

# Kreislauf und Gasaustausch

## 1. Transportsysteme verbinden die Körperzellen funktionell mit den Austauschorganen

- 1.1 Der Austausch von Sauerstoff, Kohlendioxid, Nährstoffen und Stoffwechselschlacken zwischen den Zellen eines Organismus und der externen Umwelt findet über feuchte Membranoberflächen statt.
- 1.2 Da die meisten ihrer Körperzellen zu weit vom externen Milieu entfernt sind, um durch Diffusion versorgt zu werden, besitzen viele Tiere spezialisierte Systeme für den internen Stofftransport.
- 1.3 Indem sie Blut oder Hämolymphe durch den Körper pumpen, bilden Transportsysteme eine Nabelschnur zwischen der wässrigen Mikroumgebung der Zellen und solchen Organen wie Lunge oder Dünndarm, die Stoffe mit der Aussenwelt austauschen.
- 1.4 Das Transportsystem spielt auch bei der Homöostase eine Rolle, indem es anderen Organe oder Organsystemen wie Leber und Niere ermöglicht, die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Mikroumgebung der Körperzellen zu regulieren.

## 2. Die meisten Invertebraten besitzen für den internen Transport ein Gastrovaskularsystem oder ein Kreislaufsystem

- 2.1 Cnidarier und Plattwürmer haben ein Gastrovaskularsystem, das sowohl dem Stofftransport als auch der Verdauung dient.
- 2.2 Arthropoden und die meisten Mollusken besitzen ein offenes Kreislaufsystem, bei dem die Gewebe direkt von Hämolymphe umspült werden, die das Herz in Lakunen und Spalten pumpt.
- 2.3 Anneliden und Cephalopoden besitzen ein geschlossenes Kreislaufsystem, in welchem das Blut ganz auf Gefäße beschränkt ist; von diesen sind manche kontraktile und funktionieren als Herz.

## 3. Die Herz-Kreislaufsysteme der Wirbeltiere sind unterschiedlich angepasst

- 3.1 Bei den Vertebraten strömt das Blut in einem geschlossenen Herz-Kreislaufsystem (Kardiovaskularsystem), das aus Blutgefäßen und einem zwei- bis vierkammerigen Herz besteht. Dieses besitzt einen oder zwei Vorhöfe (Atrien), die das Blut aus Venen aufnehmen, und einen oder zwei Ventrikel, die das Blut in Arterien pumpen. Arterien

zweigen sich in Arteriolen auf, die das Blut in Kapillarnetze führen; in diesen findet der Stoffaustausch zwischen dem Blut und der interstitiellen Flüssigkeit statt.

- 3.2 Bei Fischen besteht das Herz aus einem einzelnen Atrium und einem einzelnen Ventrikel, welcher das Blut zur Oxygenierung in die Kiemen pumpt; von dort strömt es relativ langsam in andere Kapillarnetze des Körpers, ehe es zum Herzen zurückkehrt.
- 3.3 Amphibien und die meisten Reptilien besitzen ein dreikammeriges Herz, bei dem der einzelne Ventrikel das Blut über den Lungenkreislauf durch die Lungen und über den Körperkreislauf durch den übrigen Körper pumpt. Aus diesen Kreisläufen kehrt das Blut in getrennte Vorhöfe zurück. Das doppelte Zirkulationssystem pumpt das sauerstoffreiche Blut aus den Lungen erneut, bevor es in den übrigen Körper gelangt, und stellt so einen starken Blutstrom sicher.
- 3.4 Vögel und Säuger sind endotherm; sie besitzen ein vierkammeriges Herz, welches sauerstoffreiches und sauerstoffarmes Blut vollständig trennt.

## 4. Das rhythmisch schlagende Säugerherz pumpt Blut durch den Lungen- und den Körperkreislauf

- 4.1 Der Herzzyklus besteht aus einer Kontraktionsphase, der Systole, und einer Erschlaffungsphase, der Diastole.
- 4.2 Herzklappen regeln den Blutfluss durch das Herz.
- 4.3 Zusammen mit dem Schlagvolumen bestimmt die Herzfrequenz (Puls) das Herzzeitvolumen; dies ist das pro Minute vom linken Ventrikel in den Körperkreislauf gepumpte Blutvolumen.
- 4.4 Die autorhythmische Kontraktion des Herzmuskels wird durch ein Impulsübertragungssystem koordiniert, mit dem Sinusknoten im rechten Vorhof als Schrittmacher. Der Schrittmacher setzt eine Kontraktionswelle in Gang, die sich durch die Vorhöfe fortpflanzt, im Atrioventrikularknoten (AV-Knoten) kurz verzögert wird und dann die Ventrikel erfasst. Der Schrittmacher selbst wird durch Nerven, Hormone, die Körpertemperatur und Veränderungen des Vorhofvolumens beeinflusst.
- 4.5 Alle Blutgefäße einschliesslich der Kapillaren sind von einem einschichtigen Endothel ausgekleidet. Arterien und Venen besitzen zwei weitere Schichten, die sich auf charakteristische Weise aus glatten Muskeln, elastischen Fasern und Bindegewebe aufbauen.

- 4.6 Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ist in den verschiedenen Bereichen des Kreislaufsystems sehr unterschiedlich; im Kapillarbett ist sie am geringsten aufgrund des hohen Widerstands und des grossen Gesamtquerschnitts der Arteriolen und Kapillaren. Dieser langsamere Fluss erleichtert den Stoffaustausch zwischen Blut und interstitieller Flüssigkeit.
- 4.7 Der Blutdruck wird durch das Herzzeitvolumen und den peripheren Widerstand bestimmt; letzterer beruht auf dem Konstraktionsgrad der Arteriolen, der nervös gesteuert wird.
- 4.8 Skelettmuskelaktivität und durch die Atembewegungen hervorgerufene Druckveränderungen im Thorax befördern das Blut in den Venen zurück zum Herzen; Einwegventile (Venenklappen) verhindern dabei ein Zurückfliessen.
- 4.9 Die Mikrozirkulation des Blutes in jedem einzelnen Kapillarbett wird durch Konstriktion von Arteriolen und präkapillären Sphinktern reguliert; dadurch wird eine kontinuierliche und doch flexible Sauerstoffversorgung jedes einzelnen Gewebes sichergestellt.
- 4.10 Der Stoffaustausch in den Kapillaren ist die eigentliche Funktion des Kreislaufsystems. Substanzen durchqueren das Endothel in endocytotisch-exocytotischen Vesikeln, durch Diffusion oder gelöst in Flüssigkeit, die am arteriellen Ende der Kapillare durch den Blutdruck nach aussen gepresst wird (Massenstrom).

## **5. Das Lymphsystem führt interstitielle Flüssigkeit in das Blut zurück und unterstützt die Abwehrmechanismen des Körpers**

- 5.1 Die verlorene Flüssigkeit kehrt entweder unmittelbar am venösen Ende der Kapillare durch Osmose in das Kreislaufsystem zurück, oder indirekt über das Lymphsystem.
- 5.2 Lymphknoten gehören zur körpereigenen Abwehr gegen Infektionen.

## **6. Blut ist ein flüssiges Bindegewebe aus Plasma und darin verteilten Zellen**

- 6.1. Gesamtblut besteht aus zellulären Elementen (Zellen und Zellfragmenten), die in einer als Plasma bezeichneten flüssigen Matrix verteilt sind.

- 6.2 Plasma ist eine komplexe wässrige Lösung aus anorganischen Elektrolyten, Proteinen, Nährstoffen, Stoffwechselschlacken, Atemgasen und Hormonen.
- 6.3 Plasmaproteine beeinflussen den pH-Wert, den osmotischen Druck und die Viskosität des Blutes, transportieren Lipide und sind an der Immunität (Antikörper) sowie der Blutgerinnung (Fibrinogen) beteiligt.
- 6.4 Rote Blutzellen (Erythrocyten) transportieren Sauerstoff; mit dieser Aufgabe in Zusammenhang stehen ihre geringe Grösse und bikonkave Form, ihr Hämoglobingehalt und ihr anaerober Stoffwechsel. Alle Typen von Blutzellen entstehen aus pluripotenten Stammzellen im Knochenmark.
- 6.5 Die fünf verschiedenen Typen weisser Blutzellen (Leukocyten) sind durch Phagozytose von Bakterien und Zelltrümmern, durch die Produktion von Antikörpern und durch andere Aktivitäten an den Abwehrmechanismen des Körpers beteiligt.
- 6.6 Blutplättchen (Thrombocyten) sind von Knochenmarkszellen gebildete Zellfragmente und an der Blutgerinnung beteiligt. Bei letzterer wird am Ende einer komplexen Reaktionskaskade Fibrinogen zu Fibrin umgesetzt.

## **7. Herz-Kreislaufkrankungen sind in Deutschland und vielen anderen Industrienationen die häufigste Todesursache**

- 7.1 Die häufigste Todesursache in Deutschland sind Herz-Kreislaufkrankungen, also krankhafte Veränderungen des Herzens und der Gefässe. Die allmähliche Bildung von Plaques bei Atherosklerose verengt den Querschnitt von Blutgefässen und kann dadurch zur Verstopfung eines Gefässes führen, was einen Herzinfarkt oder einen Hirnschlag auslösen kann.

## **8. Der Gasaustausch liefert Sauerstoff für die Zellatmung und beseitigt Kohlendioxid: Eine Übersicht**

- 8.1 Der Stoffwechsel erfordert eine konstante Versorgung mit Sauerstoff und das Entfernen von Kohlendioxid. Die Diffusion von Atemgasen zwischen dem Atemmedium (Luft oder Wasser) und der Körperflüssigkeit erfolgt bei Tieren über respiratorische Oberflächen; diese sind feucht und sehr gross.

## **9. Die Atemorgane der meisten Wassertiere sind Kiemen**

- 9.1 Kiemen sind auf den Gasaustausch spezialisierte Ausfaltungen der Körperoberfläche. Die Effizienz des Gasaustauschs wird vor allem bei der Fischkieme durch Ventilation und einen Gegenstrom von Atemwasser und Blut gesteigert.

## **10. Die Atemorgane der Insekten sind Tracheen**

- 10.1 Die Insektentracheen sind kleine, sich verzweigende und mit Luft gefüllte Röhren, die den gesamten Körper durchdringen und den Sauerstoff direkt zu den Zellen bringen.

## **11. Die Atemorgane der meisten Landwirbeltiere sind Lungen**

- 11.1 Die meisten terrestrischen Vertebraten, Landschnecken und Spinnen besitzen interne Lungen, die auf einen bestimmten Körperbereich beschränkt sind.
- 11.2 Die Säugerlunge ist von den beiden Pleurablättern umhüllt, die an der Lunge beziehungsweise der Brusthöhlenwand befestigt sind und gegeneinander auf einem Flüssigkeitsfilm gleiten. Durch die Nase eingeatmete Luft gelangt über den Pharynx in die Trachea. Bronchien, Bronchiolen und schliesslich in die als Blindsäcke ausgebildeten Alveolen, wo der Gasaustausch stattfindet.
- 11.3 Lungen werden über die Atembewegung ventiliert. Frösche ventilieren durch Überdruckatmung und pressen Luft in ihre Lungen. Säuger ventilieren durch Unterdruckatmung, indem sie die Zwischenrippenmuskulatur und das Zwerchfell kontrahieren, wodurch sich das Volumen der Brusthöhle vergrössert; dies wiederum vermindert den Gasdruck in der Lunge gegenüber dem atmosphärischen Luftdruck.
- 11.4. Das Atemzugvolumen ist das in Ruhe ein- beziehungsweise ausgeatmete Luftvolumen und erheblich geringer als die Vitalkapazität der Lungen. Selbst bei starker Expiration bleibt ein Residualvolumen, das nicht ausgeatmet werden kann.
- 11.5. Vögel besitzen eine Einweg-Ventilation ihrer Lungen, die durch ein System von Luftsäcken ermöglicht wird. Diese verringern auch die Dichte des Vogels und verteilen seine Körperwärme rasch, was als Anpassungen an das Fliegen zu verstehen ist.

- 11.6. Die Atmung wird zentral und automatisch durch Atemzentren in der Medulla oblongata und der Brücke (Pons) gesteuert. Nervenimpulse aus der Medulla legen den Grundrhythmus der Atmung fest. Sensoren messen im Blut Veränderungen des pH-Wertes (die den CO<sub>2</sub>-Spiegel reflektieren) sowie den O<sub>2</sub>-Gehalt, und die Medulla passt die Atemfrequenz und das Atemzugvolumen an die Bedürfnisse des Stoffwechsels an.
- 11.7 Sauerstoff und Kohlendioxid diffundieren stets aus Bereichen mit höheren in solche mit niedrigeren Partialdrücken.
- 11.8 Respiratorische Proteine (Pigmente) erhöhen die Sauerstofftransportkapazität des Blutes. Viele Arthropoden und Mollusken verwenden das blaue, kupferhaltige Hämocyanin, manche Würmer besitzen eisenhaltiges Hämyerithrin, die Wirbeltiere und die unterschiedlichsten Invertebraten haben das eisenporphyrinhaltige Hämoglobin.
- 11.9 Hämoglobinmoleküle bestehen aus vier Untereinheiten, von denen jede ein Sauerstoffmolekül binden kann. Die Bindung des ersten O<sub>2</sub>-Moleküls erhöht die Affinität der anderen Untereinheiten für Sauerstoff. Die Dissoziationskurve des Hämoglobins ist in dem Bereich am steilsten, der dem Sauerstoffpartialdruck in den Geweben entspricht. Ein Sinken des pH-Wertes senkt die Sauerstoffaffinität des Hämoglobins, wodurch es in stoffwechselaktiven Geweben mehr O<sub>2</sub> freisetzt.
- 11.10 Das meiste im Stoffwechsel erzeugte Kohlendioxid wird in Form von Bicarbonat-Ionen transportiert, die durch Dissoziation der Kohlensäure entstehen, die in den roten Blutzellen aus Kohlendioxid und Wasser gebildet wird. Die aus dieser Dissoziation stammenden Protonen werden an Hämoglobin und Plasmaproteine gebunden, die im Blut als Puffersubstanzen dienen. Der gesamte Vorgang dreht sich um, wenn das Blut in die Lungenkapillaren eintritt; dadurch wird Kohlendioxid freigesetzt, diffundiert in die Alveolen und wird abgeatmet.
- 11.11 Tauchende Säuger besitzen ein größeres Blutvolumen, einen höheren Gehalt an Hämoglobin, mehr Myoglobin in der Muskulatur und einen stärkeren Tauchreflex als andere Säuger. Der Tauchreflex senkt den Puls und reduziert die Durchblutung nichtvitaler Organe wie der Muskeln.