

2 Anatomie und Physiologie verschiedener Organsysteme

2.1 Aufbau und Funktion des Herz - Kreislauf - Systems

Aufbau und Funktion des Herzens

Aufbau des Herzens

Das Herz ist ein muskuläres Hohlorgan, das als Pumpe das Zentrum des Kreislaufsystems bildet und für die ständige Bewegung des Blutstromes durch die Organe verantwortlich ist. Das Herz besteht aus zwei Vorhöfen und zwei Kammern. Die Herzscheidewand trennt den rechten vom linken Teil des Herzens. Die Vorhöfe werden von den Kammern durch Segelklappen getrennt. Zwischen den Kammern und den großen Gefäßen liegen die Taschenklappen, die verhindern, dass das Blut während der Diastole aus den Arterien zurück in die Kammern strömt.

In den rechten Vorhof münden die großen Venen, die das Blut aus dem Körper bringen. Aus dem rechten Vorhof gelangt das Blut über eine Segelklappe (Trikuspidalklappe) in die rechte Herzkammer. Von dort aus wird es über die beiden Lungenarterien in die linke und rechte Lunge befördert. Die Lungenarterien sind über eine Taschenklappe (Pulmonalklappe) von der rechten Kammer getrennt. In der Lunge wird aus dem Blut Kohlendioxid abgegeben und Sauerstoff aufgenommen. Das nun sauerstoffreiche Blut fließt über die Lungenvenen zurück zum Herzen und gelangt hier in den linken Vorhof. Über eine Segelklappe (Mitralklappe) strömt das Blut in die linke Herzkammer, welche das Blut nun über eine Taschenklappe (Aortenklappe) in die Aorta, die große Hauptschlagader des Körpers, pumpt.

Die Wände der linken Herzkammer sind sehr viel dicker (muskulöser) als die der rechten, da die linke Kammer den höheren Druck im Körperkreislauf überwinden muss, während die rechte Kammer nur den wesentlich niedrigeren Druck im Lungenkreislauf zu überwinden hat.

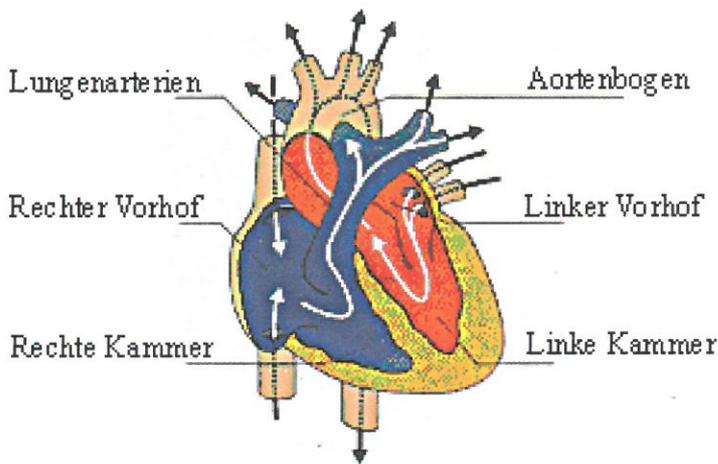


Abb. 2: Herz mit den großen Gefäßen (Längsschnitt) (Schwegler 1996)

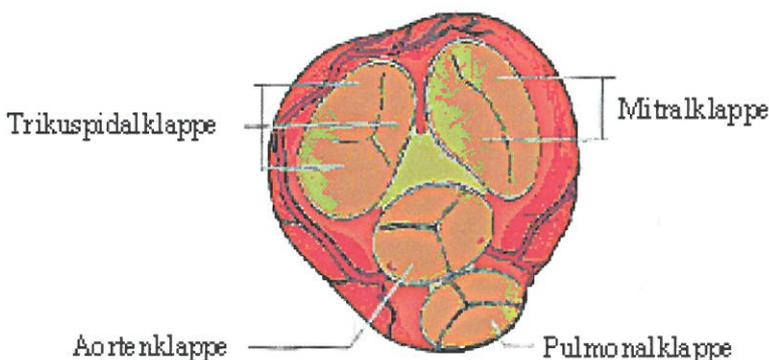


Abb. 3: Querschnitt des Herzens (Schwegler 1996)

Die mechanischen Herzaktionen beruhen auf einer Erregung von Herzmuskelzellen, die dadurch kontrahieren. Diese Erregung wird allein vom Herzen erzeugt (Autonomie des Herzens) und kann durch das vegetative Nervensystem beeinflusst werden. Die Rhythmik der Herzkontraktionen wird aber allein durch das herzzinterne Erregungsbildungs- und -leitungssystem verursacht. Beim Gesunden besitzt der Sinusknoten Schrittmacherfunktion für die Herzaktionen. Die Herzschlagfrequenz wird durch die Aktion des Sinusknotens bestimmt. Sie beträgt beim Erwachsenen in Ruhe etwa 70 Schläge / min. Zum Erregungssystem gehören außer dem Sinusknoten noch der AV - Knoten, das HIS - Bündel und kleinere Endäste.

Aufgabe:

Messen Sie Ihre Herzschlagfrequenz in Ruhe durch Auflegen von Daumen und Zeigefinger der rechten Hand auf das linke Handgelenk in der Verlängerung des Daumens!

Vergleichen Sie die Herzschlagfrequenz in Ruhe mit der nach einem schnellen Treppensteigen über 2 Etagen! Messen Sie den Puls dabei an der Arterie, die am Hals tastbar ist!

Blutversorgung des Herzens

Für die Blutversorgung des Herzens selbst existiert ein eigenständiges System. Es besteht aus der rechten und der linken Koronararterie, die beide direkt aus der Hauptschlagader entspringen und das Herz kranzförmig umfassen (Herzkranzarterien = Koronararterien). Da diese beiden Arterien die einzige Möglichkeit der Sauerstoffversorgung für das Herz darstellen, führt eine Verengung oder gar ein Verschluss (angina pectoris bzw. Herzinfarkt) zu einem lebensbedrohlichen Zustand, in dem das Herz seine Funktion nur noch sehr bedingt erfüllen kann.

Die Koronararterien bilden ein eigenes Blutversorgungssystem des Herzens.

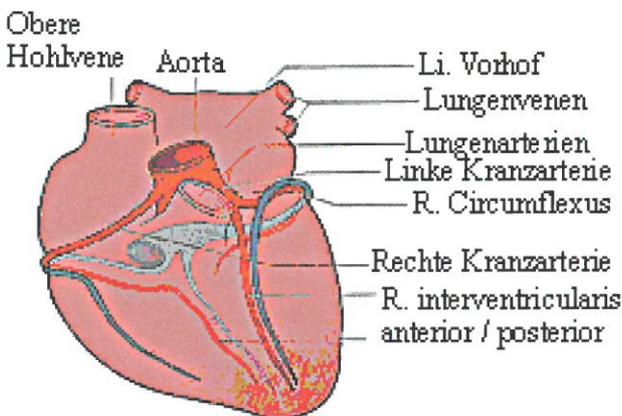


Abb. 4: Blutversorgungssystem des Herzens (Schwegler 1996)

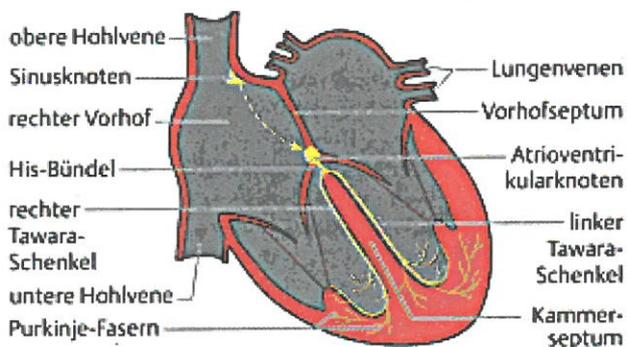


Abb. 5: Erregungssystem des Herzens (Schwegler 1996)

Herzfunktion

Das Herz erfüllt die Funktion einer Pumpe und befördert das Blut durch den kleinen und den großen Kreislauf (siehe Abb. 6). Dabei arbeitet es, wie technische Pumpen auch, in verschiedenen Arbeitsphasen, die sich grob in Füllungsphase und Auswurfphase unterscheiden lassen. In der Füllungsphase, in der das Herz zuerst erschlafft, sind die Segelklappen geöffnet und das Blut kann aus den Vorhöfen in die Kammern einströmen. Diese Phase der Herzkontraktion wird Diastole genannt. Nach der Füllung kommt es zu einer Anspannung des Herzmuskels. Die nun geschlossenen Segelklappen verhindern den Rückstrom des Blutes in die Vorhöfe. Am Ende dieser Phase öffnen sich die Taschenklappen und das Blut strömt aus den Herzkammern in die Arterien. Diese Phase wird Systole genannt. Systole und Diastole bilden zusammen einen Kontraktionszyklus, also einen Herzschlag.

Aufbau und Funktion des Kreislaufsystems

Das Herz funktioniert als Pumpe für das Blut im Organismus. Das Blut wird über Arterien, die definitionsgemäß vom Herzen wegführen, in die Peripherie des Körpers geführt. Auf ihrem Weg vom Herzen weg verzweigen sie sich in immer kleinere Äste, die schließlich in Form der Kapillaren ein Gefäßgeflecht im jeweiligen Organ bilden, in dem der Stoffaustausch erfolgen kann. Die Kapillaren fließen dann wieder zusammen und münden in die Venen, die nun das meist sauerstoffarme, kohlendioxidreiche, nährstoffarme Blut von der Körperperipherie wieder in Richtung Herz befördern, womit der Kreislauf geschlossen ist.

Definition:

Blutgefäße, die das Blut vom Herzen wegführen, werden Arterien genannt. Sie führen fast immer sauerstoffreiches und kohlendioxidarmes Blut.

Definition:

Blutgefäße, die das Blut aus dem Körper in das Herz führen, heißen Venen. Ihr Blut ist fast immer sauerstoffarm und kohlendioxidreich.

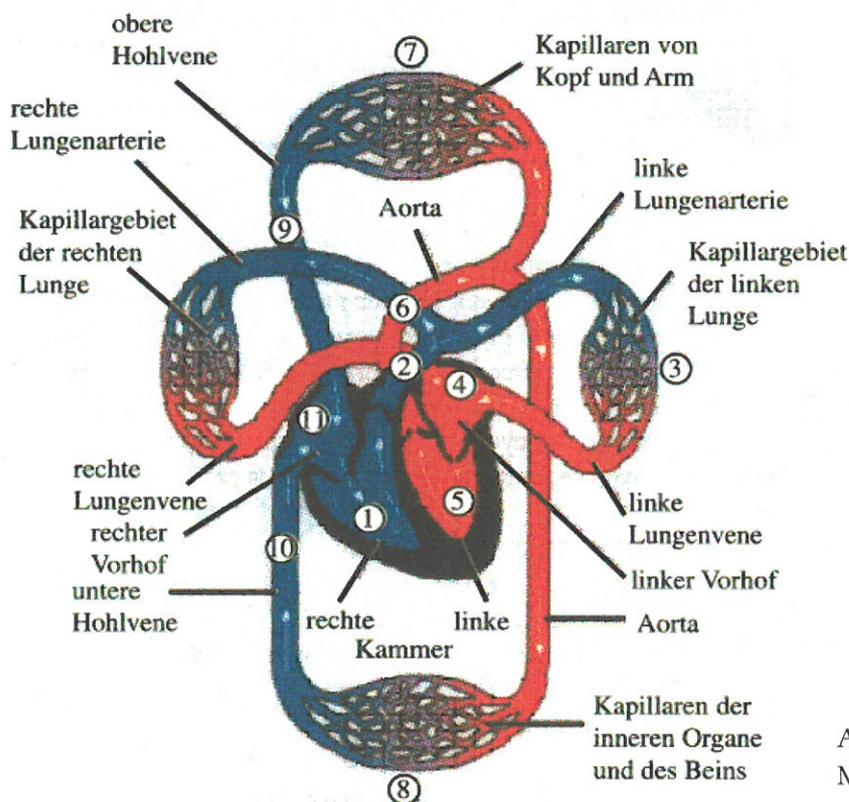


Abb. 6: Kreislaufsystem des Menschen (Schwegler 1996)

Im Körper existieren zwei solcher Kreislaufsysteme, nämlich der kleine Lungenkreislauf und der große Körperkreislauf, die das Blut nacheinander durchlaufen muss. Das Blut, das aus dem Körperkreislauf in das rechte Herz gelangt, wird von hier in den kleinen Kreislauf gepumpt, erreicht das linke Herz und gelangt wieder in den großen Kreislauf.

Die linke Herzhälfte ist die Pumpe des großen Körperkreislaufes, die rechte Herzhälfte ist die Pumpe des kleinen Lungenkreislaufes.

Eine Besonderheit stellen die Lungenarterien und Lungenvenen dar, bei denen die ansonsten fast immer gültige Regel, dass Arterien sauerstoffreiches Blut und Venen sauerstoffarmes Blut führen, nicht zutrifft. Die Lungenarterie transportiert sauerstoffarmes Blut aus dem Körper in die Lunge und die Lungenvenen führen das sauerstoffreiche Blut von der Lunge in den linken Vorhof. Trotzdem trifft auch hier die immer gültige Definition zu, die besagt, dass Venen das Blut immer zum Herzen hin, Arterien das Blut immer vom Herzen weg transportieren.

Hoch- und Niederdrucksystem

Die unterschiedlichen Gefäße des menschlichen Körpers besitzen verschiedene Eigenschaften, wodurch sich im Organismus zwei unterschiedliche Systeme ergeben:

Das Hochdrucksystem beinhaltet vor allem die Arterien, deren Wand im Vergleich zu den Venen sehr starr, also kaum verformbar ist. Durch die mangelnde Verformbarkeit der Arterienwände ist der Druck, den das strömende Blut auf die Wand ausübt, sehr hoch. Eine Besonderheit des arteriellen Systems, besonders der Hauptschlagader ist die sog. Windkesselfunktion: Während der Systole wird aus der linken Herzkammer Blut in die Hauptschlagader gepumpt. Diese verformt sich und erweitert ihren Durchmesser, ähnlich einem Ballon, der aufgepumpt wird. Dadurch kann das Blut in diesem zusätzlich geschaffenen Raum kurz gespeichert werden bis die Aorta durch die elastischen Eigenschaften ihrer Wand wieder auf den Originaldurchmesser zurückfällt. Dabei wird das Blut aus dem kleinen Reservespeicher ausgetrieben. Der Sinn dieses Mechanismus liegt in der Aufrechterhaltung des Blutflusses zwischen den einzelnen Herzkontraktionen.

Zum Hochdrucksystem gehören v. a. die Arterien, in denen durch die größere Steifigkeit der Wand der Druck des Blutes auf die Gefäßwand sehr hoch ist.

Das Niederdrucksystem schließt vor allem Kapillaren und Venen mit ein. Kennzeichen dieser Gefäße ist eine starke Dehnbarkeit der Gefäßwände, wodurch der Druck, den das Blut auf die Wand ausübt, hier 5 - 10 mal kleiner ist als der des Hochdrucksystems. Durch die wesentlich größere Dehnbarkeit der Venen ist in diesem Abschnitt des Gefäßsystems die kurzfristige Speicherung von Flüssigkeit sehr viel besser möglich. Werden beispielsweise über eine Infusion einem Probanden 1000 ml isotonische Kochsalz - Lösung direkt ins Blut gegeben, so werden sich nur 5 ml davon im arteriellen Hochdrucksystem, 995 ml dagegen im venösen Niederdrucksystem wiederfinden.

Das Niederdrucksystem schließt v. a. Venen und Kapillaren ein, deren Dehnbarkeit sehr groß ist und in denen der Blutdruck sehr viel geringer ist.

Kontrollfragen

1. Erklären Sie in groben Zügen den Aufbau des Herzens mit den verschiedenen Räumen, Klappen und den großen Gefäßen!
2. Wie wird das Herz mit Blut versorgt?
3. Benennen Sie die beiden Phasen des Herzzyklus und beschreiben Sie, was in Ihnen passiert!
4. Beschreiben Sie das System des Herzens, das für die Bildung und Leitung der Erregung des Herzmuskels verantwortlich ist!

5. Erklären Sie den Unterschied zwischen den Lungenvenen und den sonstigen Venen des Körpers und den Unterschied zwischen den Lungenarterien und den anderen Körperarterien!
6. Nennen Sie die zwei wesentlichen Arten von Blutgefäßen im Körper sowie die Eigenschaften des Blutes, das in ihnen fließt!
7. Beschreiben Sie den Lungenkreislauf!
8. Beschreiben Sie den Körperkreislauf!
9. Unterscheiden Sie die beiden Drucksysteme im Körper und nennen Sie deren wesentliche Bestandteile!

2.2 Aufbau und Funktion des Atmungssystems - Atemmechanik

Anatomie des Atmungssystems

Das Atmungssystem besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: Zum einen besitzt der menschliche Körper Organe, deren Funktion in der Aufnahme und Leitung der Atemgase sowie dem eigentlichen Gasaustausch besteht. Hierzu gehören Nase und Mund, Rachen, Kehlkopf, Luftröhre, die Bronchien, die sich in die Bronchioli aufzweigen und schließlich die Lungenbläschen. In diesem Teil des Atmungssystems kann also unterschieden werden zwischen dem Totraum, der lediglich zur Leitung von Gasen befähigt ist, und dem Raum des eigentlichen Gasaustausches, der vor allem durch die Lungebläschen gebildet wird.

Lungen und Pleura

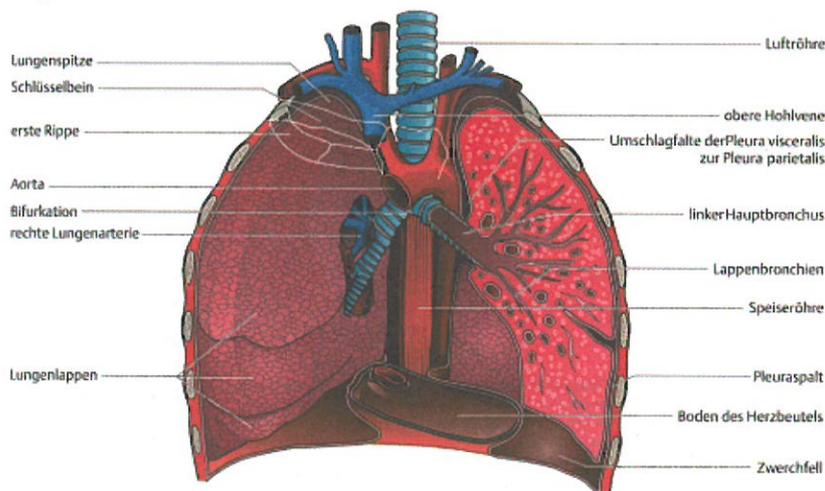


Abb. 7: Anatomie des Atemapparates (Schwegler 1996)

Die Lungenbläschen (Alveolen) werden von einem feinen Kapillarnetz umspinnen, in das das „verbrauchte“ Blut aus den Lungenarterien hineinfließt, mit Sauerstoff angereichert wird und Kohlendioxid abgibt, um dann über die Lungenvenen wieder zurück zum Herzen zu fließen.

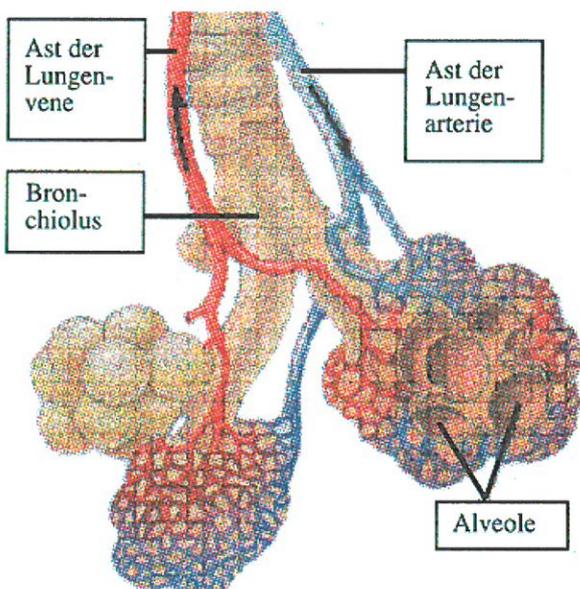


Abb. 8: Alveolen (Schwegler 1996)

Zum anderen existiert ein Hilfsapparat, der aus den Rippen, der Zwischenrippenmuskulatur und vor allem dem Zwerchfell besteht und die Atmung mechanisch ermöglicht. Die Form des Brustkorbes wird bestimmt durch die an Brustbein und Brustwirbelsäule befestigten Rippen. Verspannt und bewegbar sind die Rippen durch die Zwischenrippenmuskulatur. Der Brustraum ist nach unten gegen den Bauchraum durch eine etwa 5 mm dicke Muskelplatte, das Zwerchfell, abgegrenzt. Dieses ist der wichtigste Atemmuskel des menschlichen Körpers. Bei höheren Belastungen kommt es auch zum Einsatz von Atemhilfsmuskeln, z.B. die Brust- oder Rückenmuskulatur.

Zur Atemmuskulatur gehören das Zwerchfell und die Zwischenrippenmuskulatur, sowie die nicht immer eingesetzte Atemhilfsmuskulatur.

Funktionsweise des Atmungssystems

Atemmechanik

Die Atmung des Menschen dient im wesentlichen der Aufnahme von Sauerstoff aus der Umgebungsluft und der Abgabe von Kohlendioxid als Stoffwechselendprodukt an die Umwelt. Prinzipiell ist das Zwerchfell, das eine Muskelplatte zwischen Brust- und Bauchraum darstellt und an dem u. a. die Lungen befestigt sind, der wichtigste Atemmuskel. Es ist möglich, zwei verschiedene Formen der Atmung zu unterscheiden:

In Ruhe führt vor allem eine Kontraktion des Zwerchfells zur Einatmung (Inspiration). Die Lungen folgen der Dehnung des Brustkorbes infolge eines Unterdruckes zwischen Lungen- und Rippenfell. Die Lungen werden durch das Senken des Zwerchfells nach unten gedehnt und es entsteht ein Unterdruck, der das Einströmen der Luft über die Atemwege bewirkt. Die Ausatmung (Expiration) erfolgt passiv durch die Rückstellung der Lunge in ihre ungedehnte Form, bei der die Luft aus dem Körper herausgedrückt wird. Diese Form der Atmung, bei der das Zwerchfell die überwiegende Rolle spielt, wird auch als Bauchatmung bezeichnet.

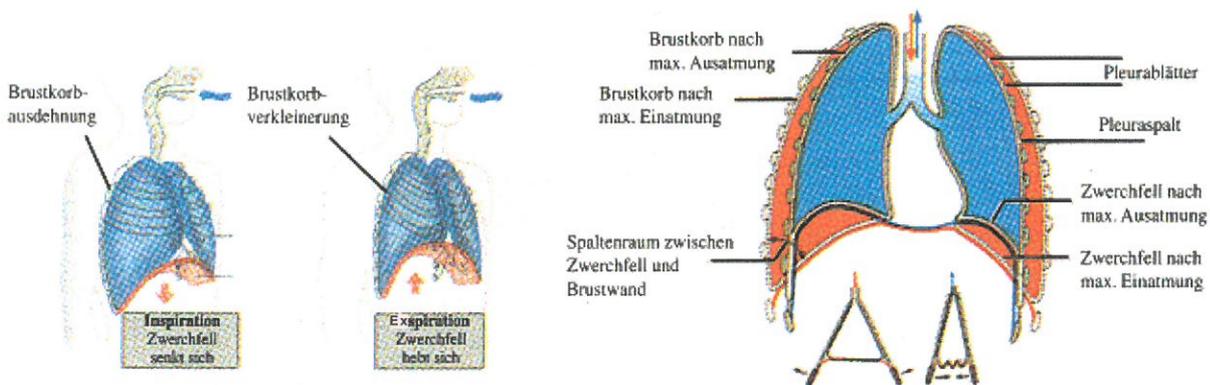


Abb. 9: Atemmechanik (Schwegler 1996)

Bei zunehmender Belastung verliert das Zwerchfell seine alleinige Bedeutung als Atemmuskel, da hier dann die (äußere) Zwischenrippenmuskulatur verstärkt für die Einatmung eingesetzt wird. Diese führt durch Anspannung zu einer Anhebung der Rippen und damit des gesamten Brustkorbes (Thorax), dessen Innenraum sich dadurch ausdehnt. Bei der Thoraxausdehnung werden die Lungen wie auch bei der Bauchatmung gedehnt und Luft kann einströmen. Diese Form der Atmung wird auch als Brustatmung / Rippenatmung bezeichnet. Im Gegensatz zu der eher passiven Ausatmung bei der Bauchatmung erfolgt die Expiration hier nicht nur passiv, sondern auch aktiv. Daran sind besonders die inneren Zwischenrippenmuskeln und die Bauchmuskulatur beteiligt.

In Ruhe erfolgt die Inspiration vor allem durch die Kontraktion des Zwerchfells, die Expiration erfolgt passiv. Dies wird als Bauchatmung bezeichnet.

Bei Belastung wird die Inspiration durch das Zwerchfell, aber auch durch die Zwischenrippenmuskulatur gewährleistet, die Expiration erfolgt aktiv (Bauchmuskulatur). Dies wird Brustatmung genannt.

Prinzip der Rippenatmung

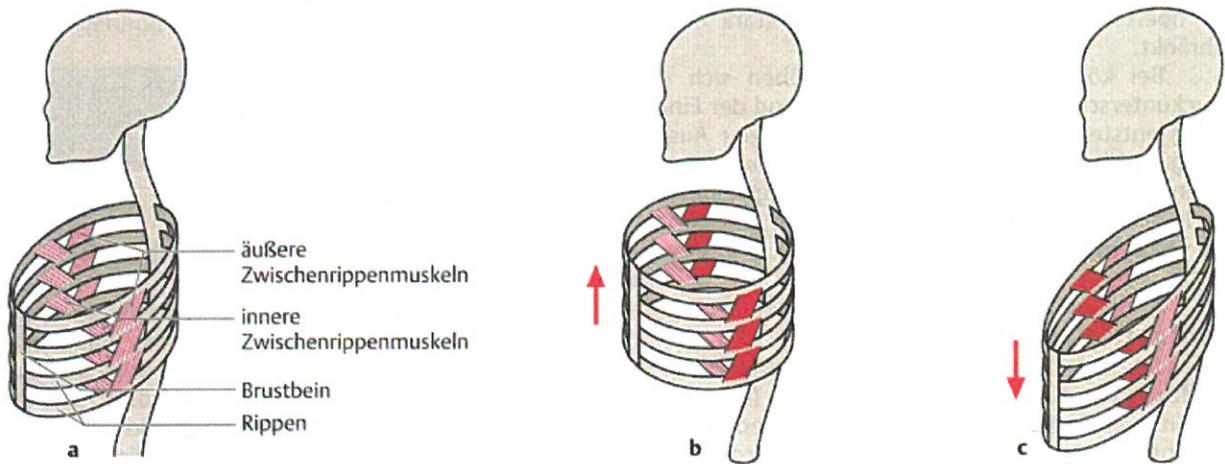


Abb. 10: Prinzip der Rippenatmung (Schwegler 1996)

Die Darstellung in Abb. 10 zeigt unter (a) den Ruhezustand des Brustkorbes. Wenn sich wie unter (b) die äußeren Rippenmuskeln anspannen, ziehen sie die Rippen nach oben und das Volumen des Brustkorbes vergrößert sich, dieser Zustand ist bei der Einatmung der Fall. Wirken dagegen unter (c) die inneren Rippenmuskeln, werden die Rippen nach unten gezogen, was zu einer Abnahme des Volumens von Brustkorb und Lungen führt. Dies ist bei der Ausatmung zu beobachten.

Aufgabe:

Überprüfen Sie den Unterschied zwischen Brust- und Bauchatmung an sich selbst in entspannter Rückenlage durch Auflegen beider Hände auf den Brustkorb bzw. auf die Bauchdecke!

Atem - und Lungenvolumina

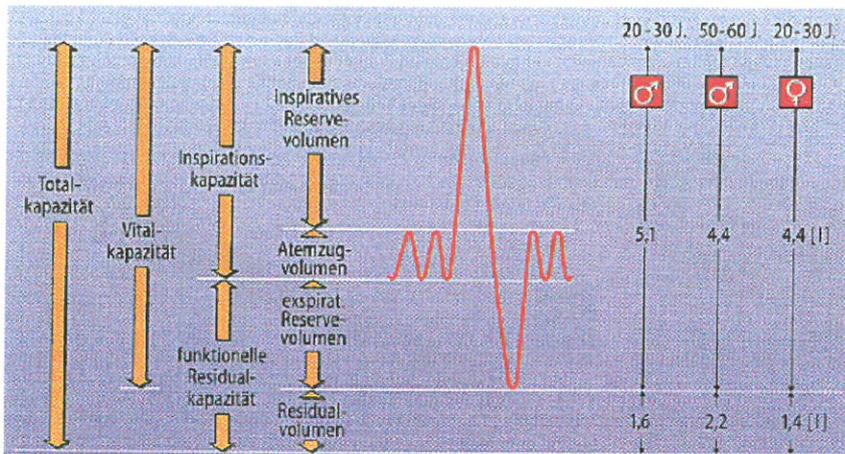
Das Volumen, das in die Lunge ein - und auch wieder ausgeatmet werden kann, ist keine feste, unveränderliche Größe. Vielmehr können verschiedene Volumina und Kapazitäten (= zusammengesetzte Volumina) unterschieden werden. Ein Atemzyklus umfasst immer eine Inspiration und eine Expiration. Das normale Atemzugvolumen (AZV) in Ruhe beträgt ca. 0.5 l, d.h. es werden 0.5 l Luft ein - und dann wieder ausgeatmet. Zusätzlich zu dem Atemzugvolumen kann bei Bedarf (Belastung) ein inspiratorisches Reservevolumen von ca. 2.5 l eingeatmet und ein expiratorisches Reservevolumen von ca. 1.5 l ausgeatmet werden. Auch bei maximaler Ausatmung ist die Lunge nie luftleer, sondern weist ein sog. Residualvolumen von ca. 1.5 l auf. Werden alle vier Volumina addiert, ergibt dies die Totalkapazität, also das Volumen, das nach maximaler Einatmung in der Lunge ist. Funktionell bedeutsamer ist die Vitalkapazität.

Definition:

Die Vitalkapazität gibt dasjenige Volumen an, das nach maximaler Einatmung maximal ausgeatmet werden kann.

Anders ausgedrückt ergibt sich die Vitalkapazität aus der Summe von Atemzugvolumen, inspiratorischem und expiratorischem Reservevolumen. Sie nimmt im Alter ab, da die Lunge unelastischer wird und der Brustkorb versteift. Frauen haben eine geringere Vitalkapazität als Männer, da auch eine Abhängigkeit zur Körperhöhe und zum Körperbautyp besteht.

Die Vitalkapazität ist alters- und geschlechtsabhängig.



Die Vitalkapazität eines 20jährigen Mannes beträgt ungefähr 4,8 l, wogegen die eines 50jährigen Mannes 3,8 l beträgt (Abnahme der Vitalkapazität im Alter). Eine 20jährige Frau hat eine Vitalkapazität von ca. 3,6 l.

Abb. 11: Atemvolumina und Atemkapazitäten (Schmidt/Thews 1996)

Eine weitere funktionell bedeutsame Atemgröße ist das sog. Atemminutenvolumen (AMV). Das Atemminutenvolumen ergibt sich als Produkt aus Atemzugvolumen und Atemfrequenz (AF):

$$AMV = AZV \cdot AF$$

Es ist alters- und größenabhängig, da das Atemzugvolumen und die Atemfrequenz alters- und größenabhängig sind. Das Atemminutenvolumen beträgt beim Erwachsenen in Ruhe 6 - 9 Liter / min. Bei einer Atemfrequenz von 14 / min und einem Atemzugvolumen in Ruhe von 0,5 l ergibt sich ein Atemminutenvolumen von 7 Liter / min.

Kontrollfragen

1. Erklären Sie die verschiedenen Atmungsformen in Ruhe und Belastung sowie die dabei jeweils eingesetzten Muskeln!
2. Benennen Sie die einzelnen Bestandteile des Atmungsapparates in der Reihenfolge, in der die eingeatmete Luft sie passiert! Wo findet der Gasaustausch statt?
3. Was geschieht bei der Einatmung? Welche Mechanismen führen zum Einstrom von Luft in die Lungen?
4. Erläutern Sie den Begriff der Vitalkapazität sowie zwei Faktoren, die diesen Parameter beeinflussen!

2.3 Aktiver und passiver Bewegungsapparat

Der Bewegungsapparat des menschlichen Körpers enthält einen aktiven und einen passiven Teil. Die Muskulatur mit ihren Hilfseinrichtungen wie Sehnen und Sehnenscheiden bildet den aktiven Teil. Der passive Teil besteht aus den Knochen, Gelenken und Bändern; er stellt das Stützgewebe dar und bildet das formgebende Grundgerüst des Körpers, an dem Bänder und Muskeln befestigt sind.

Aufbau und Funktionsweise der Skelettmuskulatur

Bau der Skelettmuskelzellen, Muskelfasertypen

Mit ca. 40-50 % der gesamten Körpermasse stellt die Skelettmuskulatur das größte Organ des menschlichen Körpers dar. Muskeln dienen durch ihre Fähigkeit zur Kontraktion der aktiven Bewegung. Sie sind über Sehnen mit den Knochen und Gelenken verbunden und übertragen so ihre Kraft. Muskeln setzen sich aus mehreren Muskelfaserbündeln zusammen, diese enthalten die Muskelfasern, die Zellen des Muskelgewebes. Die Muskelfasern bestehen aus Myofibrillen, die ihrerseits aus hintereinander angeordneten Sarkomeren bestehen.

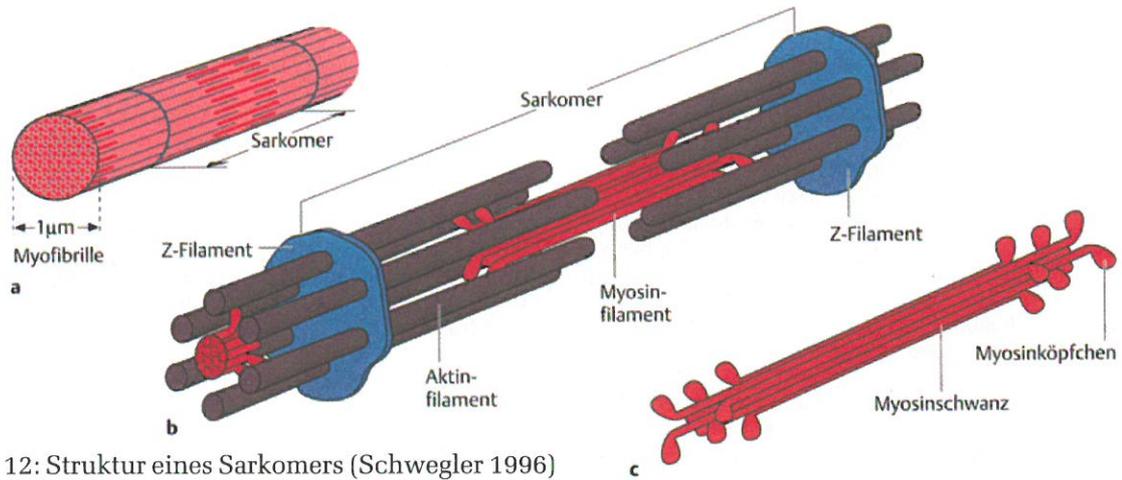


Abb. 12: Struktur eines Sarkomers (Schwegler 1996)

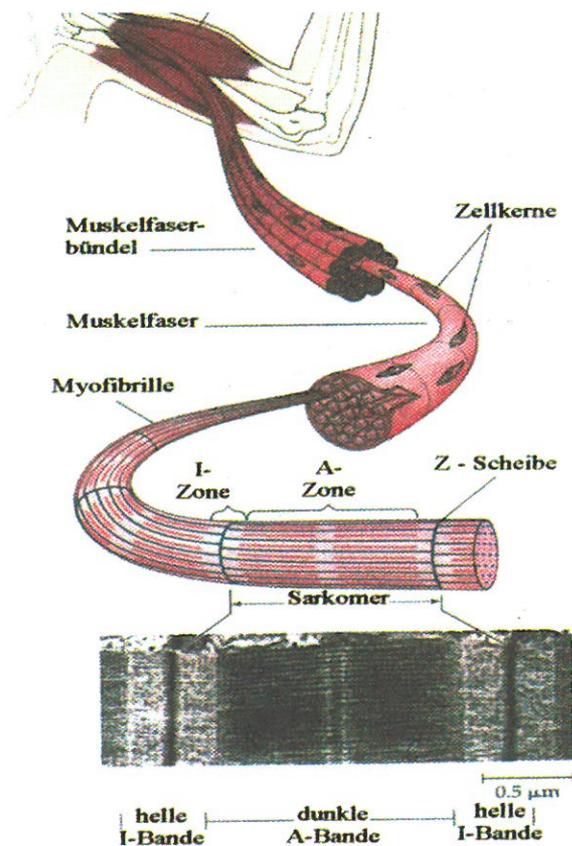


Abb. 13: Struktur eines Muskels (Schwegler 1996)

Sarkomere bestehen vorwiegend aus den Eiweißen Aktin und Myosin.

Sie werden durch zwei Z - Scheiben begrenzt, an denen die Aktinfilamente befestigt sind. Zwischen den dünnen Aktinfilamenten liegen die dickeren Myosinfilamente. Durch die versetzte Anordnung der Proteine entsteht im Lichtmikroskop die Querstreifung.

Definition:

Sarkomere sind die Funktionseinheiten der Myofibrillen.

Muskelfasertypen

Es lassen sich verschiedene Muskelfasertypen insbesondere aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften und der Art der Energiegewinnung unterscheiden. Die Unterschiede sind bezüglich einiger wesentlicher charakteristischer Merkmale in Tabelle 1 dargestellt.

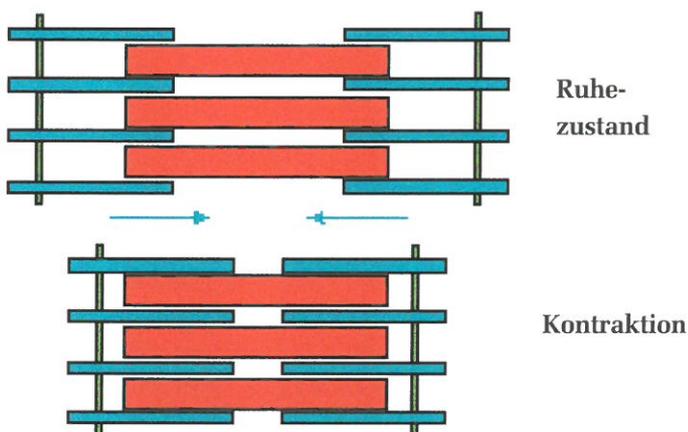
	Typ I = langsam kontrahierende Muskelfasern	Typ II = schnell kontrahierende Muskelfasern
Farbe	rot	weiß
Kontraktionsgeschwindigkeit	langsam	schnell
Bevorzugter Stoffwechsel	aerob	anaerob
Erregbarkeitszeit	groß	klein
Ermüdbarkeit	langsam	schnell
Funktion	Kontraktionen, die Ausdauer, aber wenig Kraft erfordern	Maximale Belastungen mit viel Kraft und Schnellkraft
Beispiel	große Rückenmuskeln	Augenmuskeln

Tabelle 1: Muskelfasertypen

Kontraktionsmechanismus; Rolle des ATP

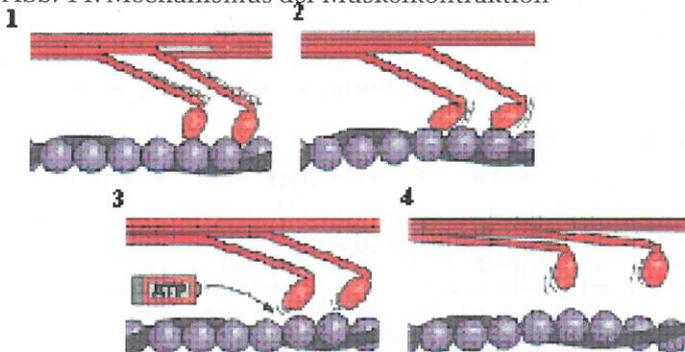
Die Muskelkontraktion erfolgt durch das Ineinandergleiten von Aktin- und Myosinfilamenten, wodurch sich die Sarkomerlänge verkürzt.

Der Kontraktionsmechanismus findet durch die Querbrückenbildung zwischen den Myosinköpfchen und den Aktinfilamenten statt (Abb. 15). Dabei binden die Myosinköpfchen an das Aktin (1). In der folgenden Phase klappen die Myosinköpfchen um, so daß sie das Aktinfilament von der Z - Scheibe weg und damit in Richtung der Sarkomermitte ziehen (2). Unter Spaltung eines Energieträgers (ATP = AdenosinTriPhosphat) lösen sich die Querbrücken wieder (3) und die Köpfe der Myosinfilamente klappen zurück in die ursprüngliche Form, so daß nun der Vorgang von neuem beginnen kann.



Die Kraftentwicklung eines Muskels beruht auf seiner Fähigkeit zur Kontraktion (Zusammenziehung), welche durch die oben aufgeführten anatomischen Besonderheiten in Form der Aktin- und Myosinfilamente ermöglicht wird. Beim Prozeß der Kontraktion werden die beiden Filamente gegeneinander verschoben und der Muskel verkürzt sich, da die Myosinfilamente (rot) wie eine Schublade in ein Fach aus Aktinfilamenten (blau) geschoben werden.

Abb. 14: Mechanismus der Muskelkontraktion



Es ist hierbei ersichtlich, daß die Muskelkontraktion nicht auf einer Verkürzung der Filamente, sondern auf der Verschiebung der Filamente ineinander beruht. Der Kontraktionsprozess verbraucht Energie (ATP), die durch den Stoffwechsel bereitgestellt werden muß.

Abb. 15: Molekularer Kontraktionsmechanismus (Schwegler 1996)

Adenosintriphosphat (ATP) ist der Energielieferant für die Kippbewegung des Myosinköpfchens bei der Muskelkontraktion.

Muskelmechanik

Die Kontraktion ist die Grundvoraussetzung für die Bewegung, für Kraft- und Druckentwicklung. Ohne Kontraktion ist kein Leben möglich, z.B. würde das Herz ohne Kontraktion nicht schlagen können. Es werden die folgenden Kontraktionsformen unterschieden:

- | | |
|---|--|
| <p>A Isotonische Kontraktion:
(dynamische Muskelbeanspruchung)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Muskellängenveränderung bei konstanter Spannung > Beispiel: Bergabgehen |
| <p>B Isometrische Kontraktion:
(statische Muskelbeanspruchung)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Spannungsentwicklung ohne Muskelverkürzung > Beispiel: Stemmen einer zu großen Last |

In der Praxis treten isotonische und isometrische Kontraktionen nie völlig isoliert auf.

- | | |
|---|---|
| <p>C Auxotonische Kontraktion:</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Mischform aus isotonischer und isometrischer Kontraktion • Muskelverkürzung bei gleichzeitiger Zunahme der Spannung (Kraft) > Beispiel: Speerwurf, sehr schnelle Bewegungen |
|---|---|

Energiegewinnungsmechanismen

Für die Durchführung der Muskelkontraktion wird Energie benötigt, die nur in Form des ATP direkt für den Kontraktionsvorgang nutzbar ist.



Da die Konzentration an ATP in der Muskelzelle nur sehr gering ist und daher auch nur für wenige Sekunden ausreichen würde, muß ATP durch den Stoffwechsel ständig wieder bereitgestellt werden. Über die Nahrung wird dem Körper die erforderliche Energie zugeführt. Die schnellste Reserve wird durch das KreatinPhosphat (KP) gebildet, welches zur Bildung von ATP herangezogen werden kann. Die Vorgänge laufen unabhängig vom Vorhandensein von Sauerstoff und ohne Milchsäureproduktion ab, daher werden sie als anaerob - alaktazid bezeichnet. Da aber auch die Konzentration an Kreatinphosphat in der Zelle begrenzt ist, müssen weitere Möglichkeiten bestehen, um verwertbare Energieträger zu bilden.

Diese bieten z.B. die Glykogenspeicher im Muskelgewebe. Glykogen ist die Speicherform für Zuckermoleküle und kann unter ATP - Bildung abgebaut werden. Der Abbau von Glukose / Glykogen kann auf zwei Wegen erfolgen: Entweder anaerob - laktazid, d.h. unter Sauerstoffmangelbedingungen, wobei Milchsäure gebildet wird, oder aerob, d.h. unter Vorhandensein von Sauerstoff. Endprodukte sind dann CO₂, Wasser und ATP als Energielieferant. Außerdem kann der Muskel Fette und Fettsäuren als Energielieferanten zur Synthese von ATP verwenden, wobei die Fette wesentlich mehr Energie bereitstellen als Zucker. Bei mäßigen, langfristigen Belastungen werden im Muskel vorrangig (75 %) Fette zur Deckung des Energiebedarfes und nur wenig Glykogen benutzt. Unter kurzfristigen, maximalen Leistungen stellt sich der Stoffwechsel auf die Verbrennung von fast ausschließlich Zuckern um.

Für den Vorgang der Muskelkontraktion dient als direkte Energiequelle ausschließlich ATP. Über die Nahrung aufgenommene Stoffe (Zucker, Fette) werden auf verschiedenen Stoffwechselwegen abgebaut, wobei ATP gebildet wird.

Mechanismus	Art der Energiebereitstellung	Maximale Arbeitsdauer
anaerob – alaktazid	$\text{ATP} \rightleftharpoons \text{ADP} + \text{P}_i + \text{Energie}$	ca. 2 sec
	$\text{KP} + \text{ADP} \rightleftharpoons \text{ATP} + \text{Kreatin}$	ca. 6 – 8 sec
anaerob – laktazid	$\text{Glykogen} / \text{Glukose} + \text{ADP} + \text{P}_i \rightleftharpoons \text{ATP} + \text{Laktat}$	ca. 60 sec
aerob	$\text{Glykogen/Glukose/freie Fettsäure} + \text{ADP} + \text{O}_2 + \text{P}_i \longrightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	Glykogen: 60 min Freie Fettsäuren: >> 60 min

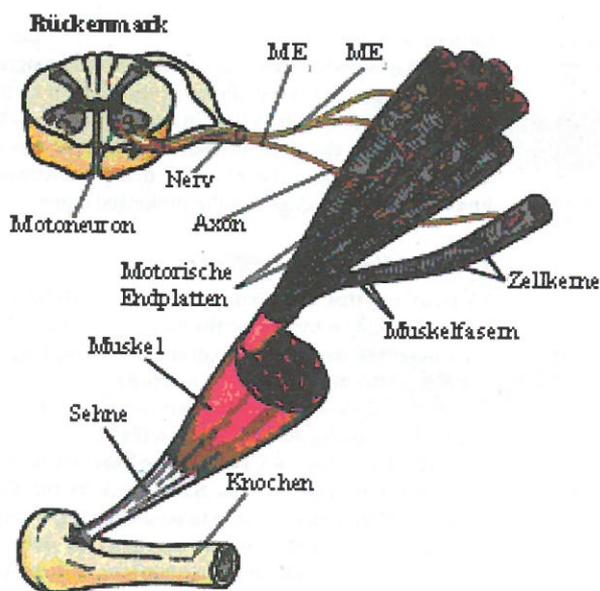
Tabelle 2: Energiegewinnungsmechnismen des Organismus

Zusammenwirken von Nervensystem und Muskulatur

Körperbewegungen als Ausdruck von Muskelkontraktionen laufen nicht automatisch ab, sondern unter Steuerung des Nervensystems. Nur in den seltensten Fällen, z.B. bei Reflexen, geschehen Skelettmuskelkontraktionen, die wir nicht steuern könnten. Im menschlichen Gehirn existieren Regionen, die ausschließlich für die Steuerung der Muskulatur verantwortlich sind. Die Verbindung von den zentralen Anteilen des Nervensystems (Gehirn, Rückenmark) und den Erfolgsorganen, wie z.B. den Muskeln, erfolgt über Nerven, die mit Synapsen an die Muskelzellen herantreten.

Definition:

Synapsen sind Kontaktstellen am Ende von Axonen, die über die Freisetzung von Überträgerstoffen Signale zu anderen Organen und zur Muskulatur übertragen.



Im Rückenmark sitzende Nervenzellen entsenden jeweils einen Zellfortsatz, das sog. Axon, von denen viele zusammen einen Nerv bilden. Das Axon endet an der Muskelzelle mittels einer motorischen Endplatte. Hier wird die Erregung der Nervenzelle auf die Muskelfaser übertragen, die dadurch kontrahiert.

Definition:

Eine motorische Endplatte ist eine spezielle Synapse, die das Axon mit der Muskelzelle verbindet und somit die Erregung des Nervens auf den Muskel überträgt.

Abb. 16: Muskulatur und Nervensystem (Schwegler 1996)

Im Rückenmark sitzende Nervenzellen entsenden jeweils einen Zellfortsatz, das sog. Axon, von denen viele zusammen einen Nerv bilden. Das Axon endet an der Muskelzelle mittels einer motorischen Endplatte. Hier wird die Erregung der Nervenzelle auf die Muskelfaser übertragen, die dadurch kontrahiert.

Definition:

Die Gesamtheit aller Muskelfasern, die von einer Nervenzelle aus erregt werden, wird motorische Einheit genannt.

Je kleiner eine motorische Einheit ist, umso weniger Muskelzellen werden von einer Nervenzelle innerviert (versorgt) und umso geringer ist die entwickelte Kraft. Allerdings sind die Abstufungen in den Muskelbewegungen dafür sehr viel feiner und genauer.

Große motorische Einheiten, wie sie in den großen Rückenmuskeln vorkommen, entwickeln eine sehr viel größere Kraft, können aber nur ungenaue Bewegungen ausführen. Kleine motorische Einheiten sind z.B. in den Augen- und Fingermuskeln zu finden. Sie werden hier für feine Blick- und Greifbewegungen benötigt.

Anhand einiger Muskelgruppen lässt sich die starke Variabilität der Größe der motorischen Einheiten gut darstellen. Bei den äußeren Augenmuskeln besteht eine motorische Einheit aus ca. 6 Muskelfasern; beim Bizeps-Muskel gehören zu einer motorischen Einheit ungefähr 750 Muskelfasern.

Übersicht über die Hauptmuskelgruppen des Menschen

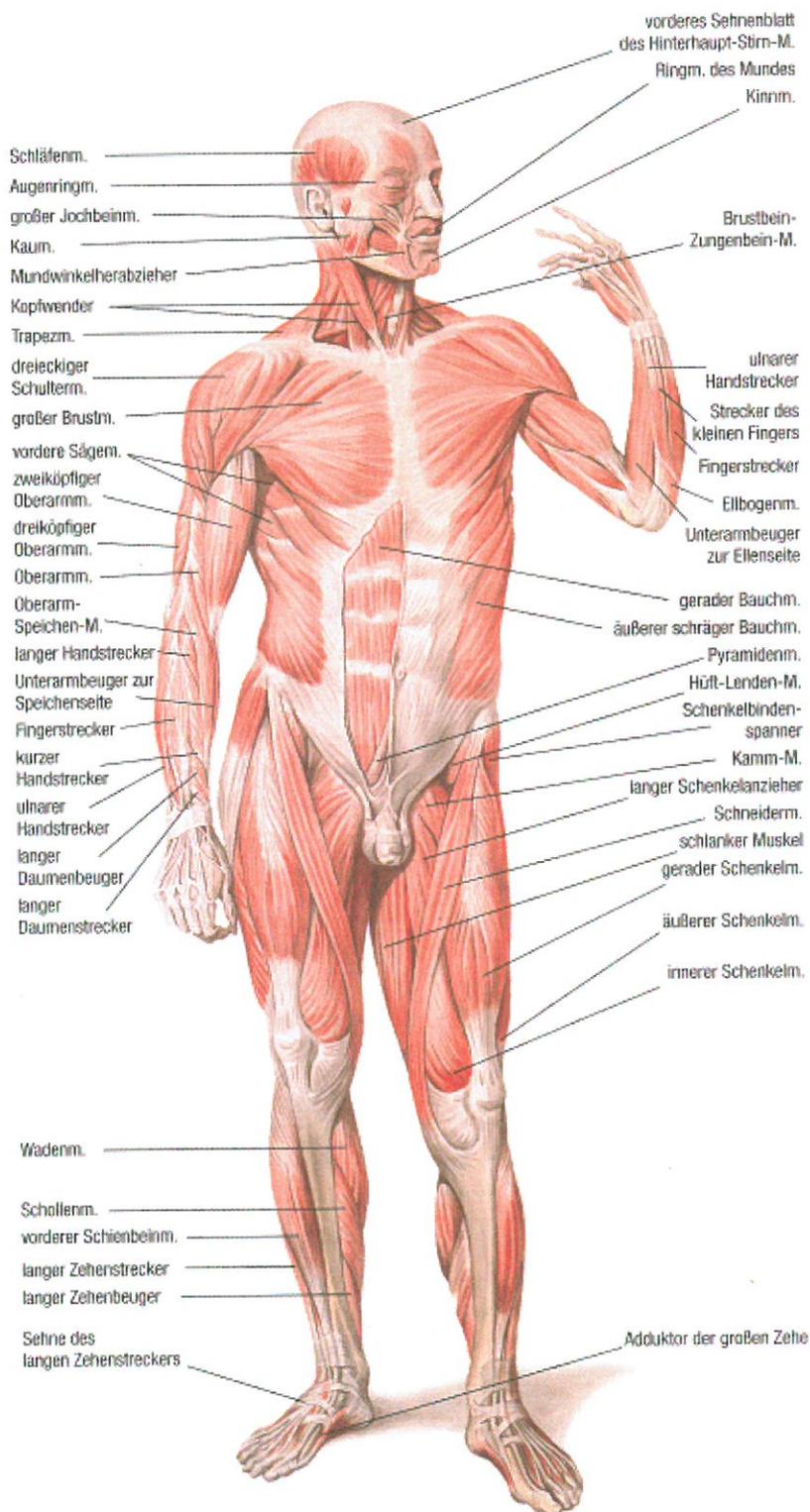
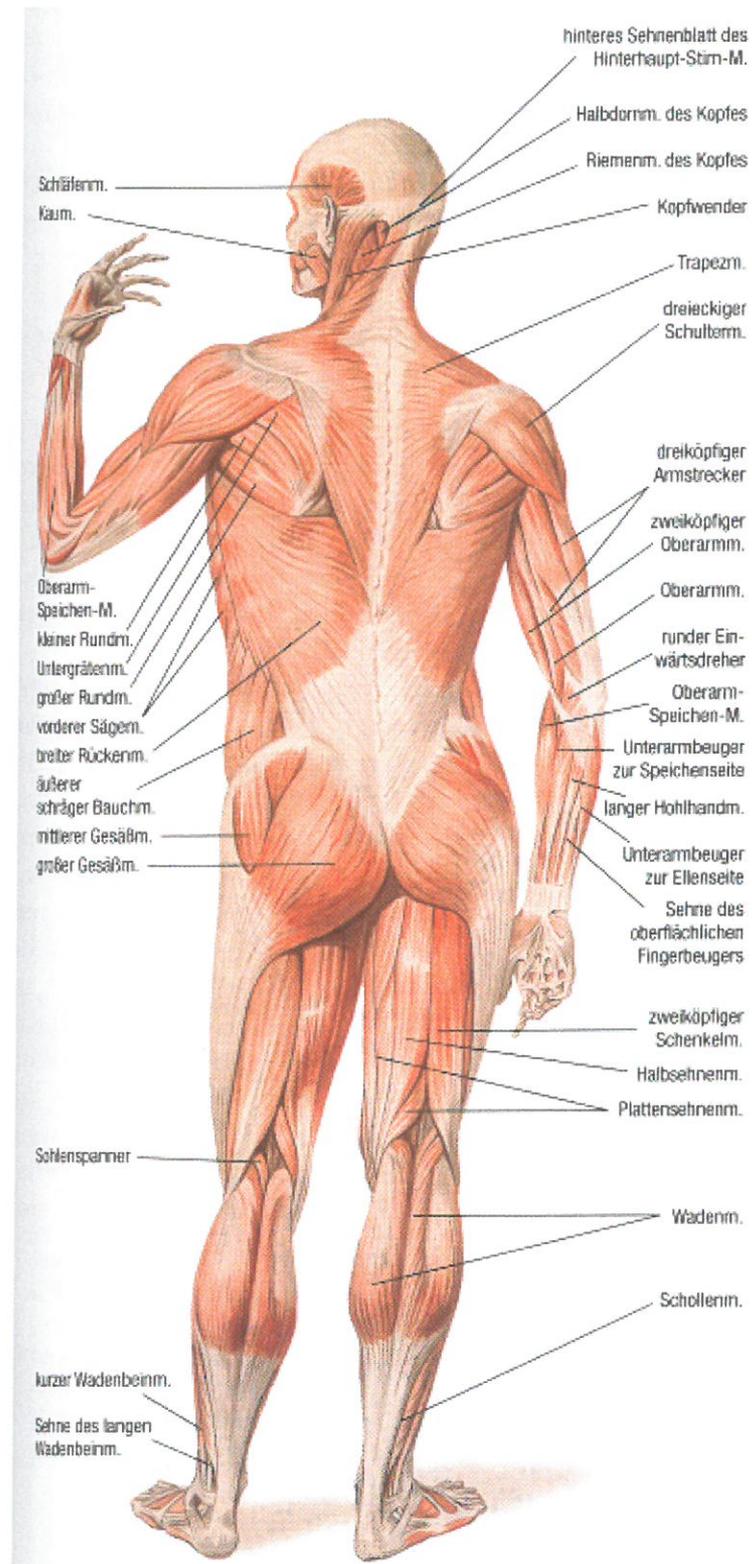


Abb. 17:
Vorderansicht der
Hauptmuskelgruppen
(Ahonen u. a. 1994)

Übersicht über die Hauptmuskelgruppen des Menschen

Abb. 18:
Rückansicht der
Hauptmuskelgruppen
(Ahonen u. a. 1994)



Allgemeiner Aufbau von Knochen und Gelenken

Knochen

Die Knochen bilden das formgebende Grundgerüst des menschlichen Körpers. An ihnen sind Muskeln und Bänder befestigt und sie bilden das Gerüst für Räume im menschlichen Körper, wie z.B. den Brustkorb oder den Bauchraum, in denen sich die inneren Organe befinden.

Die Knochen entstehen während der Embryonal- und Säuglingsperiode durch direkte oder indirekte Verknöcherung an einer Knorpelschablone.

Knochen sind das härteste Gewebe des Organismus und bestehen zu 30% aus organischen und zu 70% aus anorganischen Bestandteilen. Die Festigkeit der Knochen beruht auf der Einlagerung von anorganischen Bestandteilen, deren Hauptteil durch Calciumphosphat gebildet wird. Die organischen Bestandteile der Knochen bestehen zu 95 % aus Kollagenfasern. Knochen bilden das Skelettsystem des Organismus und speichern fast das gesamte im Körper vorhandene Calcium. Weiterhin ist das Knochenmark der Ort der Bildung der Blutzellen.

Knochen weisen in ihrer Funktion als Bestandteil des Stützapparates bestimmte mechanische Eigenschaften auf, zu denen z.B. Biegsamkeit, Dehnungsfähigkeit und Starrheit gehören.

Abb. 19:
Bau des Oberschenkelknochens
(Schwegler 1996)

Der menschliche Körper weist verschiedene Knochenformen auf. So kann zwischen langen, kurzen und platten Knochen unterschieden werden. Zu den platten Knochen werden beispielsweise das Schulterblatt oder Teile der Schädelknochen gezählt. In die Gruppe der kurzen Knochen gehören z.B. die Handwurzelknochen oder die Wirbel. Die (langen) Röhrenknochen bilden vor allem die Extremitäten: die Oberarm- und Oberschenkelknochen sowie die Knochen der Unterarme und Unterschenkel.

Bei den Röhrenknochen werden bestimmte Regionen unterschieden: In der Mitte befindet sich die Diaphyse, die den längsten Anteil des Knochens ausmacht und von Knochenmark ausgefüllt ist. Die Regionen an den Enden der Röhrenknochen, an denen sich auch die Gelenkflächen befinden, werden Epiphysen genannt. Zwischen den beiden Gebieten befindet sich eine weitere, die den Übergang zwischen Epiphyse und Diaphyse bildet. Sie wird als Metaphyse bezeichnet. Hier findet das Längenwachstum der Röhrenknochen seinen Ausgang. Da von hier aus also die Knochenbildung erfolgt, verknöchert dieser Bereich des Knochens bei Kindern und Jugendlichen erst sehr spät, nämlich dann, wenn das Längenwachstum des Knochens abgeschlossen ist. Knochen besitzen eine Knochenhaut, von der das Dickenwachstum des Knochens ausgeht. In Abb. 19 ist ein Oberschenkelknochen abgebildet. Es ist zu erkennen, dass sich außen eine dichte Knochenschicht befindet, die ein Knocheninneres umschließt. Dieses ist nicht kompakt und dicht, sondern besteht aus zahlreichen, durch Knochenbälkchen abgegrenzten Hohlräumen, in denen sich das Knochenmark befindet.



An den Enden des Knochens finden sich die Gelenkflächen.

Definition:

Knochen sind das Stützgerüst des Körpers und speichern Calcium. Sie bestehen zu einem hohen Anteil aus anorganischem Material.

Gelenke

Als Gelenke werden mehr oder weniger stark bewegliche Verbindungen zwischen zwei Knochen bezeichnet. Charakteristisch für Gelenke ist, dass einer der Knochen einen Gelenkkopf und der andere eine Gelenkpfanne aufweist, wobei der Kopf genau in die Pfanne passt und in ihr beweglich ist. Zwischen den Gelenkflächen befindet sich die Gelenkhöhle mit einer Art Schmierflüssigkeit. Beide Gelenkflächen sind von Knorpel überzogen, wodurch die Berührungsf lächen sehr glatt sind und Reibung minimiert wird. Die Versorgung des Knorpels erfolgt nicht direkt durch Blut, sondern nur durch Diffusion aus der Umgebung. Deshalb regeneriert er sich bei Verletzungen relativ schlecht.

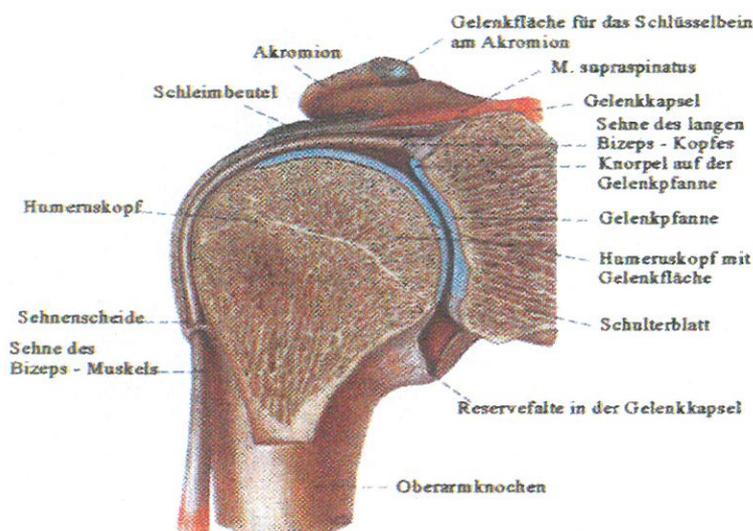


Abb. 20:
Bau des Schultergelenks
(Pabst/Putz 1993)

Bestandteile eines Gelenks sind der Gelenkkopf und die passende Gelenkpfanne. Beide Flächen sind von Knorpelsubstanz bedeckt. Zwischen diesen liegt die Gelenkhöhle in der sich eine Schmierflüssigkeit befindet. Umgeben sind die Gelenke von einer Gelenkkapsel, die von außen durch Bänder verstärkt sein kann.

Je nach der speziellen Struktur und den Bewegungsmöglichkeiten werden bestimmte Gelenktypen unterschieden, die in bestimmten Regionen des Körpers vorkommen.

Gelenktyp	Anzahl der Achsen	Beispiel
Kugelgelenk	3	Schultergelenk, Hüftgelenk
Eigelenk	2	Handgelenk
Sattelgelenk	2	Daumensattelgelenk
Scharniergelenk	1	Mittel – und Endgelenk der Finger
Radgelenk	1	Zwischen dem 1. und 2. Halswirbelkörper
Ebenes Gelenk	-	Gelenk zwischen zwei Wirbelkörpern

Tabelle 3: Einteilung der Gelenkarten

Neben diesen einfachen Gelenktypen existieren im Körper auch noch Gelenke, die aus mehr als zwei Berührungsflächen bestehen und deshalb als zusammengesetzte Gelenke bezeichnet werden. Solche Gelenke sind z.B. am Knie zu finden; hier bilden der Oberschenkelknochen, das Schienbein und die Kniescheibe das Kniegelenk. Auch das Ellenbogengelenk besteht aus drei Teilen. Hier bilden der Oberarmknochen, Elle und Speiche eine Gelenkverbindung.

Bänder

Bänder sind meist außerhalb des Gelenkes verlaufende Faserzüge, die überwiegend aus Kollagen bestehen. Sie sichern die Gelenkstabilität, führen das Gelenk und verhindern außerdem übermäßige Ausschläge der Bewegung. Bei extremen Überbelastungen (Umknicken im Knie- oder Sprunggelenk) kann es zu einer Überdehnung oder sogar einem Riss des Bandes führen, wodurch die Gelenkstabilität wesentlich reduziert wird.

Bau und Funktion der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule des Menschen stellt das zentrale Stützelement des Körpers dar. Sie trägt den Kopf, bietet an den Wirbeln Gelenkflächen für die Rippen und formt somit den Brustkorb.

Über das Kreuzbein ist die Wirbelsäule mit dem Beckengürtel und damit mit den Beinen verbunden. Eine direkte knöcherne Verbindung zwischen der Wirbelsäule und dem Schultergürtel besteht nicht, dafür ist das Schulterblatt aber über verschiedene Muskeln, die zwischen Wirbelsäule und dem Schulterblatt verlaufen, am Rückgrat befestigt. Diese beweglichen Verbindungen in Form von Muskulatur bedingen u. a. die hohe Beweglichkeit und den großen Bewegungsradius der Arme.

Die Wirbelsäule überträgt das Gewicht der oberen Körperpartien auf das Becken und die Beine und stabilisiert so die aufrechte Körperhaltung. Sie trägt zur Minderung von Erschütterungen bei, die z.B. während des Laufens entstehen, und schützt so Kopf und Gehirn vor eventuellen Schädigungen.

Die Wirbelsäule weist eine gewisse Beweglichkeit auf, die leichte Beugungen nach vorne und hinten, zur Seite sowie geringe Drehungen um die eigene Achse erlaubt.

Übersicht über das menschliche Skelett

(Siehe Abb. 22 Vorderansicht des menschlichen Skeletts (Ahonen u.a. 1994))

Insgesamt besteht die Wirbelsäule somit aus 32-34 Wirbeln, die jeweils über die sog. Bandscheibe mit den darunter und darüber liegenden Wirbeln verbunden sind. Diese Bandscheiben weisen elastische Eigenschaften auf und tragen somit wesentlich zur Druckminderung und Federung innerhalb der Wirbelsäule bei.

In der Seitenansicht (Abb. 21) ist die Wirbelsäule nicht gerade, sondern doppelt -

S - förmig gebogen. Diese Krümmung tritt dadurch auf, dass zwei Lordosen, d.h. Krümmungen der Wirbelsäule nach vorne, jeweils im Hals - und Lendenbereich sowie zwei Kyphosen, Krümmungen des Rückgrates nach hinten, im Bereich der Brust - und Sakralwirbelsäule vorhanden sind.

An der Brustwirbelsäule sind die Rippen befestigt. Diese begrenzen den Brustkorb zusammen mit der Zwischenrippenmuskulatur hinten, seitlich und vorne und sind auf der Vorderseite des Körpers am Brustbein befestigt.

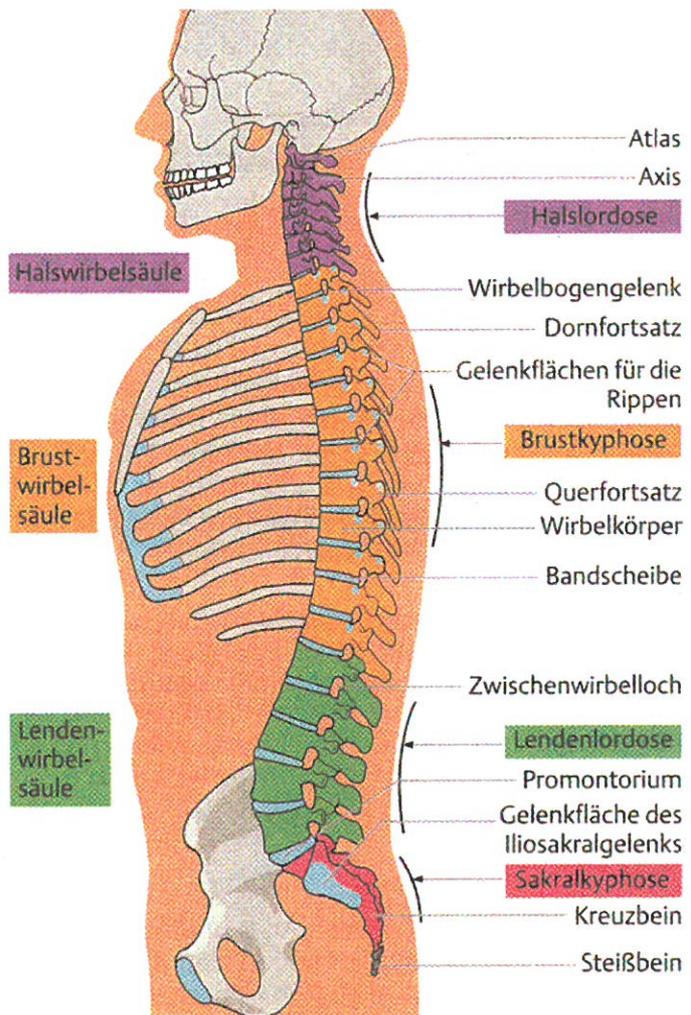


Abb. 21: Anatomie der Wirbelsäule (Schwegler 1996)

Innerhalb der Wirbelsäule werden verschiedene Abschnitte unterschieden:

- die Halswirbelsäule mit 7 Halswirbeln
- die Brustwirbelsäule mit 12 Brustwirbeln
- die Lendenwirbelsäule mit 5 Lendenwirbeln
- das Kreuzbein, bestehend aus 5 verschmolzenen Wirbeln
- das Steißbein aus 3 - 5 verschmolzenen Wirbeln

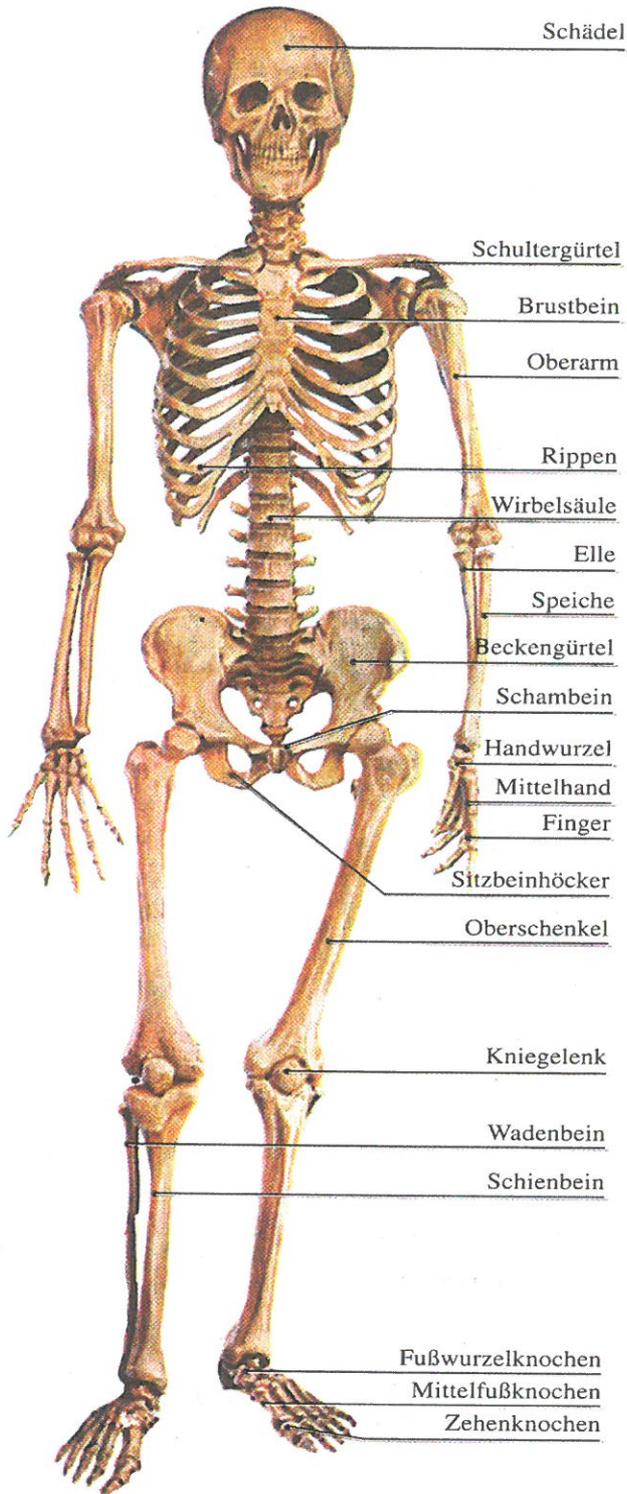


Abb. 22:
Vorderansicht des menschlichen Skeletts
(Ahonen u.a. 1994)

Kontrollfragen

1. Wie ist ein Muskel aufgebaut? Erläutern Sie die Struktur eines Sarkomers!
2. Welche verschiedenen Kontraktionsformen kennen Sie?
3. Nennen Sie die Stoffwechselmechanismen, die zur Energiegewinnung herangezogen werden können und benennen Sie den dabei gebildeten Energieträger, der für die Kontraktion unerlässlich ist!
4. Erklären Sie den Begriff der motorischen Einheit! Wo im Körper kommen Muskeln mit kleinen oder großen motorischen Einheiten vor?
5. Beschreiben Sie den Aufbau eines Gelenks und nennen Sie die verschiedenen Gelenktypen mit je einem Beispiel!
6. Beschreiben Sie den Aufbau der menschlichen Wirbelsäule!
7. Nennen Sie die Knochen, die mit der Wirbelsäule Kontakt haben!
8. Welche Aufgaben erfüllen die Knochen im menschlichen Körper?

3 Grundlagen der Ernährung

3.1 Überblick über das Verdauungssystem

Vom Magen aus gelangt die Nahrung in den Zwölffingerdarm und von hier aus in den Dünndarm, wo sie weiter gespalten wird und durch die Darmwand aufgenommen (resorbiert) wird und so ins Blut gelangt. Nicht ins Blut aufgenommene bzw. über die Gallenflüssigkeit abgegebene Bestandteile gelangen in den Dickdarm und werden über den Enddarm als Stuhl wieder ausgeschieden. Im Dickdarm erfolgt hauptsächlich die Aufnahme von Wasser aus dem Speisebrei, der dadurch eingedickt wird. Außer diesen Abschnitten des Verdauungstraktes existieren noch weitere, nämlich die Bauchspeicheldrüse, die Leber und die Gallenblase. Die Bauchspeicheldrüse gibt wichtige Verdauungsenzyme in den Darm ab und produziert Hormone, wie beispielsweise das Insulin, die den Stoffwechsel regulieren. Insulin senkt den Blutzuckerspiegel. Bei einer unzureichenden Produktion dieses Hormons kommt es zum Krankheitsbild des Diabetes mellitus (Zuckerkrankheit). Die Leber produziert wichtige Eiweiße und ist das zentrale Stoffwechselorgan des Körpers, in dem auch einige Stoffe (Glykogen, Fette) gespeichert werden können. Der Verdauungstrakt reicht vom Mund bis zu den Ausscheidungsorganen und ist für die Zufuhr, Zerkleinerung, Auflösung und Resorption notwendiger Substanzen sowie die Ausscheidung schädlicher Stoffe verantwortlich. Ihm gehören auch einige Drüsen an, die wichtige Hormone und Verdauungseiweiße produzieren.

3.2 Überblick über Nahrungsbestandteile einer gesunden Ernährung

Prinzipiell dient die Nahrungsaufnahme nicht nur der Zufuhr von Energie (Energiestoffwechsel), sondern auch der Bereitstellung von Stoffen, die im Körper nicht zum Energiegewinn abgebaut werden, sondern für die ordnungsgemäße Funktionsweise aller Körperprozesse benötigt werden. Hierzu gehören vor allem die Vitamine und Spurenelemente (Baustoffwechsel).

Für eine gesunde Ernährung gibt es einige grundlegende Regeln. Fast alle Nahrungsmittel und Getränke, die die Menschen zu sich nehmen, enthalten unterschiedliche Mengen der einzelnen Nährstoffe und versorgen den Körper mit Energie. Dabei ist zu beachten, dass es keine Nahrungsmittel gibt, die gesünder sind als andere. Es kommt bei der Ernährung auf die Dosis und Qualität der Nahrungsmittel an. Ein „Zuwenig“ wird zu Mangelerscheinungen führen, ein „Zuviel“ ist ebenfalls nicht gesünder.

Die wichtigsten Bestandteile der menschlichen Nahrung sind Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße, Vitamine, Spurenelemente und Flüssigkeit (Wasser).

Die Hauptnährstoffe sind Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette. Bei den Kohlenhydraten handelt es sich um Zucker und Stärke, die in Getreide und Getreideprodukten (Cerealien, Brot, Reis, Teigwaren), Obst, Gemüse, Milch und Milchprodukten enthalten sind.

Die Eiweiße (Proteine) sind Bausteine des Körpers, die für das Wachstum, den Zellaufbau und die Verdauung benötigt werden. Darüber hinaus sind sie u. a. bei der Infektabwehr zum Aufbau von Antikörpern erforderlich. Eiweiße sind z.B. in Fleisch, Fisch, Milch und Milchprodukten, Eiern und Nüssen enthalten.

Auch Fette werden vom Körper benötigt. Fett ist z.B. Bestandteil der Zellmembranen, schützt die Organe vor Verletzungen und gewährleistet die Versorgung mit den fettlöslichen Vitaminen A, D, E und K. Außerdem sind die Fette eine fast unerschöpfliche Energiequelle für den Menschen.

Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße sind die Stoffe, die der Körper für die Energiegewinnung und den Aufbau von körpereigenem Material benötigt.

Die anteilmäßige Zusammensetzung der Nahrung im Hinblick auf die drei wichtigsten Bestandteile, die für die Energiegewinnung bzw. für den Aufbau des Körpers verwendet werden, lässt sich für eine normale ausgewogene Ernährung angeben: Der Kohlenhydratanteil sollte zwischen 55 - 65 % der aufgenommenen Energiemenge betragen, der Fettanteil etwa 25 - 35 % der zugeführten Energie ausmachen und die Proteine etwa 10 - 15 % der Nahrungsenergie bereitstellen.