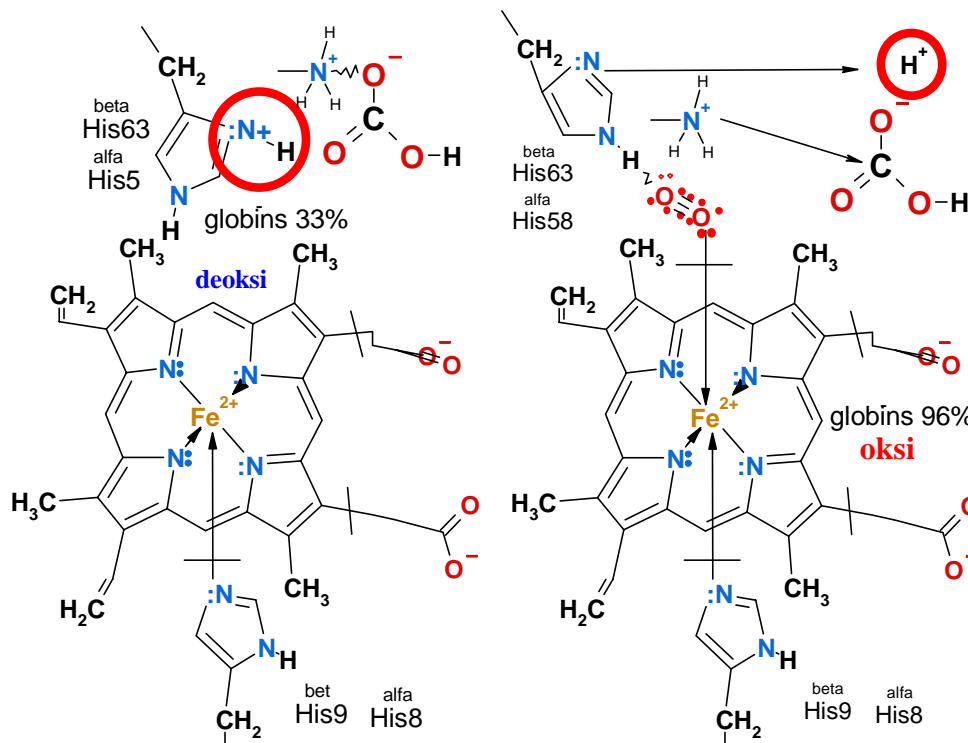
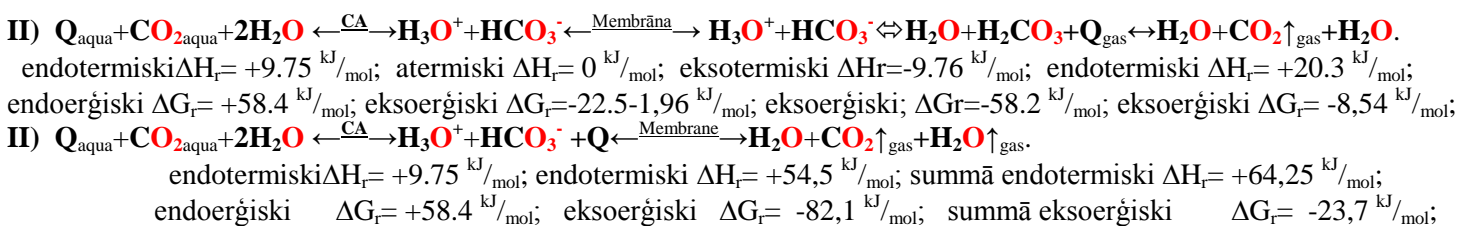


Atspole deoksi - oksī hemoglobīns ar karbo anhidrāzes (CA) enzīmu **O₂** un **CO₂** vielmaiņā stabilizē fizioloģisko pH=7.36 un skābekļa arteriālo koncentrāciju [O_{2,asinis}]=6·10⁻⁵ M

I) Skābeklis **O₂** GAISA 20.95% **O₂**↑gas asimilācijas reakcijā izšķīst ūdenī eksotermiski: ΔH_r=-55,7 kJ/mol un eksoerģiski ΔG_r=-27,7 kJ/mol kā ūdenī šķīstoša viela veidojot **O_{2,aqua}** 1) **O_{2,AIR}+H₂O ⇌ H₂O+O_{2,aqua} +Q+ΔG**. Nokļūst cilvēka ķermenī cauri membrānu akvaporiņiem ar koncentrācijas gradienta osmozi [O₂]=9,768·10⁻⁵ M / **venozām** asinīm [O₂]=1,85·10⁻⁵ M eksoerģiski ΔG_{O₂}= RTln([O_{2,asinis}]/[O_{2,aqua}])= - 4,29 kJ/mol plūsmā: 2) **O_{2,aqua} +H₂O^{Aquaporins}→H₂O+O_{2,aquaAsins} +ΔG**. Ieelpojot svaigu GAISU ΔG_{H₂O} =RTln([H₂O]_{palabi}/[H₂O]_{pakreisi})= -8,3144*310,15*ln(0,305/0,2)= -1.088 kJ/mol eksoerģiski ΔG_{O₂}= -5,379 kJ/mol. No asins plazmas **deoksi Hb_T** adsorbē četras molekulas **O_{2,aquaAsins}** un atbrīvo **4HCO₃⁻**, **4H⁺**: **4O_{2,aqua}+(H⁺His63,58)₄Hb_T ·sāls tiltiņi(HCO₃⁻)₄⇌Hb_R(O₂)₄+4H⁺+4HCO₃⁻** stabilizē arteriālo koncentrāciju [O_{2,aqua}]=6·10⁻⁵M. [O_{2,aqua}]=6·10⁻⁵ M koncentrācijas jutīgā līdzsvara **(H⁺His63,58)₄Hb_T ↔Hb_R(O₂)₄** nobīdi pa labi regulē eritrocītu glikolīzes metabolīts **BPG⁵⁻** glicerīna skābes sāls dihidroksi divu **fosfātu 2,3-esteris G⁻ H₂COPO₃²⁻-HCOPO₃²⁻-COO⁻** ar homeostāzes koncentrāciju [BPG⁵⁻]=5 mM. Tā **BPG⁵⁻** izspiežot no **dobuma** stabilizē ar noglabātajām rezervēm 459 reizes arteriālo asiņu koncentrāciju [O_{2,aqua-Blood}]=6·10⁻⁵M summā ir [O_{2,desorb}]=459*6·10⁻⁵ M=0,02754 M rezerve

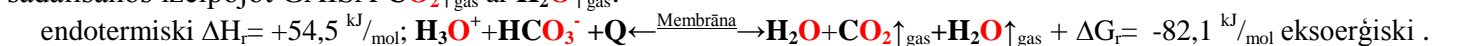


O₂SolutionsL.pdf. Skābekli adsorbē donoru-akceptora saite koordinācijas centrā uz dzelzs(II) **Fe²⁺** hēmā un atbrīvo protonu **H⁺ Hb_RO₂+H⁺**. Katrs protons piesaistās ūdens molekulai **H⁺+H₂O→H₃O⁺** radot hidroksonijs jonu. **Audos** desorbētais skābeklis [O_{2,desorb}] atjauno koncentrāciju [O₂]=6·10⁻⁵ M asins plazmā 459 reizes un **deoksi**-hemoglobīns satver četrus protonus **H⁺ (H⁺His63,58)₄Hb_T** tā turpinot uzturēt konstantu pH=7,36. Katrs desorbētais skābeklis pārvēršas Krebsa cikla oksidatīvajā fosforilēšanā mitohondrijas produktā **CO_{2,aqua}**. **II) process** sākas ar karbo anhidrāzes **CA** līdzsvara nobīdi pa labi. **CO₂** producē [HCO₃⁻]=0,0339 M daudzumu no kopējā 0,05054 M. **Atspole deoksi** hemoglobīns **Hb_T** satver summā [H⁺]=0,0275 M. Tā tiek stabilizēta pH=7,36 ± 0,01 vērtība.



Atspole ir venozais **deoksi** hemoglobīns **Hb_T**, adsorbē četras molekulas **4O₂** no svaigā GAISA, atbrīvo **4H⁺**, veicinot **CO₂** izelpošanu: Katrs **H⁺** un **HCO₃⁻** jonu daudzums [H⁺]=459*6·10⁻⁵ M=0,0275 M=[HCO₃⁻] nobīda līdzsvaru pa labi **H⁺+HCO₃⁻+Q↔H₂O+CO₂↑_{gas}** cauri membrānu kanāliem. Tā kā pH=7,36 saglabājas konstants, jo viens bikarbonāts jons un viens ūdeņraža jons producē vienu **CO₂** labajā vienādojuma pusē, izelpojot samazina osmo molāro koncentrāciju 0,2 M.

Plaušu epitēlija virsmai ir specifiska uzbūve ja kvadrāta laukums ir: S=950 nm x 950 nm= 0.9 μm² uz super plāna 0.6 nm slānīša ar mazu ūdens tilpumu: 0.5415·10⁻³ μm³ = 0.5415·10⁻¹⁸ L. Radītais skābums plānajā ūdens slānīša tilpumā palielinās līdz pH=5.5, ja viens protons **H⁺** šķērsojot membrānu kanālus sasniedz virsmu. Tādējādi ūdeņraža jonu koncentrācija ir: [H₃O⁺]=10^{-pH}=10^{-5.5} M. Svaigā GAISA ieelpošana plaušās hemoglobīnā atbrīvo protonus **H⁺** skābekļa adsorbcijas laikā kopējā daudzuma koncentrācijā: [O_{2,adsorb}]=[H₃O⁺]=459*6·10⁻⁵ M= 0,02754 M veido ūdeņraža jonu koncentrācijas gradientu: [H₃O⁺]_{right}/[H₃O⁺]_{left}=10^{-5.5}/0,0275, kurš virza eksoerģiski ΔG = -22,5 kJ/mol protonu plūsmu cauri epitēlija šūnu membrānu protonu kanāliem: **H₃O⁺ left ←^{protonu kanāls}→ H₃O⁺ right +ΔG**. Vispārīgajam procesam **H₂O+CO₂↑_{gas}+H₂O↑_{gas}** nepieciešama siltuma piegāde endotermiski ΔH=54,5 kJ/mol virzot ΔG= -82,0679 kJ/mol patvaļīgu produktu **CO₂↑_{gas}** un **H₂O↑_{gas}** iztvaikošanu saglabājot mitrumu **H₂O** uz membrānas virsmas. Ūdeņraža jonu ūdens skābums nobīda līdzsvaru endotermiski ΔH_r= +54,5 kJ/mol un eksoerģiski ΔG_r= -82,1 kJ/mol uz **H₃O⁺+HCO₃⁻** sadalīšanos izelpojot GAISĀ **CO₂↑_{gas}** ar **H₂O↑_{gas}**:



Brensteda skābes/bāzes CA un hemoglobīna atspoles enzīmu O_2 , $CO_{2\text{aqua}}/HCO_3^- + H^+$ mehānisms

Enzīma karbo anhidrāzes (CA) veidots skābes/bāzes līdzsvars $2H_2O \xrightarrow{CA} CO_2/HCO_3^- + H_3O^+$

Cilvēka organismā ir Atspoles buffera sistēmas, kas stabilizē pH un darbojas uzturot šaurā intervālā konstantu

$pH = 7.36_{-0,01}^{+0,02}$ ar atļautām niecīgām izmaiņām par spīti faktam, ka organisms producē lielu daudzumu

metaboliska $[CO_{2\text{Krebsa}}] = 0,0275$ M. CA izveidotie skābes produktu daudzumi ir $[H_3O^+] = [HCO_3^-] = 0,01695$ M kompensēti bufera šķīdumā ar Atspoles hemoglobīnu aizvietojo protonu H^+ ar adsorbēto skābekli $O_{2\text{aquaAsins}}$ un desorbējot skābekli saistot protonu H^+ un HCO_3^- no Krebsa cikla producētā $CO_{2\text{aqua}}$:

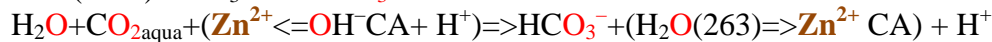
Hydrogen karbonāta bufera sistēma karboanhidrāzes līdzsvarā uztur vāju skābi $CO_{2\text{aqua}}$ un bikarbonāta, hydrogen karbonāta jonus homeostāzes normas daudzumos

$[HCO_3^-] = 0.0154$ M, $[CO_{2\text{aqua}}] = 0.0076$ M, atbilstot 56,23 mL

(50-60 mL) atbrīvotam tilpuma CO_2 no 100 mL asiņu

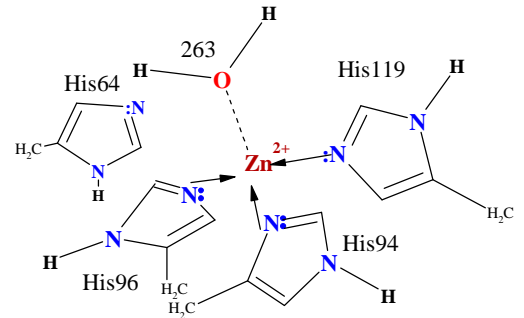
kā sārma rezerves 2,036 / 1 klīniskais vērtējums.

Oglekļa dioksīds rodas, oksidējoties ogļhidrātiem, taukiem un olbaltumvielām. Hidrogēnkarbonāts rodas oglekļa dioksīda hidratācijas $2H_2O$ rezultātā CA enzīma Zn^{2+} jona koordinētajā aktīvajā centrā. Šis centrs atrodas fermenta karboanhidrāzes Zn^{2+} jona koordinācijas kabatā:



$Hb_R(O_2)_4 + 4H^+ \rightleftharpoons 4O_{2\text{aquaAsins}} + (H^+His63,58)_4Hb_T$ stabilizē arteriālo koncentrāciju $[O_2] = 6 \cdot 10^{-5}$ M asinīs.

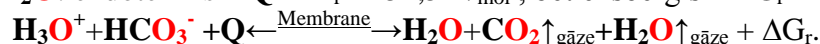
Deoksi hemoglobīns $(H^+His63,58)_4Hb_T$ satver četrus protonu $4 H^+$ pie histidīna atlikuma un $4 HCO_3^-$ hemoglobīna venozo asiņu formā eritrocītos deoksi $(H^+His63,58)_4Hb_T$ (T-saspringts). **Plaušās atspole** adsorbē skābekli arteriālo asiņu oksī hemoglobīnā $(O_2His63,58)_4Hb_R$ (R-relaksēts) atbrīvojot $4 H^+$ un $4 HCO_3^-$.



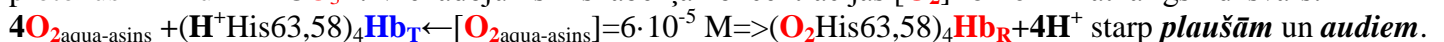
1) Pirmā no četrām cilvēka bufera sistēmām ir CA veidotā Brensteda skābes/bāzes līdzsvara reakcija:

$Q + CO_{2\text{aqua}} + 2H_2O \xrightarrow{CA} H_3O^+ + HCO_3^-$ kurai siltuma pievada Krebsa cikla eksotermiskās reakcijas. Novirzi pa labi veicina augsta ūdens $2H_2O$ koncentrācija kvadrātā $[H_2O]^2 = (993,36/18,0153)^2 = 55,139^2 = 3040,4$ un maza stabilizēta $pH = 7,36 \pm 0,01$ ūdeņraža jonu H_3O^+ koncentrācija $[H_3O^+] = 10^{-7,36}$ M produktos. $CO_{2\text{Krebsa}}$ daudzuma bikarbonāts sāls tiltiņos $HCO_3^- \dots H_3^+N$ - un vienāds producēto protonu skaitu $[H^+] = [CO_{2\text{Krebsa}}] = 0,0275 = [HCO_3^-]$ satverti deoksi $(H^+His63,58)_4Hb_T$ atspolē venozo asiņu cirkulācijā nonāk plaušās.

Plaušās iztvaiko $CO_2 + H_2O$: endotermiski $Q = \Delta H_r = +54,5$ kJ/mol, bet eksoerģiski $\Delta G_r = -82,1$ kJ/mol:



Simbols $(H^+His63,58)_4Hb_T$ deoksi atspoles hemoglobīna molekulai ir praktisks, jo ir neērti katru reizi lietot komplicētu struktūru hemoglobīnam. Deoksi hemoglobīns ir satvēris un oksī hemoglobīns pilnīgi disociējis protonus $4 H^+$ un $4 HCO_3^-$. Vienādojums ir skābekļa koncentrācijas $[O_2] = 6 \cdot 10^{-5}$ M atkarīgs līdzsvars:



Plaušās venozo asiņu hemoglobīna piesātināšana ar skābekli turpmāk 459 reizes atjauno cirkulācijā esošo arteriālo asiņu $[O_2] = 6 \cdot 10^{-5}$ M daudzumu vienā litrā [O2SolutionsL.doc](#). Adsorbējot četrus $4O_{2\text{aqua}}$, produktos atbrīvojas $(O_2His63,58)_4Hb_R + 4H^+ + 4HCO_3^-$ četri protoni $4 H^+$ un bikarbonāta joni $4 HCO_3^-$, lai iztvaikotu $CO_2 \uparrow_{\text{gas}} + H_2O \uparrow_{\text{gas}}$ uz plaušu epitēlija virsmas, un izvadās no organisma $[H^+] = 459 \cdot 6 \cdot 10^{-5} = 0,0275$ M daudzums $H^+ + H_2O \Rightarrow H_3O^+$, kurš ir vienāds ar kopējo izelpā iztvaikotā $[CO_2 \uparrow_{\text{gas}}] = 0,0275$ M daudzumu.

Ar skābekļa atkarīgās koncentrācijas $[O_2] = 6 \cdot 10^{-5}$ M adsorbcijas-desorbcijas līdzsvara novirzi pa kreisi uz oksī $(O_2His63,58)_4Hb_R + 4H^+$ no satvērēja atspoles deoksi $(H^+His63,58)_4Hb_T$ izskaidrojama pH stabilizācija 7,36.

Tas izskaidrot, kā pēc pH nemainās par spīti Krebsa cikla skābes $CO_{2\text{aqua}}$ produktam, jo katrs desorbētais skābeklis $O_{2\text{aqua-asins}}$ veido Krebsa ciklā oglekļa dioksīda produktu, kurš iesaistīts CA līdzsvarā Hendersona-Haselbalha homeostāzes pH vērtība izteiksmē ir praktiski nemainīga ar $[HCO_3^-]/[CO_{2\text{aqua}}] = 2,0263$ attiecību. Neizmainās abi bikarbonāts $[HCO_3^-] = 0.0154$ M un oglekļa dioksīds $[CO_{2\text{aqua}}] = 0.0076$ M:

$$7.36 = pH = pK + \log([HCO_3^-]/[CO_{2\text{aqua}}]) = 7.0512 + \log([HCO_3^-]/[CO_2])$$

un pēc anti logaritma iegūst $[HCO_3^-]/[CO_{2\text{aqua}}] = 10^{(pH-pK)} = 10^{(7.36-7.0512)} = 10^{0.3088} = 2,0361/1$ sārma rezervi.

Plaušās venozo asiņu eritrocītos deoksi $(H^+His63,58)_4Hb_T$ (Tense) atspoles hemoglobīnā skābekļa $O_{2\text{aqua-asins}}$ adsorbcija atbrīvo protonus H^+ iztvaikojot, izelpojot oglekļa dioksīdu $CO_2 \uparrow_{\text{gas}}$ GAISĀ.

Tādā veidā divos līdzsvaros ar stabilizētu arteriālo skābekļa koncentrāciju $[O_{2\text{aqua-asins}}] = 6 \cdot 10^{-5}$ M un ar atspoles hemoglobīna skābekļa adsorbciju-desorbciju un CA bufera sistēmas veidoto vērtību $pH = 7,36$ Krebsa cikls virza O_2 un CO_2 vielmaiņu cilvēka ķermenī saskarē ar apkārtējo vidi ieelpojot O_2 un izelpojot CO_2 .

2) Otrā bufera sistēma, kura atrodas asinīs, ir olbaltumvielu bufera sistēma. Tā ir nedaudz atšķirīga no parastiem buferu šķīdumiem, kurus veido vājas skābes/to sāļi vai vājas bāzes/to sāļi. Olbaltumvielas līdzīgi hemoglobīnam ir garas aminoskābju virknes ar četrām veidu skābju funkcionālām grupām -COOH neitrālas karbonskābes grupas, pozitīvi lādētas amonija grupas -NH₃⁺, neitrālas fenola skābes -OH un -SH neitrālas

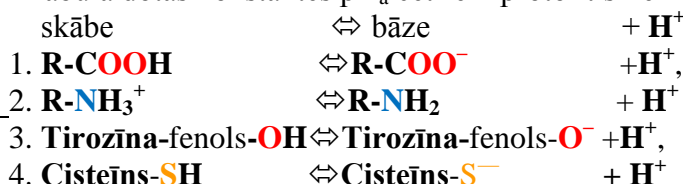
Amino Acid	pK _{a-COOH}	pK _{a-NH3+}	pK _{a R grupa}
Izoleicīns	2.36	9.68	
Valīns	2.32	9.62	
Leicīns	2.36	9.60	
Fenilalanīns	1.83	9.13	
Cisteīns	1.96	10.28	8.18
Metionīns	2.28	9.21	
Alanīns	2.34	9.69	
Prolīns	1.99	10.96	
Glicīns	2.34	9.60	
Treonīns	2.11	9.62	
Serīns	2.21	9.15	
Triptofāns	2.38	9.39	
Tirozīns	2.20	9.11	10.07
Histidīns	1.82	9.17	6.00
Aspartāts	1.88	9.60	3.65
Glutamāts	2.19	9.67	4.25
Aspargīns	2.02	8.80	
Glutamīns	2.17	9.13	
Lizīns	2.18	8.95	10.53
Arginīns	2.17	9.04	12.48

sulfhidrila grupas. Fizioloģiskajā pH=7,36 ± 0.01 vidē karbonskābes grupas eksistē negatīvi lādēta -COO⁻ un amino grupas R-NH₃⁺ pozitīvi lādētas, kā piemērā ar glutamīnskābes pK_a vērtībām salīdzinājumā ar fizioloģisko pH vērtību ir mazāka karbonskābes grupām:

$$pK_{aR-COOH} = 4.25 < 7.36, pK_{a-COOH} = 2.19 < 7.36$$

vai protonētai amino grupai lielāka 7,36 < 9,67 = pK_{a-NH3+}.

Tabulā dotas konstantes pK_a četriem protolītiskiem līdzsvariem:



Paralēlo protolītisko līdzsvaru skaita NpK_a vidējā pK_a vērtība ir aprēķināma kā pK_a = (Σ pK_{a R grupa} + pK_{a-NH3+} + pK_{a-COOH}) / NpK_a

Ostvalda atšķaidīšanas likumā aprēķina pH šķīduma

$$\text{koncentrācijas } C \text{ logaritmā: } \text{pH} = \frac{pK_a - \log C}{2} = \dots$$

Molekula kā hemoglobīns pie asins pH=7.36 ir deprotonēta

karboksila grupa -COO⁻ ar bāziskām īpašībām un protonēta

amonija grupa -NH₃⁺ ar skābes īpašībām.

Ja stipru skābes šķīdumu pievieno hemoglobīnam Hb līdzīgam olbaltumvielas šķīdumam, tad ūdeņraža

H₃O⁺ joni reaģēs ar vāji bāzisko amino grupu un

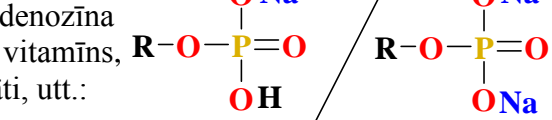
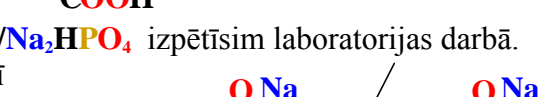
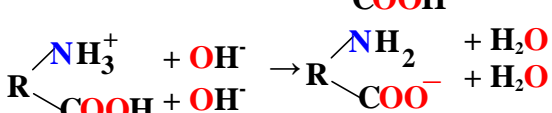
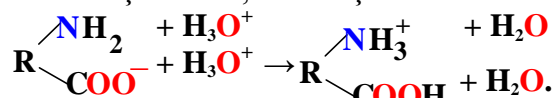
bāzisko karboksilāta grupu. Stiprā skābe

H₃O⁺ transformēsies par ūdeni, par vāju bāzi H₂O.

Ja stipru bāzi pievieno olbaltumvielu šķīdumam, tad hidroksila OH⁻

joni reaģē ar skābes amonija grupu un vājas skābes karboksila grupu.

Stiprā bāze OH⁻ transformējas par ūdeni, par vāju skābi H₂O.

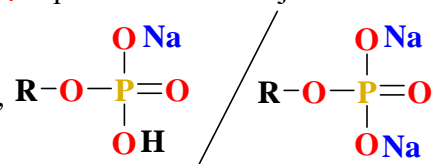


3) Bioloģiski nozīmīgo fosfāta bufera sistēmu ar pK=7,199 NaH₂PO₄/Na₂HPO₄ izpētīsim laboratorijas darbā.

4) Bioloģiski universāla bez neorganiskās fosfātu bufera sistēmas ir arī

organisko fosforskābes esteru kā ATF (adenozīna tri fosfāts), ADF (adenozīna

di fosfāts), CTF, CDF, GTF, GDF, TTF, TDF, UTF, UDF, NADH B₃ vitamīns,



FADH₂ B₂ vitamīns, fosfo proteīni, glikozes fosfāti, fruktozes fosfāti, utt.:

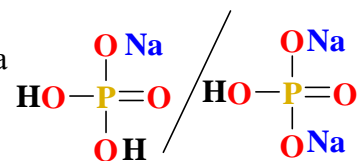
Ja ir grūtības saprast struktūru pēdējām divām savienojumu grupām, atcerēsimies,

ka fosforskābes struktūrā var parādīt kā esterī fosforskābes viens ūdeņraža atoms ir

aizvietots ar organiskā spirta radikāla esterificēšanās produktu. Praktiski estera bufera

sistēma sastāv no mono aizvietotas un di aizvietotas sāls.

Līdzīgi kā fosfātiem NaH₂PO₄/Na₂HPO₄.



Piezīme: visas 4 bufera sistēmas darbojas tā paša organisma ķermeņa ūdens šķīdumos.

Eritrocītos galvenais ir bikarbonāta buferis ar uz atspoli hemoglobīnu bāzēto protona skābekļa O₂ aqua-asinis

jūtīgo apmaiņu: (O₂His63,58)₄Hb_R + 4H⁺ ← [O₂ aqua-asins] = 6 · 10⁻⁵ M → 4O₂ aqua-asins + (H⁺His63,58)₄Hb_T. Krebsa

cikla produkts CO₂ aqua pārvēršas bikarbonāta bufera šķīdumā: Q + CO₂ aqua + 2H₂O ←^{CA}→ H₃O⁺ + HCO₃⁻.

Asins plazmā dominē enzīma CA bikarbonāta pH=7.36 ± 0,01, olbaltumvielu un fosfāta bufera šķīdumi.

Sviedros, urīnā un gremošanas aparātā dominē bikarbonāta sistēma kā arī ir fosfāta bufera sistēma.

Blakus normālam "ķīmiskajam" bufera darbības mehānismam uzturot konstantu pH=7.36 ± 0,01, ar deoksi hemoglobīns (H⁺His63,58)₄Hb_T (T saspringts), oksī hemoglobīns (O₂His63,58)₄Hb_R (Relaksēts stāvoklis) un CA karbo anhidrāzi virza bikarbonāta bufera sistēmu saistītā fizioloģiskā mehānisma darbībā, kurš realizē vielmaiņu ieelpot O₂ un izelpot CO₂ no plaušām GAISĀ un audos cilvēka ķermeņa saskarē ar apkārtējo vidi.

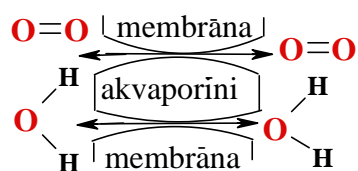
Cilvēka **hemoglobīna atspoles - bikarbonāta** bufera sistēmas un Krebsa cikla virzīts **O₂** ieelpošanas no **GAISA** un **CO₂** izelpošanas **fizioloģiskais** mehānisms

Vis pirms mums ir jāsakārto trīs bufera sistēmā iesaistītās molekulas. **Atspole oksī** hemoglobīns, otrā ir **karbo anhidrāzes (CA)** ar konstantes vērtību $pK=7.0512$ un **deoksi** hemoglobīna **atspole**:

oksi Hb_R(O₂)₄+4H⁺<=>deoksi Hb_T(H⁺_{His63,58})₄Hb_T+4O₂_{aq}, kurā **oksi Hb_R pilnīgi deprotonēts 4 **H⁺** bet **deoksi Hb_T** hemoglobīns satver saistot četrus protonus 4 **H⁺** un 4 **HCO₃⁻** desorbējot četras molekulas **4O₂_{aq}**.**

Atspole un **karbo anhidrāze (CA)** stabilizē apmaiņas procesu ieelpojot **GAISA O₂** un izelpojot **GAISĀ CO₂**.

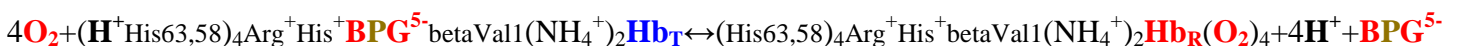
Divu **I** un **II** procesu virknēs notiek secīgas reakcijas pirmā ir: **I) O₂_{AIR} + H₂O $\xrightleftharpoons{\text{akvaporīns}}$ H₂O + O₂_{aq}**



Process plaušās **I) Virknes pirmajā reakcijā** šūnu membrānu akvaporīnos ūdens **H₂O** ar skābekli **O₂_{aq}** pārvietojas ar ātrumu 10^9 sek^{-1} eritrocītu šūnā un skābekļa koncentrācija asins plazmā nozīmīgi pieaug no **venoza [O₂]=1,85•10⁻⁵ M** līdz arteriālās asins plazmas koncentrācijai **[O₂]=6•10⁻⁵ M**.

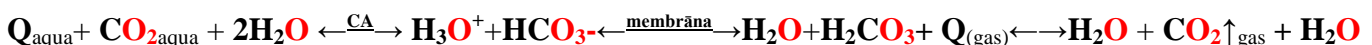
Bisfosfo glicerāts **BPG⁵⁻** virza hemoglobīna **O₂** koncentrācijas jūtīgo adsorbcijas \leftrightarrow desorbcijas līdzsvaru.

Arteriālais hemoglobīns 459 reizes uzkrājot rezervē $0,0275 \text{ M}$ virs **[O₂]=6•10⁻⁵ M** **atspoles oksī** hemoglobīnā un izspiež bisfosfo glicerātu **BPG⁵⁻** no **atspoles deoksi** hemoglobīna atbrīvojot 4 **H⁺** un 4 **HCO₃⁻**.

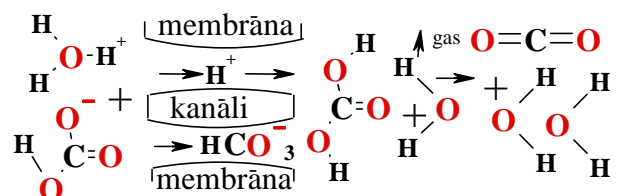
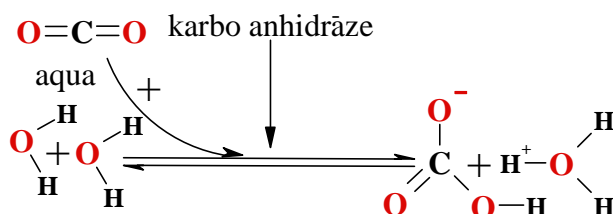
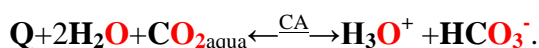


Katra **atspoles** hemoglobīnā adsorbēta molekula **O₂_{aq}** atbrīvo protonu **H⁺**, kurš palielina skābumu uz epitēlija šūnu virsmas **plaušās**. **Plaušu** epitēlija šūnu virsmai ir specifiska uzbūve: super plāns 0.6 nm ūdens slānis kvadrāta laukumā $S=950 \text{ nm} * 950 \text{ nm} = 0.9 \mu\text{m}^2$ ar mazu tilpumu $0.5415 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3 = 0.5415 \cdot 10^{-18} \text{ L}$ litros veido skābuma pieaugumu līdz $\text{pH}=5.5$, ja viens protons šķērsojot membrānas kanālu sasniedz virsmu, un tas izraisa strauju ogļskābes **H₂CO₃** sadalīšanos iztvaikojot **CO₂↑** gāze tiek izelpota **GAISĀ**.

II) Otrais process sākas vielmaiņas Krebsa ciklā no oksidēšanās ar skābekli **O₂_{aq}** producē **CO₂_{aq}** **audu** šūnās:



Enzīms karbo anhidrāze (CA) virza pa labi līdzsvara maisījumu pirmajā virknes endotermiskajā reakcijā:



Otra virknes eksotermiskā reakcija veido ogļskābi $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \xrightarrow{\text{membrāna}} \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Q}$. Protonu **H⁺** un bikarbonātu **HCO₃⁻** cauri kanāliem virza koncentrācijas gradienti $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{labā}}/[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{kreisā}} = 10^{-7,36}/0,0339$ un bikarbonāta joniem $[\text{HCO}_3^-]_{\text{labā}}/[\text{HCO}_3^-]_{\text{kreisā}} = 0,0154 \text{ M}_{\text{labā}}/0,0339 \text{ M}_{\text{kreisā}}$ izelpojot no organisma **GAISĀ** ogļskābo gāzi **CO₂↑_{gas}**.

Trešā virknes reakcija uz **plaušu** epitēlija šūnu virsmas (ārpus organisma) bez **CA** ogļskābe **H₂CO₃** sadalās par gāzi **CO₂↑_{gas}** endotermiskā reakcijā: **H₂CO₃ + Q_(gas) → H₂O + CO₂↑_{gas}**. Siltuma pievadīšana ir nepieciešama endotermiskā procesa novirzīšanai pa labi, tas nozīmē **CO₂** izelpošanai.

Procesi audos. Tiklīdz arteriālās **asinis** sasniedz **audus**, sekojošas reakcijas notiek.

Vielmaiņas $\text{CO}_{2\text{aqua}}$ produktu enzīms karbo anhidrāze (CA) pārvērš par HCO_3^- bikarbonāta un hidroksionija H_3O^+ joniem atbilstoši $\text{pH}=7.36$ **sārma rezervei** $2.036/1=[\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2]=0,0339\text{ M}/0,01665\text{ M}$.
 1) Skābekļa koncentrācija asinīs audos nedaudz samazinās zem $[\text{O}_{2\text{aqua}}]=6 \cdot 10^{-5}\text{ M}$ arteriālās koncentrācijas. Skābekļa koncentrācijas atkarīgais līdzsvars $(\text{O}_2^{\text{His63,58}})_4\text{Hb}_R + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons 4\text{O}_{2\text{aqua-asins}} + (\text{H}^{\text{His63,58}})_4\text{Hb}_T$ novirzās pa labi desorbē skābekli izlietojot **atspoles oksī** hemoglobīna rezervē $(\text{O}_2^{\text{His63,58}})_4\text{Hb}_R$ (**Relaksēts** stāvoklis) noglabāto 459 reizes virs arteriālā daudzuma $[\text{O}_{2\text{aqua}}]=6 \cdot 10^{-5}\text{ M}$ litrā. Asinis sasniedzot zemāko **venoza** $[\text{O}_2]=1,85 \cdot 10^{-5}\text{ M}$ koncentrācijas līmeni nonāk **plaušās**. Katru desorbēto skābekli O_2 pie distālā histidīna aizvieto protons $\text{H}^{\text{His63,58}}$ **deoksi** hemoglobīnā $(\text{H}^{\text{His63,58}})_4\text{Hb}_T$ (**Tens saspringts** stāvoklis) un piesaista producēto bikarbonāta metabolītu HCO_3^- novēršot paskābināšanas efektu stabilizē $\text{pH}=7.36$ vērtību konstantu.

2) Krebsa cikla metabolītu $\text{CO}_{2\text{aqua}}$, **audos** endotermiski reakcijā ar ūdeni karbo anhidrāze virza līdzsvaru pa labi $\text{Q} + \text{CO}_{2\text{aqua}} + 2\text{H}_2\text{O} \xleftarrow{\text{CA}} \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^-$, producējot sārma rezervi, attiecību $1/2,0361=[\text{CO}_{2\text{aqua}}]/[\text{HCO}_3^-]$. Enzīms karbo anhidrāze (CA) novirza reakcijas līdzsvaru bikarbonāta virzienā novēršot oglekļa dioksīda akumulēšanos, atbilstoši Lešateljē dēļ augstas ūdens $[\text{H}_2\text{O}]$ koncentrācijas 55.3 M un zemas ūdeņraža jonu koncentrācijai $[\text{H}_3\text{O}^+]=10^{-7.36}\text{ M}$, enzīma CA konstantes $\text{pK}=7.0512$ vērtības kā tuva $\text{pH}=7,36$ vērtībai. Šūnu membrānu izolēta ārpusē cilvēka organismā nesatur CA enzīmu, tā pēc pH paskābinās par dažām kārtām stiprāka skāba vide $\text{pH}=5,5$ uz virsmas pietiekoša patvaļīgai izelpai $\text{Q} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}}$.

Mēs izsekosim pilnu procesa ciklu dodoties atpakaļ pie **venoza** asiņu satura, lai izprastu enzīmus: karbo anhidrāzi (CA) un **atspoles** molekulas hemoglobīna (mioglobīna) darbības mehānismu dzīvajos organismos.

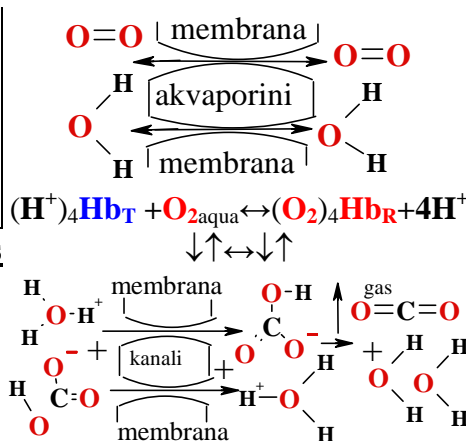
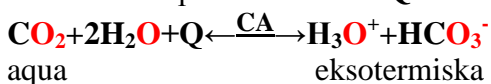
Pirmkārt, hemoglobīna molekulas ir **atspoles** ar skābekļa $[\text{O}_{2\text{aqua}}]=6 \cdot 10^{-5}\text{ M}$ koncentrācijas jūtīgo līdzsvaru **plaušās** $(\text{O}_2^{\text{His63,58}})_4\text{Hb}_R + 4\text{H}^+ \rightarrow 4\text{O}_{2\text{aqua-Blood}} + (\text{H}^{\text{His63,58}})_4\text{Hb}_T$ stabilizē arteriālo asiņu koncentrāciju, novēršot deficītu (hipoksiju) un oksidatīvu stresu, tā pēc ierobežo skābekļa koncentrāciju. **Atspole audos** desorbē skābekli aizvietojo ar protonu, tā pēc novērš acidozi un stabilizē $\text{pH}=7,36$. **Atspole plaušās** adsorbē skābekli no GAISA atbrīvojot protonu uz epitēlija šūnu virsmas uzturot $\text{pH}=5,5$ veicina ogļskābes sadalīšanos.

Otra, enzīma CA līdzsvars $\text{H}_2\text{O}/\text{CA}/\text{CO}_{2\text{aqua}}$ stabilizē $\text{pH}=7,36$ novēršot acidozi. Iztvaikošana: endotermiska $\Delta H_r = +54,5\text{ kJ/mol}$; $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{Q} \xleftarrow{\text{Membrane}} \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}} + \text{H}_2\text{O} \uparrow_{\text{gas}} + \Delta G_r = -82,1\text{ kJ/mol}$. eksoerģiska. Līdzsvars saglabā virsmas mitrumu H_2O izelpojot GAISĀ oglekļa dioksīdu $\text{CO}_2 \uparrow_{\text{gas}}$ un ūdens tvaikus $\text{H}_2\text{O} \uparrow_{\text{gas}}$. Membrānas ar mitriem protonu H^+ kanāliem ir caurlaidīgas, citādi sausi protonu H^+ kanāli ir necaurlaidīgi. Tā dēļ membrānas ir aprīkotas ar akvaporīniem, kuras ir ūdens un skābekļa $\text{O}=\text{O}$ caurlaidīgas abos virzienos: $\text{O}=\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ akvaporīna kanālu $\rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{O}=\text{O}$. **AQP1** caurlaidība cilvēka eritrocītos ir $3 \cdot 10^9$ molekulas sekundē.

Membrānas protonu caurlaidībai cauri protonu kanāliem, nepieciešams ūdens molekulu mitrums abās pusēs membrānai un akvaporīni ir ūdens H_2O molekulu piegādātāji, lai samitrinātu **alveolu plaušu** virsmu.

Šūnas iekšpusē-citosols

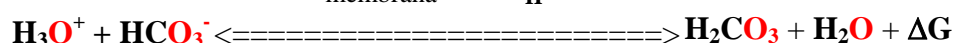
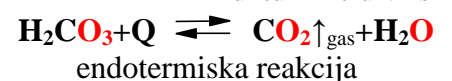
CA ar **ūdeni** patērē siltumu +Q



Brīvā enerģija mainās $\Delta G = -60\text{ kJ/mol}$ H_2CO_3 reakcijā eksoerģiski, negatīvi $\Delta G < 0$ veicinot spontānu - patvaļīgu neutralizācijas reakciju $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \Delta G$

alveolu virsma plaušās patērē

+Q siltumu izdalot **ūdeni** + H_2O un uztur mitru virsmu



Cilvēka asiņu pH=7,36 Hendersona Haselbalha CA vienādojums homeostāzē

CA Galvenā bufera sistēma lietojot hemoglobīna **atspoli** stabilizē pH=7,36 un arteriālo līmeni $[O_{2\text{aqua}}]=6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$:
deoksi hemoglobīns $(H^+His_{63,58})_4Hb_T$ T saspringts \rightleftharpoons **oksi** hemoglobīns $(O_2His_{63,58})_4Hb_R$ Relaksēts $+4H^+$.

Karbo anhidrāze (CA) virza – bikarbonāta $2H_2O^{/CA}/CO_{2\text{aqua}} / H_3O^+ + HCO_3^-$ bufera sistēmu

Organisms noglabā H^+ un HCO_3^- kā Krebsa cikla produktu-metabolītu oglekļa dioksīdu, ja CA producē bufera sistēmas skābes formas $CO_{2\text{aqua}}$ un H_3O^+ . Šī iemesla dēļ skābes formas jātransportē ārā no organisma uz **plaušām** ar diviem metabolītiem cauri membrānu protonu kanāliem H^+ un cauri HCO_3^- bikarbonāta kanāliem: ar **deoksi** hemoglobīna **atspoli** $4O_{2\text{aqua}} + (H^+His_{63,58})_4Hb_T \rightleftharpoons (O_2His_{63,58})_4Hb_R + 4H^+$ satverot protonu distālā histidīnā $(H^+His_{63,58})_4Hb_T$ un sāls tiltnā piesaistot bikarbonātu $HCO_3^- \dots H_3^+N^-$. Efektīvs skābes formu regulēšanai organismā ir izelpot $CO_2 \uparrow_{\text{gas}}$, kas stabilizē asiņu pH=7.36. Tā ir vielmaiņa ar skābekļa O_2 ieelpošanu un oglekļa dioksīda CO_2 izelpošanas **plaušās**.

Karbo anhidrāze CA ātri pārvērš $CO_{2\text{aqua}}$ bikarbonāta anjonā HCO_3^- ūdens vidē un nostabilizē skābes-bāzes $Q + CO_{2\text{aqua}} + 2H_2O \xleftarrow{CA} H_3O^+ + HCO_3^-$ endotermisko līdzsvaru pH=7,36 producējot labās puses reakcijas produktus $H_3O^+ + HCO_3^-$ patērējot siltumu. Tā kā sildīšana $+Q$ nobīda līdzsvaru pa labi un tūlīt H^+ koncentrācija palielinās jo Krebsa cikla produkts $CO_{2\text{aqua}}$ veido divus H_3O^+ un HCO_3^- . Elpojot karbo anhidrāzes CA līdzsvars ir novirzīts pa kreisi, jo CO_2 iztvaiko patērējot H^+ un HCO_3^- **plaušās** un skābes koncentrācija $[H^+]$ stabilizējas kā nemainīga homeostāzes vērtība pH=7.36. Ja koncentrācija H^+ samazinās, t.i. pH>7.36 **karbo anhidrāzes** CA līdzsvars novirzās pa labi un palielinātais HCO_3^- daudzums cauri **nierēm** nokļūst urīnā un transportējas ārā, tā kā pH stabilizējas homeostāzes pH=7.36 līmenī atbilstoši Lešateljē teorēmai.

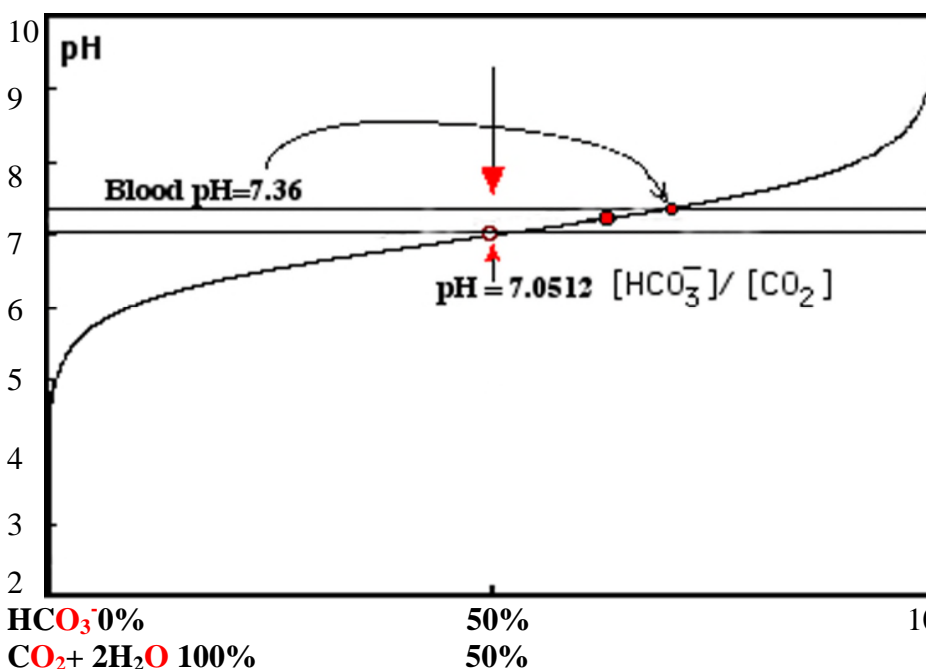
Brensteda skābe ir $CO_{2\text{aqua}}$ ūdens šķīdums asinīs, kurš izšķīdis ūdenī H_2O (asinīs) oglekļa dioksīds $CO_{2\text{aqua}}$ radies kā metabolīts šūnās ar **karbo anhidrāzi** CA pārvēršas par H^+ un HCO_3^- . Ūdens H_2O un oglekļa dioksīds $CO_{2\text{aqua}}$ ir skābe tiešā līdzsvarā ar bikarbonāta bāzi HCO_3^- un skābes jonu H_3O^+ .

Karbo anhidrāzes līdzsvara konstante $pK=7.0512$ pazemina skābes formas $CO_{2\text{aqua}}$ koncentrāciju ūdenī H_2O novēršot $CO_{2\text{aqua}}$ uzkrāšanos. CA iesaista bikarbonātu HCO_3^- un ūdeņraža jonus H^+ asins pH veidošanai atbilstoši bufera šķīduma līdzsvara

Hendersona-Haselbalha vienādojumam: $7.36 = pH = pK + \log \left(\frac{[HCO_3^-]}{[CO_{2\text{aqua}}]} \right) = 7.0512 + \log \left(\frac{[HCO_3^-]}{[CO_{2\text{aqua}}]} \right)$;

$\frac{[HCO_3^-]}{[CO_{2\text{aqua}}]} = 10^{(pH-pK)} = 10^{(7.36-7.0512)} = 10^{0.3088} = \frac{2.0361}{1}$ sārna rezerves attiecība $[HCO_3^-]/[CO_{2\text{aqua}}]$ ir 2/1.

Literatūrā dots CO_2 daudzums, bet ja 1 mols CO_2 veido 1 molu $H_2O^{/CA}/CO_{2\text{aqua}}$, tas ir tas pats ūdens šķīdumā.



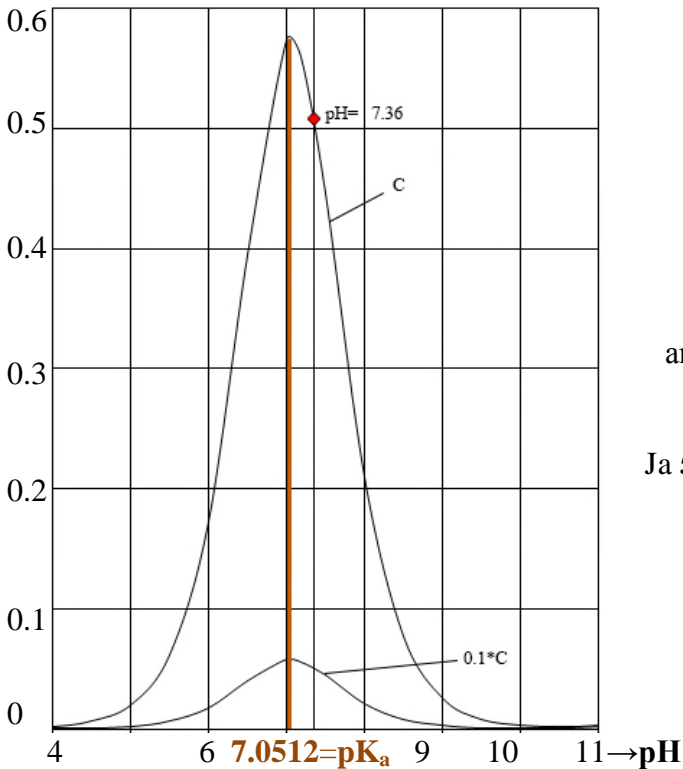
Bufera vidus punkta reģions ir pārliekuma punkts grafikā ○: $pH = pK_a = 7.0512$; $[HCO_3^-]/[CO_2] = 1$ ja vienādas ir bufera komponentu koncentrācijas $[HCO_3^-] = [CO_2]$ tā kā bikarbonāta (sāls) $[HCO_3^-]$ koncentrācija ir vienāda ar Brensteda vājās skābes asinīs izšķīdinātai CO_2 koncentrācijai $[CO_2]$. Sārma rezerve pie 7.36 = pH ir **normāla**

attiecība $\frac{[HCO_3^-]}{[CO_{2\text{aqua}}]} = \frac{2.0361}{1}$.

100% sāls – bufera sistēmas bāze
0% vāja skābe bufera komponente

Tiklīdz H^+ koncentrācija palielinās, karbo anhidrāzes CA līdzsvars novirzās pa kreisi un cauri kanāliem H^+ ar HCO_3^- transportējot CO_2 izelpojas no **plaušām** GAISĀ. Tā skābes koncentrācija $[H^+]$ stabilizējas. Samazinoties koncentrācijai H^+ karbo anhidrāzes līdzsvars novirzās pa labi un papildus daudzums HCO_3^- cauri **nierēm** nonāk urīnā izvadīts no organisma. Bikarbonāta kanāli **nieru** šūnās atveras pie palielinātām $pH > 7.36$ vērtībām asins cirkulācijas pusē, bet **plaušās** transporta kanāli joniem H^+ un HCO_3^- atveras pie zemākām $pH < 7.36$ vērtībām.

β , ekv.mol/L bufera kapacitāte



Karbo anhidrāzes lieluma $pK=7.0512$ līdzsvara konstante

ir tuva asins $pH=7.36$ vērtībai. Krebsa cikla metabolisma produkts $CO_{2\text{aqua}}$ ir skābs. Sārma rezervi organismos veido bikarbonāts HCO_3^- . Koncentrāciju attiecība starp HCO_3^- un $CO_{2\text{aqua}}$ ir **2/1** fizioloģiskās homeostāzes pH lielums asinīs ir 7.36.

Sārma rezervi $2.036/1=[HCO_3^-]/[CO_{2\text{aqua}}]$ ar asins $pH=7.36$ analizē ar sērskābi H_2SO_4 pievienojot **100 mL** asins paraugam reaģē ar HCO_3^- sāli un $CO_{2\text{aqua}}$ tiek atbrīvota.

Ja **56.23 mL (50-60 mL)** gāzes CO_2 atbrīvojas no **100 mL** asins parauga, sārma rezerve homeostāzē ir **normāla** un kopējā sārma rezerves daudzuma koncentrāciju summa

$0.023M = [HCO_3^-] + [CO_{2\text{aqua}}]$ ir **normāla** kā $[HCO_3^-] = 0.0154 M$ un $[CO_{2\text{aqua}}] = 0.0076M$.

Divu veidu slimības sastopamas, ja skābes-bāzes līdzsvars organismā izjaukts alkaloze un acidoze.

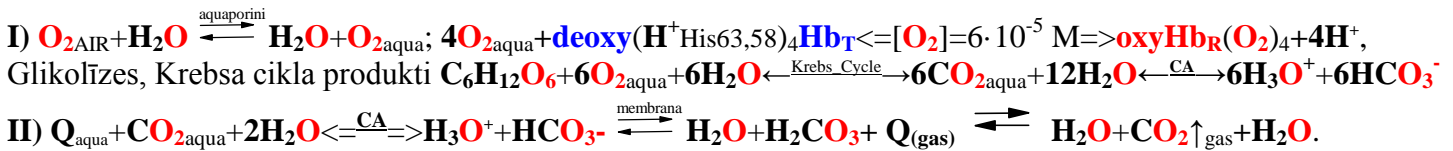
1) Respiratorā alkaloze norisinās **plaušās** ar hiperventilāciju, piemēram, anestēzijas laikā. Ja $CO_{2\text{aqua}}$ koncentrācija samazinās $pH > 7.36$ alkaloze dēļ hiperventilācijas, asins vadi paplašinās un to tonuss pazeminās, kā rezultātā O_2 piegāde smadzenēm samazinās.

Šī iemesla dēļ nepieciešams lietot AIR maisījumu O_2 un CO_2 anestēzijas laikā tīra skābekļa vietā. Ja respiratorā alkaloze notiek citu iemeslu dēļ, tad hiper ventilācija **plaušās** attiecība **2/1** bufera komponentēm var atjaunot ilgākā periodā ieelpojot normālu, CO_2 -saturu GAISU 350 ppm (miljonās daļas).

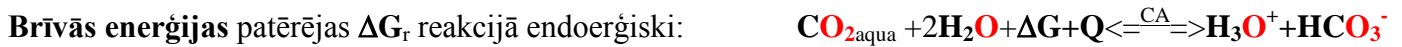
2) Respiratorā acidoze norisinās gadījumā, kad koncentrācija CO_2 GAISĀ palielinās. Tā rezultātā ka ieelpošanas darbības muskuļiem kļūst grūtāk. To var novērst, ja pacients sāk elpot normālu GAISU. Tomēr, ja CO_2 satura palielināšanās GAISĀ ilgst ilgāk metaboliska acidoze notiek $pH < 7.36$. Metaboliskās acidozes gadījumā hemoglobīna rezerves izsīkst, skābekļa koncentrācija samazinās zem venozām $[O_2] = 1,85 \cdot 10^{-5} M$.

Tā pēc vienīgi oglekļa dioksīda $CO_{2\text{aqua}}$ koncentrācija ūdenī H_2O (izvairoties no ogļskābes H_2CO_3 veidošanās) un bikarbonāta HCO_3^- un ūdeņraža joni H^+ iekļauti pH līdzsvara vienādojumā.

Te ir divas līdzsvaru virknes, kuras virza enzīmu **CA** un **atspoles** hemoglobīna vadītas virknes reakcijas



II) **procesa pirmā virknes** reakcija enzīma karbo anhidrāzes **CA** virzīts līdzsvars:



Entalpija siltums patērējas ΔH_r reakcijā endotermiski: $\Delta H_r = \Delta H^\circ_{H_3O} - \Delta H^\circ_{HCO_3} - 2\Delta H^\circ_{H_2O} - \Delta H^\circ_{CO_2} = 9,7576 \text{ kJ/mol}$
 $= -285,81 - 689,93 - (2 \cdot -285,85 - 413,7076) = -975,74 + 985,3276 = 9,7576 \text{ kJ/mol}$ endotermiski

Endotermiska reakcija nepieciešama siltuma pievadīšana, lai virzītu reakciju uz priekšu.

Entropijas samazināšanās $\Delta S_r < 0$ negatīva kā enzīma karbo anhidrāzes **CA** virzīta reakcija:

$\Delta S_r = \Delta S^\circ_{H_3O} + \Delta S^\circ_{HCO_3} - 2\Delta S^\circ_{H_2O} - \Delta S^\circ_{CO_2} = -3.854 + 98.324 - (2 \cdot 69.956 + 117.57) = 94.47 - 257.482 = -163.0134 \text{ J/mol/K}$.

$\Delta G_r = \Delta H_r - T \cdot \Delta S_r = 9,7576 - (298,15 \cdot -0,1630134) = 58,36 \text{ kJ/mol}$ endoerģiski akumulē brīvo enerģiju produktos.

CA virzīta izkļiedētās enerģijas samazināšana. $\Delta S_{izkļiedēta} = -\Delta H_r / T = -9.5876 / 298.15 = -32.727 \text{ J/K/mol}$.

$\Delta S_{kopēja} = \Delta S_r + \Delta S_{izkļiedēta} = -163,0134 - 32,7271 = -195,7405 \text{ J/K/mol}$. $T \cdot \Delta S_{kopēja} = -0,1957405 \cdot 298,15 = -58,36 \text{ kJ/mol}$

$\Delta G_r = \Delta G^\circ_{H_3O} + \Delta G^\circ_{HCO_3} - 2\Delta G^\circ_{H_2O} - \Delta G^\circ_{CO_2} = -213,275 - 586,94 - (2 \cdot -237,19 - 385,98) = +60,145 \text{ kJ/mol}$ endoerģiska.

Karbo anhidrāzes līdzsvara konstantes vērtība $K_{eq} = 10^{-7.0512}$ vai kāpinātājs $pK_{eq} = 7,0512$ ir konstants un ļoti tuva **pH** vērtībai 7,36. Ūdens koncentrācija $[H_2O] = 55.3 \text{ M}$ ir konstanta tā pēc iekļauta lielumā K_{eq} .

$K_{eq} = K \cdot [H_2O]^2 = 10^{-10.224} \cdot (997,07/18,0153)^2 = 10^{-7.0512} \text{ M} = 10^{-pK_{eq}}$ kāpinātāja vērtība ir $pK_{eq} = 7.0512$.

II) **procesa pirmo virknes** reakciju virza enzīms **CA** $CO_{2aqua} + 2H_2O \xrightleftharpoons{\text{CA}} H_3O^+ + HCO_3^-$

$10^{-7.0512} = K_{eq} = [H_3O^+] \cdot [HCO_3^-] / [CO_{2aqua}] \cdot [H_2O]^2$, jo $K = [H_3O^+] \cdot [HCO_3^-] / ([CO_{2aqua}] \cdot [H_2O]^2) = 10^{-10.224}$

$\Delta G = -RT \ln(K) = -8.3144 \cdot 298.15 \cdot \ln(1 \cdot 10^{-10.224}) = +60.145 \text{ kJ/mol}$, kur $R = 8,3144 \text{ J/mol/K}$ un $T = 310,15 \text{ K}$ (25°C).

$K_{eq} = \text{EXP}(-\Delta G_r / RT) \cdot [H_2O]^2 = (10^{-10.5372}) \cdot [H_2O]^2 = (10^{-10.5372}) \cdot (997,07/18,0153)^2 = 10^{-7.0512} = 10^{-pK_{eq}}$

II) **procesa otras virknes** reakcijas koncentrācijas gradienta ar elektroķīmisko membrānas potenciālu bikarbonāta jonam HCO_3^- un protona gradientam 1. H^+ $E_H = P \cdot \lg([10^{-pH_{\text{extraMit}}}] / [10^{-pH_{\text{Mitochon}}}] = 0,06154 \cdot \lg(10^2,36) = 0,14523 \text{ V}$

2. $E_{HCO_3^- \text{ Mitochon}} = -P \cdot \lg([HCO_3^-]_{\text{cytosole}} / [HCO_3^-]_{\text{Mitochon}}) = -0,06154 \cdot \lg(0,0154 / 0,0338919) = 0,0210821 \text{ V}$

$E_{\text{sumā}} = 0,14523 + 0,0210821 = 0,1663168 \text{ V} = E_{\text{membrāna}}$; $\Delta G_F = nFE = -1 \cdot 96485 \cdot 0,1663168 = -16,0471 \text{ kJ/mol}$

3. $\Delta G_{HCO_3^-} = -RT \ln([HCO_3^-]_{\text{cytosol}} / [HCO_3^-]_{\text{Mitoch}}) = 8,3144 \cdot 310,15 \cdot \lg(0,0154 / 0,0338919) = -2,0341094 \text{ kJ/mol}$

4. $\Delta G_{H^+} = -RT \ln([H_3O^+]_{\text{extraMit}} / [H_3O^+]_{\text{Mitochon}}) = -RT \ln(10^{-7,36} / 10^{-5}) = -8,3144 \cdot 310,15 \cdot \ln(10^{2,36}) = -23,3943 \text{ kJ/mol}$

Kopēja $\Delta G_{\text{kopēja}} = \Delta G_F + (\Delta G_{HCO_3^-} + \Delta G_{H^+}) = -16,0471 + (-2,0341094) + (-23,3943) = -41,4755 \text{ kJ/mol}$ eksoerģiska.

II) **procesa trešā virknes** ogļskābes veidošanās reakcija: $H_3O^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2O + H_2CO_3 + Q$ eksotermiska.

$\Delta H_r = \Delta H^\circ_{H_2O} + \Delta H^\circ_{H_2CO_3} - \Delta H^\circ_{H_3O} - \Delta H^\circ_{HCO_3} = -285.85 - 699,65 - (-285.81 - 689.93) = -985.5 + 975.74 = -9.76 \text{ kJ/mol}$

$\Delta S_r = \Delta S^\circ_{H_2O} + \Delta S^\circ_{H_2CO_3} - \Delta S^\circ_{H_3O} - \Delta S^\circ_{HCO_3} = 69.956 + 187 - (-3.854 + 98.324) = 256.956 - 94.47 = +162,486 \text{ J/mol/K} \dots$

$\Delta S_{izkļiedēta} = -\Delta H_r / T = +9.76 / 298.15 = +32.735 \text{ J/K/mol} \dots$

$\Delta G_r = \Delta H_r - T \cdot \Delta S_r = -9.76 - 298.15 \cdot 0.129751 = -38.695 \text{ kJ/mol}$ eksoerģiska reakcija ir virzīta ar koncentrācijas gradientiem cauri protonu un bikarbonāta kanāliem membrānās.

$\Delta G = \Delta G^\circ_{H_2O} + \Delta G^\circ_{H_2CO_3} - \Delta G^\circ_{H_3O} - \Delta G^\circ_{HCO_3} = -237.19 - 623.17 - (-213.275 - 586.94) = -860.36 + 800.215 = -60.145 \text{ kJ/mol}$.

$\Delta S_{\text{kopēja}} = \Delta S_r + \Delta S_{izkļiedēta} = +32.735 + 162,486 = 129.751 \text{ J/K/mol} \dots$

II) **procesa ceturta virknes** reakcija ne-enzimātiska sadalīšanās $H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 \uparrow_{gas} + H_2O$;

$\Delta G = \Delta G^\circ_{H_2O} + \Delta G^\circ_{CO_2} - \Delta G^\circ_{H_2CO_3} = -237.19 - 385.98 - 623.17 = -623.17 + 623.17 = -0.0 \text{ kJ/mol}$ ir anenerģiska - neitrāla.

Ogļskābes sadalīšanās reakcijas entalpijas izmaiņa $Q + H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 \uparrow_{gas} + H_2O$ endotermiska

Substance	$\Delta H^\circ_r, \text{ kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_r, \text{ J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_r, \text{ kJ/mol}$
H_3O^+	-285.81	-3.854	-213,275
HCO_3^-	-689.93	98.324	-586,94
$H_2O \uparrow_{gas}$	-241,8352	188,7402	
H_2O	-285.85	69.9565	-237,191
$CO_2 \uparrow_{gas}$	-393.509	213.74	-394,359
CO_{2aqua}	-413.7976	117.5704	-385,98
H_2CO_3	-699,65	187.00	-623,17

$\Delta H = \Delta H^\circ_{H_2O} + \Delta H^\circ_{CO_2} - \Delta H^\circ_{H_2CO_3} = +20.291 \text{ kJ/mol}$
 $= -286 - 393.509 - (-699.65) = -679.509 + 699.65 = +20.291 \text{ kJ/mol}$
 ar dzesēšanas efektu.

$\Delta S_{izkļiedēta} = -\Delta H_r / T = -20.291 / 298.15 = -68.056 \text{ J/K/mol} \dots$

$\Delta S_r = \Delta S^\circ_{H_2O} + \Delta S^\circ_{CO_2} - \Delta S^\circ_{H_2CO_3} = +96,696 \text{ J/mol/K} \dots$
 $= 69.956 + 213,74 - (187.) = 257.482 - 94.47 = +96,696 \text{ J/mol/K} \dots$

$T \cdot \Delta S_{\text{kopēja}} = 28,64 \text{ J/mol} \cdot 298,15 \text{ K} = +8.539 \text{ kJ/mol}$

saistītā $T \Delta S_n \leftarrow$ zaudētā brīvā enerģija $\Delta G_{\text{pretreakcija}} \leftarrow \dots$

endotermiska ΔH° reakcija $= +20,291 \text{ kJ/mol}$; dzesējoša $Q = -20,291 \text{ kJ/mol}$ patvaļīga ΔG° reakcija $= -8,539 \text{ kJ/mol}$.