

Wie Übersäuerung und Salz unsere Zellbatterien lahmlegen

Jede Körperzelle benötigt zur Aufrechterhaltung aller Zellabläufe und zur Durchführung ihrer spezifischen Aufgaben große Mengen chemisch gebundener Energie. Diese erhält sie in Form von Nährstoffen aus unserer Nahrung. Die Nährstoffe werden gemeinsam mit Sauerstoff aus der Atmung in den Mitochondrien, den Kraftwerken unserer Zellen, in ATP umgewandelt, das die chemische Energie bündelt und speichert.

Neben der chemisch gebundenen Energie benötigt die Zelle jedoch auch elektrische Energie. Jede unserer Körperzellen ist daher aufgebaut wie eine kleine Batterie oder – noch präziser – wie ein Mini-Akku: Im Inneren ist die Zelle negativ geladen, außen dagegen positiv und immer wieder aufladbar.

Das Membranpotential versorgt die Zelle mit elektrischer Energie

Der Unterschied der elektrischen Ladung über die Zellmembran (Zellhülle) heißt Membranpotential und versorgt die Zelle mit elektrischer Energie. Das Membranpotential wird durch die Konzentrationen der verschiedenen Ionen, vor allem Kalium (K⁺) und Natrium (Na⁺), innerhalb und außerhalb der Zelle sowie deren Bewegungen über die Zellmembran hergestellt. Hierfür sind vor allem die Aktivitäten verschiedener Membrantransporter verantwortlich.

Ion	Intrazelluläre Konzentration	Extrazelluläre Konzentration	Gleichgewichtspotential
Natrium (Na ⁺)	15 mM	145 mM	$V_{Na} = +60.60 \text{ mV}$
Kalium (K ⁺)	150 mM	4 mM	$V_K = -96.81 \text{ mV}$
Calcium (Ca ²⁺)	70 nM	2 mM	$V_{Ca} = +137.04 \text{ mV}$
Säure (Proton, H ⁺)	63 nM (pH 7,2)	40 nM (pH 7,4)	$V_H = -12.13 \text{ mV}$
Magnesium (Mg ²⁺)	0.5 mM	1 mM	$V_{Mg} = +9.26 \text{ mV}$
Chlorid (Cl ⁻)	10 mM	110 mM	$V_{Cl} = -64.05 \text{ mV}$
Bicarbonat (HCO ₃ ⁻)	15 mM	24 mM	$V_{HCO_3^-} = -12.55 \text{ mV}$

Tab. 1: Intra- und extrazelluläre Konzentrationen sowie Nernst-Gleichgewichtspotential wichtiger Ionen

Das Ruhemembranpotential liegt je nach Zelltyp zwischen -50 und -100 mV in der Zelle. Dies hört sich zunächst nach wenig an, doch bei Beachtung der Größenverhältnisse wird die immense Bedeutung des Membranpotentials klar: Die elektrische Spannung an der Zellmembran beträgt etwa 14 Millionen Volt pro Meter (14 kV/mm)! Dies entspricht der vierfachen Durchschlagskraft der Luft.

In nicht-erregbaren Zellen, beispielsweise Epithelzellen oder Fettgewebszellen ändert sich das Membranpotential kaum. In erregbaren Zellen, wie Nervenzellen, Muskelzellen und einigen endokrinen Zellen, ändert sich das Membranpotential nach Stimulation der Zelle deutlich für einen kurzen Zeitraum (Millisekunden) hin zum Aktionspotential. Die Rückkehr zum Ruhemembranpotential nennt man Repolarisation. In viele Nervenzellen folgt auf das Aktionspotential eine kurze Hyperpolarisierung, während der die Zelle nicht erregbar ist.

Membranpotential	Zellladung	
Aktionspotential	+30 mV	Sauer – wenig Kalium und O ₂
Depolarisierung (gestresst)	0 bis -40 mV	
Ruhepotential (entspannt)	-60 bis -90 mV	Basisch – viel Kalium und O ₂
Hyperpolarisierung („gehemmt“)	-100 mV	

Tab. 2: Membranpotential

Die Abweichungen vom Ruhemembranpotential in erregbaren Zellen sind für physiologische Funktionen dieser Zellen extrem wichtig. Die bioelektrischen Veränderungen an der Zelle werden in biochemische Veränderungen übersetzt. So lenken die Änderungen des Membranpotentials Prozesse wie die Reizweiterleitung in Nervenzellen, die Muskelkontraktion, die Ausschüttung von Hormonen und sensorische Prozesse.

Vor allem Kalium bestimmt das Ruhepotential. Dies ist daran zu erkennen, dass Kalium das am stärksten negative Gleichgewichtspotential aufweist (s. Tab. 1). Ist zu wenig Kalium in der Zelle vorhanden, so ist die Zellladung reduziert (depolarisiert). Die Zelle ist gestresst und schneller erregt. Dies kann Einfluss auf alle genannten physiologischen Prozesse haben. Die Erhaltung eines Ruhemembranpotentials im Normalbereich ist daher von immenser Wichtigkeit.

Das Ruhepotential von -60 bis -90 mV wird vor allem durch Säuren (Protonen) und Natrium depolarisiert. So verliert also der Zellakku an Ladung. Säuren werden ständig im Zellstoffwechsel gebildet und gegen Natrium aus der Zelle geschleust. Solange die Natrium-Kalium-Pumpe Energie hat und dann das Natrium gegen das Kalium aus der Zelle transportiert, bleibt der Zellakku geladen. Doch eine zu starke Übersäuerung und Natriumansammlung depolarisieren das Ruhepotential: Es ist weniger negativ geladen und leichter auslösbar. Der Zustand unseres Nervensystem entspricht dann dem Gefühl: unter Strom aber erschöpft. Wir sind sprichwörtlich leicht reizbar, weil unsere Nerven leicht „erregbar“ sind.

Membranpotential beeinflusst Krebsentstehung

In epithelialen Zellen spielt das Membranpotential eine wichtige Rolle bei der Regulierung von Zellteilung und -differenzierung. Auf diese Weise hat es einen wichtigen Einfluss auf die Entstehung und Entwicklung einer Krebserkrankung. Kontrollstellen für das Membranpotential finden sich in vielen Krebszellen und Stammzellen (Sundelacruz *et al.*, 2009). Stark geladene Zellen können nicht von Krebs befallen werden. Dies ist der Grund, warum es so gut wie keinen Herzkrebs gibt: Der Herzmuskel weist das höchste Membranpotential aller Körperorgane auf.

Veränderungen des Ruhemembranpotentials können sich somit auf die Krebsentstehung auswirken. Calcium wirkt beispielsweise als Depolarisator und kann daher bei übermäßiger Aufnahme in die Zelle entdifferenzierend und damit potentiell krebsfördernd wirken. Eine hohe Kaliumzufuhr stabilisiert dagegen das Membranpotential und wirkt so krebshemmend.

Reduziertes Membranpotential bei Krankheit

Das Membranpotential nimmt mit der Zeit aufgrund von Alterungsprozessen, reduzierter Energieproduktion in den Zellkraftwerken (Mitochondrien), Stress, ungesunder Ernährung und Schadstoffen aus unserer Umwelt ab. Eine verminderte Zellspannung hat einen direkten Zusammenhang zu Krankheitsgeschehen: Dr. Warburg fand heraus, dass gesunde Menschen ein Ruhemembranpotential von -70 bis -100 mV aufweisen, Menschen mit chronischen Erkrankungen dagegen nur -30 bis -50 mV und Krebspatienten sogar weniger als -20 mV.



Abb.1: Membranpotential in Abhängigkeit vom Gesundheitszustand

Literatur:

Sundelacruz S, Levin M, Kaplan DL (2009): Role of Membrane Potential in the Regulation of Cell Proliferation and Differentiation. Stem Cell Rev and Rep; 5:231–246.