

# Hingamine

## Hingamisprotsessi üldisloomustus

Nagu varem öeldud, hingamine on oma olemuselt fotosünteesi pöördreaktsioon, aga seda mitte energeetilises, reaktsiooni tasakaalu mõttes, vaid ainult produktide ja substraatide vahetuse mõttes. Hingamise biokeemiline rada on siiski täielikult testsugune kui fotosünteesi oma. Hingamise üldvalem oleks

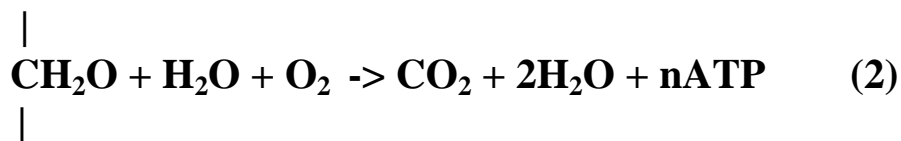


olles paardunud ATP sünteesi reaktsiooniga



kus  $n$  tähistab sünteesitud ATP arvu.

Nii nagu fotosünteesigi puhul, ka hingamise puhul on tegu nelja elektroni liikumisega  $\text{CH}_2\text{O}$  ühikult hapnikule, sest tegelikult tuleb pika ahelaga süsinikühend hüdrolüüsida, haarates keskkonnast vett.



Valemi 2 vasakpoolne osa on C-ahela hüdrolüüsil toimuv vee neeldumine, milles energeetilist efekti praktiliselt ei ole ja see O läheb  $\text{CO}_2$  koosseisu, paremal pool tekib  $2\text{H}_2\text{O}$  aga on pärit hapnikust ja annab energeetilise efekti. |

**Seega, suhkru ühe C-ühiku oksüdeerimisel vabaneb 4 elektroni energia, mis kanduvad üle  $\text{O}_2$  -le, moodustades vee. Suhkru koosseisust otse võetakse kaks elektroni, kaks aga hüdrolüüsi veest.**

Piltlikult on elektronide orbitaalid  $\text{HCOH} + \text{O}_2$  seisundis kokkuvõttes tuumadest kaugemal kui  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  seisundis, potentsiaalide vahe on  $-0.43 - (+0.82) = -1.25 \text{ V}$ .

## Hingamise biokeemia alajaotused.

Fotosünteesiprotsessi võis vaadelda kolmes osas, 1) valgusreaktsioonid ja elektrontransport, 2) kolmesüsinikuliste fosfaatestrite (trioosfosfaatide) sünteesi Calvini tsükkel ja 4) glükoosi ja sahharoosi süntees trioosfosfaatidest. Hingamisprotsessi võib samuti vaadelda sümmeetriliselt fotosünteesiga: 1) sahharoosi (glükoosi) degradeerimine kolmesüsinikuliste ühenditeni, 2) kolmesüsinikuliste ühendite oksüdeerimine  $\text{CO}_2$  ni ja 3) eraldunud elektronide ülekandmine  $\text{O}_2$  le, koos sellega paardunud  $\text{H}^+$  transpordi ja ATP sünteesiga. Biokeemiliselt need protsessid oleksid vastavalt glükolüüs, Krebse tsükli

oksidatsiooni tsükkel ja mitokondriaalne elektrontranspordiahel. Järgnevas vaatlemegi neid järjekorras.

### **Glükolüüs**

Nii nagu sahharoosi süntees, nii ka glükolüüs toimub tsütoplasmas, mitte mitokondris (vt. Slaid). Glükolüüsi käigus poolitatakse 6-süsinikuline molekul. Molekuli poolitamiseks on vaja luua tugev tõukejõud äärmiste C-de vahel, milleks need tuleb fosforüülida, kulutades selleks 2 ATP-d. Et see oleks võimalik tuleb paadikujuline glükoos enne viia lineaarse fruktoosi kujule. Niisiis algab glükolüüs ATP tarbimise, mitte selle sünteesiga. Kahest otsast fosforüülitud fruktoos (bisfosfaat) laguneb vastava heksokinaasi (ensüümi nimi tuleneb pöördreaktsioonist!) toimel kaheks triosfosfaadiks. Viimased oksüdeeritakse, viies kummaltki 2 e<sup>-</sup> üle NADP<sup>+</sup> le, NADH moodustumiseks. See on keeruline reaktsioon, mille käigus toimub ka substraatne fosforüülimine. Nimelt seotakse reaktsiooni alguses fosfaadijääk ensüümiga, kust see koos elektroni ülekandega NAD<sup>+</sup> le kantakse üle triosfosfaadile, seda nüüd kahekordselt fosforüülides. Pange tähele, et siin elektroni ülekandel vabanevat energiat kasutatakse ATP sünteesiks otseselt, ilma membraani ja prootongradiendi vahendusega. Bisfosfoglutseerhappe aga on sedavõrd tugeva sisemise pinge all, et fosfaatrühm võib üle kanduda ADP-le, jättes järele 3-fosfoglutseerhappe (3-PGA). Sellega oleme raja alguses kulutatud ATP tagasi saanud, aga on järel veel kaks monofosfaati (3-PGA). See aine ise pole ATP substraateks fosforüülimiseks võimeline, kuid selle enoolvorm on. Seega, nüüd viiakse fosfaatrühm üle molekuli keskele (3-PGA +> 2-PGA) ja viimane keeratakse enoolvormi, moodustades fosfoenoolpüruvaadi (PEP). Viimase defosforüülimisel vabaneb sedavõrd palju energiat (produkt püruvaat on kompakne ühend), et fosfaat saab ADP le üle kanduda, andes nüüd kummagi trioosi kohta ühe ATP puhaskasuks. Seega on glükolüüsi lõpptulemus ühe glükoosi (6 C) kohta 2 ATP ja 2 NADH.

Tekkinud püruvaat võib anaeroobses olukorras metaboliseeruda kas piimhappeks või alkoholiks (vt. Slaid).

Hapniku kui NADH oksüdeerija olemasolu korral kantakse elektronid sellele, moodustades vee ja aidates kaasa suurema hulga ATP sünteesile, koos Krebsi tsüklist vabaneva NADH ga.

### **Püruvaadi oksüdeerimine: Krebsi tsükkel**

Nii nagu fotosünteesis käis trioside süntees CO<sub>2</sub>-st Calvini tsükli abil, nii käib ka hingamises 3-C happe oksüdeerimine tsükli abil, nii et vähem kui 4-C ühendit kunagi ei teki. Tsükkel ise on aga täiesti erinev Calvin tsüklist.

Calvini tsükkel oli iseregenereeruv, st. tsükli vaheproduktid tekkisid tsükli enese töö tulemusena ja väljastpoolt (peaaegu) tsükklisse metaboliite juurde ei toodud. Ära viidi aga ainult tekkinud triosfosfaadid. Krebsi tsükkel, vastupidi on tihedas seoses raku metabolismiga ja peaaegu iga vaheprodukt võib tsüklist väljuda ning saada mingi sünteesiraja algsubstraadiks (Slaid). Nende ainete transportimiseks läbi mitokondri membraani tsütosooli on aga mitokondri sisemembraanis rida vastavaid transportereid. Olles niimoodi tugevasti seotud väliste sünteesiradadega, sõltub Krebsi tsükli töökiirus

tugevasti mitte ainult raku ATP nõudlusest, vaid ka vastavate sünteesiradade aktiivsusest, mis vaheprodukte tsüklis välja viivad.