnittenen Keils so gewählt, dass der übrig bleibende Hirnraum der Schädelkapsel dem eines erwachsenen männlichen

Gorilla entspricht. Die direkte Beobachtung ergibt nun, dass durch die eben beschriebene Aneinanderlagerung der beiden Reststücke der verkleinerten Schädelkapsel die Schädelbasis flach gelegt wird. Der Basilartheil des Hinterhauptbeins legt sich flach und das Hinterhauptloch rückt an die Hinterseite des Schädels. Wir haben damit durch entsprechende Verkleinerung des Hirnraumes, entsprechend einer Verkleinerung des Gehirns selbst, den Menschenschädel in Beziehung auf die Stellung des Hinterhauptlochs in die typische Form des Anthropoidenschädels (Gorillaschädels) umgestaltet (Fig. 1a). Die Schädelbasis ist bei den menschenähnlichen Affen (Gorilla) nicht kleiner und kürzer, sondern im Allgemeinen sogar etwas grösser und länger als bei dem Menschen. Setzen wir in unserem Schädelmodell den ausgeschnittenen Keil wieder ein, so rückt durch die damit erzeugte Vergrößerung des Gehirnraumes des Schädels, resp. durch die relative Vergrößerung des Gehirns im Verhältniss zu dem Gesichtsschädel resp. den Kauwerkzeugen, das Hinterhauptloch wieder in die für den Menschen typische centrale Lage in der Schädelbasis ein.

Schneidet man in ähnlicher Weise, wie wir das bei dem Menschenschädel gethan haben, eine Schädelkapsel eines menschenähnlichen Affen (Gorilla) in der Mitte von rechts nach links quer bis zur Sphenobasilarfuge durch, die wir wieder in einem Scharnier beweglich machen (wie Fig. 2 demonstrirt), und setzen nun den aus dem Menschenschädel ausgeschnittenen Keil, um den Gehirnraum des Affenschädels dem des Menschen gleich zu machen, in den Affenschädel ein, so wird der Hinterhauptstheil im Ganzen nach abwärts gedrückt, der Basilartheil des Hinterhauptbeins knickt sich in der Fuge gegen das Keilbein ab und das Hinterhauptloch rückt damit in die für den Menschen typische centrale Lage an der Schädelbasis (Fig. 2a): Wir haben aus dem Affenschädel, in Beziehung auf die Stellung des Hinterhauptloches, einen Menschenschädel gemacht.

Dass der Gorillaschädel dadurch im Ganzen nicht menschenähnlicher aussieht, beruht darauf, dass seine colossal entwickelten Fresswerkzeuge thierisch vorstehen. Bei der menschlichen Schädelform kommt eben neben der übermächtigen Gehirnentwicklung, Makroencephalie, noch etwas Anderes in Frage: eine typische Minderentwicklung der Fresswerkzeuge, eine extreme Mikrognathie, welche sich z. Th. daraus erklärt, dass bei dem Menschen schon in einer relativ sehr frühen Periode der embryonalen Entwicklung die Nähte zwischen Ober- und Zwischenkiefer verwachsen, auf deren Offenbleiben auch im nachembryonalen Leben bei den Säugethieren etwa ebenso die Möglichkeit eines gesteigerten Wachstums der knöchernen Fresswerkzeuge beruht, wie das nachembryonale Wachsthum des Gehirnschädels mit dem Gehirn bei dem Menschen durch das Offenbleiben der Hirnschädelnähte möglich wird, in einer Lebensperiode, in welcher bei den Thieren, auch den anthropoiden Affen, meist längst schon die Verwachsung der Hirnschädelnähte¹⁾ erfolgt ist.

So schematisch die eben gegebenen Darstellungen über die ursächlichen Momente für die Stellungsverschiedenheiten des Hinterhauptlochs bei dem Menschen und den menschenähnlichen Affen (sowie allen anderen Wirbelthieren) auch erscheinen mögen, so genügen sie im Zusammenhalt mit den früheren Ergebnissen der Untersuchung über den Schädelgrund, um den Beweis zu liefern, dass die centrale Stellung des Hinterhauptlochs bei dem Menschen mechanisch bedingt ist durch die den Menschen charakterisirende Gehirnentwicklung.

Auf der centralen Lage des Hinterhauptlochs an der Schädelbasis, d. h. der beiden seitlich von ihm stehenden Gelenkhöcker des Schädels, der Condylen, welche mit der Wirbelsäule im Atlasgelenke sich verbinden, beruht aber

¹⁾ J. Ranke, l. c. S. 46. ff.

mechanisch die Möglichkeit der mühelosen Balancirung des Schädels bei der aufrechten Körperhaltung und damit der typischen aufrechten Ruhestellung des menschlichen Körpers im Ganzen, durch welche dann weiter seine spezifische äussere und innere Körper- und Organgestaltung bedingt ist.

Die für den Menschen typische aufrechte Ruhestellung des Körpers, der aufrechte Gang, ist sonach mechanisch bedingt durch die übermächtige Entwicklung seines Gehirns.

Damit erscheint aber auch die gesammte typisch-menschliche Körperentwicklung von dem Gehirn mechanisch beherrscht und geleitet. Dazu kommt noch, dass das Gehirn nicht nur die typische Körperform sondern auch die psychische Stellung des Menschen in der animalen Welt begründet.

Wir können dieses Gesamtverhältniss wohl nicht schärfer als mit dem schon von Richard Owen gefundenen Worte: Archencephalie,¹⁾ Hirnherrschaft, bezeichnen.

¹⁾ Owen, The anatomy of vertebrates. Vol. II, S. 274, 1866: Archencephala, ἄρχω, I overrule; ἐγκέφαλος, brain.