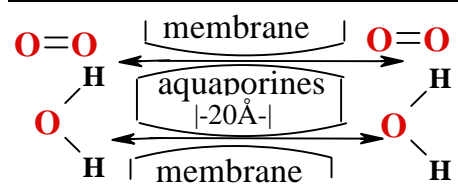


**Ūdens kanāli** atļauj pasīvi bet selektīvi kustēties **ūdenim** kopā ar **O<sub>2</sub>, NO, CO** šķērsot šūnu membrānas, kas ir šo daļiņu plūsma kopā ar **ūdens** molekulām organellās: mitohondrijas, endoplazmatiskais tīklojums, peroksisomas, goldži aparāts, lizoosomas... . **Akvaporīni** ir iedalāmi **divās** apakšklasēs:  
 I) īstie **Akvaporīni**, kuri atļauj kustēties vienīgi **ūdens** molekulām kopā ar **O<sub>2</sub>, NO, CO**;  
 II) kopā ar **ūdens** ir **selektīvi akva-glicero-porīni**, kuri transportē **ūdeni** un citas neitrālas **vielas**, tādas kā **glicerīnu, CO<sub>2</sub>** vai **urīnvielū**: <http://aris.gusc.lv/ChemFiles/Aquaporins/WCPsAQPsIUBMBLife09/AQP0-11.doc>

Nesen ir identificēti un raksturots kāds skaits arheo un bakteriālu **akvaporīnu** iezīmējot **trešo** apakšklases eksistenci; kuras filogēnija ir vēl debatējams materiāls.

**Pārskats par kanāliem šūnu membrānās ūdens H<sub>2</sub>O molekulu transportam kopā ar O<sub>2</sub>, NO, CO**

AQP0	+ <b>Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> acu-lēcas šūnas; tievi tiešās <b>sasaiste kanāli</b> starp <b>šķiedru šūnām</b> <b>AQP0 ūdens</b> caurlaidība <b>15-kārtas zemāka</b> par <b>AQP1</b> pie <b>pH= 6.5</b> ; <b>AQP0 samazinās</b> vēl <b>trīs kārtas</b> pie <b>pH=7.5</b> <b>AQP0</b> inducē aizvēršanās efektu <b>slēgtu</b> konformāciju <b>ekstracelulārā cīlpā A Met176.His40</b> <b>AQP0</b> kļūst <b>sašaurināts</b> tuvu <b>piespiežot Ar/R konservēto aminoskābju aktīvo centru</b> proteīna virknē
AQP1-	<b>pH mazāka</b> par <b>5.5</b> + <b>Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> , Akva glicero porīni: <b>sarkanie asins ķermenīši</b> , <b>apikālās &amp; bazolaterālās membrānas epitēlija smadzeņu šūnās</b> <b>AQP1-</b> cilvēka nulles <b>niēru proksimālās-caurulītes ūdens</b> reabsorbcijai <b>gastro intestinālais trakts ūdens</b> absorbcija teleosti <b>zarnu sienīnās</b> <b>olnīca un olvads; siekalu dziedzeri</b> ;
AQP2	<b>urīnpūslis, graudainās niēru šūnas &amp; šūnu organellas</b> vazopresīna regulētās urīna koncentrācijas (~25% <b>asiņu</b> filtrāta) <b>translokācija</b> no <b>citoplasmiskās šķidrums vides</b> graudaino <b>šūnu</b> apikālajā plazmas <b>membrānā</b> , pelvika saliņās un urīnpūslī
AQP3	+akva-glycero porīni, urīnviela: <b>gremošanas trakts ūdens</b> absorbcija; <b>smadzeņu šūnas</b> astrocītu gala kājiņas <b>ūdens</b> uzņemšana galvenajās <b>šūnās</b> cauri <b>AQP2</b> un izeja cauri bazolaterālām <b>membrānām</b> trahejās <b>niēru (bazolaterālās) bazālās AQP3 &amp; ciliālās zarnu šūnās AQP4</b>
AQP4	<b>Rodentās-smadzeņu ;basolaterālās membrānas ciliālās zarnu šūnās</b> alveolu epitēlijs; siekalu dziedzeri <b>niēru (bazolaterālās)</b>
AQP5	kuņģa duodenums, aizkuņģa dziedzeris, elpu ceļi, plaušas, siekalu dziedzeri, sviedru dziedzeri, acis, asaru dziedzeri, iekšējais auss dobums, plaušu gļotādas dziedzeru apikālā membrāna & smadzeņu šūnas
AQP6	+ <b>Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> daudzveidīgu jonu un molekulu <b>kanāls</b> ; <b>acs lēcu</b> šūnas; ir <b>nozīmīgs</b> ķermeņa <b>skābju</b> -bāzu <b>homeostāzē</b> šūnu organellās sadarbojoties kopā ar <b>H<sup>+</sup>-ATPāzi</b> ir <b>Hg<sup>2+</sup>-inhibējams ūdens kanāls</b> ; funkcijas aktivizē <b>Hg<sup>2+</sup></b> un zems <b>pH</b>
AQP7	+Akva-gliceroporīns, urīnviela; <b>niēres</b> proksimālās caurulītes <b>epitēlija šūnas</b> <b>glicerīna</b> reabsorbcija ; kopā ar <b>AQP1</b> <b>birstīšu robežvirsmā</b> <b>proksimālajās nefrona šūnās</b> urīna koncentrācijas uzņemšana no ~75% <b>asiņu</b> filtrāta, kurš pārstrādā ~150–180 L dienā
AQP8	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> ; acu <b>lēca &amp; niēres intracelulārās proksimālās caurulītes</b> & tievās <b>zarnas</b> absorbējošs: <b>epitēlija šūnas</b> mitohondrijās <b>proksimālajās nefrona šūnās</b> urīna koncentrācijas uzņemšana no ~75% <b>asiņu</b> filtrāta, kurš pārstrādā ~150–180 L dienā & <b>rodentās smadzeņu šūnas</b>
AQP9	+Akva-gliceroporīns, urīnviela; purīni, pirimidīni & monokarboksilāti, arsenīti; smadzeņu apikālā <b>membrāna</b> & tievās <b>zarnas</b> absorbētīvais epitēlijs & <b>rodentās smadzenes</b> & gliālā <b>šūna</b>
AQP10	+Akva-gliceroporīns, urīnviela; tievās <b>zarnas</b> absorbētīvais epitēlija <b>šūnas</b>
AQP11	super <b>akvaporīni</b> vai subcelulārā; proksimālās caurulītes <b>niēres citoplazmā</b> & <b>rodentās smadzeņu šūnā</b>
AQP12	super <b>akvaporīni</b> vai subcelulārā; <b>H<sub>2</sub>O Kanāls</b> ir apmēram <b>20 Å</b> garumā un ar diametru <b>1,1 Å</b> .



**Bilipīdu membrānas** biezums **55Å**  
**Serīna, Tirozīna, Treonīna**  
**Fosforilēšana** pār ieslēdz **membrānā**  
 molekulu **transportu** **AQP1, AQP2,**  
**AQP5, AQP8, un atver vārtus AQP4**

**Ūdens kanālu olbaltumvielas (ŪKO)** ir **trans membrānu olbaltumvielas**, kuras ir specifiskas trīs dimensionālas struktūras ar **poru** un selektīvā filtra **SF rādiusu** ~1.1 Å , kura izmērs sakrīt ar vidējo **ūdens rādiusu H-O-H** longitudināli **1.4 Å** un **0.55 Å** ar leņķa virsotnes augstumu **ūdens** dipolam.  
 Tā ir caurlaidīga **ūdens & O<sub>2</sub>, NO, CO** molekulām. **Akvaporīni** ir liela grupa olbaltumvielu pāri par **450**, kuras pārstāvētas **visās dzīvības formās**.  
**Ūdens** caurlaidība sasniedz plūsmu **3 × 10<sup>9</sup>** vienā sekundē abos virzienos katram **AQP1 mono mēram** un citādi strikti neļauj protoniem **H<sup>+</sup>** kustēties cauri akvaporīnu kanāliem. Aktivēta **hormona atkarīgā cikliskā GMP-enzīma** kaskāde **inducē katjonu vadītspēju AQP1** bet **bloķē** ar **Hg<sup>2+</sup>**

## Eritrocīti asins plazmā ar koloģatīvo osmo molāro koncentrāciju ūdens šķīdumos

Ūdens un skābekļa osmoze pretēji osmo molāram koncentrācijas gradientam šķērso šūnu membrānas

**Osmoze** ir organizēta  $H_2O$  un  $O_2$  pārvietošanās pretēji koligatīvo īpašību koncentrācijas gradientam-diferencei  $\Delta C_{osm} = i\Delta C_M$  cauri **Akvaporīniem** šķērsojot šūnu **membrānas** un veidojot osmotisko spiedienu:

$$\pi = i\Delta C_M RT \text{ (kPa) ,}$$

kur  $R=8,3144 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$  universālā gāzu konstante,

$T$  temperatūra Kelvina grādos (K)  $T=t^\circ+273.15$  (ja  $t=37^\circ$  tad  $T=37^\circ+273.15=310.15 \text{ K}$ ).

Piezīme: **ūdens** un skābekļa molekulu pārnese cauri membrānu akvaporīnu tuneli eritrocītos ar ātrumu  $3\cdot 10^9 \text{ sek}^{-1}$  abos virzienos pārnēs 3000 skābekļa molekulu sekundē.

Osmozes cauri membrānu akvaporīniem mehānismu virza koligatīvo koncentrāciju gradienta īpašība

$Na^+Cl^- \Rightarrow Na^+ + Cl^-$   $m=2$  elektrolīts disociē  $\alpha=1$  dubultojojot koncentrācijas gradientu jo  $i$  ir 2

$i=1+\alpha(m-1)=1+1(2-1)=2$ ;  $i\Delta C_M = 2\Delta C_M = \Delta C_{osm}$  un spiediens uz membrānu ir  $\pi = 2\Delta C_M RT = \Delta C_{osm} RT$ .

Spiediens  $\Rightarrow$  uz membrānu pa labi.

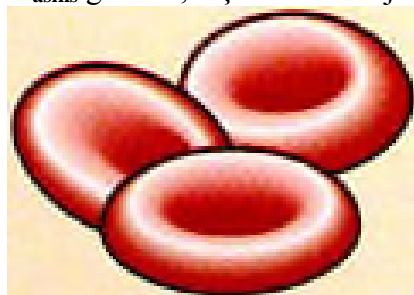
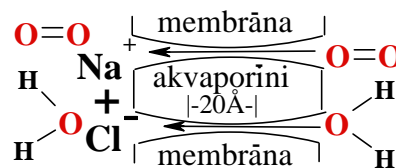
**Ūdens  $H_2O$ ,  $O_2$**  skābekļa plūsma pa kreisi pretēji koncentrācijas gradientam no 0 līdz  $C_{osm}=0.305 \text{ M}$  jo  $Na^+Cl^-$  joni veido osmo

molāru koncentrāciju pa kreisi  $C_{pa\ kreisi} - C_{labi} = C_{osm} - 0 = \Delta C_{osm} = i\Delta C_M$  un **slēdz  $H_2O$ ,  $O_2$**  plūsmu uz labo pusi.

$C_{asins} = C_{osm} = i_1C_1 + i_2C_2 + i_3C_3 + \dots = \sum i_k C_k = 0,305 \text{ M}$

Cilvēka eritrocītu šūnās ar osmo molāro koncentrāciju  $0.305 \text{ M}$  visu koncentrāciju summas  $\sum i_k C_k$ :

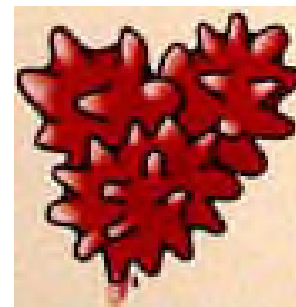
$C_{asins}$  glikoze, sāļi hidroksidija  $H_3O^+$ , hidroksila  $OH^-$  jons, aminoskābes, proteīni, bikarbonāti u.c.



Izotonisks vides šķīdums  
 $C_{asins} = 0.305 \text{ M}$



Hipotonisks vides šķīdums destilēts ūdens  $0 \text{ M}$  vai vismaz



Hipertonisks šķīdums  $C_{Hiperton} \geq 0,4 \text{ M}$ .

Hipertonisku sāls šķīdumu pielieto pūžņojošām brūcēm, jo izsūcot ūdeni no audiem attīra no toksiskām vielām un stimulē **asins** cirkulāciju.

osmo molāra koncentrācija  $C_{Hipoton} \leq 0,2 \text{ M}$ .

Hipotoniskās **ūdens** plūsma ir lielāka šūnas virzienā  $0,305 \text{ M}$  koncentrāciju pretēji koncentrācijas gradientam-starpībai  $0,305 - 0,2 = 0,105 \text{ M}$  un šūna uzpūšas līdz membrāna pārplīst bet šūnas saturs iztek asins plazmā.

Osmoze  $H_2O$  un  $O_2$  pretēji koncentrācija gradientam cauri alveolu epitēlija membrānām

A) Gaisa (AIR) **skābekļa  $O_{2AIR}$**  20.95%  $O_2$  ↑gāze asimilējas izšķīšanas reakcijā ūdenī izveidojot  $O_{2aqua}$  eksotermiski  $\Delta H_r = -55,7 \text{ kJ/mol}$  un eksoerģiski  $\Delta G_r = -27,7 \text{ kJ/mol}$ , jo šķīst ūdenī:

1)  $O_{2AIR} + H_2O \Leftrightarrow H_2O + O_{2aqua} + Q + \Delta G$ . Cilvēka ķermenī cauri akvaporīnu kanāliem osmozē koncentrācijas gradienta virzienā no  $[O_2] = 9,768 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  līdz **venozām**  $[O_{2aqua}] = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ .

2)  $\Delta G_{O_2} = RT \ln([O_{2Asins}]/[O_{2aqua}]) = -4,29 \text{ kJ/mol}$  eksoerģiski iekļūst cilvēka organismā;

3)  $O_{2aqua} + H_2O \xrightarrow{\text{Akvaporīns}} H_2O + O_{2aqua} + \Delta G$  pretēji koncentrācija gradientam  $0,305 \text{ M}/0,2 \text{ M}$ :

$\Delta G_{H_2O} = RT \ln([H_2O]_{labi}/[H_2O]_{pa\ kreisi}) = -8,3144 * 310,15 * \ln(0,305/0,2) = -1.088 \text{ kJ/mol}$

eksoerģiski  $\Delta G_{O_2} = -5,379 \text{ kJ/mol}$ . **Deoksi** hemoglobīns **Hb<sub>T</sub>** adsorbē 4  $O_{2aqua}$  no asins plazmas atbrīvojot četrus protonus  $4H^+$  un  $4HCO_3^-$  stabilizējot arteriālo  $[O_2] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  koncentrāciju

$4O_{2aqua} + (H^+His63,58)_4Hb_T \Leftrightarrow Hb_R(O_2)_4 + 4H^+$ .

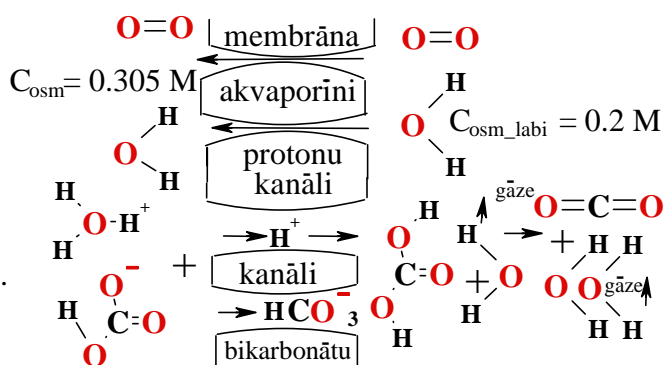
Summā eksotermiski  $\Delta H_r = -55,7 \text{ kJ/mol}$  un eksoerģiski  $\Delta G_{O_2} = -27,7 + -4,29 + -1,088 = -33,078 \text{ kJ/mol}$

Osmoze ir **ūdens** un skābekļa plūsma pa kreisi pretēji koncentrācija gradientam no 0.2 M līdz  $C_{osm}=0.305$  M, jo ūdens un skābekļa plūsma uz labo pusi noslēdz osmo molārais gradients  $\Delta C_{osm}$ :

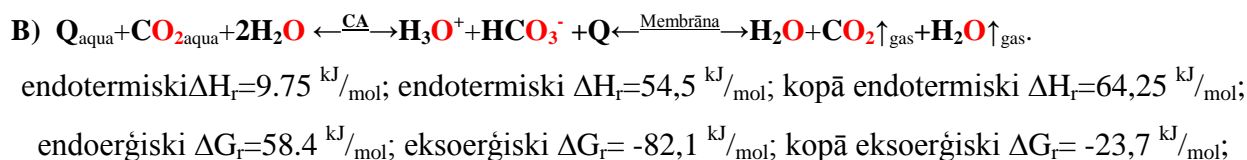
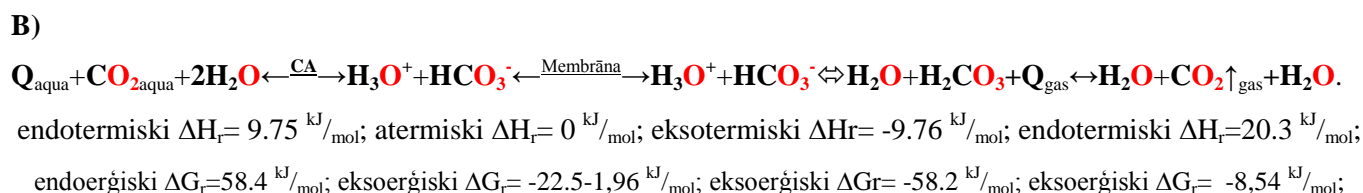
$$\Delta C_{osm} = C_{pa\ kreisi} - C_{pa\ labi} = C_{osm} - C_{osm\_labi}$$

koncentrācijas starpība  $\Delta C_{osm}=0.105$  M.

$$C_{osm} = i_1 C_1 + i_2 C_2 + i_3 C_3 + \dots = \sum i_k C_k = 0,305$$
 M;  
 $C_{osm\_labi} = 0,2$  M;  $\Delta C_{osm} = 0.305 - 0.2 = 0.105$  M



**H<sub>2</sub>O**, **CO<sub>2</sub>** izelpošana endotermiskā bet eksoerģiskā reakcijā uz alveolu epitēlija virsmas



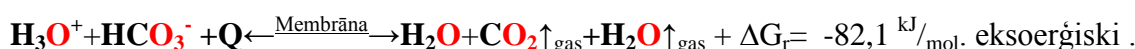
Venozā **deoksi Hb<sub>T</sub>** atspole adsorbē četras **skābekļa** **4O<sub>2</sub>** molekulas paskābina ūdens vidi ar **4H<sup>+</sup>**, veicinot **CO<sub>2</sub>** izelpošanu palielinot **H<sup>+</sup>**, **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** daudzumu  $459 \cdot 6 \cdot 10^{-5} M = 0,0275 M = [HCO_3^-]$  novirza pa labi līdzsvaru **H<sup>+</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + Q ↔ H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>↑<sub>gas</sub>** cauri membrānu kanāliem. Uzturot nemainīgu pH=7,36 fizioloģisko vērtību, jo bikarbonāta jons un ūdeņraža jons producē **CO<sub>2</sub>** labā pusē.

Epitēlija šūnu **plaušu** virsmai ir specifiska uzbūve.  $S = 950 \text{ nm} \times 950 \text{ nm} = 0.9 \mu\text{m}^2$  ir virsmas laukums ar super plānas 0.6 nm **ūdens** plēvītes virsmu:  $0.5415 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3 = 0.5415 \cdot 10^{-18} \text{ L}$ . Radītais **ūdens** slāņa skābums palielinās līdz pH=5.5 ja viens protons **H<sup>+</sup>** šķērso membrānu kanālā sasniedzot virsmu. Ūdeņraža jonu koncentrācija ir:  $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-5.5} M$ . Elpošana **plaušās** no hemoglobīna atbrīvo protonus **H<sup>+</sup>** pēc skābekļa adsorbcijas kopēja daudzuma koncentrācijā:

$$[O_{2,adsorbet}] = [H_3O^+] = 459 \cdot 6 \cdot 10^{-5} M = 0,02754 M \text{ izveido ūdeņraža jonu koncentrācijas gradientu:}$$

$[H_3O^+]_{labi} / [H_3O^+]_{pa\ kreisi} = 10^{-5.5} / 0,0275$ , kurš virza eksoerģiski  $\Delta G = -22,5$  kJ/mol protonu pārvietošanos cauri epitēlija šūnu membrānai protonu kanālos:  $H_3O^+_{pa\ kreisi} \xleftarrow{\text{protonu kanāli}} H_3O^+_{labi} + \Delta G$ . Vispārējais process **H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>↑<sub>gas</sub> + H<sub>2</sub>O↑<sub>gas</sub>** ar siltuma pievadīšanu endotermisks  $\Delta H = 54,5$  kJ/mol ir patvaļīga

$\Delta G = -82,0679$  kJ/mol produktu **CO<sub>2</sub>↑<sub>gas</sub>** un **H<sub>2</sub>O↑<sub>gas</sub>** iztvaikošana uztur mitrumu **H<sub>2</sub>O** uz membrānas virsmas. Ūdeņraža jonu klātbūtne nobīda endotermiski  $\Delta H_r = +54,5$  kJ/mol un eksoerģiski  $\Delta G_r = -82,1$  kJ/mol sadalīšanos **H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** izelpojot gaisā (AIR) **CO<sub>2</sub>↑<sub>gas</sub>** ar **H<sub>2</sub>O↑<sub>gas</sub>**:



**Akvaporīni** ir plaša **membrānu šķērsojošo kanālu** olbaltumvielu **klase**, kas atrodas visos dzīvajos organismos: **dzīvniekos, augos, baktērijās**. Šūnu membrānās to darbība ietekmē **bioķīmiju, fizioloģiju un veselību**. **Akvaporīni** ir pāri par **450 dalībniekiem**, kuri ir pārstāvēti un klātesoši **visās dzīvības formās**.