Utmaningar i vattnet

Att leva i vatten för med sig en rad utmaningar om man andas med lungor, såsom däggdjur och fåglar gör. Därför behöver de ha en del anpassningar för att klara av den akvatiska miljön. Det man först tänker på är kanske bristen på syre under längre dyk, men det finns även andra utmaningar som måste övervinnas för att de ska kunna leva ett framgångsrikt liv i vatten.

Det är bara två ordningar av däggdjur som saknar anpassningar till ett vattenliv och det är fladdermöss (Chiroptera) samt harar och kaniner (Lagomorpha). Alla större ordningar har annars någon representant i akvatisk miljö och tre ordningar är rent akvatiska: sälar, valar och sjökor. Tittar man på fåglarna ser man att flera avlägset besläktade grupper har anpassat sig till ett liv i vatten, såsom pingviner, albatrosser, hägrar, vadare, måsar och änder. Det finns också grupper av fåglar som inte har någon akvatisk representant, till exempel papegojor, duvor och ugglor, för att nämna några.

Vilka är då utmaningarna dessa djur måste övervinna om de ska klara av ett akvatiskt liv? Vi kan dela in dem i sex kategorier:

1. Temperatur och värme
2. Syrgastillförsel
3. Effekten av tryck
4. Berusningseffekter
5. Syrgasförgiftning
6. Dykarsjuka

Temperatur och värme

När levande organismer oxiderar näring vid förbränning i cellandningen omvandlas en hel del, ca 50 % av energin, till värme. Denna värme kan ju ses som en förlust för levande organismerna som försöker generera energirika molekyler i form av till exempel ATP, adenosintrifosfat. Värmen är dock inte bortkastad hos de jämnvarma (endoterma) organismerna som vill hålla en hög och jämn kroppstemperatur. Reaktionshastigheten för kemiska processer och hållbarheten hos stora makromolekyler är starkt temperaturberoende, vilket gör att till exempel däggdjuren utvecklats för att hålla en jämn kroppstemperatur som är optimal för reaktionshastigheterna i deras kroppar och deras makromolekylers stabilitet.

Vatten har en mycket bättre värmeledningsförmåga än luft (0,58 W/(m·K) för vatten, respektive 0,026 W/(m·K) för luft). Luft har alltså en värmeledningsförmåga som är tjugo gånger lägre än vatten. Om vattnet har en lägre temperatur än den temperatur djuret försöker hålla, så kommer mycket av värmen att ledas bort från djuret, som har anpassat sina kemiska reaktioner för en given temperatur. Det här gör att alla endoterma djur som vistas i vatten måste anpassa sig för att minimera denna värmeförlust. Ett sätt kan vara att isolera sin kropp med hjälp av fett, päls eller fjädrar. Ett annat sätt kan vara att försöka undvika värmeförluster genom att minska blodflödet till områden där värmeförlusten är som störst. Motströmsprincipen fungerar som en effektiv värmeväxlare hos både däggdjur och fåglar. Det är till och med så att en del stora aktiva rovfiskar som till exempel tonfiskar använder motströmsprincipen för att hålla en högre kroppstemperatur än det omgivande vattnet. Ett tredje sätt man kan anpassa sig för att minska värmeförluster är genom att vara väldigt stor, eftersom förhållandet mellan yta och volym minskar ju större man är. Det betyder att en individ som är liten kommer att ha en förhållandevis större yta där värmeförlusten kan ske i jämförelse med en stor individ som har lite yta i förhållande till sin kroppsvolym. Detta har man sett när man tittar på individer i olika klimatzoner och funnit att i kallare klimat är djuren ofta större (Bergmanns lag). Ett exempel på detta är att älgar i genomsnitt är större i Norrland än i Skåne.

Och tittar man på de marina däggdjuren så är de bland de största djuren på jorden, vilket gör att de förlorar förhållandevis mindre värme än om de var mindre.

Syrgastillförsel

För ett djur som andas luft innebär ett dyk under ytan att det måste ta med sig det syre djuret kommer behöva under hela dyket och det finns flera lösningar på det här problemet. Man kan tänka sig att man skulle öka lungvolymen och därmed få med sig mer luft ned i djupet, men det visar sig att dykande djur inte har större lungvolymer än motsvarande landlevande organismer och de bästa dykarna har ofta förhållandevis små lungvolymer. Det är dessutom så att de flesta marina däggdjuren dyker på utandning, d.v.s. de fyller inte sina lungor innan de dyker. Däremot så har de en god syrgasupptagningsförmåga i blodet. Människor kan i genomsnitt ta upp 20 ml O2 per 100 ml blod, medan sälar och valar bär 30-40 ml O2 per 100 ml blod. Man kan dock inte ha för mycket röda blodkroppar i blodet då det blir för trögflytande för hjärtat att pumpa runt det, så för att komma runt detta kan man ha en större blodvolym i kroppen. En 70 kg människa har i genomsnitt 4,5-5 l blod och det är ungefär lika mycket blod som en säl som väger 30 kg har.

Dessutom bär valar och sälar mycket mer syre i sina muskler. Människor har ca 6,0 g myoglobin per kg muskel. Motsvarande värden för öresvin (Tursiops truncatus) är 32,5 g/kg muskel, för weddellsälar (Leptonychotes weddellii) 44,6 g/kg muskel och för kaskelotter (Physeter macrocephalus) 56,7 g/kg muskel.

Ytterligare en anpassning flera djur, däribland människan, uppvisar är en dykreflex. Dykreflexen innebär en kraftig sänkning av pulsen i samband med dykning. Detta fenomen upptäckte den franske fysiologen Paul Bert 1870, då han upptäckte att änders puls gick ned från 100 slag/minut till 14 slag/ minut om de tvingades under ytan. Gråsälar (Halichoerus grypus) kan under sina längsta dyk sänka pulsen från 120 slag/minut vid ytan till endast 4 slag/minut i minuten. Den svenskfödde fysiologen Per F. Scholander och hans handledare Laurence Irving fortsatte studera detta fenomen på 1930-talet. De tidiga studierna man gjorde var i laboratorier och djuren tvingades under ytan, men när man gjort studier på senare tid har man upptäckt att dykreflexen är en betydligt mer nyanserad respons hos djuren. De verkar ha betydligt mer kontroll över sin puls och även andra cirkulatoriska förändringar än man först trodde. Hos människor har man sett att man kan trigga dykreflexen på en rad olika sätt. Man kan hålla andan och stoppa huvudet i vatten, men det kan även räcka med att enbart hålla andan för att se en respons. Man har även påvisat dykreflexen genom att kyla olika delar av ansiktet, framförallt området kring pannan och ögonen, men även andra delar av ansiktet. Bäst effekt får man om stimulerar trillingnervens ena del, opthalmicus, d.v.s. den som går mot ögonen.

Trots att pulsen sänks bibehålls trycket i artärerna och det kan ett djur endast uppnå om det stryper blodflödet till vissa delar av kroppen. Man har sett att mindre vitala organ som till exempel njurar får sitt blodflöde kraftigt strypt under ett dyk, vilket gör att trycket kan bibehållas.

Effekten av tryck

Tryck är något som kan ha stora konsekvenser för djur som ska dyka, särskilt när dyken är så djupa som ned mot 1000 m eller som småhuvudvalarnas rekord ned till 2992 meter! Människor kan gå ned till ett par hundra meters djup relativt rutinmässigt och de har varit nere på 300 meters djup utan någon utrustning som skyddar mot tryck men där någonstans går gränsen för vad vi

klarar av. Det beror delvis på trycket men även på tryckets effekter på gaser, som tas upp i andra stycken. Stora tryck har även effekt på kemiska reaktioner och man vet att tryck påverkar jämviktsreaktioner hos svaga syror och baser som är en viktig del av de kemiska reaktionerna i kroppen. Dessutom kan trycket påverka många proteiners struktur, framförallt tertiärstrukturen som hålls ihop av förhållandevis svaga bindningar. Resultatet av detta påverkar med stor sannolikhet nervsignaler, musklesammandragningar och syrgastransporten i blodet. Dessutom kan det påverka cellmembranens funktion och även mekanismer för jontransport.

Berusningseffekter

Kvävgas är en inert gas som har en berusande effekt vid högre tryck. Det påminner lite om lustgasens (N_2O) effekt. Effekten tar lite tid innan den sätter in, men på 100 m djup är den så påtaglig att gasblandningar med syrgas-kvävgas inte går att använda vid dykning. Många sportdykare kan vittna om djupberusning som kan påverka humöret likt alkoholberusning, då personer kan bli både flamsiga och väldigt sentimentala och gråtmilda. Inget av dessa beteenden är att föredra vid dykning.

För att undvika djupberusningens effekter använder man andra gasblandningar med mindre kväve och mer helium, men även helium kan ha berusande effekt om trycket är stort nog. Dykande djur, däremot, påverkas inte av djupberusning då de inte andas under själva dyket.

Syrgasförgiftning

Syrgas är väldigt reaktivt och jordens syresättning för 2,5 miljarder år sedan kan nog ses som en av de allvarligaste förgiftningarna av jordens atmosfär i planetens historia. Nu har ju allt liv anpassat sig till syret och kan inte vara utan det, men det är fortfarande så att ren syrgas vid normalt lufttryck är skadligt för de flesta jämnvarma djuren. Människor kan andas 100 % syrgas i tolv timmar, men efter 24 timmar blir luftvägarna och lungorna irriterade. Ett par dagars exponering för ren syrgas har visat sig dödligt för råttor och värre blir det om man dessutom ökar trycket. Människor klarar bara några timmar om de utsätts för ren syrgas vid 3 atm. Det här blir viktigt vid dykning eftersom dykare tar med sig luft som innehåller syre. En dykare som har vanlig luft med sig ned till 40 m djup kommer att andas en gas med 5 atms tryck. Partialtrycket för syret är en femtedel, d.v.s. 1 atm, vilket är nära den gräns då syre blir giftigt. Ska man dyka djupare en 40 m bör man alltså andas en gasblandning som innehåller mindre än 20 % syre, kanske 10 % syre och resterande helium. Inget av detta är dock ett problem för dykande djur som endast andas vid ytan.

Dykarsjuka

Dykarsjuka kallas även tryckfallssjuka, men det är nog framförallt namnet dykarsjuka som är mest känt bland allmänheten. Missuppfattningarna är ganska många kring vad det är, men det är ett tillstånd där det bildas små bubblor av gas i kroppen till följd av att trycket minskar, d.v.s. när man går upp mot ytan. Man kan jämföra det med när bubblor av koldioxid bildas i en läskflaska som öppnas. Genom att minska trycket i flaskan frigörs den koldioxid som under högre tryck varit löst i vätskan. En dykare som har med sig andningsluft i en flaska och andas in denna luft kommer att förse blodet med mycket gas som löser sig i blodströmmen under högt tryck. Om han eller hon sedan minskar trycket snabbt, genom att stiga mot ytan, bildas bubblor av kvävgas i olika vävnader. Dessa bubblor kan blockera mindre blodkärl och sker det i det centrala nervsystemet kan det få dödliga konsekvenser. Enda sättet att bota tryckfallssjuka är att återigen trycksätta personen så att kvävgasen löser sig i blodet och sedan gradvis och sakta minska trycket. Genom att sakta stiga mot ytan och ibland även göra stopp på vissa djup för att ventilera ut kvävgasen undviker man

dykarsjuka från första början.

Dykarsjuka kan även drabba fridykare som gör många upprepade dyk då han eller hon fyller lungorna med ny luft vid ytan och kanske inte hinner ventilera ut kvävgasen som då ackumuleras i blodet. En dansk läkare som tränade uppstigning i en 20-meters tank gjorde 60 dyk under en femtimmars period utvecklade dykarsjuka och fick behandlas i en tryckkammare där man först ökade trycket för att sedan gradvis sänka trycket till normalt lufttryck. Behandlingen tog 20 timmar och han blev helt återställd.

Varför får då inte dykande däggdjur dykarsjuka om de gör upprepade dyk som är långt djupare än de dyk en människa kan göra? Huvudanledningen är att de inte dyker med fyllda lungor. De dyker som tidigare nämnts på utandning och weddellsälen (Leptonychotes weddellii) har lungor som kollapsar fullständigt under dyket. Det innebär att blodet inte kan ta upp någon kvävgas vid högre tryck och därmed uppstår inte problemet med dykarsjukan.

Övningar

De kommande sidorna i denna del är labbinstruktioner för 3 övningar, först presenteras övningarna grundläggande, dessa passar möjligen lägre årskurser, sedan presenteras samma övningar igen fast då mer avancerat som möjligt passar äldre årskurser, lite extra lärarinformation finns också mellan labbinstruktionerna. De följande övningarna är:

- En om dykreflexen – Eleverna får testa sig själva om deras puls sänkts om blötlägger sitt ansikte.
- En enkel övning som visar tryckets funktion på lungor.
- En övning om isolering och muskelstyrka – Eleverna får se om deras muskelstyrka försämras om de blir kalla.

This project is funded by the Horizon 2020 Framework Programme of the European Union under Grant Agreement No. 710708