

Proteiinien muuntuminen energiaksi ihmiselimistössä

Helsingin yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kandidaatintutkielma

Tekijä: Klaus Sippel

Pvm: 20.2.2007

Ohjaajat:

Mikko Oivanen

Maija Aksela

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	2
2. PROTEIINIT	3
2.1 YLEISTÄ PROTEIINEISTA	3
2.2 PROTEIINIEN RAKENNE	3
2.2.1 <i>PRIMÄÄRINEN RAKENNE</i>	4
2.2.2 <i>SEKUNDÄÄRINEN RAKENNE</i>	4
2.2.3 <i>TERTIÄÄRINEN JA KVATERNÄÄRINEN RAKENNE</i>	5
2.3 AMINOHAPOT	5
2.4 PROTEIINIT JA AMINOHAPOT IHMISELIMISTÖSSÄ	7
2.4.1 <i>PILKKOMINEN, IMEYTYMINEN JA KULJETUS</i>	7
3. PROTEIINIT JA AMINOHAPOT SEKÄ ENERGIANTUOTTO	8
3.1 PROTEIINIT OSANA ENERGIA- AINEENVAIHDUNTA	8
3.1.1 <i>PROTEIINIEN AINEENVAIHDUNTA ATERIAN JÄLKEEN</i>	8
3.1.2 <i>PROTEIINIEN AINEENVAIHDUNTA PAASTON AIKANA</i>	9
3.2 AMINOHAPPOJEN KATABOLIA	9
3.2.1 <i>YLEISTÄ</i>	9
3.2.2 <i>IMIININ MUODOSTUMISEN OSUUS KATABOLIASSA</i>	11
3.2.3 <i>TRANSAMINAATIO</i>	12
3.2.4 <i>DEAMINAATIO</i>	17
3.3 AMINOHAPPOJEN HIILIRUNGOT	17
3.4 YLIMÄÄRÄISEN TYPEN POISTO	19
4. YHTEENVETO	20
LÄHTEET:	22

1. JOHDANTO

Ihminen on toisenvarainen eli heterotrofinen eliö. Tarvittava energia ja rakennusmateriaali on hankittava elimistön ulkopuolelta syömällä esimerkiksi toisia eliöitä, niiden osia tai tuotteita. Tämä ulkopuolelta hankittu ravinto voidaan jakaa mineraaleihin, vitamiineihin ja energiaravintoaineisiin.

Energia- ja ravintoaineiksi luetaan ne ravinnon osat, joita elimistö voi käyttää energian tuottamiseen. Näitä ovat hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit. Myös etanoli voidaan lukea mukaan, sillä senkin aineenvaihdunnassa vapautuu energiaa. (Aro et al. 2005, 110–111)

Ravinnonoton säätely ottaa huomioon kaikki kolme energiaravintoaineryhmää, jotka lisäksi voivat muuntua kemiallisesti toisikseen tietyin ehdoin. Elimistö pystyy muuttamaan hiilihydraatteja rasvoiksi, proteiineista hiilihydraatteja ja rasvamolekyylin glyseroliosasta saadaan tarvittaessa glukoosia. (Hiltunen et al. 2003)

Ihmiselimistöllä on useita syitä suorittaa yllä mainittuja ja muita energiaravintoaineisiin liittyviä muunnoksia. Osa liittyy biomolekyylien jatkuvaan uusiutumistarpeeseen, osa ravinnon varastointiin ja osa varastojen pilkkomiseen. Proteiineja tarvitaan elimistössä uusien proteiinien muodostamiseen, energiantuottoon ja tyypeä sisältävien metaboliittien synteesiin. (Aro et al. 2005, 136)

Tässä kandidaatintutkielmassa käsitellään proteiinien ja niiden sisältämien aminohappojen muuntumista energiaksi ihmiselimistössä.

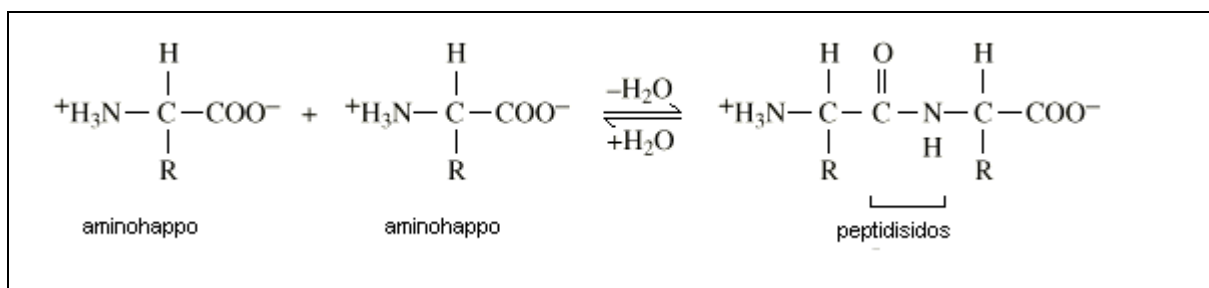
2. PROTEIINIT

2.1 Yleistä proteiineista

Kreikkalainen sana *proteus* tarkoittaa tärkeintä, korkeinta mahdollista. Tämä sana kuvaa hyvin proteiineja, joiden ominaisuudet ovat vertaansa vailla. Elämä riippuu täysin tuhansista erilaisista proteiineista, joiden rakenne ja toiminnot vaihtelevat tehtävän mukaisesti. Nämä toiminnot voivat olla molekyylien kuljetusta, solun tai organismin liikkumista, ravintona toimimista, rakenteen muodostamista, säätelyä tai puolustamista. (Lehninger et al. 2000, 156–157)

2.2 Proteiinien rakenne

Proteiinit ovat polypeptidiketjuja, jotka koostuvat toisiinsa kiinnittyneistä aminohapoista. Kiinnittyminen tapahtuu spesifisellä peptidisidoksella (kuva 1.) Dipeptidissä on kaksi, tripeptidissä kolme ja oligopeptidissä useita aminohappoja. Yli 20 aminohappoa sisältävä ketju on jo polypeptidi. Rajanveto oligo- ja polypeptidin välillä on varsin epäselvä.



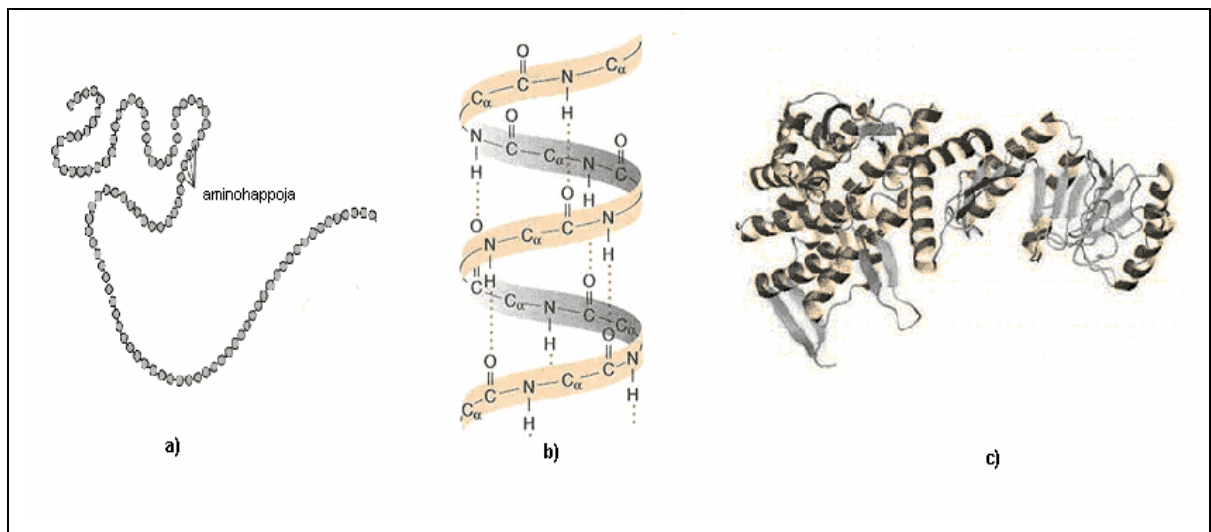
KUVA 1. Peptidisidoksen muodostuminen. R kuvaa aminohappojen sivuketjua, joka ei vaikuta sidoksen muodostumiseen. (Elliot & Elliot 2005, 34)

2.2.1 Primäärinen rakenne

Proteiinien primäärirakenteella tarkoitetaan aminohappojen järjestystä ketjumaisessa molekyylissä. Eri tehtävissä toimivilla proteiineilla on erilainen aminohappojärjestys.

2.2.2 Sekundäärinen rakenne

Polypeptidiketju ei voi ottaa mitä tahansa kolmiulotteista muotoa, vaan heikot vuorovaikutukset ja steeriset esteet määrittävät ketjulle muodon, sekundäärirakenteen. Esimerkiksi vetysidokset ja rikkisillat vaikuttavat proteiinien muotoon. Erilaisia tyyppisiä on muutama, ja niistä yleisin on alfa-helix-muoto. (kuva 2) Proteiinien kolmiulotteinen muoto toteutuu siten, että vesipakoiset eli hydrofobiset osat hakeutuvat kierrakerakenteen sisäpuolelle ja vesihakuiset eli hydrofiiliset osat ulkopuolelle.



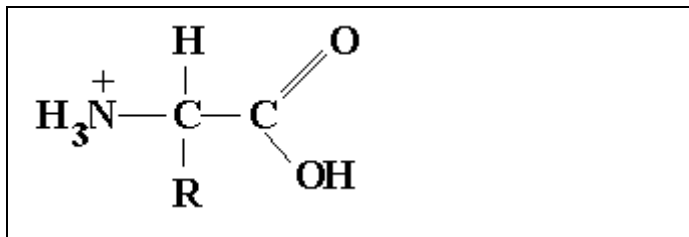
KUVA 2. Proteiinin primäärinen (a), sekundäärinen (b) ja tertiäärinen (c) rakenne. (mukailtu Murray et al. 2003, 42–44)

2.2.3 Tertiäärinen ja kvaternäärinen rakenne

Tertiäärinen rakenne tarkoittaa proteiinin avaruudellista rakennetta kokonaisuudessaan. Rakenteeseen vaikuttaa hydrofobisuus ja hydrofiilisyys, kuten mainittiin edellä kohdassa 2.2.2. Monissa toiminnallisissa proteiineissa on useita perusyksiköitä, ja kvaternäärisellä rakenteella tarkoitetaan tällaista usean aminohappoketjun ryhmittymää. (Lehninger et al. 2000, 161)

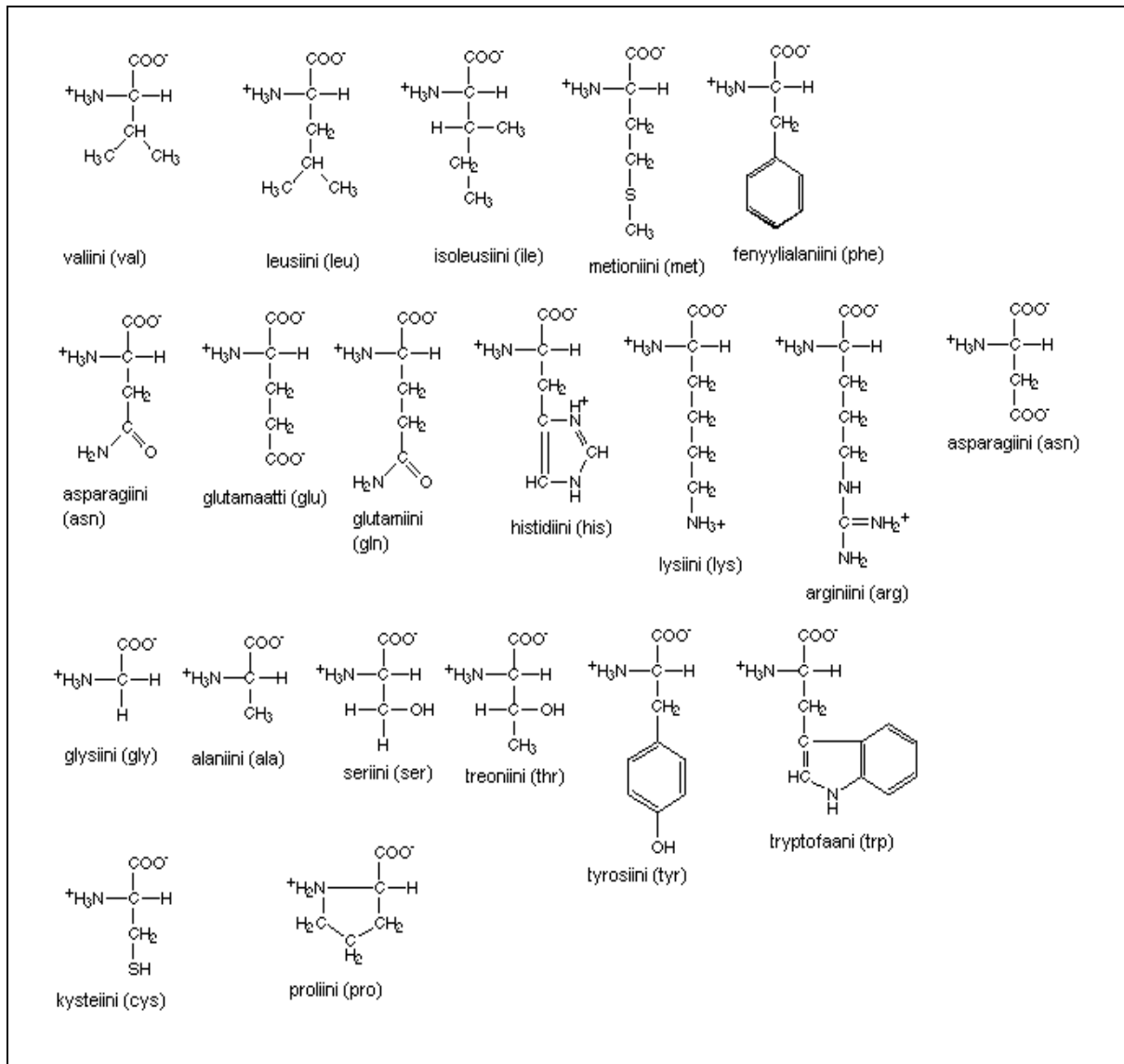
2.3 Aminohapot

Proteiinien rakenneosina toimivat aminohapot, joiden perusrakenne selviää kuvasta 3. Aminohappoja on 20 erilaista, ja niiden määrä proteiineissa on yleensä alle 2000, mutta enimmillään jopa yli 5000. (Elliot & Elliot 2005)



KUVA 3. Aminohapon perusrakenne. R kuvaa mitä tahansa sivuketjua, joka esiintyy aminohapoissa.

Kaikilla proteiineissa esiintyvillä aminohapoilla karboksyyli- ja aminoryhmä ovat kiinnittyneenä samaan hiileen, jota kutsutaan alfa-hiileksi. Aminohapot erotetaan toisistaan sivuketjun mukaan. Sivuketjut poikkeavat huomattavasti toisistaan kooltaan, rakenteeltaan, sähkövaraukseltaan ja vesiliukoisuustekijöiltään. (Lehninger et al. 2000, 112-113)



KUVA 4. Ihmiselimistön proteiineissa esiintyvä aminohapot. Nimien perässä näkyvät kolmikirjaimiset lyhenteet ovat yleisesti käytössä olevia lyhenteitä. (Streitwieser 1998, 949–950)

Kymmentä aminohappoa ihmisen on välttämättä saatava ravinnosta, koska niitä ei syntetisoida elimistössä (kuva 5). Niistä kahdeksan on välttämättömiä myös aikuiselle, kun taas arginiini ja histidiini ovat välttämättömiä ainoastaan kasvun aikana. Keskokset tarvitsevat myös kysteiinin ja tyrosiinin ulkopuolelta. Toiset 10 ovat ei-välttämättömiä, koska elimistö voi syntetisoida niitä muista aminohapoista tai glukoosijohdannaisista. (Aro et al. 2005, 135)

Välttämättömät aminohapot	Ei- välttämättömät aminohapot
<ul style="list-style-type: none"> · leusiini · isoleusiini · valiini · lysini · fenylalaniini · metioniini · treoniini · tryptofaani · histidiini * · arginiini * · tyrosiini, kysteiini ** 	<ul style="list-style-type: none"> · alaniini · arginiini · glutamaatti · asparagiini · aspartaatti · tauriini · tyrosiini · kysteiini · glysiini · seriini · proliini · glutamiini
<p>*) välttämätön kasvaville lapsille **) Välttämätön tilanteessa, jossa muodostus on rajoitettua ja/tai esiasteita on riittämättömästi (esim. keskokset).</p>	

KUVA 5. Ihmiselimistön proteiineissa esiintyvät aminohapot. (Aro et al. 2005, 135)

2.4 Proteiinit ja aminohapot ihmiselimistössä

2.4.1 Pilkkominen, imeytyminen ja kuljetus

Ravinnon proteiinien hajoaminen alkaa mahalaukussa. Happamassa ympäristössä denaturaatiossa proteiinien rakenne ja samalla niiden ominaisuudet muuttuvat huomattavasti. Vain primäärinen rakenne eli kovalenttisesti sitoutunut aminohappojärjestys säilyy ennallaan. Näin aminohappoketjut ovat valmiita ruoansulatuskanavan erittämien proteolyyttisten entsyymien käsittelylle.

Mahalaukussa aminohappoketjut pilkkoutuvat ja tuotteina on suuria polypeptidejä, vapaita aminohappoja ja oligopeptidejä. Hajotus jatkuu ohutsuolen alkuosassa. Tuotteina on di- ja tripeptidejä sekä vapaita aminohappoja valmiina imeytymään. (Elliot & Elliot 2005, 99–100) Lopullinen hajottaminen aminohapoiksi tapahtuu ohutsuolen limakalvon soluissa, joissa hydrolyysisuotteina on vapaita aminohappoja. (Aro et al. 2005, 133)

Vapaat aminohapot ja peptidit imeytyvät kukin rakenteensa mukaan erilaisten kuljetusproteiinien avulla. Osa käytetään hyödyksi jo ohutsuolen epiteelisoluissa, osa jatkaa porttilaskimon kautta maksaan. (Groff & Gropper 2000, 173–177)

3. PROTEIINIT JA AMINOHAPOT SEKÄ ENERGIANTUOTTO

3.1 Proteiinit osana energia- aineenvaihduntaa

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energian saanti on verrannollinen sen kulutukseen, mikäli ihmiskehon paino pysyy vakiona. Elimistö saa energiaa useista lähteistä, varastoi sitä ja kuluttaa sitä moninaisin tavoin. Jos sisäänotossa tai sisällössä on vajetta, elimistö kuluttaa varastojaan. Proteiineille ei ole varsinaista varastomuotoa ihmiselimistössä, jossa olisi polymeerimuodossa esiintyviä aminohappoja. Proteiinit kattavat kuitenkin jopa 25 % kehoon varastoidusta energiasta, vaikkei niiden ensisijainen tehtävä olekaan toimia energianlähteenä. (Aro et al. 2005, 216–218)

3.1.1 Proteiinien aineenvaihdunta aterian jälkeen

Aterian jälkeen maksan proteiinisynteesin lisääntyminen kuluttaa noin kolmanneksen ravinnon proteiineista. Ylimääräiset aminohapot elimistö päästää verenkiertoon kudosten käyttöön tai muuttaa pyruvaatiksi (kuva 15) rasvahappojen tai energian tuottoa varten. Rasvakudos ja aivot eivät käytä proteiineja aterian jälkeisessä tilassa. (Aro et al. 2005, 218–219)

3.1.2 Proteiinien aineenvaihdunta paaston aikana

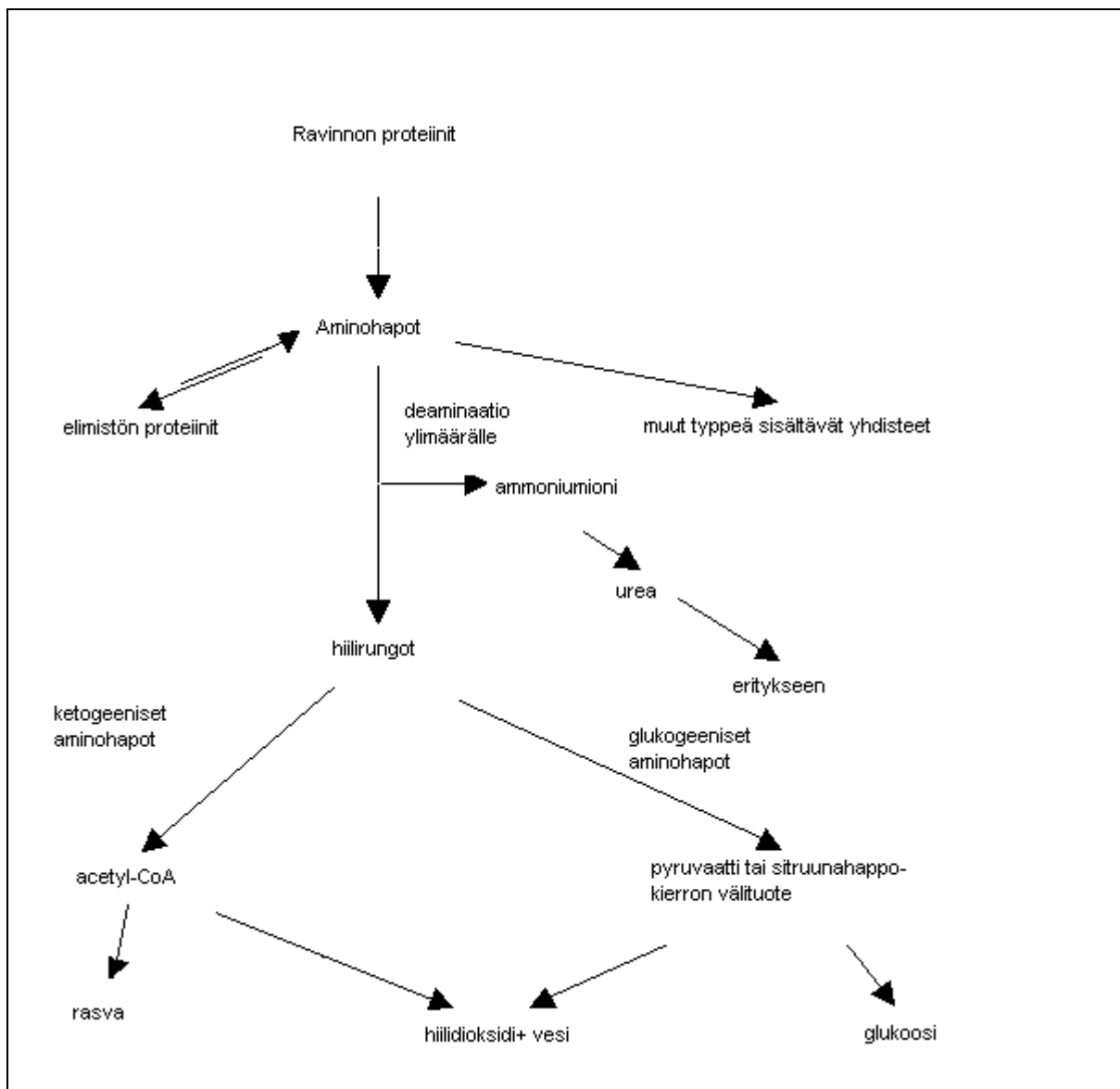
Aivojen ja punasolujen kannalta tasainen glukoosipitoisuus on välttämätöntä, koska glukoosi on niiden normaali energianlähde. Glukoosivarastot tyydyttävät tarpeen tunteja, ja pidempiaikaisessa paastossa proteiinit ja vähemmässä määrin rasva toimivat glukoosin lähteinä.

Paaston alkupäivinä lihasten ja kudosten proteiineja hajoaa aminohapoiksi glukoosin muodostamiseksi. Suuri osa lihasproteiineista ja osa kudospoteiineista ei ole välttämättömiä solujen toiminnalle, joten tätä osaa hajotetaan energiaksi ilman vakavia seurauksia. Jatkuva hajotus johtaa kuitenkin solujen toiminnallisiin häiriöihin, sairauksiin ja lopulta kuolemaan. (Aro et al. 2005)

3.2 Aminohappojen katabolia

3.2.1 Yleistä

Aminohappojen katabolialla tarkoitetaan hajottavaa aineenvaihduntaa (kuva 6). Aminohappoja voidaan hajottaa siirtämällä primäärinen aminoryhmä vastaanottajamolekyylille (transaminaatio) ja poistamalla se lopuksi kokonaan (deaminaatio). Tällöin kyseessä on kaksivaiheinen prosessi (transdeaminaatio). Molemmissa tapauksissa jää energian tuottoa varten hiilirunko, joka voidaan suoraan hapettaa mitokondrioiden sitruunahappokierrossa tai muodostaa siitä ensin glukoosia (glukogeeninen aminohappo) tai ketoaineita (ketogeeninen aminohappo). (Elliot & Elliot 2005, 255–256)



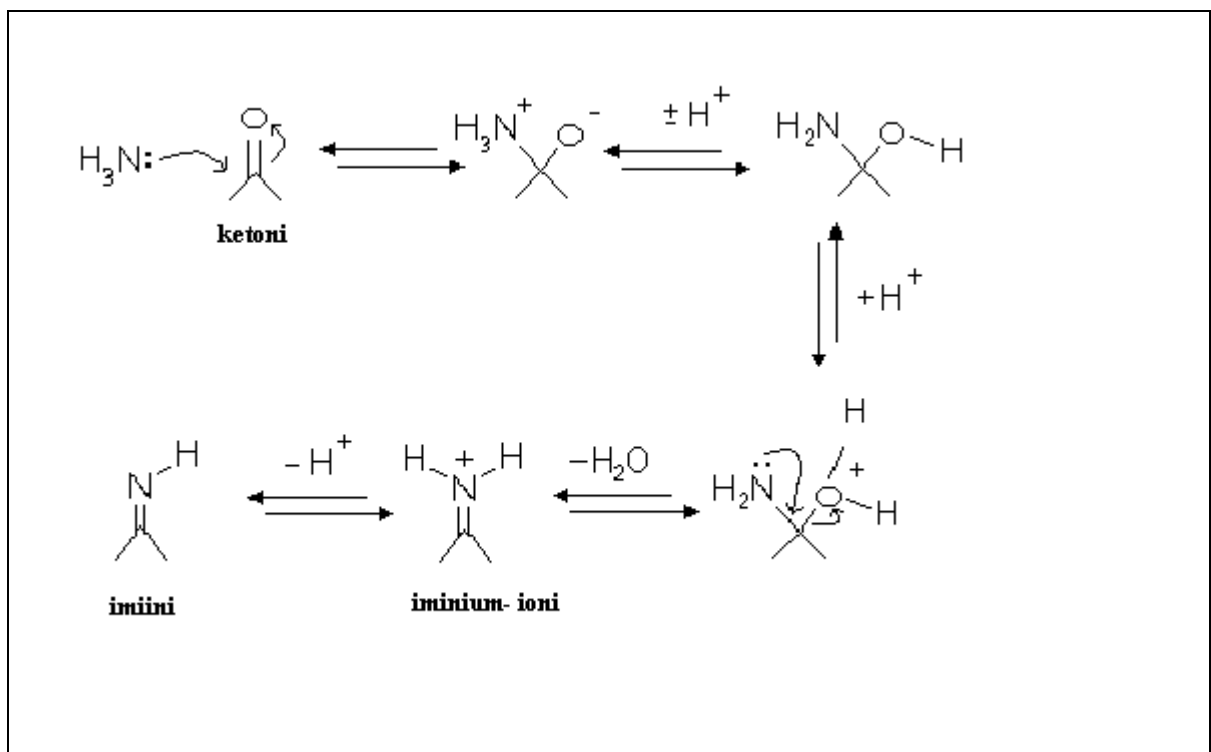
KUVA 6. Aminohappojen katabolia kaavamaisesti. (mukailtu Elliot & Elliot 2005, 254)

Aminohappojen hajotus tapahtuu pääosin maksassa, mutta haaraketjuiset aminohapot, kuten leusiini, isoleusiini ja valiini, hajotetaan energiaksi lihaksissa, munuaisissa ja rasvakudoksessa. Näitä reaktioita katalysoivat erilliset aminotransferaasit. (Lehninger et al. 2000, 535)

3.2.2 Imiinin muodostumisen osuus kataboliassa

Typpeä sisältävät funktionaaliset ryhmät ovat emäksisiä ja toimivat reaktioissa nukleofiileinä mieluummin kuin happi. Tämä johtuu typen pienemmästä elektronegatiivisuudesta verrattuna happeen.

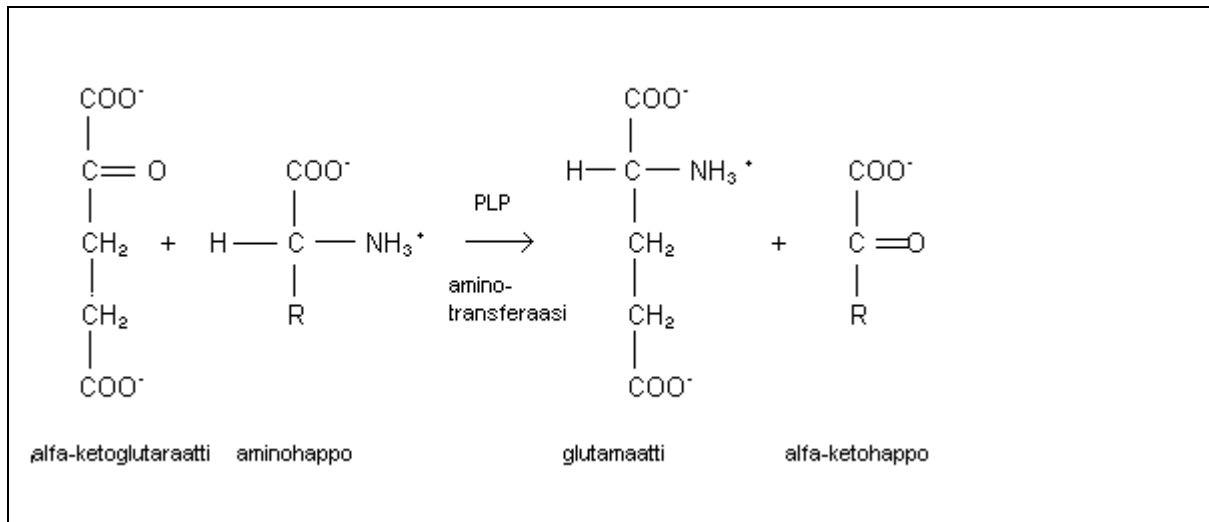
Primäärisen aminoryhmän siirron mahdollistaa imiinin muodostuminen (kuva 7). Ammoniakin tai primäärisen amiinin reagoidessa aldehydin tai ketonin kanssa muodostuu imiini, jota kutsutaan yleisesti myös Schiffin emäkseksi. Typen vapaa elektronipari hyökkää karbonyylihiileen muodostaen tetraedrisen, zwitterionisen väliuotteen. Happi protonoituu, vettä lohkeaa ja muodostuu C=N-sidos, joka hyödyntää typen vapaata elektroniparia. Muodostunut iminium-ioni luovuttaa vielä protonin, jolloin muodostuu neutraali imiini. (Fox & Whitesell 1997)



KUVA 7. Imiinin eli Schiffin emäksen muodostuminen. Nuolet kuvaavat elektroniparin siirtymistä. (Fox & Whitesell 1997, March 1992)

3.2.3 Transaminaatio

Aminohappojen katabolian ensimmäinen vaihe on alfa-aminoryhmän siirto, joka on entsyymien katalysoima reaktio. Entsyymejä kutsutaan joko aminotransferaaseiksi tai transaminaaseiksi. Alfa-aminoryhmä siirretään alfa-ketoglutaraatille ja tuotteiksi saadaan alfa-ketohappo ja L-glutamaatti. (Lehninger et al. 2000, 511–512)

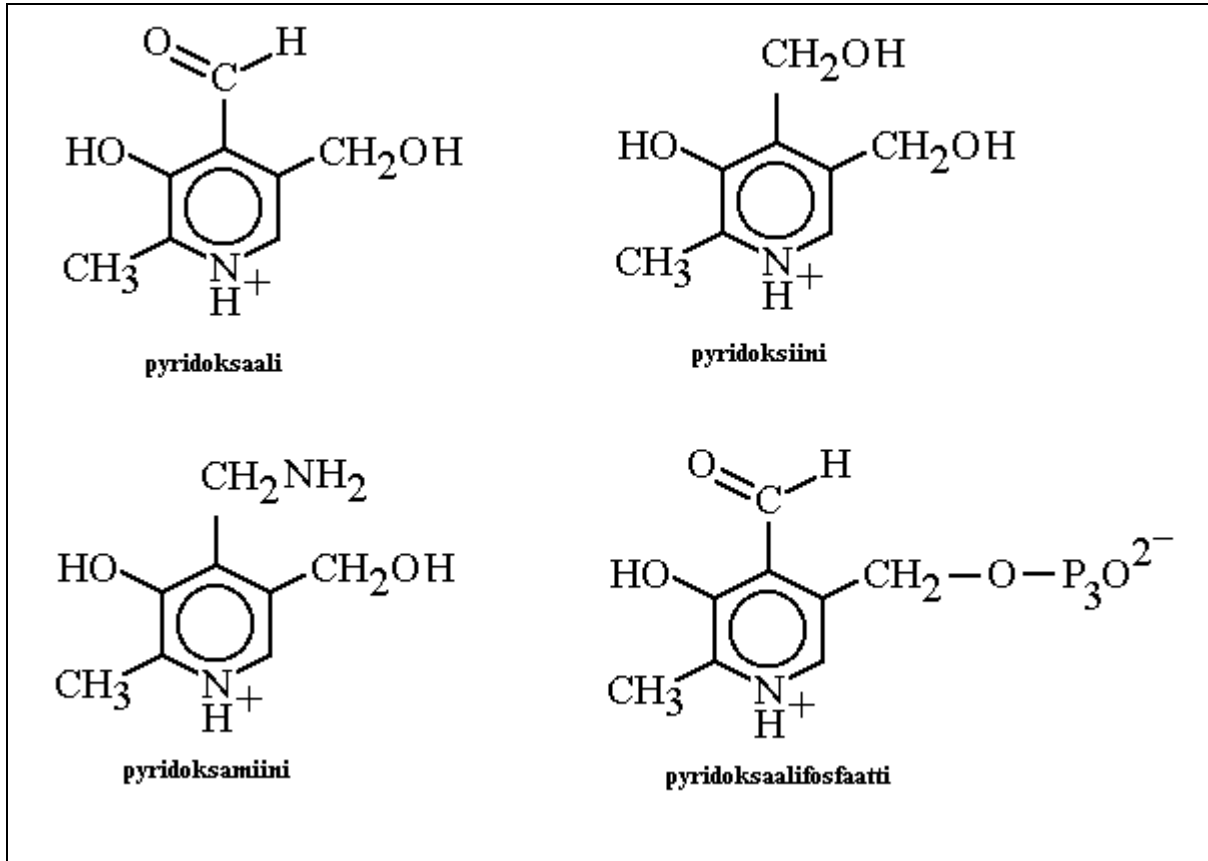


KUVA 8. Transaminaatio yleisesti. (mukailtu Lehninger et al. 2000, 511)

Tämän reaktion tarkoituksena on kerätä aminoryhmät erilaisilta aminohapoilta ja saada näin vain yhtä aminohappoa, glutamaattia, joka soveltuu jatkoreaktioihin. Osa aminohapoista, kuten seriini ja kysteini, deaminoituu suoraan dehydrataasientsyymien avulla. Kohdassa 3.2.4 kuvailtu deaminaatio on ihmiselimistössä taloudellinen vain L-glutamaatille. (Murray et al. 2003, 296) Glutamaatti on glutamiinihapon anioninen muoto, jossa se esiintyy fysiologisessa pH:ssa.

Transaminaatio ei rajoitu vain alfa-aminoryhmään, mutta tässä tarkastellaan ainoastaan sitä. Aminohappojen muutkin aminoryhmät voivat transaminoitua, mutta silloin lopputuotteena ei ole L-glutamaatti. Esimerkkinä ornitiinin (kuva 4) epsilon-aminoryhmä, joka voi transaminoitua muodostaen glutamaatti-gamma-semialdehydiä (Murray et al. 2003, 296).

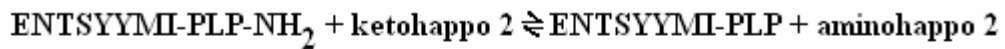
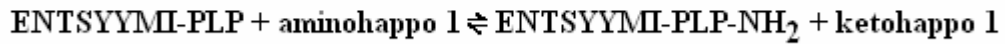
Kaikilla transaminaaseilla on kofaktori nimeltään pyridoksaalifosfaatti (kuva 9). Kofaktorilla tarkoitetaan tekijää, jonka vaikuttaakseen pitää toimia yhdessä toisen tekijän, kuten tässä transaminaasin kanssa.



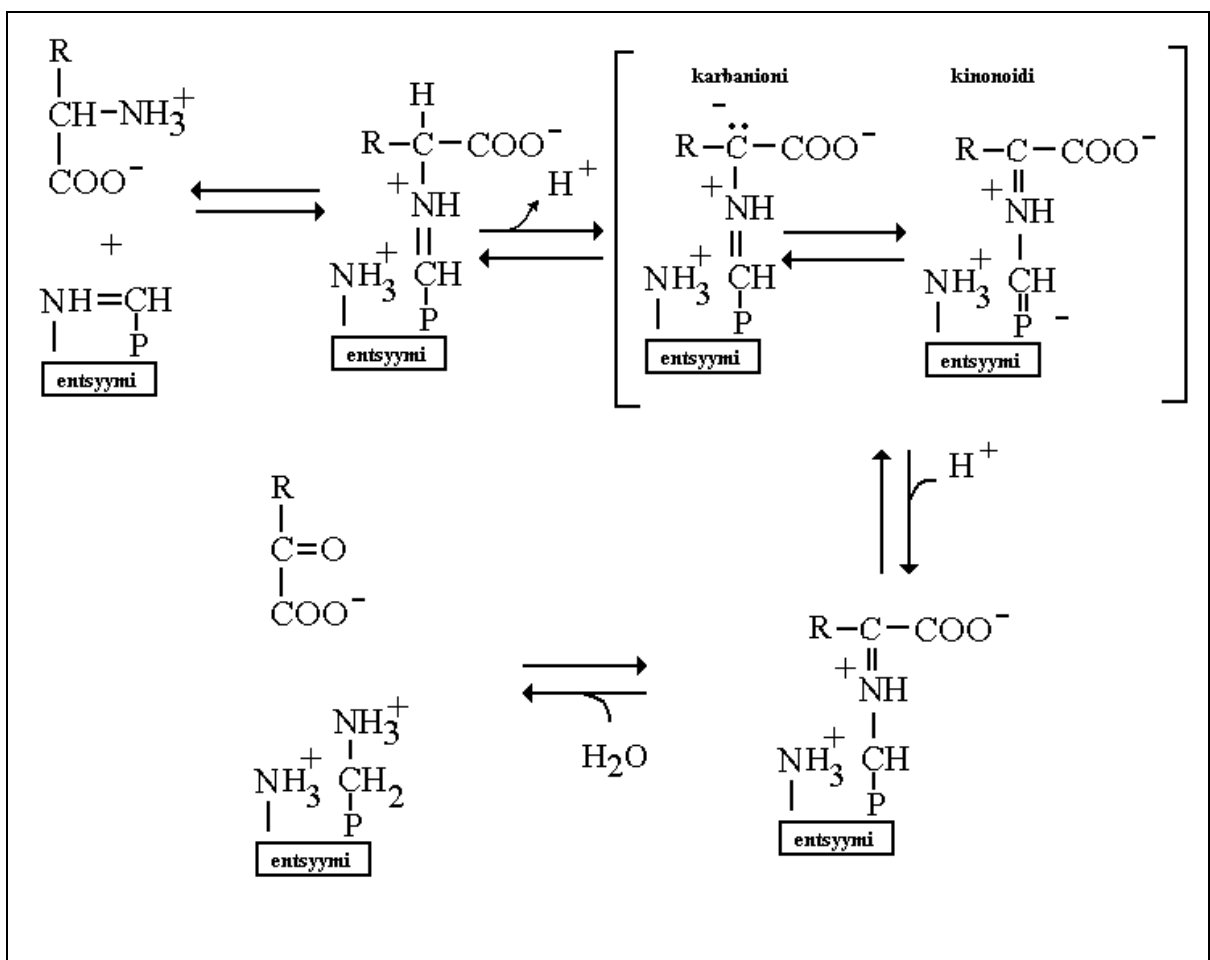
KUVA 9. Kofaktori pyridoksaalifosfaatti on B₆-vitamiinin johdannainen. Ravinnossa esiintyy pyridoksaalia, pyridoksiinia ja pyridoksamiinia, joista muodostetaan tarvittavaa kofaktoria. (Elliot & Elliot 2005, 256)

Ensimmäiseksi entsyymi, johon pyridoksaalifosfaatti on kiinnittynyt Schiffin emäsrakenteella, muodostaa uuden Schiffin emäksen aminohapon kanssa (edelleen kiinni entsyymissä). Aminohapon muodostamassa Schiffin emäksessä alfa-hiileen kiinnittynyt vety irtoaa helposti. Syntyy karbanioni, jossa alfa-hiilellä on negatiivinen varaus. Reaktio etenee tähän suuntaan, koska karbanioni voi edelleen muuntua kinonoidirakenteeksi pienillä muutoksilla pyridiinirenkaan elektronirakenteessa.

Protonoitu pyridiinirenkaan typpi vetää elektroneja puoleensa. Välituotteessa sen yhdistää alfa-hiileen konjugoitu kaksoissidosjärjestelmä, joka edistää elektronien siirtoa.



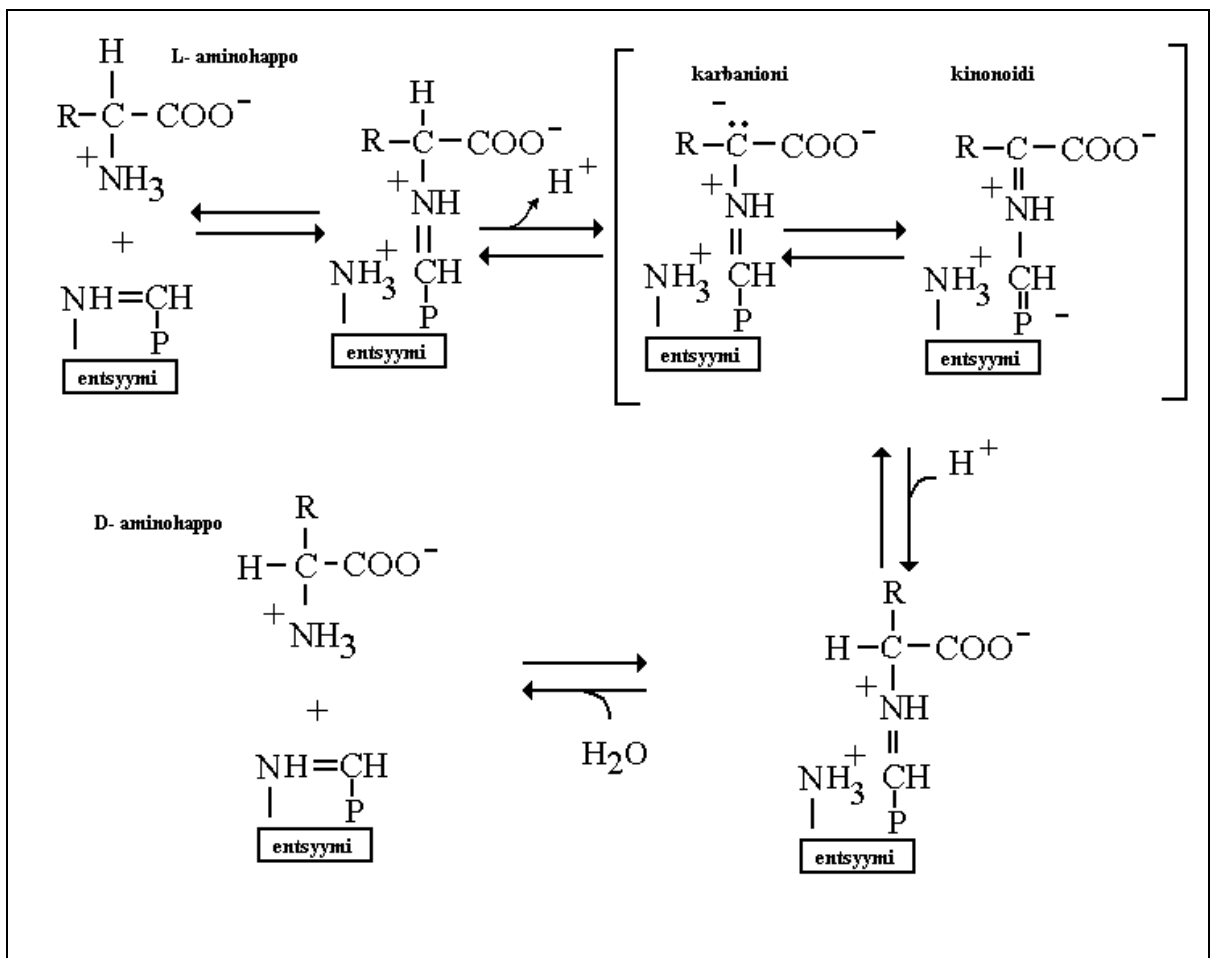
KUVA 10. Transaminaatio yleisesti. PLP kuvaa pyridoksaalifosfaattia ja PLP-NH₂ pyridoksamiinifosfaattia. (Elliot & Elliot 2005, 256)



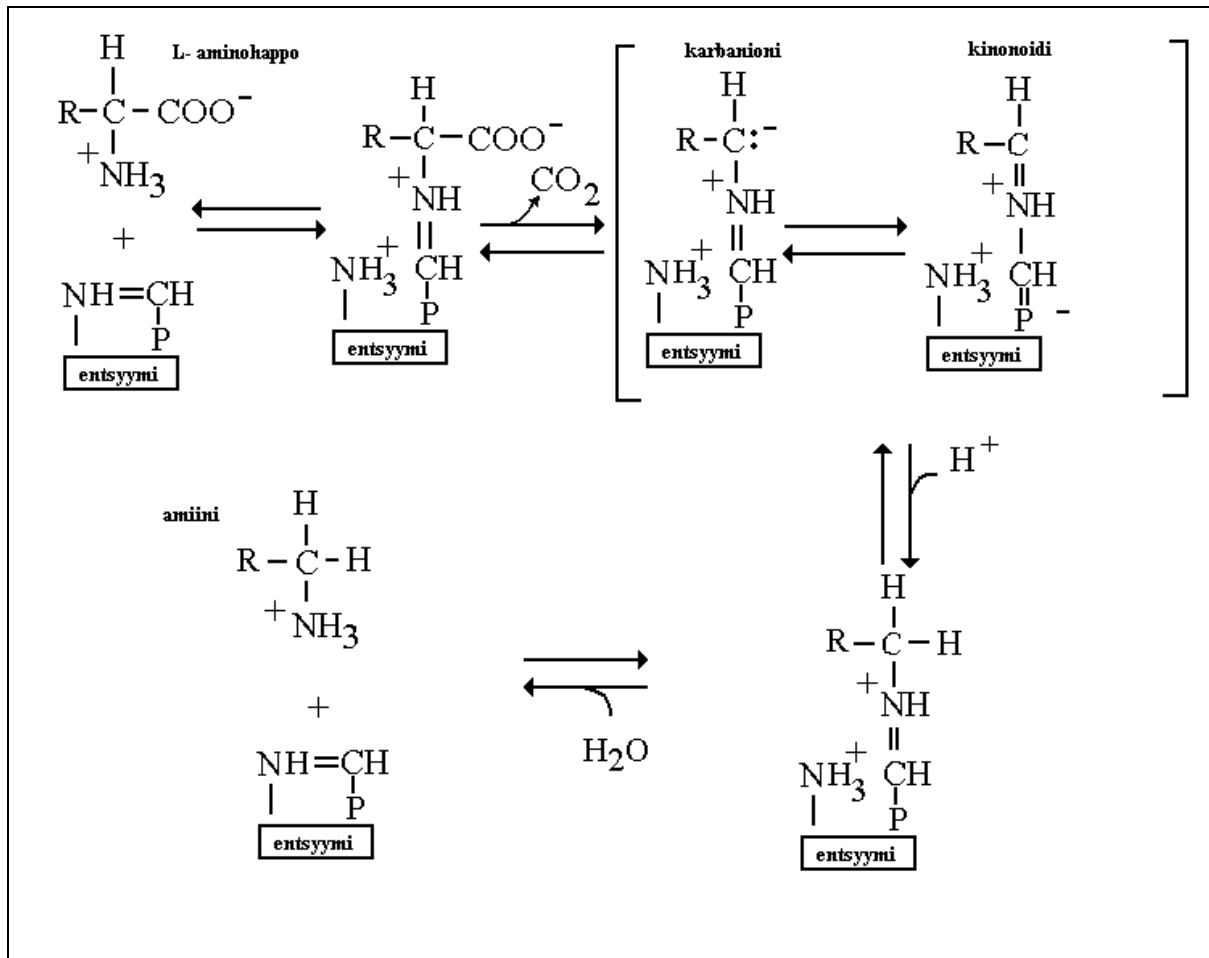
KUVA 11. Transaminaatiomekanismi yksinkertaistettuna. P kuvaa alussa pyridoksaalifosfaattia. Muut mahdolliset reaktiot, kuten rasemisaatio ja dekarboksylaatio esitetään kuvissa 12 ja 13. (Elliot & Elliot 2005, 257, Lehninger et al. 2000, 512–514)

Transaminaatiomekanismia tarkasteltaessa on keskeistä ottaa huomioon reaktion palautuvuus. Vapautunut alfa-ketohappo vaihtuu lopussa toiseen, ja reaktio jatkuu takaisin lähtöaineita kohti vapauttaen toisen aminohapon.

Transaminaation lisäksi pyridoksaalifosfaattia käyttävät entsyymit katalysoivat aminohappojen kahta muutakin reaktiota. Rasemisaatiossa (kuva 12) lopputuotteena on D-aminohappo, eikä alfa-ketohappo. Dekarboksylaatiossa (kuva 13) vapautuu amiinia, eli se on myös energian tuoton kannalta epäedullinen.



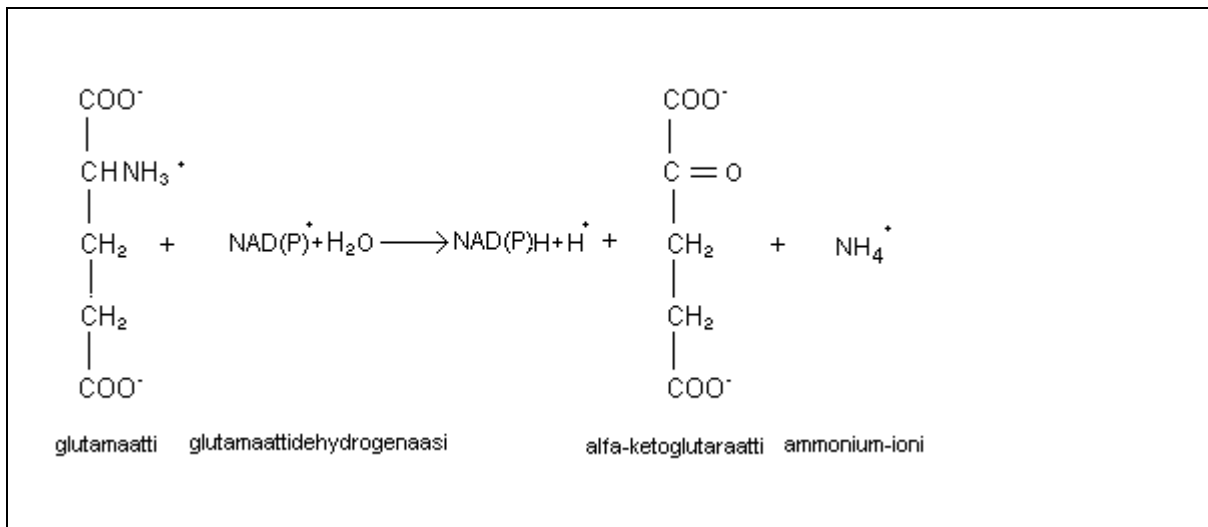
KUVA 12. Rasemisaatio. (Elliot & Elliot 2005, 257, Lehninger et al. 2000, 512–514)



KUVA 13. Dekarboksylaatio. Lopputuotteena on amiini. (Elliot & Elliot 2005, 257, Lehninger et al. 2000 512–514)

3.2.4 Deaminaatio

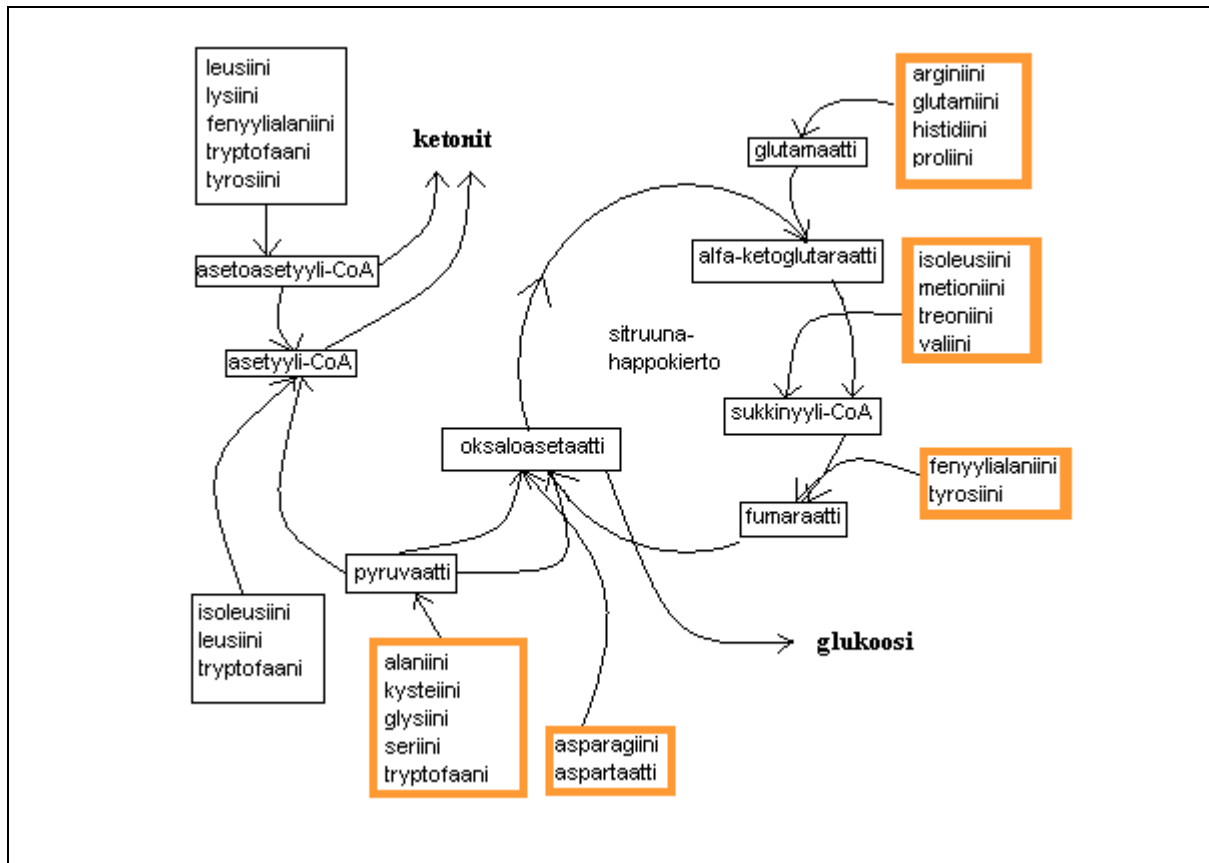
Edellä muodostunut glutamaatti deaminoidaan glutamaattidehydrogenaasin avulla, joka on yleensä NAD^+ tai NAD(P)^+ , ja tuotteiksi saadaan alfa-ketoglutaraattia ja ammoniakkaa. Dehydrogenaasilla tarkoitetaan entsyymiä, joka hapettaa substraatin siirtämällä yhden tai useamman protonin ja elektroniparin vastaanottajalle. Ammoniakki on ammoniumionina fysiologisessa pH:ssa.



KUVA 14. Deaminaatio, jossa aminohapon aminoryhmä poistetaan. (Elliot & Elliot 2005, 255)

3.3 Aminohappojen hiilirungot

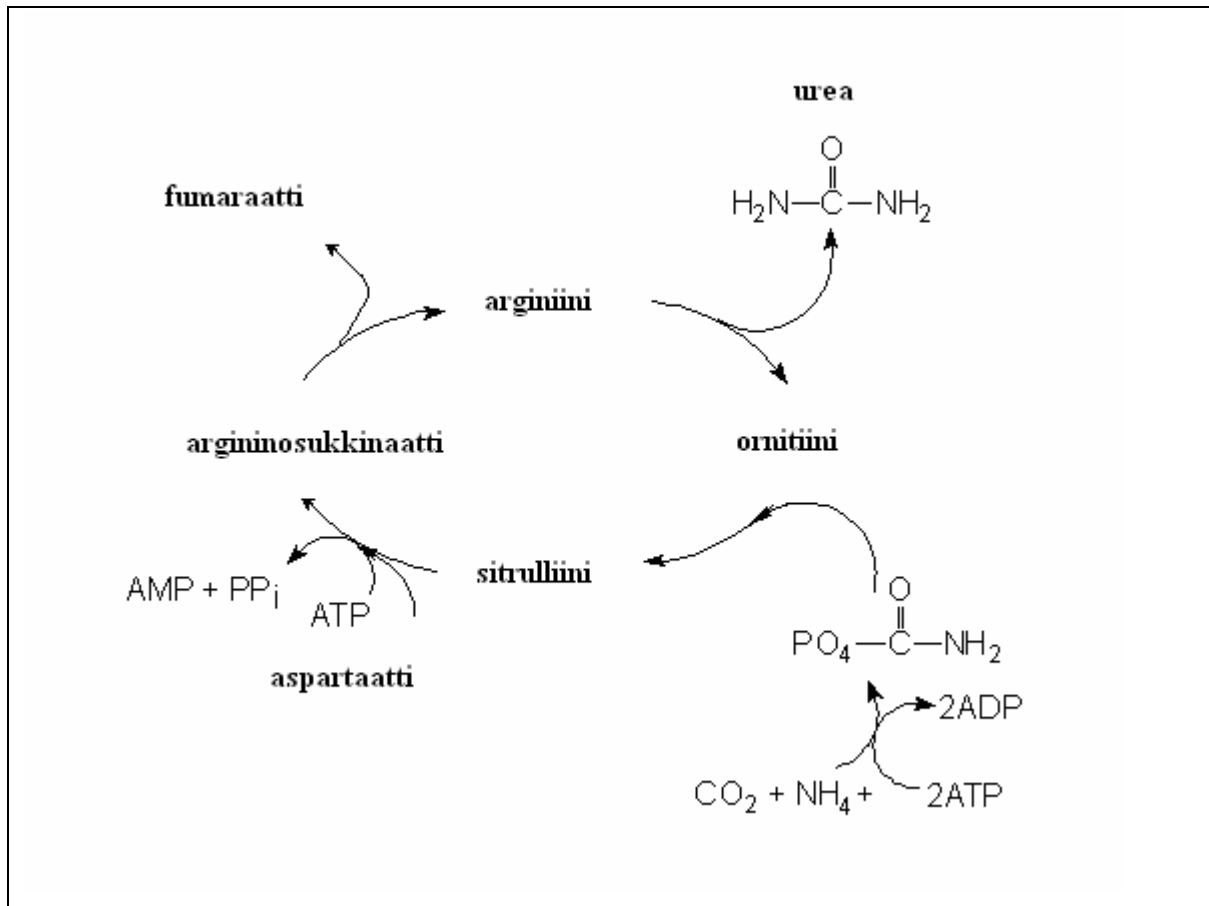
Kahdenkymmenen erilaisen aminohapon hajoamiselle voidaan esittää yhtä monta hajoamisreittiä. Kaikki erilaiset hajoamisreitit yhdistyvät kuitenkin viiteen eri tuotteeseen, jotka hapetetaan sitruunahappokierrossa hiilidioksidiksi ja vedeksi. (kuva 15) Sitruunahappokierto on peräkkäisten reaktioiden muodostama uudelleen toistuva sarja, jossa hiilihydraateista, rasvoista ja tässä tapauksessa aminohapoista syntyneet aineenvaihduntatuotteet hapettuvat tuottaen hiilidioksidia, vettä ja energiaa. (Elliot & Elliot 2005, 154–157)



KUVA 15. Glukogeenisten (värilliset kehykset) ja ketogeenisten (mustat kehykset) aminohappojen liittyminen sitruunahappokierto. Osa aminohapoista on sekä glukogeenisiä että ketogeenisiä. Leusiini ja lysiini ovat puhtaasti ketogeenisiä aminohappoja, joten niistä ei voida valmistaa glukoosia. Kuvassa on esitetty vain aminohappoihin sovellettavat osat kiertoa.

3.4 Ylimääräisen typen poisto

Aminohappojen muuntuessa energiaksi syntyy ihmiselimistölle myrkyllistä ammoniakkia. Aminoryhmät käsitellään maksassa myrkyttömiksi ureasyklissä (kuva 16). Muodostunut virtsa-aine eli urea erittyy munuaisten kautta virtsassa. Myös muualla kuin maksassa muodostuu ammoniakkia, joka kuljetetaan maksaan vaarattomana glutamaattina.



KUVA 16. Ureasyklin päävaiheet. (Aro et al. 2005, 137)

Entsyymikatalysoitu ureasykli perustuu kolmen aminohapon toimintaan, joista ornitiini ja sitrulliini eivät esiinny elimistön proteiineissa. Ammoniikki ja hiilidioksidi reagoivat muodostaen karbamoyylifosfaattia. Karbamoyyliryhmä siirretään ornitiinille, jolloin muodostuu sitrulliinia. Urean toinen aminoryhmä tulee aspartaatilta, jolloin muodostuu arginiinia. Lopuksi arginiini hydrolysoituu ureaksi ja ornitiiniksi. (Lehninger et al. 2000, 517–518)

4. YHTEENVETO

Ihmiselimistö on huomattavan joustava ja kykenevä suorittamaan tarvittavia kemiallisia muunnoksia ravinnon komponenttien osalta. Energiaravintoaineet voivat muuntua toisikseen usealla eri tavalla, ja näin turvataan elimistön energian saanti, varastointi ja uusien biomolekyylien muodostus.

Proteiinien osuus kaikissa elimistön toiminnoissa on merkittävä. Nämä monimuotoiset polymeerit ovat esillä lähes kaikkialla, ja niillä on tarvittaessa osuutensa myös energiansaannissa.

Proteiinit koostuvat pienistä rakenneosista, aminohapoista, ja muodostavat suuria kolmiulotteisia rakenteita. Rakenteiden muodostumiseen vaikuttavat eri aminohappojen ominaisuudet, kuten hydrofiilisyyt ja hydrofobisuus. Myös heikoilla vuorovaikutuksilla, kuten vetysidoksilla, on merkityksensä.

Proteiinit eivät varastoidu ihmiselimistöön, minkä vuoksi niitä on saatava ravinnosta säännöllisesti. Myös laatuun on kiinnitettävä huomiota, sillä osaa aminohapoista tulee saada sellaisenaan ravinnosta. Jos kuitenkin proteiinien saanti laiminlyödään, elimistö alkaa pilkkoa proteiineja tarvittavien yhdisteiden muodostamiseen. Lihasten ja kudosten proteiineja voidaan hajottaa energiaksi, mutta paaston edetessä elimistön proteiinien pilkkominen johtaa häiriöihin, sairauksiin ja kuolemaan.

Proteiinit pilkkoutuvat ruoansulatuskanavassa ja imeytyvät lähinnä vapaina aminohappoina ja pieninä peptideinä. Maksa on keskeinen tapahtumapaikka, kun aminohappoja pilkotaan energiaksi. Kaikissa elimistön aminohapoissa on sekä karboksyyli- että aminoryhmä samassa alfa-hiilessä. Hapot poikkeavat toisistaan erilaisen sivuketjun osalta. Tämä muodostaa haasteen myös happoja pilkkoville entsyymeille ja energian muodostukselle.

Aminohappojen hyödyntäminen energiaksi perustuu biokemialliseen prosessiin. Ensin siirretään aminoryhmä alfa-hiilestä ketohappoon, jotta saadaan energianmuodostusprosessin kannalta oikeanlainen aminohappo, glutamaatti. Tämä aminohapon aminoryhmä voidaan poistaa, ja jäljelle jäänyt hiilirunko hapetetaan energiaa muodostaen sitruunahappokierrossa. Kahdenkymmenen aminohapon kataboliassa syntyy viisi eri

metaboliittia, jotka liittyvät sitruunahappokiertoon. Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta tämä prosessi entsyymeineen on keskeinen. Tärkeää on myös poistaa elimistölle myrkyllinen aminoryhmä. Se syntetisoidaan maksassa myrkyttömäksi yhdisteeksi, ureaksi, ja eritetään munuaisten muodostaman virtsan mukana ulos.

Ihmiselimistössä tapahtuu tuhansia erilaisia kemiallisia reaktioita. Reaktiot tapahtuvat matalissa lämpötiloissa, vesiliuoksissa ja lähes neutraalissa ympäristössä. Reaktiot mahdollistaa lähes aina entsyymikatalyysi, kuten proteiinienkin muuntumisessa energiaksi.

Lähteet:

Aro Antti, Mutanen Marja, Uusitupa Matti. *Ravitsemustiede*. Helsinki: Duodecim 2005

Elliot William H, Elliot Daphne C. *Biochemistry and molecular biology 3rd edition*. Oxford 2005

Fox Marye Anne, Whitesell James K. *Organic Chemistry 2nd edition*. UK: Jones and Bartlett International 1997

Groff James L, Gropper Sareen Stepnick, Hunt Sara M. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. USA: Wadsworth 2000

Hiltunen Erkki, Holmberg Peter, Lindblom- Yläne Sari, Nienstedt Walter. *Galenos IV, ihmiselimistö kohtaa ympäristön*. Helsinki: WSOY 2003

Lehninger Albert L, Nelson David L, Cox Michael M. *Principles of biochemistry 2nd edition*. USA: Worth publishers inc. 1993

March Jerry. *Advanced organic chemistry 4th edition*. USA: A Wiley- Interscience Publication 1992

Murray Robert K, Granner Daryl K, Mayes Peter A, Rodwell Victor W. *Harper's Biochemistry 23rd edition*. USA: Prentice Hall International Inc. 1993

Streitwieser Andrew, Heathcock Clayton H, Kosower Edward M. *Introduction to organic chemistry 4th edition*. USA: Prentice Hall International Inc. 1998