

28

Reizaufnahme und Erregungsleitung

28.1 Nervenzellen sind spezialisiert auf die Leitung und Verarbeitung von Informationen

Reflexe, also immer gleiche Reaktionen auf Reize, beruhen auf der Verschaltung von Nervenzellen, den Neuronen. Sensorische **Neuronen** empfangen Signale und geben diese an motorische Neuronen, die mit Muskelzellen in Kontakt stehen, weiter. Durch dazwischengeschaltete Interneuronen können Reflexe modifiziert werden. Neuronen weisen Strukturen auf, die eng mit ihrer Funktion zusammenhängen. Über die Dendriten werden Signale z. B. von anderen Neuronen oder spezialisierten Sinneszellen (**Rezeptorzellen**) aufgenommen. Über die Zellmembran des Zellkörpers (Soma), der wie bei anderen Körperzellen die Zellorganellen enthält, werden diese integriert und zum Axonhügel fortgeleitet. Dort entstehen bei Überschreitung eines Schwellenwerts **Aktionspotenziale**, die über das Axon (Neurit) zu den Zielzellen weitergeleitet werden. Nahe den Zielzellen, z. B. nahe **Effektoren** wie Drüsen oder Muskeln, verzweigt sich das Axon. An den Axonendigungen bilden die Endknöpfchen Kontaktstellen zur Zellmembran der Zielzellen. Diese Kontaktstellen heißen **Synapsen**.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 134 „Input, Integration und Output sind die Hauptaufgaben unseres Nervensystems“

28.2 Gliazellen unterstützen Neuronen bei der Informationsverarbeitung

Gliazellen unterstützen und ernähren Neuronen. Axone peripherer Neuronen werden bei Wirbeltierzellen von Schwann'schen Zellen isoliert. Diese Gliazellen wickeln sich als lipidreiche Myelinscheiden in Schichten um Abschnitte des Axons und spielen bei der Fortleitung von Aktionspotenzialen eine Rolle. Andere Gliazellen stützen Nervenzellen mechanisch oder beeinflussen deren Verknüpfungen. Mikrogliazellen beseitigen Zelltrümmer und sternförmige Astrocyten helfen, Neuronen zu ernähren, das Ionenmilieu aufrechtzuerhalten und Botenstoffe zu regenerieren.

28.3 Ionenpumpen und Ionenkanäle machen die Membran durchlässig für bestimmte Ionen

Durch eine ungleiche Verteilung positiver und negativer Ladungsträger im Cytoplasma und im äußeren Milieu wird die Zellmembran eines Neurons polarisiert. **Ionenkanäle** und Ionenpumpen liegen in der sonst für Ionen undurchlässigen Lipiddoppelschicht. Diese Kanal- und Transportproteine erlauben unter bestimmten Umständen den Durchtritt kleiner Ionen und erzeugen so eine elektrische Leitfähigkeit der Membran. Die Größe der Ionen, die Ladung und die anhaftende Hydrathülle bestimmen bei den Kanalproteinen die Durchtrittsmöglichkeit. Die Ionenkanäle sind selektiv für eine bestimmte Ionensorte. Es gibt Chlorid-, Kalium- und Natriumkanäle. Der tatsächliche Ionenstrom wird auch von der Ladungsverteilung und dem Konzentrationsgefälle einer Ionensorte bestimmt. Ionenströme durch Kanalproteine erfolgen durch Diffusion. Die meisten Ionenkanäle sind im Ruhezustand des Neurons geschlossen und öffnen sich spannungsgesteuert, ligandengesteuert oder durch mechanische Reize. Ionenpumpen sind Transportproteine, die Energie in Form von ATP benötigen, um Ionen durch Konformationsänderung von einer Membranseite auf die andere zu befördern. Die Natrium-Kalium-Pumpe in der Axonmembran eines Neurons schafft pro ATP-Spaltung drei Natrium-Ionen nach außen und zwei Kalium-Ionen nach innen.

28.4 In Ruhe zeigen Neuronen ein Gleichgewichtspotenzial

Im Ruhezustand sind die meisten Ionenkanäle eines Neurons geschlossen. Geöffnet sind nur die Kalium-Hintergrundkanäle. Die Membran ist selektiv permeabel für Kalium-Ionen. Dem Konzentrationsgradienten entsprechend treten die positiv geladenen Kalium-Ionen solange aus, bis der dadurch bedingte negative Ladungsüberschuss (große Anionen) im Zellinneren diesen Ausstrom zum Stillstand bringt. Dann liegt an der Zellmembran das **Gleichgewichtspotenzial** (Ruhepotenzial) vor. Mit Mikroelektroden lässt sich diese Membranspannung messen. In einem ruhenden Säugerneuron befinden sich auf der Innenseite die negativen Ladungen im Überschuss, auf der Außenseite die positiven Ladungsträger (Natrium-Ionen).

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 135 „Das Ruhepotenzial wird durch eine Natrium-Kalium-Pumpe aufrechterhalten“

28

Reizaufnahme und Erregungsleitung

28.5 An aktiven Neuronen treten kurzzeitige Potenzialveränderungen auf

Änderungen des Membranpotenzials beeinflussen die spannungsgesteuerten Ionenkanäle für Natrium- und Kalium-Ionen. Wird das Ruhepotenzial von etwa -70 mV um 5 bis 10 mV positiver, öffnen sich die Aktivierungstore spannungsgesteuerter Natriumkanäle. Das Schwellenpotenzial für ein **Aktionspotenzial** wird erreicht. Natrium-Ionen sind außen im Überschuss und strömen durch Diffusion und zugleich entsprechend dem elektrischen Gradienten ein. Lawinenartig erfolgt eine **Depolarisation** der Membran bis $+30\text{ mV}$. Nach ca. 1 ms schließen sich die Aktivierungstore der Natriumkanäle wieder und können sich für eine **Refraktärzeit** nicht mehr öffnen. Da sich kurz nach den Natriumkanälen die Kaliumkanäle spannungsgesteuert öffnen, strömen Kalium-Ionen nach außen und das Zellinnere wird wieder negativer (**Repolarisation**). Natrium-Kalium-Pumpen stellen die Ionenverteilung aktiv wieder her. Aktionspotenziale laufen immer gleich ab (**Alles-oder-nichts-Gesetz**).

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 136 „Aktionspotenziale bedeuten eine Veränderung des Membranpotenzials“

28.6 Signale pflanzen sich selbst entlang dem Axon fort

Die Erregung wird am Axon durch fortlaufende Neuentstehung des Aktionspotenzials weitergeleitet. Wird am Axonhügel eines Neurons der Schwellenwert erreicht, öffnen sich spannungsgesteuerte Natriumkanäle und ein Aktionspotenzial entsteht. Der sich ausbreitende Natriumstrom im Axon öffnet auch benachbarte Natrium-Ionenkanäle, sodass das Aktionspotenzial an der benachbarten Membranstelle immer wieder neu entsteht, während es an der jeweiligen Ausgangsstelle durch die Refraktärzeit und den Kaliumausstrom zur Repolarisation kommt. Die Fortleitungsgeschwindigkeit hängt u. a. vom Durchmesser des Axons ab. Dickere Axone leiten schneller.

28.7 Springende Aktionspotenziale beschleunigen die Erregungsleitung erheblich

Die abschnittsweise Isolation der Axone durch Myelinscheiden (Schwann'sche Zellen), die bei Wirbeltierneuronen auftritt, beschleunigt die Erregungsleitung erheblich. An solchen Axonen liegt nur alle $0,2$ bis 2 mm die Zellmembran frei zur Extrazellulärflüssigkeit (Ranvier'sche Schnürringe). Nur da sitzen dicht an dicht die spannungsgesteuerten Kanäle, nur da können Aktionspotenziale entstehen. Über den isolierten Abschnitt kann sich die Depolarisation viel schneller elektrotonisch ausbreiten. Diese **saltatorische Erregungsleitung** benötigt auch weniger Stoffwechselenergie.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 137 „Erregungsleitung erfolgt an Axonen auf unterschiedliche Weise“

28.8 Die Abfolge der Aktionspotenziale codiert Reizdauer und Reizstärke

In einer Rezeptorzelle, z. B. einem Dehnungsrezeptor im Muskel, wird die Reizstärke durch die Höhe der Spannungsänderung (**Rezeptorpotenzial**) codiert. Erreicht das Rezeptorpotenzial den Schwellenwert, werden Aktionspotenziale ausgelöst. Dabei wird die Reizstärke durch die Frequenz codiert, die Reizdauer durch die Dauer der Abfolge der Aktionspotenziale.