

2

2.7.2 Spezifische Immunabwehr

Zur spezifischen Abwehr gehören Zellen, die ein spezielles Erkennen bzw. Wiedererkennen bestimmter Molekülstrukturen ermöglichen. Diejenigen Strukturen, die eine Immunreaktion hervorrufen können, bezeichnet man als Antigen. Auch die Zellen des lymphatischen Systems gehören zu den spezifischen Abwehrzellen. Sie lassen sich einteilen in T-Lymphozyten mit zytotoxischen und Lymphokin-bildenden Eigenschaften und B-Lymphozyten zur Produktion von Antikörpern.

Die hohe Variabilität der Antikörper zur Erkennung zahlreicher verschiedener Antigene wird durch genetische Rekombination gewährleistet. Die Antikörper können je nach Molekülzusammensetzung in Immunglobuline der Klassen IgA, IgD, IgE, IgG und IgM eingeteilt werden (→ Abb. 2-10).

Aktive Impfungen basieren auf der Gabe von Antigenen, gegen die der Körper Antikörper bilden muss. Durch wiederholte Impfung („Boostern“) kann eine schnellere und stärkere Immunantwort erreicht werden. Bei passiven Impfungen dagegen wird der Antikörper selbst gegeben. Während die aktive Immunisierung lange Zeit (mehrere Jahre) wirksam bleiben kann, ist die Wirkdauer der passiven Immunisierung auf wenige Wochen bis Monate beschränkt. Sie wirkt jedoch sofort, während für die aktive Impfung einige Wochen zur Bildung von Antikörpern und damit einem Impfschutz nötig sind.

Körperzellen besitzen bestimmte Oberflächenmerkmale, mit denen sie als körpereigen erkannt werden können. Diese Moleküle werden als Haupthistokompatibilitäts-Komplex (MHC, engl. major histocompatibility complex) bezeichnet.

2.8 Blutgruppen

Verschiedene Ausprägungen von Eigenschaften des Blutes beruhen auf unterschiedlichen Strukturen der Blutbestandteile („Polymorphismen“). Sie können bei

- ▶ Erythrozyten-Antigenen,
- ▶ Serumgruppen oder
- ▶ Enzymgruppen auftreten.

Es gibt zahlreiche Blutgruppensysteme (z. B. ABO, Rhesus, Kell, Kidd, Lewis, Lutheran, MNSs, Wrigth, Xg), von denen das ABO-System das gängigste ist.

2.8.1 ABO-System

Erythrozyten tragen bestimmte Oberflächenmoleküle (Agglutinogene, → Abb. 2-11). Diese können bei vorangegangener Sensibilisierung durch im Plasma vorhandene Antikörper (Agglutinin) erkannt werden. Die Antigeneigenschaften der Erythrozyten sind angeboren, während die Plasmaantikörperbildung in den ersten Lebensmonaten entweder durch Immunisierung während der Geburt oder durch Darmbakterien ausgelöst wird.

Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Blutgruppen ist genetisch bedingt und variiert geographisch stark. Das ABO-System wird nach den Mendel'schen Gesetzen vererbt, wobei A und B kodominant sind.

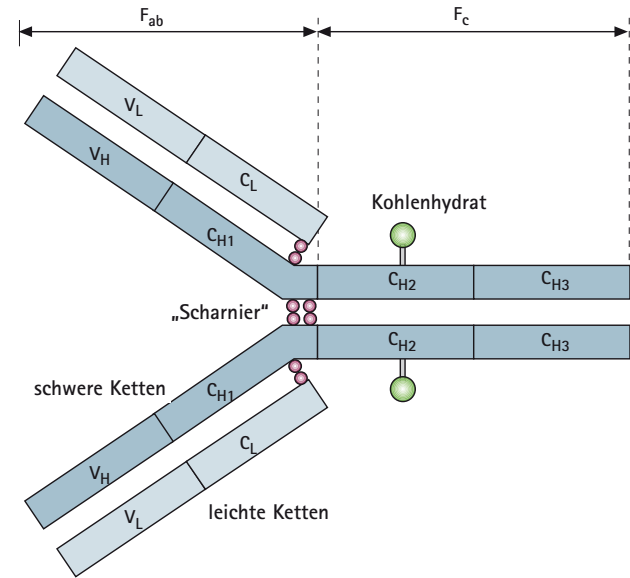


Abb. 2-10 Antikörper setzen sich aus verschiedenen Peptidketten zusammen. Die konstanten Regionen (C) bestimmen Molekülinteraktion und Art des Antikörpers, die variablen Regionen (V) dienen der Antigenerkennung für spezifische Epitope.

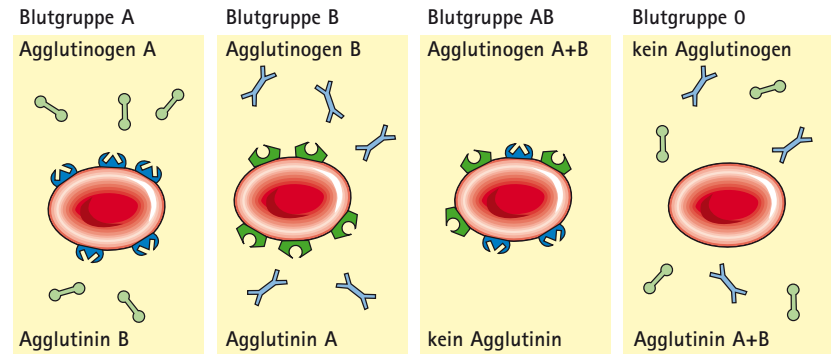


Abb. 2-11 Das ABO-Blutgruppensystem ist durch bestimmte Oberflächenmoleküle (Agglutinogene) gekennzeichnet. Durch Immunisierung während oder nach der Geburt entstehen im Blutplasma Antikörper gegen die jeweils nicht vorhandenen Oberflächenmoleküle.

3.4.3 Druck-Volumen-Diagramm (Frank-Starling-Mechanismus)

Im Druck-Volumen-Diagramm werden die Drücke von verschiedenen Füllungsvolumina des Herzens aufgetragen (→ Abb. 3-14).

Strecken und Punkte:

▶ Systole:

- AB: Isovolumetrische Anspannungsphase, alle Klappen geschlossen!
- B: Öffnung der Aortenklappe → Aortendruck
- BC: Austreibungsphase (auxoton)

▶ Diastole:

- CD: isovolumetrische Entspannungsphase, alle Klappen geschlossen!
- DA: Füllungsphase

Es ergeben sich drei Maxima-Kurven:

- ▶ Die Ruhe-Dehnungs-Kurve (RDK) beschreibt den jeweiligen Druck, der im Ventrikel durch das enddiastolische Volumen (EDV) erzeugt wird.
- ▶ Die Kurve der isobaren Maxima entsteht durch den Druck des endsystolischen Volumens (ESV).
- ▶ Die Kurve der isovolumetrischen Maxima kommt durch den isovolumetrischen Druck zustande.

Ausgehend von der Ruhe-Dehnungs-Kurve (A) wird zunächst Druck im Ventrikel aufgebaut (AB). Wenn der Druck im Ventrikel den Druck in der Aorta übersteigt, öffnet sich die Aortenklappe (B). In der folgenden Austreibungsphase sinkt der Druck im Ventrikel proportional zum Volumen (BC) bis durch die Druckveränderungen die Aortenklappe schließt (C). Geometrisch kann dieser Punkt bestimmt werden, indem AB verlängert wird bis die Kurve der isovolumetrischen Maxima erreicht ist (B') und von A eine waagerechte Linie bis zur Kurve der isobaren Maxima gezogen wird (A'). Die Verbindung von A' und B' heißt U-Kurve (Unterstützungskurve). C liegt auf der U-Kurve. Jetzt sinkt der Druck im Ventrikel, ohne dass das Volumen reduziert wird (CD) bis die Ruhe-Dehnungs-Kurve wieder erreicht ist (D). Durch die folgende Herzfüllung steigt das intraventrikuläre Volumen, während der Druck nur geringfügig (entlang der Ruhe-Dehnungs-Kurve) ansteigt (DA).

Ein vollständiger Umlauf ABCD entspricht einem Herzzyklus. Die Fläche, die durch das Viereck eingeschlossen wird, ist gleich der Herzarbeit. Veränderungen der Geometrie des Druck-Volumen-Diagramms weisen deshalb auf Veränderungen der Herzarbeit hin (→ Herzinsuffizienz, S. 52).

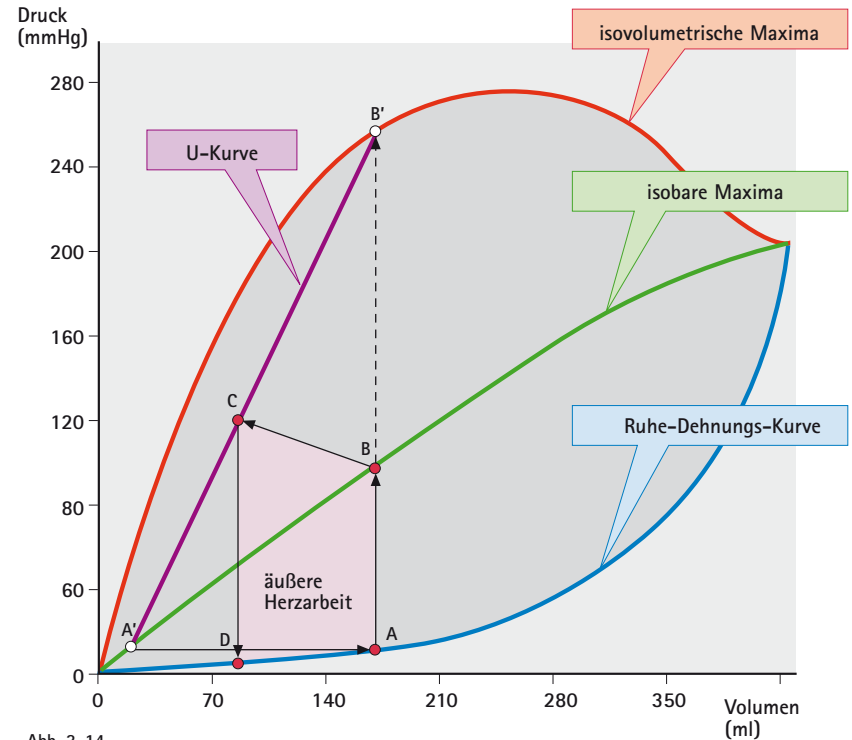


Abb. 3-14

Im Druck-Volumen-Diagramm werden die Punkte der jeweiligen Maximalwerte für die einzelnen Kontraktionsformen sowie der Druck bei Füllung ohne Kontraktion (Ruhedehnung) aufgetragen. Die Herzarbeit ist dabei als Fläche zwischen den Verbindungspunkten eines Herzzyklus definiert. Durch das Druck-Volumen-Diagramm lassen sich sehr gut physiologische Zusammenhänge wie z. B. der Frank-Starling-Mechanismus oder die Sympathikus-Wirkung sowie pathologische Veränderungen z. B. bei Herzinsuffizienz erklären.

7.10 Harnkonzentrierung

Das Glomerulumfiltrat (= Primärharn) entspricht in seiner osmotischen Zusammensetzung dem Blutplasma und ist damit plasmaisoton (ca. 300 mosm/l). Die Harnkonzentrierung (→ Abb. 7-8) erfolgt hauptsächlich durch die Funktion der Henle-Schleife. Die Konzentrierleistung ist direkt von der Länge der Henle-Schleife abhängig. Durch das Gegenstromprinzip wird eine Multiplikation eines Einzelkonzentrationseffektes erreicht.

Wichtige Voraussetzung für die Gegenstrommultiplikation ist die Wasserundurchlässigkeit des aufsteigenden Teils der Henle-Schleife und die Na⁺-K⁺-2Cl⁻-Transportpumpe. Diese erzeugt einen osmotischen Gradienten im Nierenmark, so dass an der Spitze der Henle-Schleife die höchste Konzentration an gelösten Substanzen besteht (ca. 1.200 mosm/l), während der Harn am Ende der Henle-Schleife hypoton ist (ca. 100 mosm/l). Der Konzentrationseffekt des Urins wird durch die erneute Vorüberleitung am osmotischen Gradienten im Nierenmark erreicht, indem nun dem Urin im Sammelrohr das Wasser entzogen wird, das in das Nierenmark abfließt. Dadurch wird der Urin wieder hyperton (ca. 1.200 mosm/l).

i Hinweis: Pharmakologie: die Na⁺-K⁺-2Cl⁻-Transportpumpe ist durch so genannte Schleifendiuretika wie z. B. Furosemid hemmbar. Dadurch kann sich im Nierenmark kein osmotischer Gradient bilden, der Harn kann nicht konzentriert werden, und Wasser wird ausgeschieden.

Durch ADH-Mangel (s. unten) bleibt das Sammelrohr wasserundurchlässig und Wasser wird ausgeschieden. Dies kommt zum Beispiel bei Volumenbelastung durch große Trinkmengen zustande.

+ Klinik:

- Volhard'scher Trinkversuch zur Harnkonzentrierung: In kurzer Zeit wird ein Liter Wasser getrunken und die Urinosmolarität gemessen. Nach einer kurzen Phase mit hypotonem Harn kann sehr schnell wieder konzentrierter Urin ausgeschieden werden. Dieser Funktionstest misst sowohl die ADH-Produktion und -ausschüttung in der Hypophyse als auch die ADH-Wirkung in der Niere.
- Diabetes insipidus: Durch Schädigung der Hypophyse (z. B. Trauma, Infarkt, genetisches Syndrom) kann kein ADH gebildet werden oder die ADH-Wirkung in der Niere ist vermindert.

7.11 Osmoregulation

Die osmotische Konzentration des Blutplasmas wird durch Osmorezeptoren im Hypothalamus gemessen. Durch nervöse Verbindungen zur Hypophyse wird das Antidiuretische Hormon (ADH, Arginin-Vasopressin) freigesetzt, wenn die Plasmaosmolarität ansteigt. Die Sekretion wird bei sinkender Plasmaosmolarität gehemmt.

Durch die Dehnung der Herzvorhöfe wird dem Gehirn eine Volumenbelastung mitgeteilt und es wird ebenfalls weniger ADH ausgeschüttet (Henry-Gauer-Reflex). Zusätzlich wird aus dem Herzen der atriale natriuretische Faktor (ANF) freigesetzt. Lokal wird in der Niere Urodilatatin gebildet. Damit sollen die Ionenverteilungen im Extrazellulärraum und Intrazellulärraum konstant gehalten werden (→ Kap. 1, S. 12).

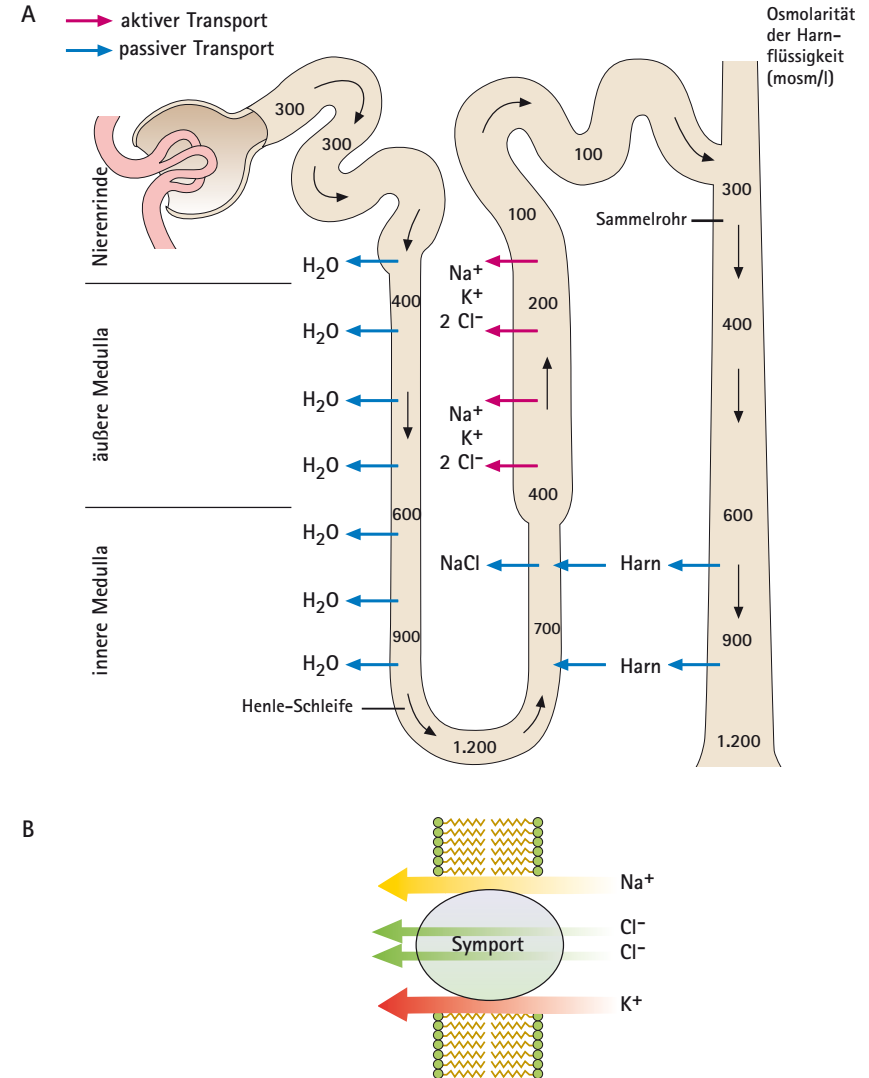


Abb. 7-8 Die Harnkonzentrierung basiert zum einen auf dem Gegenstromprinzip der Henle-Schleife (A), die für die Konzentrationserhöhung von Substanzen an der Schleifenspitze in Tubulus und Interstitium sorgt und zum anderen auf dem Na⁺-K⁺-2Cl⁻-Transporter (B) bei gleichzeitiger Wasserimpermeabilität des aufsteigenden Schenkels, so dass sich ein Konzentrationsgradient bildet.