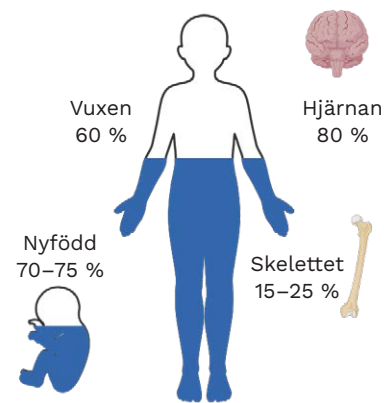


Vattnet i kroppen

– Systemtänkande på olika nivåer



Text: Ammie Berglund, Ida Solum och Kerstin Westberg, Bioresurs.

Se bildtext och källa till höger.

Hur kan vi öka förståelsen för kroppen som helhet? Här utgår vi från människans komplexa system för att bibehålla en stabil vätskebalans.

Om vi bara undervisar om organ-systemen var för sig blir det svårt för eleverna att få ihop helheten. Kroppen behöver undersökas som ett större system. I den här artikeln tittar vi närmare på hur systemtänkande kan ge förståelse för hur kroppens organ tillsammans kan upprätthålla en stabil inre miljö, homeostas, med fokus på vatten. Vi börjar dock med denna fråga: *Hur kan undervisningen utformas för att eleverna ska utveckla systemtänkande?*

Didaktiska principer

I artikeln "Undervisa om kroppen – grunderna eller helheten först?" (lästips 1) diskuterar Torodd Lunde möjligheterna för att skapa helhetsförståelse genom att sätta cellernas behov av energi och byggmaterial i fokus och sedan lägga till hur matspjälknings-systemet och cirkulationssystemet bidrar till att cellerna får det de behöver. Att sätta ett behov eller problem i fokus är *den första didaktiska principen* för design av undervisning som Momsen med flera (lästips 2) lyfter fram i ramverket *Biology Systems-Thinking* (BST).

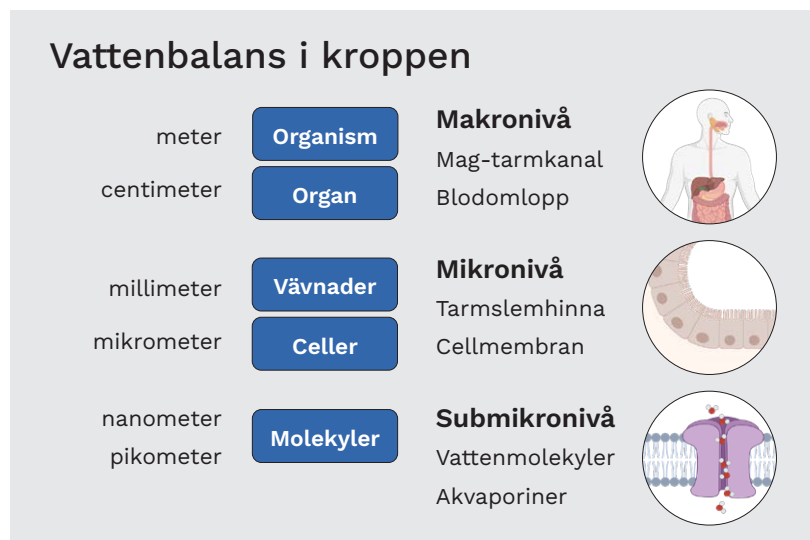
Den andra didaktiska principen handlar om att använda aktiviteter som på olika sätt modellerar systemen. Att teoretiskt eller i hands-on-övningar testa vad som händer i ett system om man förändrar förutsättningarna. Ställa frågan: *Vad händer om...?* Till exempel: *Vad händer med vätskebalansen om vi blir magsjuka?*

Den tredje didaktiska principen är att se möjligheten att utvidga gränserna för vad som ingår i ett system, för att integrera begrepp och modeller från fler områden inom biologin. Exempelvis jämföra olika organisms system

för att upprätthålla en stabil inre miljö. Eller att fördjupa detaljnivån så att molekyler, celler och organ kopplas samman, det vill säga, röra sig på fler organisationsnivåer.

Organisationsnivåer

När vi ska förklara biologiska fenomen, som kroppens förmåga att reglera vattenbalansen, behöver vi ofta hoppa mellan olika organisationsnivåer (se bild nedan). Läs mer om hopp mellan organisationsnivåer i artikeln på sidan 18–19.

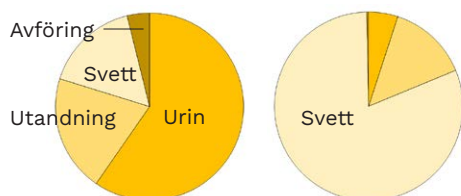


Källa (bilderna): Skapade i Biorender. Berglund, A. (2024) biorender.com/f81u444

Till vänster: Vattenhalten sjunker från födseln till i genomsnitt 60 (+/-15) procent hos vuxna. Kvinnor och äldre har lägre vattenhalt. Det är också stor skillnad mellan olika organ.

Källa: Skapad i Biorender. Berglund, A. (2024) biorender.com/h72x348

Nedan: Cirkeldiagrammen visar fördelningen i procent mellan olika typer av vattenförluster per timme i vila (till vänster) respektive fysisk aktivitet (till höger).



Behovet av att beskriva systemet på makro-, mikro- och/eller submikronivå beror dels på elevernas förkunskaper, dels på om förståelsen för systemet blir enklare eller svårare med eller utan detaljnivå. Onödiga detaljer ska undvikas men även elever på mellanstadiet kan förstå hur cellers näringsupptag går till genom att titta på animationer med cellmembran och transportproteiner (se Alma Jahic Pettersons forskning kring ett digitalt NTA-tema om kroppen, lästips 3). Elevers aktiva arbete med att tolka och skapa bilder (eller andra representationer) på olika organisationsnivåer har visat sig vara gynnsamt för lärandet om kroppen (lästips 4 och 5).

Det saknas evidens för att systemtänkande utvecklas enligt något visst mönster. Men att veta vilka delar som ingår i ett system är en förutsättning för att förstå hur de påverkar varandra. På följande sidor ger vi förslag på hur man kan undervisa elever med olika förkunskaper om kroppens system för att upprätthålla vattenbalans, med stöd av de didaktiska principerna enligt BST-ramverket.

Vad innebär systemtänkande?

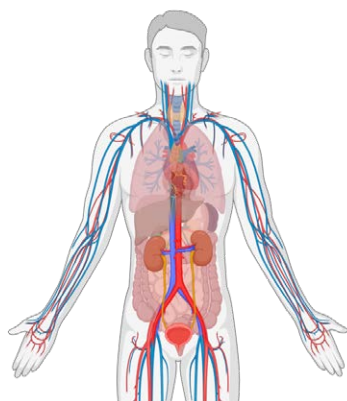
Enligt ramverket *Biology Systems-Thinking* (BST, lästips 2) kan systemtänkande beskrivas på fyra nivåer, här konkretiserade med exempelsvar på frågan: *Varför måste man se till att få i sig vätska vid magsjuka?*

Nivå 1: Börja med att identifiera *vilka delar* som är relevanta för att svara på frågan. Klargör *vilka delar som är relaterade till varandra* och förklara *hur systemet som helhet bidrar till en viss funktion*. Exempel: Att man måste dricka pekar på att funktionen handlar om kroppens vätskebalans. Relevanta delar av kroppen är de som tar upp vatten (mag-tarmkanalen), avger vatten (hud, lungor och njurar) och cirkulationssystemet som skapar kontakt mellan alla delar.

Nivå 2: Klargör om *relationer mellan delar* i systemet är statiska (konstanta) eller dynamiska (förändras över tid). Resonera om *kvantitativa aspekter och direkta effekter* mellan två delar i systemet. Exempel: Vattenupptaget från tarm till blod är dynamiskt och varierar med vattenintaget. Magsjuka med diarré gör att maginnehållet transporteras så snabbt att vattenupptaget minskar och en direkt effekt blir att blodets innehåll av vatten sjunker tillfälligt.

Nivå 3: Se systemet som en helhet och förutse *indirekta effekter* i systemet. Exempel: Om blodet tillfälligt får en lägre halt vatten på grund av det lägre vattenupptaget vid magsjukan kan njurarna återta mer vatten så att vi kissar mindre, vilket återställer vattenbalansen för stunden. Men eftersom vi måste kissa för att göra oss av med avfallsämnen, och hela tiden förlorar vatten via andning och hud måste vatten tillföras, vilket förklarar rådet att vi måste dricka.

Nivå 4: *Relatera olika system till varandra* på samma eller olika *organisationsnivåer*. Exempel: Om man tittar på vattenupptaget i tarmen på cell- och molekylnivå kan man förklara hur vätskeersättning som förutom vatten innehåller joner och glukos (se sidan 13) ger ett bättre vattenupptag än om man bara dricker rent vatten.



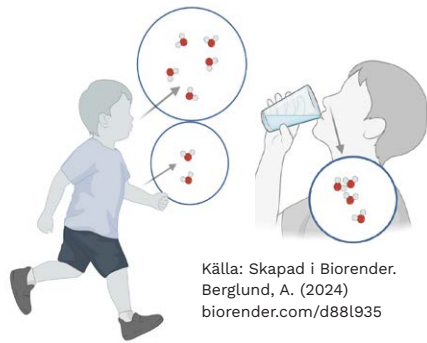
Alla representationer har begränsningar. För att tydligt visa hjärta, blodkärl och njurar har de lagts i förgrunden medan mag-tarmkanalen gjorts något transparent och lagts bakom i bilden. I verkligheten finns tarmar framför de stora centrala blodkärlen, och njurarna sitter bakåt mot ryggsidan av kroppen.

Källa: Skapad i Biorender. Berglund, A. (2024) biorender.com/p86q385

Lästips

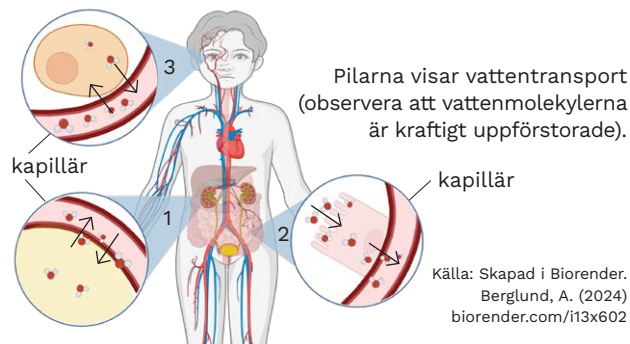
- Lunde, T. (2018). Undervisa om kroppen – grunderna eller helheten först? Karlstads Universitet. *Bi-lagan* nr 1 2018.
- Momsen, J. m.fl. (2022). Using Systems and Systems Thinking to Unify Biology Education. *CBE Life Sci Educ.* 21(2):es3.
- Jahic Petterson, A. (2021). *Top-sar och cellmembran: Kroppens näringsupptag i undervisning och elevtexter på mellanstadiet*. Doktorsavhandling, Linköpings universitet.
- Lunde, T. (2021). Utforska representationer banar väg för meningsskapande. *ATENA Didaktik*, 4(1).
- Tibell, L. (2024). Naturvetenskap och visualisering. Göransson, A. (2024) Representationer i biologiu ndervisningen. *Biologididaktik för lärare*. Naturvetenskapernas och teknikens didaktik, nr 8.

Tema: Vattnet i kroppen



Källa: Skapad i Biorender.
Berglund, A. (2024)
biorender.com/d881935

Tips! Vattenmolekyler kan avslöjas genom att andas på en kall yta eller knyta en plastpåse runt en hand och hoppa runt. Vattenångan blir till synliga vattendroppar i båda fallen.



Källa: Skapad i Biorender.
Berglund, A. (2024)
biorender.com/i13x602

Enklare förkunskaper

I linje med den första didaktiska principen enligt BST-ramverket kan vi utgå från behovet av att ersätta de vattenmolekyler som förloras via andning och svett när vi är fysiskt aktiva. Med fokus på hur vätska avges från huden kan vi ställa frågorna: *Hur kan vatten vi dricker hamna ute på huden? Vad händer om vi dricker mer än vi svettas?* För att svara på den första frågan behöver vi få med tarmarna där vattenupptaget sker till blodet (främst i tunntarmen, lite i tjocktarmen) och huden där svett bildas och vatten avdunstar, men också blodcirkulationen som med hjälp av hjärtat pumpar blod runt till alla delar av kroppen. Vatten som försvinner via svett fylls på från blodet som passerar huden.

För att förklara vad som händer om vi dricker mer än det vi svettats behöver vi lägga till njurarna. Oavsett hur mycket vi dricker filtrerar njurarna blodet och avfallsämnen (exempelvis det ämne som gör urinet gult) följer med vattnet ut som urin. Dricker vi mer än det vi svettats blir urinet mer utspätt (svagt gult).

Med stöd av den andra didaktiska principen kan man låta eleverna modellera hur vattnet rör sig i kroppen. Exempelvis kan de flytta en modell av en vattenmolekyl på en bild som visar alla organsystem. Samtidigt kan en bild med många organ vara svår att tolka. Ett tips är att rita in delarna vartefter i en kontur av en människokropp. Ritandet kan kombineras med att titta på 3D-modeller av kroppens inre, till exempel på webbsidan www.innerbody.com (välj *Human body*).

För att modellera vad som händer om vi dricker mer än vi gör av med kan man använda behållare för tarm, blod, svett och urin och decilitermått för att fylla på, flytta och tömma ur vatten för att visa upptag av vatten när vi dricker och hur njurarna hela tiden för bort överskottsvatten så att "blodbehållaren" håller en någorlunda konstant vätskenivå.

Om eleverna undrar varför vi blir törstiga kan man tänka på den tredje didaktiska principen och vidga systemet med hjärnan och nervsystemet. I hjärnan finns celler som kan reagera när blodet innehåller för lite vatten. Då aktiveras en törstreflex som gör att vi vill dricka.

Lite mer utförligt

Vi kan klara oss utan mat i flera veckor, men bara ett par dagar utan vatten: *Vad händer i kroppen om vi slutar dricka vatten? Kan kroppen spara vatten?* För att lite mer utförligt förstå konsekvenser av att inte dricka tillräckligt kan man ta med cellerna (mikronivå) och fördjupa förklaringarna genom att titta närmare på relationerna mellan olika organ (nivå 2 av systemtänkande, se sidan 9). Relationerna är dynamiska och genom att steg för steg resonera om direkta effekter i olika delar av systemet kan man närma sig en helhetsförståelse. Ett förslag är att börja med att reda ut varför det bildas urin, och att vi därför inte kan spara vatten genom att sluta kissa.

När kroppens celler arbetar bildas avfallsämnen. Koldioxid kan vi andas ut, men enda sättet att bli av med andra ämnen är att filtrera ut dem från blodet till det vi kallar urin. När blodet åker genom njurarna (1 i figuren ovan) passerar det små kapillärer. Där filtreras blodet och vi förlorar vatten som åker ut med urinet. Detta är livsnödvändigt eftersom avfallsämnen som är kvar i blodet gör oss sjuka. Blodet fylls på med nytt vatten i tarmarna (2) där små kapillärer ligger nära tarmcellerna. Vattenmolekylerna rör sig in i tarmcellerna och in i blodet. Om vi inte dricker fylls blodet på med mindre vatten. Men, njurarna kan faktiskt "spara vatten" genom att dra tillbaka lite extra vatten till blodet. Urinet blir mer koncentrerat. Ett tecken på vätskebrist är mörkgul urin.

Så länge blodet kan få tillbaka tillräckligt med vatten genom njurarnas "sparande" kan kroppens celler fortsätta fungera. Till exempel kan en cell i ögats tårkanal (3) som fått vattenbrist, kanske på grund av tårar, få nytt vatten från små blodkärl (kapillärer). Vattenmolekyler från blodet åker in i cellen eftersom det är brist på vatten där. Så länge blodet innehåller gott om vatten kan vi tillverka tårar. Om mängden vatten i blodet minskar kommer istället cellerna tappa vattenmolekyler till blodet. Då fungerar cellerna sämre. Om alla celler i kroppen förlorar vatten blir vi uttorkade och kan till slut dö.

Fördjupande

Med äldre elever kan vi lägga till fler detaljer och röra oss mer på abstrakta nivåer som mikro- och submikronivå när vi förklarar. *Varför blir vi törstiga efter ett hårt träningspass? Varför kan vi behöva vätskeersättning en riktigt varm sommardag?* Först är det bra att påminna sig om varför vi behöver vatten.

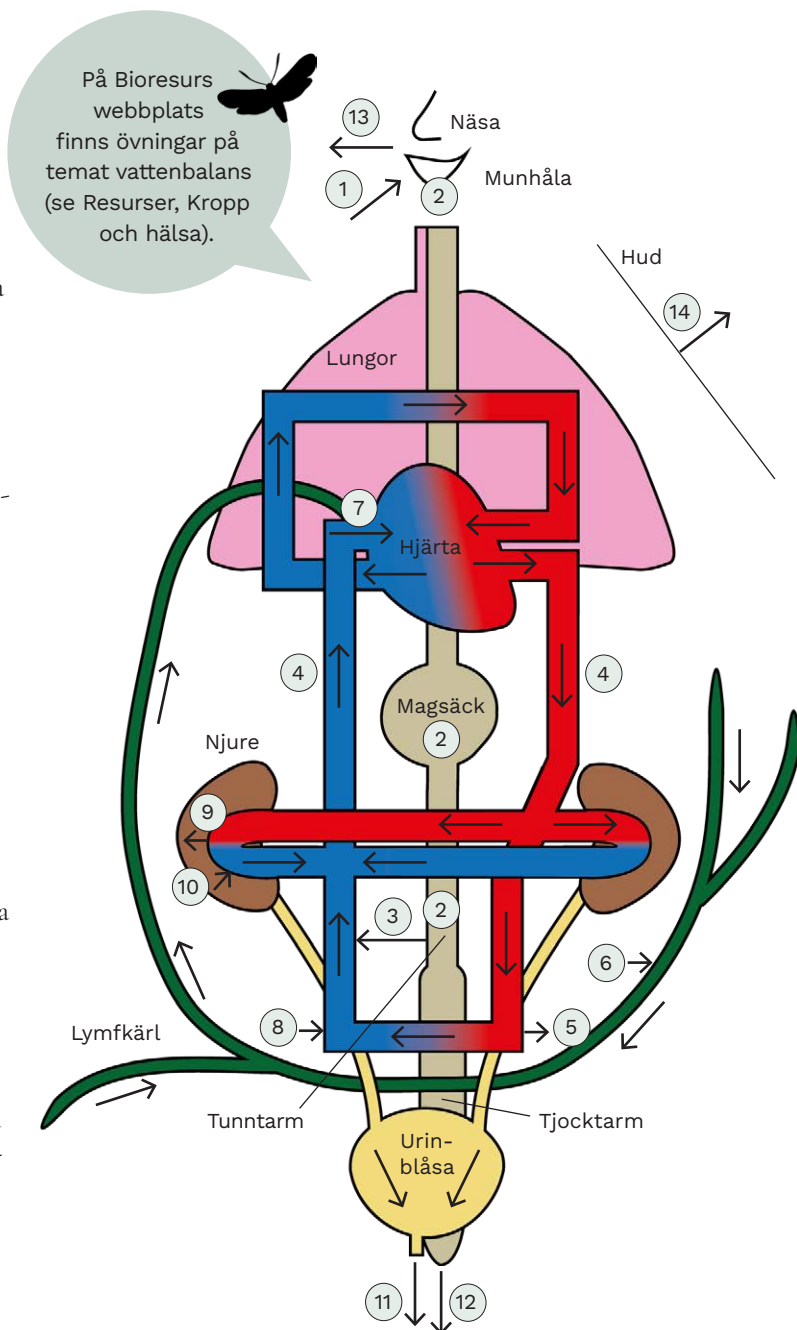
Varför är vatten viktigt?

Vatten är avgörande för kroppens förmåga att upprätthålla en inre balans, homeostas, för att organ och celler ska fungera. Vatten är huvudkomponent i blodet och gör det möjligt att transportera näringsämnen och avfallsprodukter till och från cellerna. I njurarna filtreras avfallsämnen ut med urinen. Vatten smörjer också leder och vävnader och fungerar som stötdämpning för våra organ. Vatten behövs för många kemiska reaktioner, exempelvis när stora molekyler ska brytas ner till mindre genom hydrolys. Samtidigt genereras vatten vid glykolysen och elektrontransportkedjan i cellandningen, så kallat metaboliskt vatten (upp till 300 ml per dag). För att täcka kroppens basalbehov behöver vi tillföra i genomsnitt 30 ml vätska per kg kroppsvikt och dygn. För en person som väger 70 kg motsvarar det 2,1 liter vatten.

Av kroppens vatten finns cirka 70 procent inuti cellerna (intracellulärt). Resterande 30 procent finns utanför cellerna (extracellulärt), dels mellan cellerna (vävnadsvätska), dels i blodplasma och lymfa. Vatten flyttar sig mellan de olika "rummen". En viktig drivkraft för förflyttningen är det vätskestryck som bildas när hjärtat pumpar blodet in i de trånga kapillärerna. Vatten pressas då ut mellan cellerna i kapillärväggarna och rör sig från blodet ut till vävnaden. En del vatten går tillbaka till blodet via lymfkärl eller återtas i kapillärerna på grund av osmos. Osmos beror i princip på skillnader i innehåll av lösta partiklar (exempelvis proteiner, joner) i olika "rum". Hög koncentration av partiklar ger en hög osmolalitet. Vattenmolekyler rör sig från låg till hög osmolalitet. Blodet som är kvar i kapillärerna får en hög osmolalitet efter att vatten pressats ut. Med osmos dras därför en del vatten tillbaka in i kapillärerna medan andra vattenmolekyler rör sig in och ut ur cellerna via cellmembranens vattenkanaler, så kallade akvaporiner (se sidan 13).

Svett hjälper till att kyla kroppen

Vid ett träningspass eller en varm sommardag regleras den inre temperaturen genom att vi svettas. Det



En schematisk skiss av flera organsystem. I förgrunden visas cirkulationssystemet där syrefattigt blod illustreras med blå färg, syrerikt med röd färg. Övergången mellan blå och röd färg visar hjärtats högra respektive vänstra sida samt blodkapillärer i olika organ. Pilarna visar hur vatten kan röra sig i och mellan organsystemen. (Observera att organsystemens ordning i lager inte överensstämmer med verkligheten. Mag-tarmkanalen ligger inte längst bak mot ryggen.)

Sifforna motsvarar följande: (1) Intag av vatten. (2) Utsondring av vatten till saliv, mag- och tarmsaft. (3) Upptag av vatten från tunntarmen. (4) Cirkulation av vatten i blodet. (5) Utsläpp av vatten till vävnadsvätskan som cellerna badar i. (6) Upptag av vatten från vävnader till lymfan. (7) Påfyllnad av vatten från lymfan till blodet. (8) Upptag av vatten från vävnader till blodet. (9) Filtrering i njurarna. (10) Återupptag av vatten i njurarna. (11) Vattenavgång via urin. (12) Vattenförlust via avföring. (13) Vattenförlust via utandning. (14) Vattenförlust via svettning.

Tema: Vattnet i kroppen

finns två huvudsakliga typer av svettkörtlar: ekrina och apokrina svettkörtlar. Apokrina svettkörtlar finns främst i områden som armhålor och ljumskar, och producerar en tjockare svett som är kopplad till emotionella stimuli och doftproduktion. Ekrina svettkörtlar finns i huden över hela kroppen och ansvarar för temperaturregulering genom att producera vattenbaserad svett som avdunstar från hudytan och därmed kyler kroppen. Aktiv transport av joner ut från cellerna i svettkörtlarna leder till att vatten följer med genom osmos. Intensiv fysisk aktivitet leder till en omfattande vattenförlust som behöver ersättas.

Varför känner vi törst?

Vid låga vätskenivåer ökar osmolaliteten i blodet, framförallt på grund av natriumjoner. När jonkoncentrationen blir högre i blodet än i cellerna kommer en del vatten flöda ut ur cellerna på grund av osmos. När detta sker i så kallade osmoreceptorceller i hypotalamus i hjärnan krymper cellerna. Då aktiveras mekanoreceptorer vilket leder till en nervaktivering som ger en känsla av törst. Det resulterar också i att hormonet vasopressin, även kallat anti-diuretisk hormon (ADH), insöndras till blodet från bakre loben i hypofysen. När ADH når receptorer i njurarna leder det till att antalet akvaporiner ökar i samlingsrören vilket snabbar på vattenåterupptaget till blodet (se bild nedan).

Låga vätskenivåer ger även minskad blodvolym och lägre blodtryck som registreras av barorecepto-

rer som finns vid hjärtat och i blodkärl. Blodflödet till njurarna minskar och då aktiveras renin-angiotensin-aldosteronsystemet (RAAS). Angiotensin II, en av produkterna i detta system, stimulerar både törstcentrum i hjärnan och frisättningen av ADH, vilket bidrar till att kroppen håller kvar mer vatten. När vätskenivåerna i kroppen minskar bildas mindre saliv och en torr mun ger också en känsla av törst. När vi känner oss törstiga beror det alltså på ett samspel av flera faktorer.

Vätskeersättning och helhetstänkande

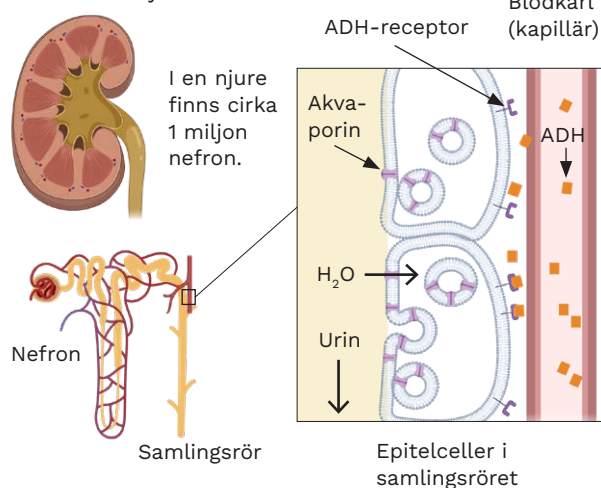
Om vi svettas mycket förlorar kroppen också viktiga joner (elektrolyter). Med vätskeersättning får vi i oss både vatten och elektrolyter som återställer osmolaliteten i blodet. Förutom salter innehåller vätskeersättning även glukos som bidrar till ett bättre vattenupptag i tunntarmen (se nästa sida).

Genom att besvara frågor om hur kroppen bibehåller homeostas vid vätskeförlust hanterar vi flera nivåer av systemtänkande. Vi kopplar ihop organsystem på makronivå (blodcirkulation, njurar, hormonsystem) men rör oss också mellan olika organisationsnivåer. Hur njurarna reagerar på ADH förklaras på både mikro- och submikronivå när vi pratar om osmolalitet och vattentransport genom cellmembranens akvaporiner. Förmågan att hålla en jämn vattenbalans bygger på dynamiska relationer mellan olika delar i kroppen som ger både direkta och indirekta effekter. Redan innan vi börjar dricka har njurarna börjat ställa om för att mer effektivt återta vatten och därmed minska vattenförlusten via urinproduktionen. Den andra didaktiska principen enligt BST-ramverket, som handlar om att ge eleverna möjlighet att modellera systemen, kan tillämpas på olika organisationsnivåer. Exempelvis kan man använda fysiska modeller av ADH, akvaporiner och vattenmolekyler som kan flyttas runt på en bild motsvarande den till vänster.

Den tredje didaktiska principen handlar om att se möjligheter att knyta samman olika områden inom biologin, till exempel evolution. Jämför anpassningar hos djur i torrare klimat med människans system eller titta på hur söt- och saltvattensfiskar bibehåller homeostas i olika livsmiljöer. Ett annat exempel är att knyta an till genetiken där gener och genreglering kan ge förståelse för hur vissa proteiner kan påverka balansen i kroppen.

Progressionen i lärandet om människokroppen handlar både om att fördjupa faktakunskaper med fler detaljer och att öka förståelsen för hur de olika organsystemen samverkar.

Tvärsnitt av njure



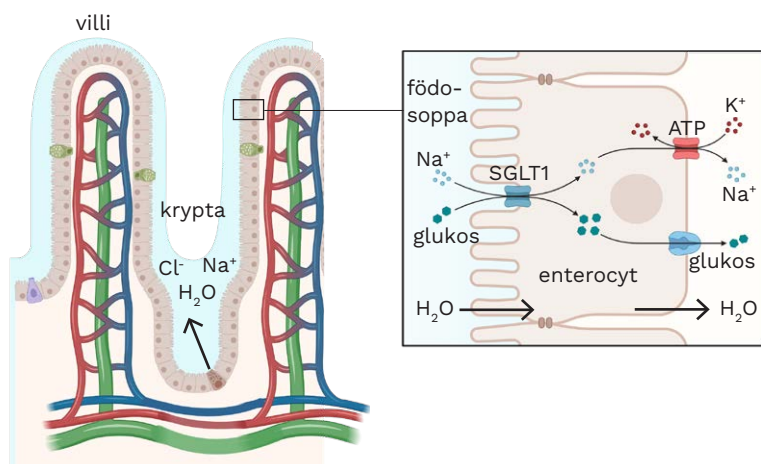
Hormonet ADH (orange fyrkant) kommer med blodet till njurarna där det fäster till receptorer på celler i samlingsröret. Effekten blir att vesiklar med akvaporiner rör sig mot samlingsrörets yta. När antalet akvaporiner ökar leder det till ett mer effektivt återupptag av vatten.

Källa: Skapad i Biorender. Berglund, A. (2024) biorender.com/h82s590 (text tillagd av Bioresurs)

Omfattande omsättning av vatten i tarmen

En vattenrik miljö i tarmen hjälper till att lösa upp mat, och enzymer kan lättare bryta ner näringsämnen. Man tänker kanske att vattnet i tarmen kommer direkt från det man nyss druckit eller ätit. Men av de 8–10 liter vätska som varje dygn rör sig i födosoppan inuti tarmarna kommer merparten från sekretoriska celler som främst sitter i tarmepitelets kryptor (se bild nedan). Dessa celler fylls i sin tur på av vätska från det ständiga blodflödet (under ett dygn passerar 7 000–8 000 liter blod hjärtat). I tunntarmens första hälft (duodenum och jejunum) återtas det mesta av vattnet från födosoppan. I sista delen av tunntarmen (ileum) och i tjocktarmen finjusteras vattenabsorptionen så att vi inte förlorar mer än cirka 100 ml vatten via avföring per dygn (mer än 200 ml ger diarré).

Absorptionen av vatten sker främst via tunntarmens epitelceller (enterocyter) i spetsarna på villi (se bild nedan). Det effektiva vattenupptaget beror på att det är kopplat till aktiv transport av natriumjoner och upptag av glukos. Med energi (ATP) pumpas natriumjoner ut från enterocyterna till området där det finns blod- och lymfkärl, inuti villi. Det skapas en koncentrationsgradient med färre natriumjoner inuti enterocyten jämfört med i födosoppan. Den gradienten utjämnas genom ett transportprotein som sitter i mikrovilli (SGLT1). Natriumjoner strömmar in och tar med sig glukos vilket ökar osmolaliteten inuti enterocyten som i sin tur gör att vatten via osmos tas upp från födosoppan. Man har räknat ut att två natriumjoner som pumpas ut leder till att en glukosmolekyl tas upp och att det indirekt medför att 260 vattenmolekyler flödar in genom vattenkanaler, akvaporiner. Enbart den mekanismen kan förklara upptaget av cirka 5 liter vatten per dygn från födosoppan. Sedan finns en rad andra ämnen i födosoppan som också påverkar osmolaliteten i enterocyterna på olika sätt (fruktos, peptider och aminosyror med mera).



Blodkärl (rött/blått), lymfkärl (grönt)

Vatten och elektrolyter (främst natrium- och kloridjoner) utsöndras till födosoppan från sekretoriska celler i kryptorna i tarmepitelet. Den inzoomade bilden visar en epitelcell, en enterocyt, med mikrovilli (fingerliknande struktur). Vatten tas upp ur födosoppan vid spetsarna på villi på grund av osmos (se förklaring ovan).

Källa: Skapad i Biorender. Berglund, A. (2024) biorender.com/u51y058 (text tillagd av Bioresurs)

Om akvaporiner

Vatten passerar i huvudsak genom det opolära cellmembranet via vattenkanaler, akvaporiner. Akvaporiner finns i de flesta celltyper och hos människan har många olika varianter identifierats (AQP1–AQP13). Vävnader och celler kan variera sin vattenpermeabilitet dels genom att flytta in eller ut akvaporiner via vesiklar (se figur på sidan 12), dels genom att reglera nyproduktion via proteinsyntes. Bilderna nedan visar strukturen på AQP1 om man ser den uppifrån (övre bilden, visar "hålen" som vattenmolekylerna kan åka in genom) eller från sidan (nedre bilden). Symmetrin byggs upp genom att en kanal består av fyra olika peptidkedjor. Numera vet man att vissa akvaporiner även är viktiga för upptag av andra molekyler än vatten (exempelvis glycerol via AQP3-kanaler). Det har också visat sig att akvaporiner är mycket intressanta för forskningen om både cancer och Parkinsons sjukdom.



Källa: RCSB PDB of PDB ID 1J4N

Proteinbilderna här och på sidan 21 gjordes med hjälp av Mol* och kommer från RCSB.org.

Mol*: Sehna, D. m.fl. (2021). Mol* Viewer: modern web app for 3D visualization and analysis of large biomolecular structures. *Nucleic acids research*, 49(W1), W431–W437.

RCSB.org: Berman, H.M. m.fl. (2000). The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Research* 28, s. 235–242.