

Hiilihydraatit



Hiilihydraatit eli sokerit, tärkkelys ja kuidut ovat rasvojen ja proteiinien ohella yksi kolmesta perusravintoaineesta. Hiilihydraatteja ei yleisesti pidetä välttämättömänä ravintoaineena, koska elimistö osaa glukoneogeesissä muodostaa glukoosia ja ketoaineita ravinnosta saaduista proteiineista ja rasvoista sekä kehoon vararastoituneista rasvoista ja proteiineista.

Hiilihydraatit koostuvat hiilestä, vedystä ja hapesta ja tuottavat energiaa elimistön tarpeisiin. Grammasta hiilihydraatteja saadaan energiaa noin 4 kcal eli 17 kilojoulea.

Hiilihydraatit

Hiilihydraatit luokitellaan ravintomerkityksen perusteella kolmeen pääryhmään: sokerit, tärkkelykset ja kuituaineet, kuten selluloosa. Hiilihydraatit ryhmitellään lisäksi sokeriyksiköiden lukumäärän mukaan monosakkarideihin, disakkarideihin, oligosakkarideihin ja polysakkarideihin. Tavallisimpia monosakkarideja ovat glukoosi, fruktoosi ja riboosi.

Hiilihydraatit ovat elimistömme pääasiallinen ravinnonlähde. Niistä elimistö vapauttaa energiaa nopeasti kasvuun, lihastyöhön, lämmön ylläpitämiseen, aineenvaihduntaan sekä hermoston ja elinten toimintaan.

Glukoosi

Elimistön kannalta tärkein sokeri on glukoosi, joka on aivojen yksinomainen energianlähde. Glukoosi varastoituu elimistössä glykogeeniksi maksa- ja lihassoluihin. Elimistö pystyy tarvittaessa valmistamaan glukoosia maksassa ja munuaisissa maitohaposta, aminohapoista ja rasvojen glyseroliosasta. Tätä prosessia kutsutaan glukoneogeneesiksi ja se varmistaa sen, että mm. hermosoluilla on aina käytössään riittävästi glukoosia energiantuotantoa varten.

Rasvahapoista elimistö voi valmistaa ketoaineita, joita aivot ja sydänlihas voivat käyttää energianlähteenä.

Hiilihydraatteja pilkkovia entsyymejä on elimistössä useita. Ihminen pystyy käyttämään hyväkseen tärkkelystä ja sokereita, mutta ei selluloosaa, sillä ihmiseltä puuttuvat sen hajotukseen tarvittavat entsyymit.

Amylaasi, laktaasi, sakkaraasi

Suussa tärkkelyksen hydrolyysin aloittaa syljen amylaasi, jota on vain suurten sylkirauhasten erittämässä seroosissa

syljessä. Tärkkelyksen pilkkominen maltoosiksi jatkuu pohjukaissuolessa, jossa on haiman erittämää amylaasia.

Myös ohutsuolen seinämästä erittyy hiilihydraatteja pilkkovia entsyymejä, jotka ovat disakkaridaaseja. Maltoosia pilkkoo maltaasi kahdeksi glukoosimolekyyliseksi. Laktoosia pilkkoo laktaasi glukoosiksi ja galaktoosiksi. Sakkaraasi puolestaan pilkkoo sakkaroosia glukoosiksi ja fruktoosiksi. Nämä monosakkaridit siirtyvät ohutsuolen seinämän läpi verenkiertoon.

Glykokeenin pilkkoutumisen saa maksassa aikaan glukagoni ja lihaksessa adrenaliini. Hydrolyysin sijaan glykokeeni pilkkoutuu fosforolyttisesti, eli glukoosiyksiköiden väliin sitoutuu vesimolekyylin sijasta fosforihappo. Näin saadaan glukoosi-1-fosfaattia, joka voidaan syöttää glykolyysiin.

Sokerit

Sokerit ovat hiilihydraatteja, joiden molekyylit koostuvat yhdestä (monosakkaridit) tai kahdesta (disakkaridit) sokeriyksiköstä.

Tavallisimmat monosakkaridit ovat glukoosi eli rypälesokeri ja hedelmänsokeri eli fruktoosi. Yleensä sokereilla viitataan ruoko- eli pöytänsokeriin (sakkaroosi), joka on glukoosista ja fruktoosista koostuva disakkaridi.

Glukoosissa ja galaktoosissa on rengasmuodossa hiilirenkaassa viisi hiiliatomia ja yksi happiatomi eli ne ovat pyranooseja. Fruktoosi sen sijaan esiintyy furanoosina ja sen rengasrakenne koostuu neljästä hiiliatomista ja yhdestä happiatomista. Verenkierrrossa glukoosi on solujen polttoaine ja tärkein elimistön energianlähteistä. Haiman tuottama insuliini säätelee glukoosin pitoisuutta veressä ohjaamalla sitä soluihin.

Glukoosia saadaan mm. hiilihydraateista, tärkkelyksestä, marjoista, hedelmistä ja hunajasta. Maksa muuttaa fruktoosia

ja galaktoosia solujen energiantarvetta tyydyttäväksi glukoosiksi.

Monosakkaridit

Monosakkaridit ovat perussokereita, joissa on yksi sakkaridirengas, johon on liittynyt muita ryhmiä. Monosakkarideissa on viisi tai kuusi hiiliatomia. Viisi hiiliatomia sisältävät monosakkaridit ovat pentooseja ja kuusi hiiliatomia sisältävät monosakkaridit ovat heksooseja.

Pentooseja ovat riboosi ja deoksiriboosi, jotka ovat DNA:n ja RNA:n rakennusaineita. Heksooseista tärkeimmät ovat glukoosi (rypälesokeri), fruktoosi (hedelmäsokeri) ja galaktoosi.

Glukoosi on verenkierrrossa solujen energian tuotantoon käyttökelpoisessa muodossa. Sitä saadaan runsaasti mm. hedelmistä, marjoista ja hunajasta ja sen pitoisuutta veressä säätelee insuliini.

Fruktoosia on marjoissa, kasviksissa ja hunajassa. Sekä galaktoosia että fruktoosia muutetaan maksassa glukoosiksi ja siksi ne imeytyvät hitaammin.

Disakkaridit

Disakkaridit ovat kahdesta monosakkaridista eli yksinkertaisesta sokerimolekyylistä muodostuneita hiilihydraatteja. Disakkaridit hajoavat ruoansulatuksessa entsyymien vaikutuksesta monosakkarideiksi, jotka imeytyvät suolen seinän läpi. Tärkeimmät disakkaridit ovat sakkaroosi (ruokosokeri), maltoosi (mallassokeri), laktoosi (maitosokeri) ja trehaloosi (sienisokeri).

Sakkaroosi muodostuu glukoosista ja fruktoosista. Maltoosi (glukoosi+glukoosi) esiintyy maltaissa ja sitä saadaan mm. tärkkelyksestä. Laktoosia (glukoosi+galaktoosi) saadaan maitotuotteista.

Glukoosi

Glukoosi eli rypälesokeri on ihmiselle elintärkeä sokeri ja solujen tärkein polttoaine. Kaikki ravinnosta saatavat hiilihydraatit muutetaan glukoosiksi, joka imeytyy verenkiertoon ja varastoidaan tarpeen mukaan glykogeeniksi maksaan ja lihaksiin.

Kun glykogeenivarastot ovat täynnä, ylimääräinen glukoosi muutetaan maksassa ja rasvasoluissa edelleen triglyserideiksi, jotka varastoituvat rasvasoluihin ja maksaan. Glukoosi on aldooseihin kuuluva monosakkaridi, eli se sisältää aldehydiryhmän.

Glukoosi ja sen fosfaatit ovat tärkeitä energianlähteitä soluaineenvaihdunnassa, jossa glukoosi metaboloituu glykolyysissä ja sitruunahappokierrossa vedeksi ja hiilidioksidiksi, tuloksena adenosiinifosfaatti (ATP).

Galaktoosi

Galaktoosi on monosakkaridi, jota esiintyy monissa luonnontuotteissa. Sitä vapautuu myös lehtikasvien fotosynteesissä. Laktoosi on galaktoosista ja glukoosista muodostunut disakkaridi. Galaktosemiaa sairastavilla galaktoosi ei hajoa elimistössä, minkä seurauksena sitä kertyy vereen, kudoksiin ja virtsaan, jolloin galaktoosin saanti voi johtaa hengenvaarallisiin oireisiin.

Laktoosi

Laktoosi eli maitosokeri on maidossa esiintyvä glukoosista ja galaktoosista muodostuva disakkaridi. Äidinmaidossa laktoosia on n. 7 % ja lehmänmaidossa 4,8 %. Laktoosin muodostumista tapahtuu maitorauhasen epiteelisoluissa, joissa laktoosi muodostetaan glukoosista Golgin laitteissa ja pakataan kuljetusvesikkeleihin, joiden avulla laktoosi siirretään solujen ulkopuolelle.

Laktaasi-entsyymi hajottaa laktoosin monosakkarideiksi, jolloin se voi imeytyä elimistöön. Laktaasin erityis kuitenkin lakkaa lapsella tavallisesti sen jälkeen kun lapsen rintaruokinta päättyy. Laktaasin erittymisen päättymisen jälkeen elimistö ei enää pilko laktoosia.

Pohjois-Euroopassa ja Lähi-Idässä syntynyt mutaatio on kuitenkin vaikuttanut siten, että laktaasin erityis ei lakkaa rintaruokinnan päättymisen jälkeen ja maitotuotteita voidaan käyttää ongelmitta ravinnoksi myös aikuisena. Mutaation syntyyn on vaikuttanut vuosituhansia jatkunut kajankasvatus ja lypsäminen.

Suomalaisista aikuisista laktaasientsyymien puutos on n. 17 prosentilta, eli heillä on laktoosi-intoleranssi. Tämä ilmenee siten, että maito ja maitotuotteet aiheuttavat ruoansulatuskanavan oireita, ilmavaivoja, turvotusta ja vatsakipuja.

Maltoosi

Maltoosi eli mallassokeri on disakkaridi, joka muodostuu kahdesta glukoosimolekyylistä. Maltoosia syntyy mm. tärkkelyksen hajotessa ruoansulatuskanavassa. Tärkkelyksen maltoosiksi hajottava entsyymi on amylaasi.

Amylaasi on ruoansulatuskanavassa esiintyvä tärkkelystä pilkkova entsyymi. Amylaasia erittävät sylkirauhaset ja haima. Haiman amylaasi erityy haiman eksokriinisessä osassa rauhasoluista haimanesteeseen, joka erittyy haimatiehyttä pitkin ohutsuolen alkuosaan eli duodenumiin.

Fruktoosi

Fruktoosi eli hedelmäsokeri on sokeri, jota esiintyy kaikissa hedelmissä ja hunajassa. Sitä käytetään makeutusaineena mm. siksi, että ihminen maistaa sen kaksi kertaa niin makeana kuin ruokosokerin.

Ruokosokerin pilkkoutuessa elimistössä syntyy fruktoosia ja glukoosia. Fruktoosi voi metabolisoitua ihmisillä ainoastaan maksassa. Ruoansulatukseen osallistuvista elimistä maksa rasittuu eniten juuri sokereista, ja etenkin nykyisin yleisesti makeuttamiseen käytettävästä [HFCS \(high fructose corn syrup\) fruktoosisiirapista](#).

Joissakin viimeaikaisissa tutkimuksissa hedelmäsokerin on todettu rajoittavan immuunijärjestelmää, järkyttävän elimistön kivennäisainetasapainoa, häiritsevän hedelmällisyyttä, nopeuttavan ikääntymistä, ja se on yhdistetty myös dementiaan, yliaktiivisuuteen ja ahdistuneisuuteen. Myös eräiden syöpien (rintasyöpä, munasarjasyöpä, eturauhassyöpä, peräsuolen syöpä, haimasyöpä, keuhkasyöpä, sappirakon syöpä ja vatsasyöpä) ja fruktoosin väliltä on löydetty korrelaatio. Lähde: Wikipedia

Proceedings of the National Academy of Sciences on julkaissut tutkimuksen, joka osoittaa fruktoosin aktivoivan haimaa siten, että insuliinin erityis kiihtyy. Tutkimuksessa havaittiin, että fruktoosi aktivoi haimasoluissa samoja proteiineja, jotka aistivat makean myös suussamme ja kiihdyttävän insuliinin eritystä glukoosia enemmän:

"Most sugars join the [metabolic assembly line] at a point where a supervisory enzyme can control the flow of goods. But fructose comes in farther down, where it can lead to an overproduction of fat. And because fructose ... doesn't stimulate the same insulin response that glucose does, the hormone isn't doing the other regulatory things it usually does, like moderating appetite."

Fruktoosi lisää insuliinin eritystä ja tämä aiheuttaa insuliiniresistenssia, joka voi johtaa aikuistyyppin diabetekseen. Fruktoosi rasittaa myös maksaa, koska maksa joutuu tuottamaan fruktoosista elimistölle polttoaineeksi kelpaavaa glukoosia. Verenkiertoon jääneen soluihin varastoitumattoman glukoosin maksa muuttaa triglyserideiksi

eli rasvasoluiksi, jolloin fruktoosi lisää elimien ympärille varastoituvan rasvan määrää, lihavuutta ja myös riskiä sairastua ei-alkoholista johtuvaan rasvamaksaan.

Glukoosi-fruktoosisiirappi (High Fructose Corn Syryp / HFCS)

Elintarviketeollisuus on korvannut luonnollisia sokereita edullisella nestemäisellä makeuttajalla, joka tunnetaan nimillä fruktoosisiirappi, isoglukoosi, glukoosi-fruktoosisiirappi ja maissisiirappi. Tämä HFCS eli High Fructose Corn Syryp kehitettiin Japanissa 1966 ja se tuli Yhdysvaltojen markkinoille 1975. Se on 20 % makeampaa ja noin kolme kertaa edullisempaa kuin sakkaroosi eli pöytäsookeri. maksalle ongelmallista makeuttajaa löytyy nykyisin lähes kaikista prosessoiduista elintarvikkeista. HFCS on hyvin ongelmallinen "sookeri" etenkin maksalle ja sitä pidetään yhtenä syypäänä mm. nykyisiin diabetes- ja ylipainoepidemioihin sekä alkoholisti riippumattoman rasvamaksan kehittymiseen.

FODMAP (Fermentable, Oligo-, Di-, Mono-Saccharides and Polyols)

FODMAPit, kuten sokereihin luokiteltavat fruktaani ja raffinoosi ovat paksusuolella fermentoituvia lyhytketjuisia hiilihydraatteja, jotka voivat aiheuttaa kipu- ja turvotusoireita henkilöille, joilla on ärtyvän suolen oireyhtymä. FODMAP-hiilihydraatteja sisältäviä ruoka-aineita ovat mm. palkokasvit, sipulikasvit ja kaalit sekä tuotteet, joissa on laktoosia, ksylitolia, sorbitolia, mannitolia tai maltitolia.

Tärkkelys

Tärkkelys on kasvien varastopolysakkaridi, vararavinto, jota kasvi valmistaa monosakkarideista fotosynteesissä. Tärkkelystä käytetään ruoanlaitossa usein suurustamiseen ja teollisuudessa liimojen, paperien, alkoholin, tekstiilien ja tärkein

valmistuksessa. Tärkkelys on monimutkainen haarautumaton amyloosi tai haarautunut amylopektiini, joka on glukoosiyksiköistä koostuva ketju. Suurin osa ruoasta saatavista hiilihydraateista on tärkkelystä. Sen tärkeimmät lähteet ovat perunat ja viljat. Tärkkelys on kylmään veteen liukenematon polysakkaridi.

Polysakkaridien, esimerkiksi tärkkelyksen pilkkomiseen elimistö käyttää monia ruoansulatusentsyymejä, kuten amylaasia.

Sokeriaineenvaihdunta ja insuliini

Insuliini on hormoni, joka säätelee sokeriaineenvaihduntaa elimistössä. Insuliinia tuottavat haiman Langerhansin saarekkeissa sijaitsevat beetasolut. Rakenteeltaan insuliini on monimutkainen aminohappoketju ja sen vastavaikuttajia ovat glukagoni ja adrenaliini.

Insuliini ohjaa insuliinireseptoreiden säätelemää glukoosin kulkua rasva- ja lihassolujen solukalvojen läpi. Insuliinireseptorit säätelevät glukoosin varastoitumista glykogeeneiksi ja rasvahapoiksi. Insuliinin eritystä haimasta lisäävät pohjukkaissuolen seinämistä verenkiertoon erittyvä GIP-hormoni, parasympaattinen hermosto ja glukagoni.

Sokeriaineenvaihdunnan sairaudet: diabetes

Diabetes (diabetes mellitus) on sokeriaineenvaihdunnan sairaus, joka aiemmin tunnettiin "sokeritautina". Nuoruustyyppin diabetes eli diabetes mellitus juvenalis on automimmuunisairaus, jossa elimistön omat puolustusmekanismit tuhoavat haiman Langerhansin saarekkeiden insuliinia tuottavat beetasolut ja haiman kyvyn erittää insuliinia.

Aikuistyyppin diabeteksessä (tyypin II diabetes) haima erittää insuliinia riittämättömästi samalla kun tämän vaikutukset soluissa ovat estyneet. Aikuistyyppin diabeteksen esiasteena pidetään metabolista oireyhtymää.

Diabeteksessa veren sokeripitoisuus kasvaa liian suureksi kun ravinnossa olevat hiilihydraatit hajoavat glukoosiksi (rypälesokeri) ja kulkeutuvat vereen. Normaaliloissa haiman Langerhansin saarekkeet erittävät insuliinia, joka ohjaa vereen glukoosin soluihin alentaen veren glukoosi- eli sokeripitoisuutta. Diabeteksessa glukoosin siirtyminen soluihin on heikentynyt joko riittämättömän insuliinintuotannon tai solujen insuliiniresistenssin vuoksi. Jatkuvasti koholla oleva verensokeri vahingoittaa kehon kudoksia, kuten silmiä, munuaisia, sydäntä ja verenkiertoa.

Kehon energiantuotanto: Kuinka hiilihydraatit tuottavat energiaa

Hiilihydraateista saadaan monia sokereita sekä tärkkelystä ja kuituja, jotka ovat sokerin varastomuotoja. Tavallinen pöytäsokeri muodostuu yhtäläisestä määrästä glukoosia ja fruktoosia.

Kuidut ja resistentti tärkkelys eivät ravitse ihmisen energiantarvetta, mutta ne ruokkivat suoliston hyviä bakteereita. Suolistobakteerit tuottavat aineenvaihduntajääminä mm. eräitä vitamiineja (K2, B12) sekä ruoansulatuskanavan, aineenvaihdunnan ja immuunijärjestelmän toimintaa stimuloivia kemiallisia yhdisteitä.

Hiilihydraateista pilkotut sokerit imeytyvät verenkiertoon ohutsuolessa. Glukoosi kohottaa verensokeria, johon haima reagoi erittämällä vereen insuliinia. Insuliini kiinnittyy solun pinnassa olevaan insuliinireseptoriin, jolloin solussa olevat sokerikanavat (kalvorakkulat) siirtyvät solukelmulle ja päästävät glukoosimolekyylin solun sisälle.

Solun solulimassa glukoosi osallistuu *glykolyysiin* eli reaktioiden sarjaan, jossa glukoosimolekyylä hajotetaan *pyruvaatiksi*. Glukoosi on solujen energiantuotannon lähtöaine.

Fruktoosin aineenvaihdunta tapahtuu maksassa, jossa se muutetaan rasvaksi. Hedelmistä saatava fruktoosi esiintyy terveellisenä kompleksina, johon sokereiden ohella on sitoutunut antioksidantteja, kuituja, mineraaleja ja vitamiineja.

Glykolyysi tuottaa energiaa ATP-molekyylien muodossa. Soluissa, joilla on käytettävissään happea, energiaa tuottava reaktio etenee glykolyysistä mitokondrioiden soluhengitykseen.

Haima ja haiman tehtävät aineenvaihdunnassa

Haima osallistuu ravintoaineiden aineenvaihduntaan erittämiensä ruoansulatusentsyymien sekä insuliinin ja glukagonin avulla.

Haima muodostuu kahdesta toiminnallisesti erilaisesta solukkotyypistä: avorauhas- ja umpirauhasosasta. Avorauhasosa tuottaa ruoansulatusentsyymejä, jotka pilkkovat kaikkia ravintoaineita (sokereita, rasvoja, proteiineja ja nukleiinihappoja).

Haiman erittämät ruoansulatusentsyymit ja niiden tehtävät

Amylaasi	pilkkoo sokereita
Peptidaasit	pilkkovat proteiineja
Lipaasit	pilkkovat rasvahappoja
Nukleaasit	pilkkovat nukleiinihappoja (DNA ja RNA)

Insuliini ja glukagoni säätelevät sokeriaineenvaihduntaa

Haiman umpirauhasosa tuottaa elintärkeitä hormoneja: *insuliinia* ja *glukagonia*. Useimmista kehon umpirauhasista poiketen glukagonin ja insuliinin eritystä säätelee veressä olevan sokerin määrä eikä aivojen hypotalamus.

Kun veren sokeripitoisuus on matala, haiman Alfa-solut

erittävät glukagonia, joka nostaa verensokeria purkamalla glykogeenejä.

Kun veren sokeripitoisuus on korkea, haiman Beta-solut erittävät insuliinia, joka kiinnittyessään solun insuliinireseptoriin, päästää sokerimolekyylin solun sisälle, jossa se osallistuu energiantuotantoon.

Glukagoni ja glykogeenit

Keho varastoi osan ravinnosta saaduista sokereista maksa- ja lihassoluihin glykogeeneinä (sokerin varastomuoto), joista energia on nopeasti purettavissa energiaa tuottavan glykolyysin ja soluhengityksen tarvitsemiksi lyhytketjuisiksi sokereiksi (glukoosi).

Kun haiman erittämä glukagoni kiinnittyy maksa- tai lihassolun pinnalla olevaan reseptoriinsa, sokerin pitkäketjuiset varastomolekyylit eli glykogeenit alkavat hajota solussa lyhytketjuisemmiksi sokereiksi. Glykogeeneistä puretut sokerit kulkeutuvat vereen, jolloin verensokeri nousee.

Glykogeeneihin tankattu nopea varaenergia

Ylimääräinen energia varastoituu verestä nopeasti verensokeria nostavaksi vararavinnoksi maksa- ja lihasoluihin glykogeeneinä. Ihminen voi siis tankata "nopeasti purettavaa energiaa" esimerkiksi pitkiä urheilusuorituksia silmällä pitäen, mutta glykogeenivarastot ovat rajallisia ja täyttyvät ja tyhjenevät nopeasti.

Glykogeenin kykyyn varastoida energiaa vaikuttaa kehon rasva- ja lihaskudoksen suhde. Mitä enemmän lihasmassaa, sitä enemmän keho voi varastoida energiaa nopeasti energiaksi purettavina glykogeeneinä.

Glukagonin tehtävät

Verensokerin lasku lisää glukagonin eritystä haimasta. Glukagoni purkaa maksa- ja lihassolujen glykogeenejä eli sokerivarastoja, jolloin verensokeri jälleen nousee.

Glukagoni käynnistää myös maksassa ja munuaisten kuorikerroksessa tapahtuvan glukoneogeneesin, joka syntetisoi glukoosia muista yhdisteistä.

Insuliini-glukagoni-sykli ylläpitää verensokerin tasapainoa, eli sokeriaineenvaihdunnan homeostaasia. Jos sokeri ei pääse soluihin, solujen energiantuotanto kärsii. Jatkuvasti korkea verensokeri kuivattaa soluja ja vahingoittaa verisuonia.

Diabeteksessa sokeriaineenvaihdunta häiriintyy, joko puutteellisen tai olemattoman insuliinintuotannon tai solujen insuliiniresistenssin seurauksena.

Glykolyysi

Kaikkien solujen pinnalla on insuliinireseptoreita. Insuliinin kiinnittyminen solureseptoriinsa laukaisee solun sisällä toisiolähettijärjestelmän. Tämä saa aikaan sen, että solun sisällä olevat transmembraanisia (kalvon läpi ulottuvia) sokerikanavaproteiineja kuljettavat kalvorakkulat kiinnittyvät solukelmuun.

Insuliini saa siis sokerikanavat siirtymään solun ulkopinnalle jolloin glukoosi pääsee siirtymään verestä sokerikanavan läpi solun sisälle.

Glukoosi ja glykolyysi

Solu saa energiantuotantoon tarvitsemansa glukoosin joko solun ulkopuolelta tai solun sisällä olevasta glykogeenistä (glukoosivarastona toimiva polysakkaridi).

Solulimassa (*sytoplasmassa*) tapahtuvassa glykolyysissä

glukoosi hajotetaan palorypälehapon anionimuodoksi eli pyruvaatiksi. *Anaerobinen* energiansaanti perustuu glykolyysiin, joka tuottaa kaksi ATP-molekyyliä ja kaksi NADH-molekyyliä.

Glykolyysi on monesta reaktiovaiheesta muodostuva reaktioketju. Jos solulla on happea käytettävissään, energiantuotanto jatkuu mitokondrioissa soluhengityksessä. Pyruvaateista saadaan mitokondrioissa eräiden entsyymien avulla tapahtuvassa *oksidatiivisessa dekarboksylaatioissa asetyylikoentsyymi-A*:ta.

Jos solulta puuttuu mitokondriot (kuten veren punasoluilta) tai happea ei ole käytettävissä, pyruvaatti pelkistyy maitohapoksi.

- **Anaerobinen glykolyysi päättyy pyruvaatin pelkistyessä maitohapoksi**
- **Aerobinen glykolyysi jatkaa energiantuotantoa ja tuottaa pyruvaatista edelleen asetyylikoentsyymi-A:ta.**

Sokerikanavaproteiinit kiertävät jatkuvasti soluliman ja solukelman välillä. Kun insuliinipitoisuus laskee veressä, solu imee sokerikanavia sisältävät solukelman osat sisäänsä. Sokeriaineenvaihdunnan homeostaasi toimii, kun haiman erittämien insuliinin ja glukagonin toiminta ovat tasapainossa, niin että verensokeri pysyy tasaisena ilman suuria nousuja tai laskuja.

Ihminen voi kuluttaa vuorokauden aikana painonsa verran ATP-molekyylejä.

ATP eli *Adenosiinitrifosfaatti* on runsasenerginen mitokondrioiden soluhengityksessä, tai glykolyysin solulimassa tuottama yhdiste. ATP:tä käytetään energian siirtoon ja lyhytaikaiseen varastointiin lihaksissa.

Kun elimistön solut tarvitsevat ATP-molekyyleihin sitoutunutta energiaa, ATPaasi-entsyymi pilkkoo runsasenergiisiä sidoksia

fosfaattiryhmien väliltä.

ATP:ssä on emäsoasa (*adeniini*), sokeriosa (*riboosi*) ja 3 fosfaattiosaa. Kun ATP:stä irtoaa yksi fosfaattiosa, siitä tulee *adenosiinidifosfaattia* eli ADP:tä ja kun ADP:stä irtoaa fosfaattiosa, syntyy *adenosiinimonofosfaatti* eli AMP.

Ihminen kuluttaa vuorokauden aikana arviolta painonsa verran ATP-molekyylejä. Yksi ATP-molekyyli kierrätetään jopa 1000-1500 kertaa vuorokauden aikana.

ATP on lihassupistuksen ainoa energianlähde. Sitä on hieman varastoituneena lihaksissa, mutta nämä varastot hyödynnetään nopeasti.

Energian varastomolekyyli: $ADP+ADP \rightarrow ATP+AMP$

Glukoneogeneesi

Glukoneogeneesi on maksassa ja munuaisen kuoriosassa tapahtuva prosessi, jossa glukoosia valmistetaan jostain muusta kuin hiilihydraatista.

Glukoneogeneesin lähtöaineet

Glukoneogeneesin lähtöaineena toimii pääasiassa maitohappo, mutta lähtöaineiksi käyvät myös glyseroli, propionaatti, oksaloetikkahappo ja muut sitruunahappokierron väliaineet, ketonit, aminohapot ja rasvahapot, joissa on pariton määrä hiiliä.

Glukoneogeneesi varmistaa sen, että muun muassa hermosoluille on aina käytössään riittävästi glukoosia energiantuotantoa varten. Solut ja solunosat, kuten punasolut ja hermosolujen aksonit, jotka eivät voi käyttää energiantuotannossa mitokondrioita, saavat energiansa hajottamalla glukoosia glykolyysissä anaerobisesti takaisin maitohapoksi.

Missä glukoneogeneesi tapahtuu?

Suurin osa glukoneogeenisistä tapahtuu maksasolujen solulimassa, mutta osittain myös munuaisissa. Munuaisten osuus glukoneogeenisissä kasvaa paaston myötä. Glukoneogeneesi on keskittynyt näihin elimiin, koska vain niistä löytyy glukoosi-6-fosfataasi-entsyymiä, jota tarvitaan glukoosi-6-fosfaatin muuttamiseksi glukoosiksi. Kortisoli lisää glukoneogeneesiin tarvittavien maksaentsyymien määrää.

Glukagoni

Glukoneogeneesiä aktivoi haiman α -soluista erittyvä glukagoni. Haiman β -soluista erittyvä insuliini puolestaan inaktivoi glukoneogeneesiä.

Alkoholi voi hidastaa glukoneogeneesiä estämällä maitohapon muuntautumista palorypälehapoksi.

Kasvit ja jotkin bakteerit voivat muuttaa myös tavallisia rasvahappoja glukoosiksi glyoksylaattikierron välityksellä.

Soluhengitys ja asetyylikoentsyymi-A

Normaalissa soluhengityksessä rasvahapot hapetetaan ensin asetyylikoentsyymi-A:ksi, jota ei enää voida muuttaa pyruvaatin kautta glukoosiksi. Koska sitruunahappokierron asetyylikoentsyymi-A:n kanssa aloittavaa oksaloetikkahappoa käytetään myös glukoneogeenin lähtöaineena, ei kaikkea rasvahappojen hapettamisessa syntyvää asetyylikoentsyymi-A:ta voida hapettaa normaalisti, vaan siitä muodostetaan ketogeenisissä ketoaineita. Aivosolut muodostavat ketoaineista rasvahappoja ja ne voivat siirtyä käyttämään ketoaineita myös energiantuotantoon.

Glukoneogeneesi ja glykolyysi

Glukoneogeenin toimintaperiaate on vastakkainen glykolyysille, ja se käyttää myös pääosin samoja entsyymejä (kolmea lukuun ottamatta). Lähtöaineena on usein pyruvaatti (palorypälehapon anionimuoto), jota muodostetaan laktaatista (maitohapon anionimuoto) sekä eräistä aminohapoista.

Pyruvaatti siirtyy ensin mitokondrioon, jossa se muutetaan entsyymaattisesti oksaaliasetaatiksi. Oksaaliasetaatti ei pääse ulos mitokondriosta takaisin sytoplasmaan, joten se on ensin muutettava malaatiksi, jolle on kuljetusmekanismi mitokondrion sisäkalvolla. Samalla sytoplasmaan siirtyy pelkistynyt NADH-koentsyymi, jota tarvitaan myöhemmin reaktiosarjassa. Malaatti hapettuu sytoplasmassa uudestaan oksaaliasetaatiksi, joka muutetaan GTP:tä vaativassa reaktiossa fosfoenolipyruvaatiksi.

Mikäli lähtöaineena on laktaatti, fosfoenolipyruvaatti syntyy jo mitokondriossa, koska laktaatin hapettuminen pyruvaatiksi vapauttaa sytoplasmaan tarvittavan NADH-molekyylin.

Fosfoenolipyruvaatti muuttuu vaiheittain glukoosi-6-fosfaatiksi, joka muuttuu lopulta glukoosiksi.

Yhden glukoosimolekyylin tuottaminen vaatii 2 pyruvaattimolekyyliä, 4 ATP:tä, 2 GTP:tä, 2 NADH-molekyyliä ja neljä vesimolekyyliä. Se vaatii siten enemmän energiaa kuin glykolyysi tuottaa yhdestä glukoosimolekyylistä. Lähde: Wikipedia

