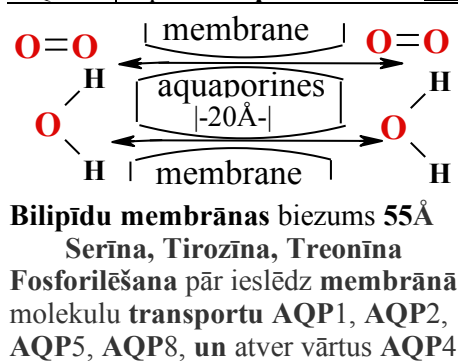


Ūdens kanāli atļauj pasīvi bet selektīvi kustēties **ūdenim** kopā ar **O₂, NO, CO** šķērsot šūnu membrānas, kas ir šo daļiņu plūsma kopā ar **ūdens** molekulām organellās: **mitohondrijas, endoplazmatiskais tīklojums, peroksisomas, goldži aparāts, lizoosomas...** . **Akvaporīni** ir iedalāmi **divās** apakšklasēs:
 I) īstie **Akvaporīni**, kuri atļauj kustēties vienīgi **ūdens** molekulām kopā ar **O₂, NO, CO**;
 II) kopā ar **ūdens** ir **selektīvi akva-glicero-porīni**, kuri **transportē ūdeni** un citas neitrālas vielas, tādas kā **glicerīnu, CO₂** vai **urīnvielu**:

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 H₂O molekulu transportam kopā ar O₂, NO, CO

AQP0	+ Cl⁻, NO₃⁻ acu-lēcas šūnas; tievi tiešās sasaiste kanāli starp šķiedru šūnām AQP0 ūdens caurlaidība 15-kārtas zemāka par AQP1 pie pH= 6.5 ; AQP0 samazinās vēl trīs kārtas pie pH=7.5 AQP0 inducē aizvēršanās efektu slēgtu konformāciju ekstracelulārā cilpā A Met176.His40 AQP0 kļūst sašaurināts tuvu piespiežot Ar/R konservēto aminoskābju aktīvo centru proteīna virknē
AQP1-	pH mazāka par 5.5 + Cl⁻, NO₃⁻ , Akva glicero porīni: sarkanie asins ķermenīši , apikālās & bazolaterālās membrānas epitēlija smadzeņu šūnās AQP1- cilvēka nulles niēru proksimālās-caurulītes ūdens reabsorbcijai gastro intestinālais trakts ūdens absorbcija teleosti zarnu sienīnās olnīca un olvads; siekalu dziedzeri ;
AQP2	urīnpūslis, graudainās niēru šūnas & šūnu organellas vazopresīna regulētās urīna koncentrācijas (~25% asiņu filtrāta) translokācija no citoplasmiskās šķidrums vides graudaino šūnu apikālajā plazmas membrānā , pelvika salīnās un urīnpūslī
AQP3	+akva-glicero porīni, urīnviela: gremošanas trakts ūdens absorbcija; smadzeņu šūnas astrocītu gala kājiņas ūdens uzņemšana galvenajās šūnās cauri AQP2 un izeja cauri bazolaterālām membrānām trahejās niēru (bazolaterālās) bazālās AQP3 & ciliālās zarnu šūnās AQP4
AQP4	Rodentās-smadzeņu ;basolaterālās membrānas ciliālās zarnu šūnās alveolu epitēlijs; siekalu dziedzeri niēru (bazolaterālās)
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	+ Cl⁻, NO₃⁻ daudzveidīgu jonu un molekulu kanāls ; acs lēcu šūnas; ir nozīmīgs ķermeņa skābju-bāzu homeostāzē šūnu organellās sadarbojoties kopā ar H⁺-ATPāzi ir Hg²⁺-inhibējams ūdens kanāls ; funkcijas aktivizē Hg²⁺ un zems pH
AQP7	+Akva-gliceroporiņš, urīnviela; niēres proksimālās caurulītes epitēlija šūnas glicerīna reabsorbcija ; kopā ar AQP1 birstīšu robežvirsmā proksimālajās nefrona šūnās urīna koncentrācijas uzņemšana no ~75% asiņu filtrāta, kurš pārstrādā ~150–180 L dienā
AQP8	NH₄⁺ ;acu lēca & niēres intracelulāras proksimālās caurulītes & tievās zarnas absorbējošs: epitēlija šūnas mitohondrijās proksimālajās nefrona šūnās urīna koncentrācijas uzņemšana no ~75% asiņu filtrāta, kurš pārstrādā ~150–180 L dienā & rodentās smadzeņu šūnas
AQP9	+Akva-gliceroporiņš, urīnviela; purīni, pirimidīni & monokarboksilāti, arsenīti; smadzeņu apikālā membrāna & tievās zarnas absorbētīvais epitēlijs & rodentās smadzenes & gliālā šūna
AQP10	+Akva-gliceroporiņš, urīnviela; tievās zarnas absorbētīvais epitēlija šūnas
AQP11	super akvaporīni vai subcelulārā; proksimālās caurulītes niēres citoplazmā & rodentās smadzeņu šūnā
AQP12	super akvaporīni vai subcelulārā; H₂O Kanāls ir apmēram 20 Å garumā un ar diametru 1,1 Å .



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 & O₂, NO, CO** molekulām. **Akvaporīni** ir liela grupa olbaltumvielu pāri par 450, kuras pārstāvētas **visās dzīvības formās**. **Ūdens** caurlaidība sasniedz plūsmu **3 × 10⁹** vienā sekundē abos virzienos katram **AQP1 mono mēram** un citādi strikti neļauj protoniem **H⁺** kustēties cauri akvaporīnu kanāliem. Aktivēta **hormona atkarīgā cikliskā GMP-enzīma** kaskāde **inducē katjonu vadītspēju AQP1** bet **bloķē** ar **Hg²⁺**

Eritrocīti asins plazmā ar kologatīvo 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 $\Delta C_{\text{osm}} = i\Delta C_M$ 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) $T=t+273.15$ (ja $t=37^\circ$ tad $T=37+273.15=310.15 \text{ K}$).

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

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

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

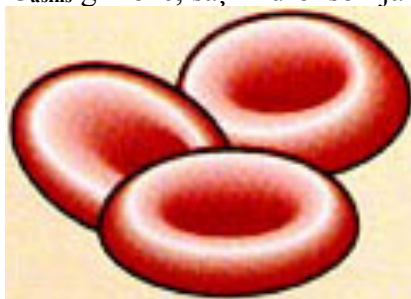
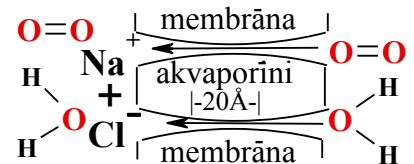
Spiediens \Rightarrow uz membrānu pa labi.

Ūdens H_2O , O_2 skābekļa plūsma pa kreisi pretēji koncentrācijas gradientam no 0 līdz $C_{\text{osm}}=0.305 \text{ M}$ jo Na^+Cl^- joni veido osmo molāru koncentrāciju pa kreisi $C_{\text{pa kreisi}} - C_{\text{labi}} = C_{\text{osm}} - 0 = \Delta C_{\text{osm}} = i\Delta C_M$ un **slēdz H_2O , O_2** plūsmu uz labo pusi.

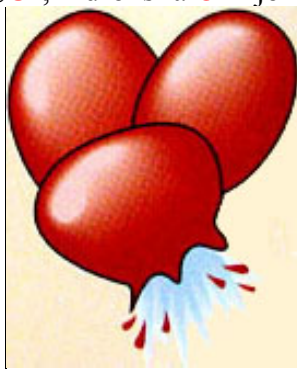
$$C_{\text{asins}} = C_{\text{osm}} = i_1 C_1 + i_2 C_2 + i_3 C_3 + \dots = \sum i_k C_k = 0,305 \text{ M}$$

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

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



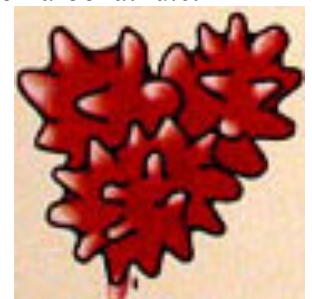
Izotonisks vides šķīdums
 $C_{\text{asins}} = 0.305 \text{ M}$



Hipotonisks vides šķīdums destilēts ūdens 0 M vai vismaz

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

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.



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

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

Osmoze H_2O un O_2 pretēji koncentrācija gradientam cauri alveolu epitēlija membrānām

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

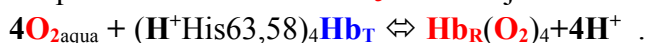
1) $\text{O}_{2\text{AIR}} + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_{2\text{aqua}} + Q + \Delta G$. Cilvēka ķermenī cauri akvaporīnu kanāliem osmozē koncentrācijas gradienta virzienā no $[\text{O}_2] = 9,768 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ līdz **venozām** $[\text{O}_{2\text{aqua}}] = 0,426 \cdot 10^{-5} \text{ M}$.

2) $\Delta G_{\text{O}_2} = RT \ln([\text{O}_{2\text{Asins}}]/[\text{O}_{2\text{aqua}}]) = -4,29 \text{ kJ/mol}$ eksoerģiski iekļūst cilvēka organismā;

3) $\text{O}_{2\text{aqua}} + \text{H}_2\text{O}^{\text{Akvaporīns}} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_{2\text{aqua}} + \Delta G$ pretēji koncentrācija gradientam $0,305 \text{ M}/0,2 \text{ M}$:

$$\Delta G_{\text{H}_2\text{O}} = RT \ln([\text{H}_2\text{O}]_{\text{labi}}/[\text{H}_2\text{O}]_{\text{pa kreisi}}) = -8,3144 \cdot 310,15 \cdot \ln(0,305/0,2) = -1.088 \text{ kJ/mol}$$

eksoerģiski $\Delta G_{\text{O}_2} = -5,379 \text{ kJ/mol}$. **Deoksi hemoglobīns Hb_T** adsorbē 4 $\text{O}_{2\text{aqua}}$ no asins plazmas atbrīvojot četrus protonus 4H^+ un 4 HCO_3^- stabilizējot arteriālo $[\text{O}_2] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ koncentrāciju



Summā eksotermiski $\Delta H_r = -55,7 \text{ kJ/mol}$ un eksoerģiski $\Delta G_{\text{O}_2} = -27,7 + -4,29 + -1.088 = -33.078 \text{ kJ/mol}$

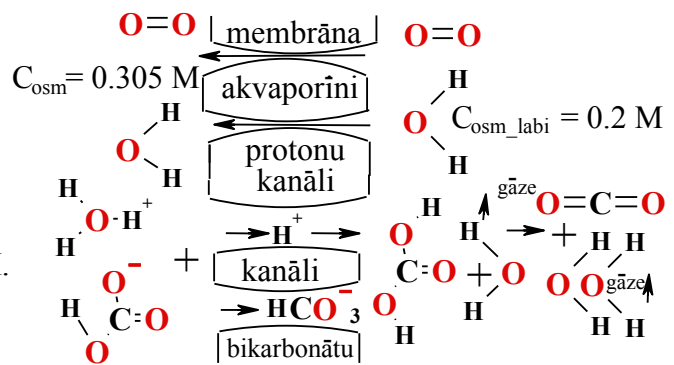
Osmoze ir **ūdens** un skābekļa plūsma pa kreisi pretēji koncentrācija gradientam no 0.2 M līdz $C_{osm}=0.305$ M, jo ūdens un skābekļa plūsma uz labo pusi noslēdz osmo molārais gradients ΔC_{osm} :

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

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

$$C_{osm} = i_1 C_1 + i_2 C_2 + i_3 C_3 + \dots = \sum i_k C_k = 0,305 \text{ M};$$

$$C_{osm_labi} = 0,2 \text{ M}; \Delta C_{osm} = 0.305 - 0.2 = 0.105 \text{ M}$$



H_2O , CO_2 izelpošana endotermiskā bet eksoerģiskā reakcijā uz alveolu epitēlija virsmas

B) $\text{Q}_{\text{aqua}} + \text{CO}_{2\text{aqua}} + 2\text{H}_2\text{O} \xleftarrow{\text{CA}} \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^- \xleftarrow{\text{Membrāna}} \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Q}_{\text{gas}} \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}} + \text{H}_2\text{O}$.
 endotermiski $\Delta H_r = 9.75 \text{ kJ/mol}$; atermiski $\Delta H_r = 0 \text{ kJ/mol}$; eksotermiski $\Delta H_r = -9.76 \text{ kJ/mol}$; endotermiski $\Delta H_r = 20.3 \text{ kJ/mol}$;
 endoerģiski $\Delta G_r = 58.4 \text{ kJ/mol}$; eksoerģiski $\Delta G_r = -22.5 - 1,96 \text{ kJ/mol}$; eksoerģiski $\Delta G_r = -58.2 \text{ kJ/mol}$; eksoerģiski $\Delta G_r = -8,54 \text{ kJ/mol}$;

B) $\text{Q}_{\text{aqua}} + \text{CO}_{2\text{aqua}} + 2\text{H}_2\text{O} \xleftarrow{\text{CA}} \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{Q} \xleftarrow{\text{Membrāna}} \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}} + \text{H}_2\text{O} \uparrow_{\text{gas}}$.
 endotermiski $\Delta H_r = 9.75 \text{ kJ/mol}$; endotermiski $\Delta H_r = 54,5 \text{ kJ/mol}$; kopā endotermiski $\Delta H_r = 64,25 \text{ kJ/mol}$;
 endoerģiski $\Delta G_r = 58.4 \text{ kJ/mol}$; eksoerģiski $\Delta G_r = -82,1 \text{ kJ/mol}$; kopā eksoerģiski $\Delta G_r = -23,7 \text{ kJ/mol}$;

Venozā **deoksi Hb_T** atspole adsorbē četras **skābekļa** $4\text{O}_{2\text{Hb}}$ ģenerē 4H^+ , veicinot CO_2 izelpošanu palielinot H^+ , HCO_3^- daudzumu $459 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \text{ M} = 0,0284 \text{ M} = [\text{HCO}_3^-] = [\text{H}^+]$ novirza $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{Q} \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}}$ pa labi līdzsvaru cauri membrānu kanāliem. Uzturot nemainīgu $\text{pH} = 7,36$ fizioloģisko vērtību, jo bikarbonāta jons un ūdeņraža jons producē CO_2 labā pusē.

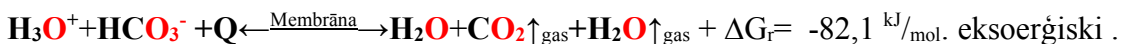
Epitēlija šūnu **plaušu** virsmai ir specifiska uzbūve. $S = 950 \text{ nm} \times 950 \text{ nm} = 0.9 \mu\text{m}^2$ ir virsmas laukums ar super plānas 0.6 nm **ūdens** plēvītes virsmu: $0.5415 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3 = 0.5415 \cdot 10^{-18} \text{ L}$. Radītais **ūdens** slāņa skābums palielinās līdz $\text{pH} = 5.5$ ja viens protons H^+ šķērso membrānu kanālā sasniedzot virsmu. Ūdeņraža jonu koncentrācija ir: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-5.5} \text{ M}$. Ielpošana **plaušās** no hemoglobīna atbrīvo protonus H^+ pēc skābekļa adsorbcijas kopēja daudzuma koncentrācijā:

$$[\text{O}_{2\text{Hb}}] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 473 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \text{ M} = 0,0284 \text{ M}$$

izveido ūdeņraža jonu koncentrācijas gradientu:

$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{labi}} / [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{pa kreisi}} = 10^{-5.5} / 0,0284$, kurš virza eksoerģiski $\Delta G = -22,5 \text{ kJ/mol}$ protonu pārvietošanos cauri epitēlija šūnu membrānai protonu kanālos: $\text{H}_3\text{O}^+_{\text{pa kreisi}} \xleftarrow{\text{protonu kanāli}} \text{H}_3\text{O}^+_{\text{labi}} + \Delta G$. Vispārējais process $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}} + \text{H}_2\text{O} \uparrow_{\text{gas}}$ ar siltuma pievadīšanu endotermisks $\Delta H = 54,5 \text{ kJ/mol}$ ir patvaļīga

$\Delta G = -82,0679 \text{ kJ/mol}$ produktu $\text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}}$ un $\text{H}_2\text{O} \uparrow_{\text{gas}}$ iztvaikošana uztur mitrumu H_2O uz membrānas virsmas. Ūdeņraža jonu klātbūtne nobīda endotermiski $\Delta H_r = +54,5 \text{ kJ/mol}$ un eksoerģiski $\Delta G_r = -82,1 \text{ kJ/mol}$ sadalīšanos $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^-$ izelpojot gaisā (AIR) $\text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}}$ ar $\text{H}_2\text{O} \uparrow_{\text{gas}}$:



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.