

Der Aufbau des Gehirns

Was ist der Körper, wenn das Haupt ihm fehlt?

William Shakespeare

Wenn das Herz gesund ist, ist der Kopf nie ganz schlecht.

Theodor Fontane

„Warum starten wir mit dem Aufbau des Gehirns?“, werden Sie sich jetzt vielleicht fragen. Der Hirntod ist die entscheidende Voraussetzung für die Organspende. Und um den zu verstehen, werfen wir einen kurzen Blick in unsere grauen Zellen, um zu zeigen, wie die entsprechenden Strukturen aufgebaut sind.

Beamten wir uns 500 Millionen Jahre zurück: Natürlich gibt es schon Lebewesen, aber von einem Gehirn kann noch lange keine Rede sein. Aber – und das ist die gute Nachricht – ein einfaches Nervensystem gibt es bereits. Dieses ist zum Beispiel mit dem eines Wurms² vergleichbar. Es ist sicherlich noch ein weiter Weg bis zu der Entwicklung des menschlichen Gehirns, aber die Natur baut genau auf diesen einfachen Strukturen auf. Der Prachtbau des heutigen menschlichen Gehirns beruht auf einer grundlegenden Zusammensetzung, die sich schon bei den Quallen finden lässt.

Der große Sprung war dabei die Entwicklung der Nervenzelle, also einer spezialisierten Zelle, die äußere Reize empfangen, verarbeiten und weiterleiten kann. Dies geschah im Verlaufe der Evolution, die stattfand, als es schon Schwämme gab, und sich aus diesen dann Quallen entwickelten. Die Nervenzelle entstand als Zelle der äußeren Hautschicht und hatte direkten Kontakt zur Umgebung. Aus einer Zelle entwickelten sich mehrere; diese begannen dann, sich entsprechend zu spezialisieren. Das heißt bekanntlich Arbeitsteilung. Davon haben sich dann einige Zellen so spezialisiert, dass sie eine Steuerungsfunktion ausführen konnten. Weil es einen Vorteil im Überleben brachte, erhielt das Gehirn im Laufe der Entwicklung mehr Volumen und wurde so leistungsfähiger. Dies geschah nur, weil es mehr Neuronen gab; ihr grundsätzlicher Aufbau und ihre grundsätzliche Struktur haben sich dabei nicht verändert. Es liegt ein sehr ähnlicher Aufbau bei allen Nervenzellen vor, auch wenn es verschiedene Arten von Neuronen gibt und ihre jeweilige Anordnung charakteristische Züge hat. Daneben finden sich Varianten, die typisch für eine jeweilige Region im Gehirn sind.³ Bei allen Lebewesen steuert der Hirnstamm die lebenserhaltenden Funktionen wie Herzschlag und Atmung, das Kleinhirn ist für die Abstimmung der Bewegungen verantwortlich.⁴

Das Gehirn steht in einem engen Zusammenhang mit dem Rückenmark. Beides zusammen bildet das Zentralnervensystem (ZNS). Das Gehirn wird dabei von den Hirnhäuten umhüllt. Das Hirngewebe wiederum setzt sich aus Nervenzellen

zusammen, die ein dichtes Netz aus Leitungsbahnen bilden. Über das Rückenmark gelangen die Nervenbahnen in nahezu alle Regionen des Körpers.⁵

Informationen

Das Hirn eines Menschen besteht aus drei Bereichen. Diese sind zum einen das **Großhirn**, dann das **Kleinhirn** und schließlich der **Hirnstamm**. Beim Hirntod sind alle drei Bereiche – und damit das gesamte Gehirn – unwiederbringlich zerstört. Schauen wir uns im nächsten Abschnitt die einzelnen Teile des Gehirns genauer an.

Das Stammhirn haben auch Reptilien

Der älteste Teil unseres Gehirns heißt Hirnstamm oder auch Stammhirn. Es ist eine winzige, wurzelförmige Struktur, die sich am Übergang des Gehirns in das Rückenmark befindet.⁶ Dieser Hirnteil war schon bei den Reptilien vorhanden. Hier werden deswegen auch die ganz grundlegenden Lebensfunktionen gesteuert. Dazu gehört die Herzfrequenz, der Blutdruck oder auch die Atmung. Es ist ebenfalls bei Reflexen, die über das Gehirn gesteuert werden, von Bedeutung. Ohne diesen Teil gibt es keinen Lidschluss-, Schluck- oder Husten-Reflex. Das Stammhirn bildet die Schnittstelle zwischen dem übrigen Gehirn und dem Rückenmark.⁷

Das Stammhirn ist also gleichsam das Fundament, auf dem alle weiteren Gehirnteile aufbauen. Kommt es hier zu Störungen oder gar zu einem Ausfall, sind auch alle Funktionen, die übergeordnet sind, gefährdet. Ein Vergleich mit einem Haus hilft: Ist das Fundament schwach, so sind auch die Räume, die darauf aufbauen gefährdet und können leichter ins Wanken geraten. Aber unser Bild stimmt noch nicht ganz: Im Stammhirn sind auch lebenswichtige Funktionen wie das Atmen oder die Blutdrucksteuerung untergebracht. In unserem Fundament müssen, gleichsam wie in einem Keller, auch die Strom- und Wasserversorgung installiert sein. Fällt diese aus, so kann das gesamte Leben in den Wohnungen darüber nur noch kurze Zeit stattfinden.

Aus dem oben Gesagten ergibt sich, dass im Stammhirn lebenswichtige Funktionen gesteuert werden. Fällt es aus, so ist das Atmen unmöglich, auch der Herzschlag lässt sich nicht mehr regulieren. Bei einem hirntoten Menschen wird dies von außen und durch die intensivmedizinische Technik übernommen.⁸ Wir werden auch noch sehen, dass die oben genannten Reflexe wichtig bei der Diagnostik des Hirntodes sind. Allerdings ist in Deutschland die Feststellung des isolierten Hirnstammtodes kein sicheres Todeszeichen. Vielmehr muss das gesamte Gehirn in seiner Funktion unwiederbringlich erloschen sein.⁹

Das Kleinhirn greift die Tasse!

Das Zwischenhirn dient als eine Art Umschaltwerk und entscheidet darüber, welche der aufgenommenen Reize, schließlich auch wahrgenommen werden sollen. Dazu werden die eingehenden Informationen gefiltert und weiter

angereichert. Erst danach gelangen sie in das Großhirn, wo wir sie als Bewusstsein wahrnehmen.¹⁰ Da sich dieser Teil unmittelbar an das Stammhirn anschließt, werden hier aber auch noch grundsätzliche Funktionen wie Wachen und Schlafen, Hunger und Durst, aber auch Schmerz- und Temperatursinn gesteuert.¹¹

Das Kleinhirn ist das Integrationszentrum für das Erlernen, die Koordination und Feinabstimmung von Bewegungen. Es ist durch eine starke Furchung der Kleinhirnrinde gekennzeichnet, wodurch es zu einer Vergrößerung der Oberfläche kommt. Ähnlich sieht es beim Großhirn aus, hier ist die Furchung aber noch stärker ausgeprägt, da das Kleinhirn mehr Zellen beherbergt als das Großhirn, obwohl es bedeutend weniger Volumen hat.¹² Menschen, die eine Verletzung am Kleinhirn z. B. durch eine Schussverletzung haben, können speziell ihre Feinmotorik nicht mehr richtig kontrollieren. Sie können zum Beispiel eine Kaffeetasse nicht mehr richtig greifen, weil sie nicht richtig einschätzen können, wann sie die Tasse erreicht haben, um dann die Hand um den Henkel zu schließen.¹³

Das Großhirn macht den Menschen aus!

Das menschliche Großhirn ist das Ergebnis der jüngsten Geschichte der menschlichen Hirnentwicklung und nimmt auch den größten Teil des Organs ein. Wir sprechen von ungefähr 85 Prozent. Es wölbt sich wie ein Helm über das Gesamthirn. Im Großhirn werden menschliche Fähigkeiten, wie Denken, Merken, Fühlen usw. gesteuert. Kommt es an dieser Stelle zu einer Schädigung, so ist es dem Betroffenen nicht mehr möglich zu sehen, sich zu erinnern oder zu sprechen. Auch die intellektuellen Fähigkeiten sind nicht mehr vorhanden.¹⁴ Im Großhirn ist also untergebracht, was den Menschen zum Menschen macht. Würde man die Oberfläche des Großhirns ausbreiten, so ist die Fläche ungefähr so groß wie die Titelseite einer Tageszeitung.

Hier sollen nicht alle Funktionen der Bereiche des Großhirns beschrieben werden. Beispielhaft beschreibe ich die Funktion des Frontallappens: Dieser ist das oberste Kontrollzentrum für situationsbezogenes Handeln sowie die Verarbeitung emotionaler Prozesse.¹⁵

Beispiel

Der Bauarbeiter Phineas Gage hatte einen massiven Unfall, der primär seinen Frontallappen betraf. Eine Eisenstange bohrte sich bei Sprengarbeiten durch seinen Kopf. Dies geschah als er 25 Jahre alt war und trug sich im Jahre 1848 zu. Obwohl er so schwer verletzt war, verlor er nicht einmal das Bewusstsein. Nachdem der Eisenstab entfernt wurde, ging es ihm schnell wieder besser. Nach zwei Monaten galt er als geheilt. Es ging ihm erstaunlich gut. Er hatte keine Probleme mit der Feinmotorik, zeigte keine Lähmungen, sprach normal und hörte gut. Und doch war er nicht mehr der alte. Vor dem Unfall war der Mann freundlich, selbstbewusst, unterhaltsam und rücksichtsvoll. Doch nach dem

Arbeitsunfall änderte sich dies massiv. Er beleidigte seine Mitmenschen mit obszönen Äußerungen, war einsilbig, unkontrolliert und aggressiv. Offensichtlich hatte der Eisenstab die Bereiche seines Gehirns zerstört, die für sein Verhalten wichtig waren.^{16,17} Im Mai 1860, es waren zehn Jahre seit dem Unfall vergangen, starb Phineas Gage an den Folgen eines epileptischen Anfalls, ohne sein Bewusstsein je wiederzuerlangen. Diese Anfälle hatte er schon vorher durchleben müssen. Auch dadurch wurde er immer ängstlicher und unzufriedener.¹⁸

Und wie ist es mit den Gefühlen? Wo sitzen die? Im Herzen? Nein. Emotionen, wie Glück und Ärger, Angst oder Verliebtsein haben ihren Ausgang im Gehirn, und zwar genauer im sogenannten limbischen System. Es liegt unter dem Großhirn. Das limbische System ist nicht nur der Sitz unserer Gefühle, hier entstehen auch Stimmungen bzw. Emotionen – auch die unter Alkohol- oder Drogeneinfluss unkontrollierbaren Emotionen.¹⁹

Das Gehirn verfügt über keinerlei Nährstoff- oder Sauerstoffreserven, es ist daher vollkommen abhängig von der kontinuierlichen Blutzufuhr. Eine Unterbrechung der Blutzufuhr, die nur ungefähr zehn Sekunden betragen muss, führt bereits zur Bewusstlosigkeit des Menschen. Stockt diese für ungefähr fünf bis acht Minuten, wird Hirngewebe permanent geschädigt, das heißt die Nervenzellen sterben ab. Bei arteriellen Verschlüssen (Thrombosen, Embolien), die unterhalb des ringförmigen Arterienkreis verlaufen, kann die Blutversorgung unter Umständen durch die anderen Arterien sichergestellt werden. Verschlüsse oberhalb der als Willis-Kreis bezeichneten Blutversorgung können nicht mehr kompensiert werden, es kommt dann zu Störungen im Versorgungsgebiet der betroffenen Arterie.²⁰ Das Gehirn muss auch deswegen stetig mit Blut versorgt werden, weil die Nervenzellen einen hohen Sauerstoffbedarf haben. Dieser ist ebenso hoch wie der der Skelettmuskulatur bei intensiver körperlicher Arbeit. Im Gegensatz zu den Muskeln haben die Neuronen keine Enzyme zum Abbau von Fettsäuren. Sie können also nur Zucker und in Ausnahmefällen Ketonkörper zur Energieverwendung nutzen.²¹

Wie oben schon beschrieben, sterben die Neuronen, wenn sie fünf bis acht Minuten nicht mehr mit Blut, und damit mit Sauerstoff und Glukose versorgt wurden, ab. Dieser Zustand lässt sich nicht mehr rückgängig machen. Aus toten Neuronen können also nie wieder lebendige werden. Die Hirnzellen können auch im Vergleich zu anderen Zellen keine Vorräte an Sauerstoff oder Glukose bilden. Deswegen müssen sie ständig damit versorgt werden. Wissenschaftler können daher sehr genau sagen, ab welchem Zeitpunkt das Hirn bei fehlender Sauerstoffversorgung geschädigt sein wird. Andere Zellen kommen sehr viel länger ohne Sauerstoffzufuhr aus. So geht der Herzmuskel irreparabel nach 15 bis 30 Minuten zu Grunde, bei der Skelettmuskulatur ist dies erst nach etwa acht Stunden der Fall.

Die Folgen des Sauerstoffentzugs haben aber schon nach 20 bis 40 Sekunden Konsequenzen; dann schaltet das Gehirn in einen Energiesparmodus, indem die elektrische Aktivität eingestellt wird. Sind keine Energiereserven mehr vorhanden, kann man eine starke Entladungswelle beobachten. Als Folge entstehen Schadenskaskaden, die zu einer Vergiftung der Nervenzellen führen. Setzt jetzt die Sauerstoffversorgung wieder ein, gesundet die Zelle. Bleibt der Sauerstoff immer noch aus, stirbt sie.

Nach dem Hirntod, und dies ist entscheidend, fallen die anderen Systeme wie Herzschlag oder Verdauung aus. Diese können bei einem Hirntoten nur noch funktionieren, solange diese von außen ersetzt werden. Wenn das Gehirn aber tot ist, also die Nervenzellen abgestorben sind, ist auch kein Weg zurück ins Leben mehr möglich.

Beispiel

Die Situation nach dem Hirntod ist mit dem Betreten einer Brücke vergleichbar, auf der der Erkrankte ungefähr auf der Mitte steht. Tritt der Hirntot ein, so ist der Weg zurück nicht nur versperrt, dann ließe er sich ja noch umgehen. Er ist vielmehr nicht mehr vorhanden. Den Teil der Brücke, auf der der Mensch gekommen ist, gibt es gleichsam nicht mehr. Außerdem lässt sich dieser Teil der Brücke auch nicht wiederaufbauen.

Gehirnzellen, die einige Minuten nicht durchblutet wurden, können nicht mehr ihre alte Funktion wiedererlangen. Sie sind dann so massiv geschädigt, dass dies nicht mehr möglich ist. Jeder Querschnittsgelähmte, der auf den Rollstuhl angewiesen ist, kann davon ein Lied singen.²²

Das Rückenmark ist die Zentrale, die schaltet

Das Rückenmark ist zwar Teil des zentralen Nervensystems, aber nicht des Gehirns. Es schließt sich an das Gehirn an und reicht von der Unterseite des Kopfes bis in die Wirbelkörper vom Lendenbereich. Da es keine Steuerungsfunktionen besitzt und als eine Art Umschaltwerk dient, spielt es bei der Hirntoddiagnostik keine Rolle. Bei einem Hirntoten ist das Rückenmark, wenn es nicht verletzt ist, noch funktionsfähig. Das Rückenmark hat, weil es nicht Teil des Gehirnes ist, auch keine Bedeutung bei der Entstehung und Steuerung von Denken, Fühlen oder Bewegungen. Es ist die oben schon genannte Schaltzentrale, die das Gehirn mit den inneren Organen, der Haut und den Muskeln verbindet. Dementsprechend finden sich im Rückenmark auch die typischen Reflexe, spinale Reflexe genannt, die dort gesteuert werden, wieder.

„Alle Bewegungen eines Hirntoten sind Reflexe, die sich auf der Ebene des Rückenmarks abspielen. Das Gehirn hat hierbei keinerlei Funktion mehr, da sämtliche Teile des Gehirns – Großhirn, Kleinhirn und Hirnstamm – abgestorben sind. Es ist deswegen an diesen Bewegungen nicht beteiligt. Die spinalen Reflexe, darunter versteht man unwillkürliche stereotyp Reizantworten, die im Rückenmark