Zum Mechanismus der Furchenbildung.

Ein Erklärungsversuch.

Von

Karl Schaffer.

(Aus dem hirnhistologischen und interakademischen Hirnforschungsinstitut der
königl. ungar. Universität Budapest.)

(Eingegangen am 4. September 1917.)

Jene histologischen Bilder, welche die Hirnfurchung begleiten, ergaben folgendes: 1. Der Randschleier verbreitet sich an der Stelle der zukünftigen Furche. 2. Dasselbst läßt sich eine lokale Vermehrung der superfiziellen Körner beobachten, welche eine, in die Tiefe, gegen die Lam. cort. primitiva gerichtete Einkeilungstendenz bekundet. 3. Infolge Ritzenbildung in dem Körnerkeil entsteht die Furche, um welche herum die Wulstbildung (= Windung) dem histologischen Bilde nach als kompensatorische Erscheinung uns entgegentritt. Das Primäre ist die aus dem Randschleier ausgehende Furchenbildung, das Sekundäre ist die Windungsbildung.

Diese summarisch angeführten histologischen Modifikationen können als Reizprodukte aufgefaßt werden; die lokale Ansammlung von superfiziellen Körnern spricht zugunsten dieser Betrachtungsweise. Versetzen wir uns auf diesen Standpunkt als Erklärungsmöglichkeit für die Rindenfurchung, so fragt es sich, von wo aus der Randschleier eine Anregung erhalten, eine Reizung erfahren dürfte? Eine solche kann nur von innen erfolgen, d. h. vom Inneren der Hemisphären, deren Wachstum, Massenzunahme — worunter ich hauptsächlich, vielleicht ausschließlich die subcorticalen Partien bedacht wissen möchte — eine von Stelle zu Stelle wechselnde Spannung der Oberfläche bedingt.

Altmeister Wundt¹⁾ leitete das Furchungsgesetz der Hirnoberfläche teils aus den eigenen Wachstumsspannungen des Gehirns, teils aus dem Einfluß der umschließenden Schädelkapsel auf das Gehirn ab; erstere spielen in der frühesten Entwicklungszeit, letzterer in der letzten Zeit des Fötallebens bzw. nach der Geburt eine Rolle.

¹⁾ Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie 1887.

Bezüglich der Wachstumsspannung führt Wundt aus, daß, wenn eine Oberfläche durch Faltenbildung an Ausdehnung zunehmen soll, „so wird sie notwendig in derjenigen Richtung sich aufrollen, in welcher dies mit dem geringsten Widerstande geschehen kann. Ist die Oberfläche in transversaler Richtung stärker gespannt als in longitudinaler, so wird sie demnach in transversale Falten gelegt oder um eine transversale Achse aufgerollt werden, ähnlich wie ein feuchtes Papier, an dem man rechts und links einen Zug ausübt; umgekehrt muß sie, wenn die Spannung in longitudinaler Richtung stärker ist, sich longitudinal falten oder aufrollen“. Hierbei muß die Richtung der größten Spannung zur Richtung der größten Wachstumsenergie senkrecht sein, „denn ein wachsendes Gebilde kann als ein zusammenhängender elastischer Körper betrachtet werden, bei welchem die durch das Wachstum veranlaßte Deformation irgendeines Teils auf alle anderen eine dehnende Wirkung ausübt, welche an denjenigen Punkten am größten sein wird, wo die geringste selbständige Deformation stattfindet“. Wundt führt als beweisendes Exempel das Kleinhirn an, welches infolge seiner geschützten Lage allein den durch den Wachstum bedingten Spannungsverhältnissen unterworfen ist; am Kleinhirn überwiegt während seiner ganzen Entwicklung das Längenwachstum, dem entsprechend transversale Furchen allein zur Ausbildung kommen. Auf Grund dieses Prinzipes müssen die Furchen des Großhirns mit zwei verschiedenen Wachstumsperioden derselben zusammenfallen, mit einer longitudinalen und einer transversalen, erstere bedingen Quer-, letztere Längsfaltungen. Wundt zeigt an der Hand embryonaler Gehirne verschiedenen Alters, daß die Durchmesserverhältnisse der Großhirnhemisphären während der Ausbildung ihrer Form auffallende Veränderungen erfahren. In den ersten Wochen des Embryos hat die Hemisphäre fast gleichgroße Durchmesser; zur Zeit des Beginnes der Sylvischen Grube beginnt ein Längenwachstum, welchem eine transversale Spannung bzw. Faltung entspricht. Während dieser sagittalen Zunahme, welche ein Herabsinken des Verhältnisses des Längs- und Querdurchmessers von 1 : 0,9 auf 1 : 0,7 bewirkt, entstehen die ersten bleibenden Furchen, so im Laufe des 5. Fötalmonats die Zentralfurche, ferner die Fissura parieto-occipitalis und calcarina. Vom Ende des 6. Fötalmonats tritt in diesen Verhältnissen eine Änderung ein, wobei im Wachstum einzelner Abschnitte der Hemisphäre gewisse Verschiedenheiten zu bemerken sind. Ein Vergleich fötaler Gehirne vom 6. bis zum 7. Monat ergibt nach Wundt, daß der parieto-occipitale Abschnitt der Halbkugel in Breite- und Längsrichtung annähernd gleichförmig zunimmt, während der frontale Abschnitt mehr in die Breite als in die Länge wächst. Dasselbe läßt sich für den temporalen Abschnitt feststellen, welcher ein in die

Höhe gerichtetes Wachstum erkennen läßt. Somit müssen der frontale wie temporale Lappen Längsfaltungen erfahren, wie dies bekanntermaßen zutrifft.

Bezüglich des Widerstandes der Schädelkapsel, welcher hauptsächlich nach der Geburt eine Rolle spielen könnte, hebt Wundt hervor, daß ein solcher äußerer Widerstand eine Faltung in der Richtung des geringsten Widerstandes bewirken muß; daher werden bei dolichocephaler Schädelform die Furchen longitudinal, bei der brachycephalen transversal verlaufen.

Ein amerikanischer Autor Andrew J. Parker kam hinsichtlich der Hirnfurchung zu folgenden Betrachtungen¹⁾. Bezüglich des Zustandekommens der Hirnfurchen hebt er zwei Ansichten hervor: 1. Das Gehirn, welches sich rascher entwickelt als die Schädelkapsel, fügt sich der zusammenpressenden Lage durch Faltung entlang der Richtung des geringsten Widerstandes; diesen Richtungen entsprechen die verschiedenen Hirnfurchen (Ecker). 2. Die Hirnfurchen dürften Linien von verzögertem Hirnwachstum entsprechen, haben eine strukturelle Bedeutung, welche von dem Prozeß des Zellwachstums innerhalb der Hirnmasse abhängig ist (Pansch). Freilich könnte noch eine Kombination beider Ansichten möglich sein.

Um die Hirnfurchung zu erklären, nahm Parker eine Theorie an, welche auf der Aufeinanderwirkung von zweierlei Kräften beruht; es sind dies: 1. die Wachstumskräfte des sich ausdehnenden Hirns, 2. kombiniert mit und modifiziert durch die Widerstandskräfte der knöchernen Umgebung. Parker behauptet, daß in den früheren Stadien der Entwicklung das Verhältnis dieser Kräfte ein relativ einfaches wäre; dieses Verhältnis bedinge eine Anordnung der Hauptfurchen, welche zu gewissen Zeitpunkten in einer bestimmten mathematischen Relation zueinander stünden. Er macht auf die „triradiat“ und „zygal (quadradiat)“ Typen der Furchung aufmerksam, welche die Vorstellung nahelegen, daß die grundlegenden Ursachen in einfachen Verhältnissen zu suchen seien und daß die Frage zu lösen wäre durch das Verhältnis, in welchem mathematische Zentren und Oberflächen zu der Größe jener Kräfte stehen, welche eben ein solches Resultat hervorzubringen imstande sind. Mit Bezugnahme auf Plateaus Seifenblasenexperiment ist Parker geneigt, die Hirnoberfläche aus einer Anzahl von hervorschwellenden Zentren zu betrachten, wobei die Furchen jenen Teilungsebenen entsprechen würden, welche durch das Aufeinandertreffen dieser Zentren gegeben sind. Er fand, daß der Charakter dieser Teilungen bestimmt werden kann durch die relativen Oberflächenspannungen der sich ausdehnenden Hemisphären, wobei

¹⁾ A. J. Parker, M. D. Morphology of the cerebral convolutions with special reference to the order of primates. Journal A. N. S. Phila. 10.

die Oberflächenspannung zum die Ausdehnung repräsentierenden Oberflächenradius im verkehrten Verhältnis steht. Daher entstehe auf Grund gleichgroßer Spannung beim Zusammentreffen von zwei Oberflächen eine geradlinige Ebene oder aber eine gebogene Teilung, deren Krümmungsradius vom Verhältnis dieses zu den ausdehnenden Sphären abhängig ist. Wenn drei Oberflächen zusammentreffen, so entsteht eine dreistrahligte Teilung mit Winkeln von 120° , wobei die Länge der individuellen Teilung von der relativen Länge der Oberfläche abhängt. Treffen vier Oberflächen zusammen, so erscheint der „quadriate Type“.

Retzius¹⁾ Auffassung geben seine eigenen Worte am besten wider. „Es gibt in gewissen Partien der Hirnrinde offenbar eine stärkere Wachstumsenergie, welche wohl mit der physiologischen Bedeutung, der speziellen Funktion derselben in engem Zusammenhang steht. Infolge dieser Energie wölben sich gewisse Partien hervor und bilden die sog. Faltungen der Hirnoberfläche. In der Regel scheint man die Furchen als das maßgebende, das wichtigere Moment zu betrachten. Dies kann jedoch nicht richtig sein, für die morphologische Feststellung der verschiedenen Regionen und das Kartieren derselben sind die Furchen sehr wichtig. Sie müssen aber als das mehr passive Moment im Wachstum der Hirnoberfläche betrachtet werden, während die Erhebungen, die Windungen, dem aktiveren, dem sich hervorwölbenden, energischer hervorstechenden Moment entsprechen. Man hat in betreff des Wachstums des Menschenhirns offenbar den Begriff des mechanischen Faltens zu weit ausgedehnt, wenigstens was die permanenten Furchen und Windungen anbelangt. Das meiste hängt hier von lokalen Verhältnissen, von verschiedenen vererbten Wachstumsenergien der einzelnen Bezirke ab. Denn daß die Vererbung auch hier eine große Rolle spielt, ist wohl sicher.“

Überblicken wir nun die bezüglich der Hirnfurchung vorliegenden Tatsachen, so lassen sich drei ausschlaggebende Faktoren feststellen; diese sind: 1. der in der Oberflächenspannung wirksame mechanische Faktor; 2. der in Modifikationen des Randschleiers erkennbare histologische bzw. formative Faktor, 3. der auf Vererbung beruhende biologische Faktor.

Der mechanische Faktor dürfte durch Wundts Ausführungen genügsam beleuchtet sein, namentlich erheischen seine für das frühfötale Leben bestimmten und durch die Wachstumsverhältnisse der Hemisphäre bedingten Spannungsverhältnisse vollste Aufmerksamkeit, während der auf das spätfötale bzw. postfötale Leben bezogene Widerstand der Schädelkapsel als faltender Faktor angesichts der weiten Raumverhältnisse viel weniger in die Wagschale fallen dürfte. In dieser

¹⁾ Retzius, Das Menschenhirn, S. 90.

Zeit könnten vielmehr Momente der Vererbung zur Geltung kommen, welche im Windungsreichtum einzelner physiologisch mehr oder weniger gut gekennzeichnete Felder sich kundgeben. In letzterer Beziehung wäre auf die eingehenden Studien S. Auerbachs¹⁾ über die Lokalisation des musikalischen Talenten im Gehirn zu verweisen, welche die bedeutende Breitenentwicklung und besondere Gestaltung des mittleren und hinteren Drittels des Gyr. temporalis superior, verbunden mit erheblicher Breite und Höhe des Gyr. supramarginalis ergab, welcher Befund mit J. Guszmanns²⁾ Ermittlungen an einem Gehirn eines bedeutenden Musikers ganz übereinstimmt. Duval fand am Gehirn von Gambetta, des gewaltigen parlamentarischen Redners, die Brocasche Stelle verdoppelt. Retzius³⁾ vorbildliche Studien über die Konfiguration der Hirnoberfläche hervorragender Männer ergaben gleichfalls auffallend reiche Gliederung gewisser Hemisphärenstellen. — Doch macht sich das Vererbungsmoment nicht allein in der Überentwicklung umschriebener Territorien bemerkbar, welche alsdann dem Gehirn ein eigenartiges Gepräge verleiht, sondern wie wir dies durch Karplus⁴⁾ Ermittlungen erfuhren, auch in Eigentümlichkeiten einzelner Furchen in bezug der Länge, Tiefe usw. Ferner ließen sich Besonderheiten feststellen, welche bei den verschiedenen Familiengliedern immer in derselben Hemisphäre erschienen.

Den histologischen bzw. formativen Faktor deutete ich eingangs als Reizprodukt, wenigstens durfte die lokale Vermehrung der superfiziellen Körner, welche die Furchenbildung einleitet und schließlich bewerkstelligt, auf Grund anderwärtiger Erfahrungen der Pathohistologie in diesem Sinne aufgefaßt werden. Die Bedeutung der Randschleierveränderungen ist um so höher einzuschätzen, da die durch den Wachstum der Hemisphäre bedingte mechanische Fältelung der Hemisphärenoberfläche solche histologische Veränderungen nicht benötigt; erscheinen also letztere, so muß ihnen eine mit der Furchenbildung zusammenhängende eigene Bedeutung zukommen, um so mehr, da diese einzig allein an Stellen von zukünftigen Furchen vorkommen. Der Gang der Furchenbildung läßt sich aus den histologischen Bildern zwanglos rekonstruieren; jede Furche beginnt mit einer Grübchenbildung, deren kontinuierlich-lineare Fortsetzung in Furchenbildung endet. Wollen wir die mechanische Tatsache der Furchenbildung mit der histologischen in Einklang bringen, so haben

¹⁾ S. Auerbach, Beiträge zur Lokalisation des musikalischen Talenten im Gehirn und am Schädel. Archiv f. Anat. u. Physiol., Anat. Abt., 1906.

²⁾ J. Guszman, Beiträge zur Morphologie der Gehirnoberfläche. Anatomischer Anzeiger 1901.

³⁾ G. Retzius, Das Menschenhirn 1896.

⁴⁾ Karplus. Über Familienähnlichkeiten an den Großhirnfurchen des Menschen. Obersteiners Arbeiten 12.

wir uns vorzustellen, daß die maximale Oberflächenspannung der Hemisphäre anfänglich punktwise zur Geltung kommt, wodurch eben ein Grübchen entstehen kann, und zwar vermöge des punktwise einsetzenden Reizes, welcher die Randschleierveränderungen in Gang bringt. Somit spielt die Oberflächenspannung in der Furchenbildung nur als **reizgebendes Moment** eine Rolle; die Annahme, als dürfte die Folge der lokalen Spannungserhöhung eine Wulstbildung sein, wird durch die histologischen Bilder widerlegt.

Wollen wir nun auf Grund der soeben angeführten Verhältnisse, welche nur Tatsächliches erhalten, uns eine Vorstellung über die die Furchenbildung regierenden Momente bilden, so erscheint folgende Vorstellung als zulässig.

Die ursprünglich glatte Oberfläche der Hemisphäre erfährt infolge von Wachstum im Hemisphäreninneren eine abwechselnd in sagittaler bzw. transversaler Richtung sich abspielende Spannung, welche als lokaler Reiz lokale Randschleierveränderungen entstehen läßt; letztere führen anfänglich zur Grübchenbildung, des fernerer zur Furchenbildung. — Dieser Vorgang hat in erster Linie für die konstanten, frühfötal sich ausbildenden Furchen Gültigkeit, während die variablen inkonstanten spät- bzw. postfötales Furchen, welche einem Gehirn gegebenenfalls ein individuelles Gepräge verleihen können, hauptsächlich durch Vererbungsmomente bestimmt werden, doch ist es selbstverständlich, daß die allgemeinen mechanisch-histologischen Momente hier gleichfalls zur Geltung gelangen, denn ohne letztere gibt es keine Furchenbildung. Die Vererbung dürfte in dem Sinne von Bedeutung sein, daß sie zur lokalen Überentwicklung bzw. zu artcharakteristischen Merkmalen führt, wodurch ein von dem Durchschnittsbild der Furchenbildung abweichendes, quasi individualisiertes Gehirn zustande kommt.

Der Furchungsprozeß muß auf Grund des histologischen Geschehens als eine Einkerbung und nicht als Fältelung betrachtet werden, denn die Einkeilung der vermehrten superfiziellen Körner bedeutet keine Runzelung, sondern einen Einschnitt in die Rindenoberfläche.

Wichtig ist noch der Umstand, daß dieser Einkerbungsvorgang die glatte und ganz gleichmäßig gestaltete fötale Hirnrinde trifft, daher in der Felderung der Rindenoberfläche das bestimmende, das primäre Moment bildet, welchem sich die Windungsbildung ganz passiv und sekundär anschließt. Die Annahme von primärer Wulstbildung (Retzius, Ranke, Bielschowsky), welche als sekundäre Erscheinung die Furchen bedingen sollte, ist als durch die Histologie der Rindenfurchung widerlegt, fallen zu lassen.