

15 Respiration och cirkulation

Du klarar dig flera dagar utan mat, kanske något dygn utan vatten – men bara några minuter utan syre. Syrgas är livsnödvändig för nästan alla organismer på jorden, men det har inte alltid varit så. För flera miljarder år sedan var syrgas ett giftigt ämne, och bara vissa bakterier lyckades dra nytta av det för att utvinna energi. Den förändringen blev en evolutionär milstolpe som lade grunden för allt liv.

Idag har både vattenlevande och landlevande djur utvecklat avancerade system för att ta upp syre och transportera det till kroppens celler. Genom respiration och cirkulation hålls livet igång – glykos bryts ned, energi frigörs och kroppen upprätthåller homeostas. Fiskens gälar, insekternas trakeér samt människans lungor och hjärta är alla bevis på evolutionära anpassningar.

När du har läst kapitlet ska du ha kunskap om...

- att gasutbyte sker med diffusion
- andningssystem med gälar, trakeér och olika typer av lungor
- människans andningsorgan
- några olika sjukdomar i andningssystemet
- principer för olika typer av cirkulationssystem
- människans cirkulationssystem, lungkretslopp och kroppskretslopp
- vad blodtryck innebär, och hur detta regleras
- blodets sammansättning
- blodets koaguleringsprocess
- några sjukdomar i cirkulationssystemet.

Viktiga begrepp

- alveol
- anemi
- blodplasma
- blodpropp
- bronk
- bronkiol
- dubbelt blodomlopp
- enkelt blodomlopp
- fickklaff
- flimmerhår
- gälar
- hemolymfa
- koagulering
- motströmsprincipen
- obstruktiv lungsjukdom
- pacemakercell
- parabronker
- residualvolym
- restriktiv lungsjukdom
- slutet cirkulationssystem
- traké
- åderförfettnings
- öppet cirkulationssystem

15.1 Olika respirationssystem

Gasutbyte via diffusion

Respirationssystemen hos djur på land respektive i vatten skiljer sig åt, även om de har en del grundläggande likheter. En likhet är att gasutbytet mellan syrgas och koldioxid alltid sker via diffusion på grund av skillnader i gasernas koncentration. En annan likhet är att diffusionen maximeras genom att cellmembranen där utbytet sker, alltid är mycket tunna, och den totala ytan av dem mycket stor. Ytan där gasutbytet sker behöver också vara fuktig.

Gasutbytet hos exempelvis encelliga djur eller maskar sker direkt genom huden via diffusion. Ju större volym ett djur har desto svårare blir det att bara förlita sig på diffusion via huden, eftersom kroppsytan inte räcker till. Då blir speciella respirationsorgan nödvändiga.

Djur i vatten eller fuktiga miljöer

De flesta vattenlevande djur andas med **gälar**, som är specialiserade organ för att utgöra en stor yta för diffusion av gaser vid andning i vatten. Gälarna är fulla av kapillärer för en effektiv diffusion av syre från vattnet till blodet och av koldioxid från blodet till det omgivande vattnet. Eftersom syrgashalten i vatten är lägre än i luften, krävs det mycket mer energi för gasutbytet. Fiskar som lever i varmt klimat kan behöva använda så mycket som 20–25 % av sin energi för gasutbyte. Varmt vatten har vanligtvis lägre syregashalt än kallt vatten, eftersom lösligheten för gaser i vatten minskar med ökad temperatur.

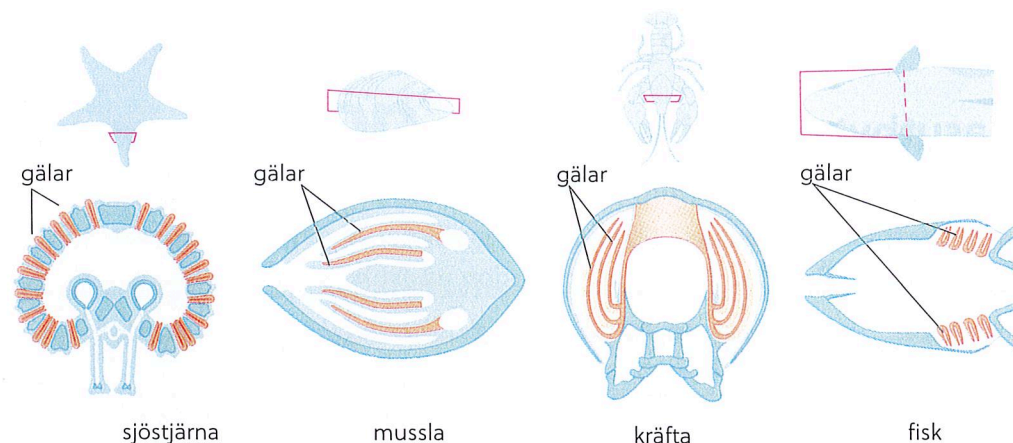
Hos sjöborrar och sjöstjärnor som är relativt stillasittande, utgörs gälarna av många och enkla veckningar runt hela kroppshålan. Är djuren mer rörliga och

gälar – andningsorgan hos många vattenlevande djur.



Gälar kan befinna sig utanpå kroppen som hos vattensalamandern axolotl (*Ambystoma mexicanum*) eller inuti kroppen som hos fiskar som hajar.

Vattenlevande djurgrupper har utvecklat olika typer av gälar. Teckningen visar från vänster till höger hur gälarna är placerade hos sjöstjärnor, musslor, kräftdjur och fiskar. Notera att gälarna minskar i relativ storlek, från vänster till höger, ju rörligare djuret är.

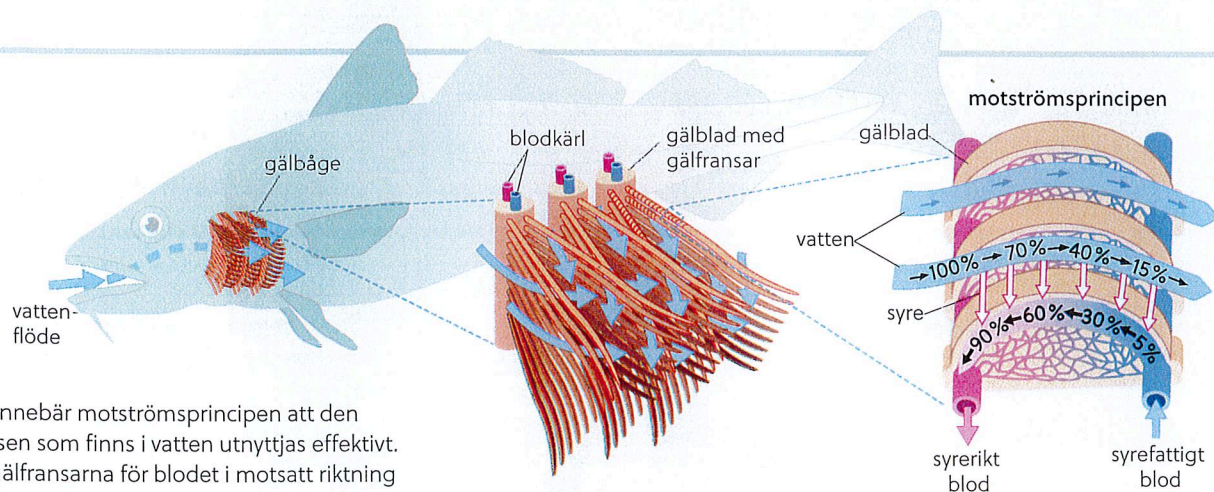


mer komplicerade i sin uppbyggnad är gälarnas konstruktion också mer komplex. Dessutom sitter gälarna endast på ett ställe på kroppen. Kräftdjurens gälar finns under huvudskölden och de viftar fram vattnet med speciella utskott vid munnen. Fiskarnas gälar finns också i huvudregionen, och benfiskarna transporterar vatten genom att ta in vatten genom munnen och öppna och stänga gällocken.

Motströmsprincipen hos fiskar

För att få ett ännu bättre gasutbyte simmar många fiskar även med öppen mun. Vatten kommer då in i munnen och syrgas tas upp när det passerar gälarna på vägen ut. I fiskarnas gälar utnyttjas den så kallade motströmsprincipen för att förbättra gasutbytet. **Motströmsprincipen** innebär att blodet i gälarnas kapillärer cirkulerar i motsatt riktning mot vattenströmmen över gälarna. Det mest syrerika vattnet möter det mest syresatta blodet. Det finns då alltid en skillnad i syrgasens koncentration där blodet har lägre halt än det vatten som strömmar förbi. Diffusionen av syrgas kan då ske längs hela gälbladets lamell. Tack vare motströmsprincipen kan mer än 80 % av vattnets lösta syrgas tas upp i blodet.

motströmsprincipen
– blodet cirkulerar i motsatt riktning mot vattenströmmen.



Hos fiskar innebär motströmsprincipen att den lösta syrgasen som finns i vatten utnyttjas effektivt. Blodkär i gälfransarna för blodet i motsatt riktning mot det vatten som passerar dem. Upptaget av syrgas blir därför optimalt.

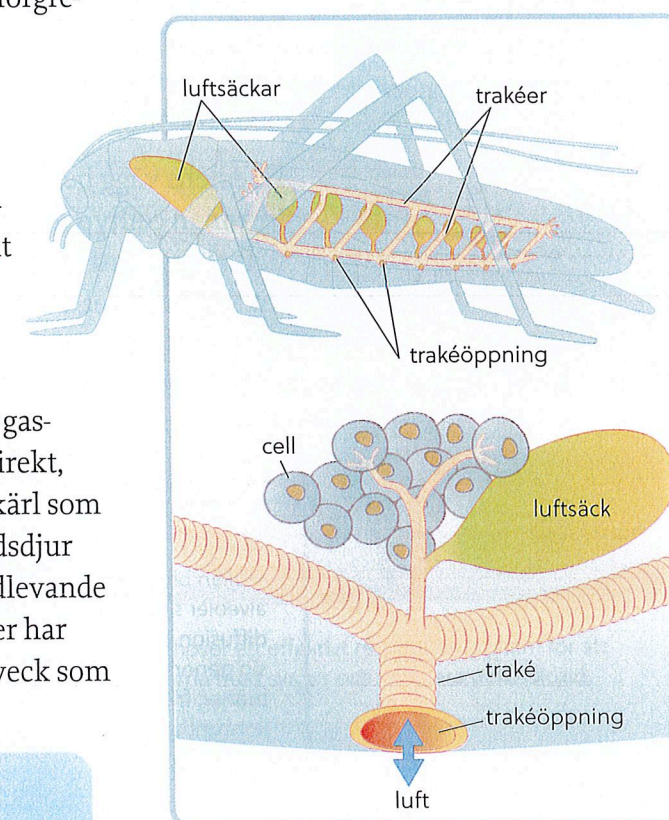
Djur på land

I luften är syrgashalten ungefär 21 procent, vilket gör att djur på land behöver använda betydligt mindre energi för gasutbyte jämfört med vattenlevande djur. I genomsnitt använder ett djur på land bara en tiondel så mycket energi för gasutbytet som ett djur i vatten. Landlevande djur måste dock skydda sina andningsorgan från uttorkning, eftersom en fuktig yta är nödvändig för effektivt gasutbyte. Därför är andningsorganen placerade inuti kroppen där de hålls fuktiga och skyddade.

Insekternas trakéer

Insekter, den mest artrika djurgruppen på land, har utvecklat **trakéer** för sitt gasutbyte. Detta system består av flera öppningar i kroppsytan, som är kopplade till ett inre nätverk av tunna rör. Dessa rör är så fint förgrenade att luften når alla kroppens celler. Större insekter pumpar bakkroppen fram och tillbaka, vilket tillsammans med luftsäckar, hjälper till att pressa luft in i och ut ur trakéerna. Flygande insekter, som behöver mycket energi och syrgas, har flygmusklerna kopplade till trakéerna. När de rör vingarna pumpas samtidigt luft in och ut i trakésystemet.

traké – rörformat andningsorgan hos insekter.



Större insekter har ofta en kombination av trakésystem och luftsäckar för att få i sig tillräckligt med syrgas.



Paddan, som är en amfibie, har lungor och hudandning.

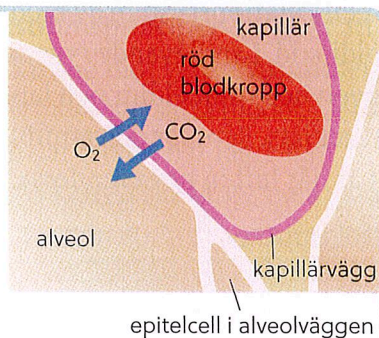
gasutbytet sker. Den relativt måttliga veckningen i reptilernas lungor räcker för att förse dem med syrgas, medan amfibiers lungor varken har tillräckligt stor yta eller är tillräckligt effektiva. Gasutbytet hos dem kompletteras därför med hudandning, vilket innebär att syrgas diffunderar in direkt genom huden. Många små ytliga blodkärl tillsammans med den tunna fuktiga huden gör att detta kan fungera.

Däggdjur har lungor med alveoler

Däggdjur och fåglar är jämnvarma. Att vara jämnvarm ger många fördelar, men kräver en hög ämnesomsättning. Cellandningen förbrukar stora mängder syrgas samtidigt som koldioxid behöver vädras ut. Därför har särskilt effektiva respirationssystem utvecklats hos de jämnvarma djuren. Eftersom jämnvarma djur har ett större energibehov än växelvarma djur, måste gasutbytet kunna ske över en ännu större yta. Samtidigt får lungorna inte ta för stor plats. Hos däggdjur har detta lösts genom att lungorna består av miljontals **alveoler**, eller lungblåsor, som ger en enorm yta. Människan har över 600 miljoner alveoler, med en sammanlagd yta på 70–100 m².

Alveolens vägg består av ett lager epitelceller som är platta och mycket tunna. En annan celltyp utsöndrar ett smörjande sekret som sänker ytspänningen för att förhindra att alveolerna klibbar ihop. I alveolerna finns också celler från immunförsvaret, monocyter, som bekämpar bakterier och virus som följer med inandningsluften. På utsidan av alveolen ligger ett nätverk tunna blodkärl. Diffusionsavståndet mellan den luftfyllda alveolen och blodkärlen utanför är mycket litet, bara 0,1 mm, vilket gör diffusionen av gaser effektivt.

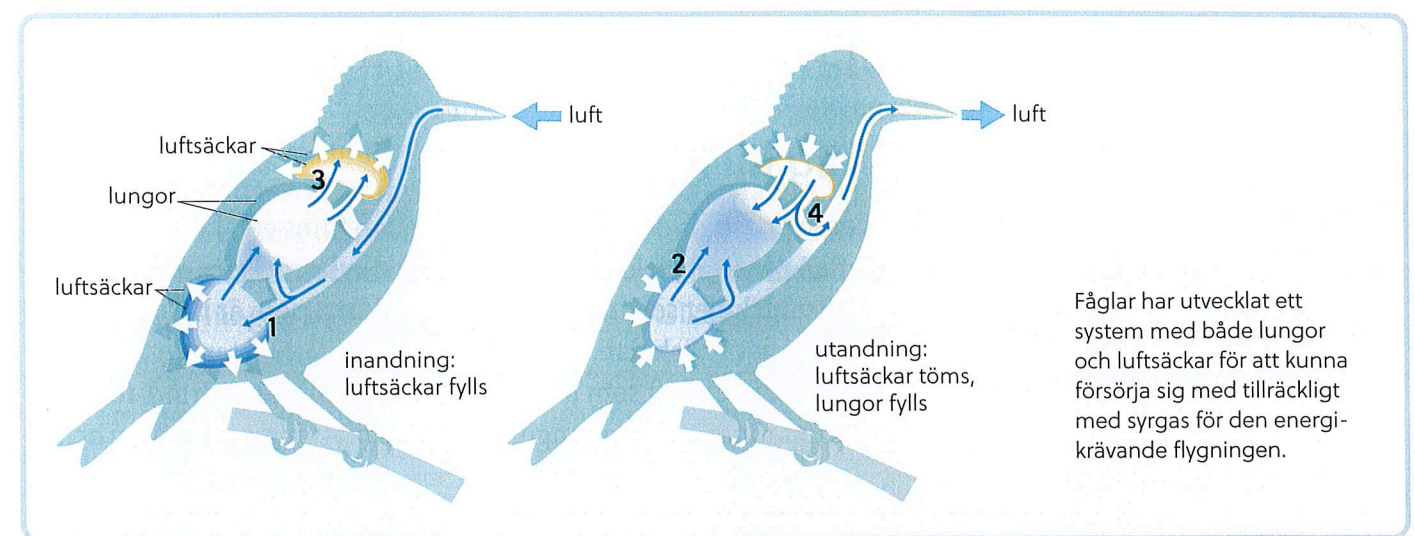
Gasernas rörelseriktning mellan blodkärl och alveoler sker genom diffusion. Gaserna rör sig genom tunna membraner, från den högre koncentrationen mot den lägre.



Fåglar har lungor med parabronker

Respirationssystemen skiljer sig lite mellan fåglar och däggdjur. Fåglars lungor är stela och de har inte heller alveoler som däggdjur har. Fåglarnas respirationssystem är ändå mer effektivt genom att de har flera luftsäckar under och ovanför lungorna som både fyller och tömmer lungan med luft. Vid inandning passerar luften enkelriktat genom lungorna till luftsäckarna och sedan enkelriktat igen vid utandning. Gasutbytet till blodet sker i miljontals tunna förgreningar, så kallade **parabronker**, i själva lungan.

parabronker – små luftrör i fåglarnas lungor där gaser diffunderar mellan blod och luft.

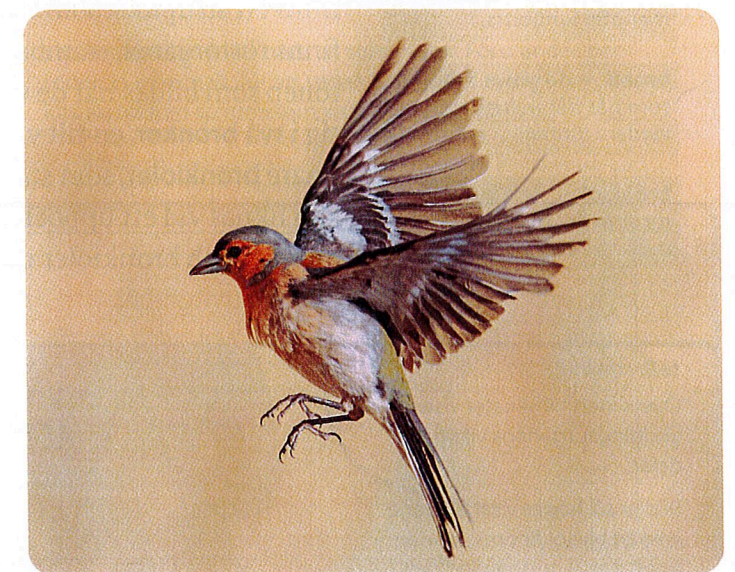


Fåglar har utvecklat ett system med både lungor och luftsäckar för att kunna försörja sig med tillräckligt med syrgas för den energi-krävande flygningen.

Om vi följer en volym luft i en fågel sker följande:

- 1 Luften når först de nedre luftsäckarna.
- 2 Vid utandning pressas luftvolymen in i lungorna där gasutbyte sker i parabronkerna.
- 3 Vid nästa inandning pressas den nu syrefattiga luften upp i de övre luftsäckarna.
- 4 Vid nästa utandning pressas luften från de övre luftsäckarna genom lungorna en andra gång, och lämnar sedan fågeln.

Eftersom det tas upp syrerik luft vid varje inandning är det alltid flera luftvolymmer inne i fågeln samtidigt och gasutbytet blir extra effektivt. Hos däggdjuren är luftströmmen dubbelriktad eftersom den vänder i alveolerna och andas ut direkt.



Flygande fåglar behöver ett effektivt respirationssystem för att försörja flygmuskulerna med syrgas och ventilerar ut koldioxid.

15.1 Testa dina baskunskaper

FÖRKLARA BEGREPPEN

- gälar
- motströmsprincipen
- trakéer
- alveoler
- parabronker

SVARA PÅ FRÅGORNA

1. Hur andas insekter?
2. Varför måste djur som andas i vatten lägga ned mycket mer energi på gasutbytet än djur som andas luft?
3. Vad menas med att fiskarnas gälar bygger på motströmsprincipen?

15.2 Människans andningsorgan

Luftens väg till lungorna

Luften kommer in i näshåla och munhåla. I näshålan finns ett skiktat lamell-system som luften passerar, dels för att värmas eller kylas, dels för att vi ska registrera de doftmolekyler som finns i luften. Bihålorna, som är håligheter i skullbenet och mynnar i näshålan, hjälper till viss del till med temperaturutjämningen och fuktar den luft som passerar. Att luften blir uppvärmd, fuktig och renad är viktigt för att skydda lungorna mot nedkylning, uttorkning och infektioner. Luften förs vidare genom luftstrupen. Det är ett rör utspänt av broskringar och har celler med **flimmerhår** på ytan som rytmiskt viftar upp skräp, damm och bakterier som har följt med luften. I övre delen av luftstrupen finns ett struplock som automatiskt stängs när du sväljer. Längre ned i svalget finns röstorganet, stämbanden. Längden och spänningen på stämbanden avgör tonen som bildas när de vibrerar i luftströmmen. Luftstrupen delar sedan upp sig i två **bronker**, en till varje lunga, och dessa delar i sin tur upp sig i finare och finare **bronkioler**, som står i direkt kontakt med alveolerna. Människans lungor kan liknas vid ett uppochnedvänt träd, där luftstrupen motsvarar stammen, bronker och bronkioler utgör grenarna och alveolerna motsvarar bladen.

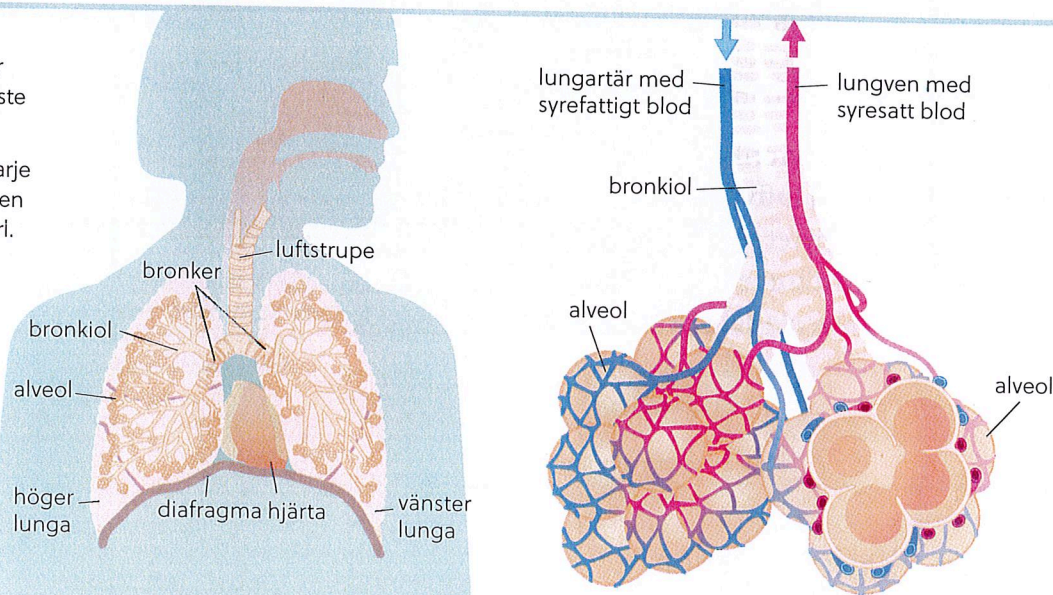
flimmerhår – små hårstrån i luftvägarna som transporterar bort slem, partiklar och mikroorganismer från lungorna.

bronk – de grova luftrör som går från luftstrupen till vardera lungan.

bronkiol – de tunna luftrör som är i förbindelse med alveoler.

Översikten till vänster visar andningsorganens viktigaste delar.

Bilden till höger visar att varje enskild alveol är omspunnen av ett nät av tunna blodkärl.



Andningsfrekvens och vitalkapacitet

Själva inandningen sköts av muskler mellan revbenen. De utvidgar bröstkorgen samtidigt som diafragmamuskeln under bröstkorgen drar lungan nedåt. Tillsammans skapar dessa muskler ett undertryck så att luften strömmar in. Vid utandningen sker den motsatta processen. Lungorna är fästa i varsin lunsäck, vilket gör att de följer med då bröstkorgen vidgar sig. Luftstrupens och bronkernas väggar är förstärkta med broskringar så att de inte faller ihop under inandning.

I vila rymmer varje andetag mellan 400–500 milliliter hos en vuxen människa, vilket kallas **tidalvolym**. På en dag motsvarar den volymen utrymmet i en lastbil på 20 000 liter. Vid hårt fysiskt arbete ökar både **andningsfrekvensen** och volymen, och den totala luftvolymen kan då bli 200 liter per minut. Med en spirometer kan du testa hur mycket luft dina lungor kan ta in. Då gör du först en maximal inandning och andas sedan ut, allt du förmår, i spirometern. Resultatet kallas **vitalkapacitet** och beror mycket på hur lång du är och hur mycket du tränar dina lungor. Med lite variation brukar vitalkapaciteten vara 4–6 liter luft hos en vuxen person.

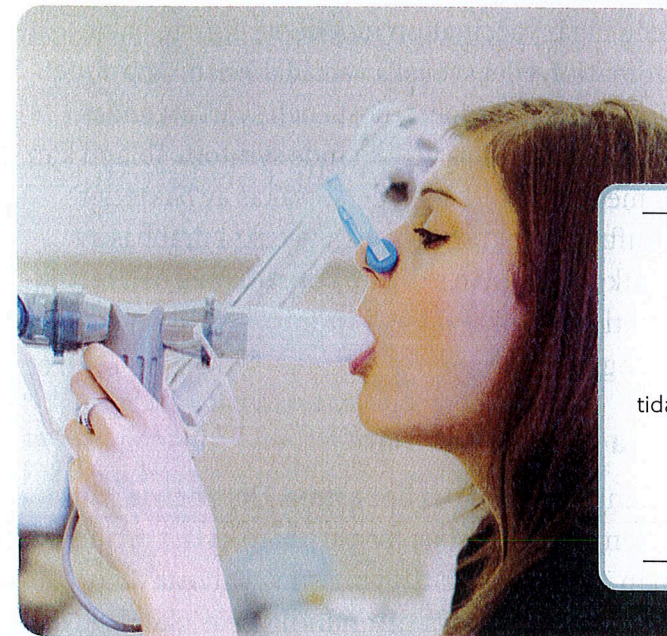
En viss mängd luft finns alltid kvar i lungorna hur mycket man än försöker tömma dem. Den mängd luft som blir kvar är cirka en liter och kallas **residualvolym**. Den behöver finnas kvar för att lungorna inte ska kollapsa och beror på att lite luft alltid finns kvar i de stela bronkerna och luftstrupen.

tidalvolym – volymen luft som andas in vid ett normalt andetag.

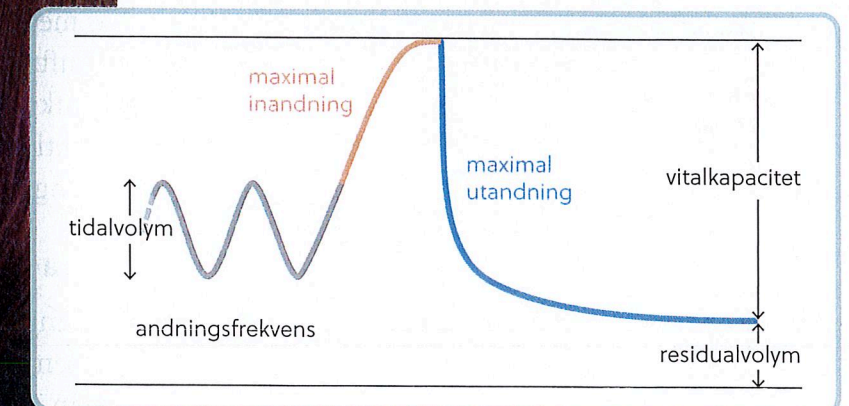
andningsfrekvens – antal andetag per minut.

vitalkapacitet – den luftvolym som kan blåsas ut efter maximal inandning.

residualvolym – den luftvolym som alltid är kvar i luftstrupe och bronker.



Vitalkapaciteten mäts med en spirometer. Först andas personen in maximalt, för att sedan blåsa ut så mycket hen kan. Resultatet från spirometern visas som ett diagram.



15.2 Testa dina baskunskaper

FÖRKLARA BEGREPPEN

- flimmerhår
- bronk
- bronkiol
- tidalvolym
- andningsfrekvens
- vitalkapacitet
- residualvolym

SVARA PÅ FRÅGORNA

1. Vilken funktion har bihålorna?
2. Vilken roll spelar flimmerhårens rörelse i luftvägarna?
3. Nämn tre saker i kroppen som påverkar andningsfrekvensen. Vad är viktigast?
4. Hur kommer luften in till alveolerna i våra lungor?
5. Hur mycket luft kan vi ta in vid behov under fysisk ansträngning?

15.3 Sjukdomar i respirationssystemet

Infektioner i lungorna

Det är kanske inte så konstigt att många av våra vanliga infektioner drabbar, eller börjar i, andningsorganen. Här har ju bakterier och virus en enkel väg in i våra kroppar. Trots ett effektivt skydd i form av slem och flimmerhår på cellerna längs luftstrupens väggar, tar sig smittämnen ändå förbi ibland. De flimmerhårsförsedda cellerna kan skadas så att mikroorganismer lättare får fäste i lungorna. Rökning är alltid skadligt och en enda cigarett kan stoppa flimmerhårens rörelser i flera timmar och risken för infektioner i lungorna ökar. Luftrörskatarr är då virus kommit ned i lungorna och orsakat en infektion. Det börjar ofta med en förkylning som övergår i några veckors hosta med slembildning. Luftrörskatarr läker oftast ut av sig själv. Lunginflammation kan orsakas av både virus och bakterier. Idag ingår vaccination mot de vanligaste bakterierna som orsakar lunginflammation i det svenska vaccinationsprogrammet för barn. Vid lunginflammation kan man få feber, hosta och svårt att andas. Coronavirus som orsakar Covid-19, kan också ge liknande symtom. Ibland kan symtomen behöva behandlas med antibiotika om den orsakas av bakterier. Förutom de vanliga hals- och luftrörsinfektionerna kan vi också drabbas av allvarligare, ibland livslånga sjukdomar. Man skiljer på **obstruktiva** och **restriktiva lungsjukdomar**. De obstruktiva minskar flödet i andningsvägarna medan de restriktiva minskar själva lungvolymen.

obstruktiv lungsjukdom – luftflödet i luftvägarna är begränsat, ofta orsakat av inflammation eller slem.

restriktiv lungsjukdom – lungornas förmåga att expandera är nedsatt, vilket minskar lungvolymen.

astma – inflammation i luftvägarna som orsakar andningssvårigheter. Kommer i perioder.

KOL – långvarig inflammation i luftvägarna som orsakar andningssvårigheter.

lungcancer – tumör i lungorna som ger andningssvårigheter.

dammlunga – inflammation orsakad av dammpartiklar.

Obstruktiva och restriktiva lungsjukdomar

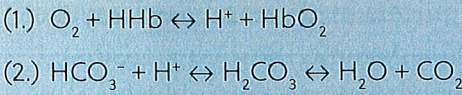
Till de vanligaste obstruktiva lungsjukdomarna hör **astma**. Det är en inflammation i luftvägarna som gör dem extra känsliga för partiklar, kyla, ansträngning, eller specifika ämnen man är allergisk mot. Symtomen är hosta och svullnad i luftvägarna, som i värsta fall kan leda till andningssvårigheter. **KOL**, kronisk obstruktiv lungsjukdom är en sjukdom som påminner om astma, men symtomen kommer långsammare och under många år. KOL drabbar ofta personer över 60 år och är vanligare hos personer som röker. Symtomen är smärta vid hostning samt svårigheter att andas, vilket beror på att andningsvägarnas elasticitet minskar och att alveolerna gradvis kollapsar.

Lungcancer är en av de vanligaste cancerformerna i Sverige och en svårbehandlad restriktiv lungsjukdom som drabbar cirka 3 300 personer per år. Av de som drabbas av lungcancer är 90% rökare eller före detta rökare. Till gruppen restriktiva sjukdomar hör **dammlunga**, även kallat silikos eller asbestos. Orsaken kan vara lång tids exponering för stendamm, asbest eller koldamm. Den som drabbas har vanligtvis andats in partiklarna på sin arbetsplats, till exempel i en betongindustri, ett stenhuggeri eller i en gruva. Immunförsvaret reagerar på de främmande partiklarna som orsakar en inflammation i lungorna och kan bidra till utveckling av lungcancer.

Gasutbytet i detalj

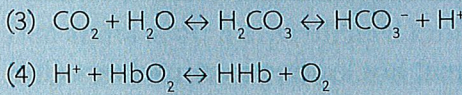
Gasutbytet mellan blodet och luften sker genom diffusion, som är en passiv preocess och beror på skillnader i gasernas koncentration. Gaserna transporteras i blodet mellan lungor och målceller. Gasutbytet kan beskrivas med kemiska jämviktsreaktioner vid cellerna respektive vid lungorna.

Gasutbytet vid alveolerna



Syrgas från luften diffunderar in i de röda blodkropparna och binds till hemoglobin (HHb). Den proton som frigörs (reaktion 1) driver sedan jämvikten åt höger (reaktion 2) så att vätekarbonatjonerna reagerar till koldioxid och vatten, som då kan diffundera in till alveolerna och ut till luften.

Gasutbytet vid cellerna



Vid cellerna sker i princip motsatsen, det vill säga, de två jämviktsreaktionerna drivs i motsatt riktning. Koldioxid, som bildats vid cellandningen, lämnar cellerna genom diffusion eftersom koncentrationen koldioxid är lägre utanför cellerna. Koldioxiden diffunderar vidare till de närliggande kapillärerna med syresatt blod. Där reagerar det mesta koldioxiden med vatten och bildar kolsyra (H_2CO_3). Kolsyran omvandlas direkt till vattenlösliga vätekarbonatjoner (HCO_3^-) och protoner (reaktion 3). Koldioxiden transporteras alltså mest som vätekarbonatjoner i

blodplasman. Protonerna som bildas i den första jämvikten driver en andra jämvikt, genom att de reagerar med oxyhemoglobin (HbO_2), vilket frigör syrgas som kan diffundera in i cellen (se reaktion 4). Protonerna tar alltså syrets plats vid lågt pH och mer syrgas frigörs till cellerna. Reaktionerna är en förenkling och tar inte hänsyn till laddningsjämvikter.

Tre faktorer som påverkar hemoglobinet förmåga att binda syrgas är pH-värdet, kroppstemperaturen samt mängden av BPG – ett ämne som bildas vid anaerob (syrgasfri) nedbrytning av glukos. Om du anstränger dig mycket och länge, ökar mängden koldioxid i blodet, vilket bildar fler protoner och sänker pH-värdet (reaktion 3). Din kroppstemperatur ökar, samtidigt som mängden BPG ökar när syrgashalten sjunker. När pH-värdet, kroppstemperaturen och mängden av BPG förändras, påverkas hemoglobinet så att det släpper ifrån sig syrgas lättare (reaktion 4). Detta gör att kroppens celler får tillgång till mer syrgas och du orkar arbeta under längre tid. Den kolsyrajämvikt som vi beskrev i reaktionerna ovan är också kroppens viktigaste buffertsystem (kapitel 10).

1. Hur påverkar koldioxidens koncentration gasutbytet vid cellerna och i alveolerna?
2. Hur skulle en störning i någon av de kemiska jämvikterna kunna påverka syresättningen i kroppen?



15.3 Testa dina baskunskaper

FÖRKLARA BEGREPPEN

- obstruktiv lungsjukdom
 - restriktiv lungsjukdom
- astma
 - KOL
- lungcancer
 - dammlunga

SVARA PÅ FRÅGORNA

1. Vilka symtom kan tyda på lunginflammation?
2. Varför är det inte hälsosamt att arbeta i en mycket dammig miljö under lång tid?
3. Hur påverkar rökning flimmerhårens funktion?