

BOLK KOMPENDIUMOK

AZ ORVOSI TANULMÁNYOKHOZ



BIOKÉMIA

fenomenológiai
nézőpontból

Christa van Tellingén, M.D.



LOUIS BOLK INSTITUUT

BOLK KOMPENDIUMOK

AZ ORVOSI TANULMÁNYOKHOZ

BIOKÉMIA

fenomenológiai
nézőpontból

Christa van Tellingen, M.D.

 **LOUIS BOLK INSTITUUT**

A Louis Bolk Intézetről

A Louis Bolk Intézet (Louis Bolk Instituut) 1976 óta úttörője az organikus mezőgazdaság, a táplálkozás és az egészségügy területén végzett innovatív tudományos kutatásoknak. Az intézet munkájának célkitűzése, hogy kiszélesítse a tudományos kutatás alapját. Ahol a konvencionális kutatási módszerek nem elégségesek, ott új módszereket keresnek, mint a goethei fenomenológia, részvételi kutatás (participatory research), pikto-morfologiai kutatás és tudati-intuitív módszerek. Rudolf Steiner filozófiája képezi az inspiráció forrását.

Publikációs szám: GVO 02

Postbank számlaszám 3530591

(Swiftcode ING BNL 2A, Postbank NV, Amsterdam)

További információ: Louis Bolk Instituut

Hoofdstraat 24

NL 3972 LA Driebergen

Tel: (+31) (0) 343 - 523860

Fax: (+31) (0) 343 - 515611

Web: www.louisbolk.nl

E-mail: c.vantellingen@louisbolk.nl

Kolofon:

©Louis Bolk Instituut, 2006

Borító: Fingerprient Driebergen

Festmény a borítón: Vincent van Gogh

köszönet a Kröller-Müller Múzeumnak

A szerzőről

Christa van Tellingén M.D. (Hollandiában született 1949-ben) 1982-től családorvos Kaliforniában. Már orvosi tanulmányai kezdetén felismerte egy új tudományos megközelítés fontosságát az ember egészségének és betegségének a megértésében. Praxisában a páciensek megértéséhez és kezeléséhez nagyon hasznosnak találta a megfigyelés goethei fenomenológiai módszerét. Medikusokat és orvosokat tanított az Egyesült Államokban, Kanadában, és Európában.

1998-ban egyike volt „Az Orvostudomány Megújítása” nevű program alapítóinak a Louis Bolk intézetben, mely kiegészítést kínál az ember jelenlegi biomedikális tudományos megközelítéséhez.

A projektről

Az „Orvostudomány Megújítása” keretében olyan kötetek készülnek, amelyek bemutatják, hogyan lehet a jelenlegi biomedikális tudomány tényeit másképpen értelmezni Goethe fenomenológiai módszerének segítségével. Ez új elképzeléseket eredményez a biomedikális tudományban. Az új elképzelések által ismét lehetséges lesz a biokémiai, fiziológiai és morfológiai sokszínűség térbeli és időbeli fejlődésének megértése az élő szervezetben. Ezáltal megérthetjük például a tudat, a lélek és viselkedés viszonyulását a test formájához. A **BOLK** KOMPENDIUMOK AZ ORVOSI TANULMÁNYOKHOZ kiegészítik a jelenlegi orvosi- oktatást; specifikusan tárják fel az emberi kvalitásokat napjaink biomedikális tudományában.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	5
Előszó	7
Köszönetnyilvánítás.....	8
Bevezető.....	9
1. Anyagcsere.....	11
1.1. Felépítő és lebontó folyamatok, energiaszállítás.....	11
1.2. Biokémiai ciklusok az anyagcserében	13
1.2.1. Egy biokémiai ciklus a szervezetben, mint egészben	13
1.2.2. Egy biokémiai ciklus a természetben.....	13
1.2.3. A citromsav-ciklus	14
1.2.4. Időbeli biokémiai ciklusok.....	16
1.2.5. Egyedfejlődés, törzsfejlődés és időbeli ritmusok	18
1.3. Összegzés és konklúzió	19
2. A szénhidrátok, fehérjék és lipidek szerkezete és kötése.....	22
2.1. Polimerek, monomerek és kötések.....	22
2.1.1. Összetett szénhidrátok/poliszacharidok.....	22
2.1.2. Fehérjék	24
2.1.3. Lipidek.....	24
2.2. Összegzés és konklúzió	26
3. A szénhidrát anyagcsere és működése.....	29
3.1. A szénhidrátok és a víz	29
3.2. A szénhidrát polimerek funkciói	30
3.3. A glükóz és az energia	31
3.4. Összegzés és konklúzió	32
4. A fehérjék anyagcsereje és működése	34
4.1. A fehérje-anyagcsere és a nitrogén	34
4.1.1. A nitrogénegyensúly	34
4.1.2. Nitrogén-anyagcsere a természetben	34
4.1.3. Az élőlények ureaciklusa.....	35

4.2. A fehérjék szerkezete, mint a fehérjeműködés alapja.....	36
4.2.1. A fehérjeszerkezet egyedisége	36
4.2.2. Szálszerű fehérjék	37
4.2.3. Gömbszerű fehérjék	37
4.2.4. Membránfehérjék.....	38
4.2.5. Glikoproteinek	38
4.3. Aminosavak	39
4.3.1. Aminosav-működés	39
4.3.2. Aminosav-anyagcsere.....	39
4.4. Összegzés és konklúzió	40
5. A lipidek szerkezete és anyagcséréje.....	43
5.1. A lipidek osztályozása	43
5.1.1. A lipidek szerkezete	43
5.1.2. A lipidek működése.....	43
5.2. Trigliceridek és zsírsavak	44
5.2.1. A trigliceridek és a zsírsavak anyagcséréje.....	44
5.2.2. Zsírsavanyagcsere éhezéskor és diabetes mellitusban.....	45
5.3. Egyéb nyíltláncú lipidek és a membránok.....	46
5.3.1. Membránkomponensek és funkciók.....	46
5.3.2. Membránok az idegrendszerben	46
5.3.3. Membránok, mint „tároló helyek”	47
5.4. Kapcsoltgyűrűs lipidek	47
5.4.1. Koleszterin.....	47
5.4.2. Szteroid hormonok	48
5.4.3. D-vitamin	48
5.5. Összegzés és konklúzió	48
6. Áttekintés és konklúzió.....	51
6.1. Ciklusok és ritmusok.....	51
6.2. Szénhidrátok, növények és fény	51
6.3. Fehérjék, állatok, valamint matematikai és zenei törvények	52
6.4. Emberek, lipidek és a „nem” kimondásának képessége.....	52
Irodalomjegyzék.....	54

Előszó

A **BOLK** KOMPENDIUMOK AZ ORVOSI TANULMÁNYOKHOZ sorozat e kötetét abbéli törekvésünkben prezentáljuk, hogy támogassuk az orvosi és egyéb tudományok hallgatóit biokémiai tanulmányaikban, és segítsünk nekik abban, hogy jobban emlékezzenek rá későbbi tanulmányaik és munkájuk során.

Kiegészítő műnek szánjuk a biokémiához, hogy a goethei módszerként ismert innovatív tanulási és kutatási megközelítés felhasználásával egy az egész témát átfogó kép elsajátítását segítsük elő. A hollandiai Louis Bolk Intézetben, ahol ez a mű született, ezt a módszert széles körben használjuk a mezőgazdasági, a táplálkozástani és az orvosi kutatások során. A módszer célja, hogy a részletek összekapcsolása révén az értelmezést segítse. Mivel részletes biokémiai tudásunk az egységes élőlények vizsgálatán alapszik, megtehetjük, hogy a részleteket újból összerakjuk, és ezzel bővítjük tudásunkat az élőlények működéséről.

A goethei módszer során jelenségeket gyűjtünk és jellemezünk, például úgy, hogy megmutatjuk, hogy bizonyos folyamatok az élővilágban hol jellemzőek. Ha összehasonlítjuk a szervezetben vagy az élővilág más részében az alap folyamat típusokat, következtetéseket vonhatunk le azok szervein belüli, illetve a szervezet egészében betöltött szerepüket, jelentésüket illetően. Így tehát jobb rálátásunk lesz a témára.

Ennélfogva e kötet tanulmányozása – a biokémia tankönyvek részletei mellett – segít megtalálni a szervek, az élőlények és az élővilág közötti összefüggéseket.

Ajánljuk ezt a művet mindazon tanulóknak, akiknek szükségük van a biokémiai tények megismerésére, és azokat magasabb szinten is meg akarják érteni.

Hangsúlyozzuk, hogy ez a Kompendium nem helyettesíti a biokémia tankönyvet. A Kompendiumban található információ tömör, és ezen tankönyvek ismeretét feltételezi. Reméljük viszont, hogy (még) érdekesebbé tehetjük a szövegek olvasását és tanulását.

A tudomány ilyenén megközelítése az író és tudós Wolfgang von Goethe-től származik. További információkért ajánljuk Henri Bortoft (1986) könyvét.

Köszönetnyilvánítás

Ez a Komentarium a Louis Bolk Intézetben, a hollandiai Driebergenben készült. A munkatársak közötti inspiráló ötletcsere eredménye. Nagyon hálás vagyok Reinout Amonsnek, Harry Scholbergnek, Maria Lindernek, Tom Scheffersnek, Willem Jan van Mierlonak, Edmond Schoorelnek, Guus van der Bienek és még sokaknak értékes megjegyzéseikért, és alig várom, hogy a jövőben is együtt dolgozhassunk. A következő téma a sejtbiológia molekuláris alapja lesz.

Ezt a projektet anyagilag az Iona Stichting, a Stichting Phoenix, a Pharma Natura (Dél- Afrika), a Stichting ter Bevordering van de Heilpedagogie, a Stichting Triodos és magánemberek felajánlásai tették lehetővé.

dr. Christa van Tellingen

Driebergen, 2001. szeptember

Bevezető

Hogyan tiszteljük magát az életet, amikor az életet tudományosan tanulmányozzuk?

A biokémia az élettudományok azon területe, mely leginkább betekintést nyújt az élőlényekben zajló folytonos és sokrétű változásokba. Megmutatja, hogy az anyagok nem állandóak, hanem örökké változnak szerkezetükben és funkciójukban egyaránt. A sejtek – beleértve a sejtmembránt is – a szövetekhez és élőlényekhez hasonlóan áramlásban lévő struktúrák.

Az élőlények áramlása az anyagcseréjükhöz kapcsolódik. Míg szöveti és szervi szinten egy élőlény viszonylag stabilnak tűnhet, biokémiai szinten a komponensek többé-kevésbé állandóan részei valamilyen anyagcsere-folyamatnak. Az anyagcsere a komponensek a sejtekben és szövetekben végbemenő folyamatos átalakulása: nagyobb molekulák épülnek fel (felépítő vagy anabolikus folyamat), vagy a nagyok kisebb molekulákra bomlanak szét (lebontó vagy katabolikus folyamat). A szövetek anyagcseréjének módja és sebessége percről percre változik a szöveti funkciótól, a napszaktól, az életkortól és a tudatállapottól függően. A biokémia az élő szervezetek kémiájával foglalkozik. Az élőlények egységként működnek, következésképp a biokémiai folyamatok összekapcsolódnak. Ha az egyes folyamatokat a szervezet egészébe tudjuk illeszteni, szem előtt tartjuk az anyagáramlás egységét, és jobban eleget teszünk az élet törvényeinek.

A biokémia megtaníthat bennünket arra, hogy az emberi testet egy patakban kialakult állóhullámként lássuk. Az állóhullám akkor jön létre, ha a patakmeder egyenetlenségei – például egy kő – miatt hullámot formáz a víz. Az állóhullám alakja többé-kevésbé változatlan, miközben mindig új víz folyik keresztül rajta. A patakmeder egyedi mintázata és a víz tulajdonságai meghatározzák az álló hullám alakját. Ugyanakkor a patakmeder változik az álló hullámban folyó víz hatására. Az állóhullám alakja és a patakmeder egyedi mintázata kölcsönösen függenek egymástól.



A folyó víz és a patakmeder alakjának kölcsönös függéséhez hasonlóan egy élőlényben folyó anyagcsere-reakciók és az élőlény fajtája és alakja is összekapcsolódik. E folyamatok árama egyedi minden szervezetben. Ez az élő szervezetekre igaz. A szervetlen kémia folyamatai külön-külön is végbemehetnek; sokkal inkább önállóan léteznek.

Megpróbáljuk felkutatni, hogy a különböző biokémiai anyagcsoportoknak és azok reakcióinak van-e prototípusa helyüket és funkciójukat illetően, továbbá hogy hol és hogyan illeszkednek az anyagok metabolikus áramának egészébe. Például: minden élő szervezetben van szénhidrát-anyagcsere; meg fogjuk mutatni, hogy az emberi szervezetben, illetve az élő természetben hol tökéletesedtek és hol

játszanak különleges szerepet a szénhidrát-folyamatok.

Úgy fogjuk ezt megtalálni, hogy leltárt készítünk az anyagcserében résztvevő komponensek egyedi reakcióiról, külleméről és előfordulásáról, aztán jellemezzük őket, hogy látszódjék a szóban forgó folyamat fajtája. Az anyagcsere-áramban meglévő kapcsolatok feltérképezéséhez az összehasonlító módszert használjuk, amely megmutatja, hogy a különböző folyamatok hogyan rendeződnek egységbe az élő szervezetekben.

Ennek eredményeként egészében láthatjuk a tényeket, és jobban megérthetjük az anyagcsere-folyamatok áramlását. A tapasztalat azt mutatja, hogy ha valamit egészként látunk, könnyebben megjegyezzük a részleteket is. E kötet tanulmányozása érdekesebbé és könnyebben megjegyezhetővé teszi a biokémiát, növelve egyúttal a természet iránti tiszteletünket.

A bekeretezett kérdésekre még nincs kielégítő válasz. Ezeket inspirációnak szánjuk további kutatásokhoz.

1. Anyagcsere

Bevezető

Az anyagcsere-áram felépítő és lebontó folyamatokon alapul. Az anyagcsere a táplálék bevitelével kezdődik, ami a szervezet számára idegen, változó mennyiségű kisebb-nagyobb összetevőket tartalmaz, és hidrolízissel kisebb molekulákra bomlik az emésztőcsatornában.

Az anabolikus, azaz a felépítő fázis jelenik meg akkor, amikor a kisebb molekulák bekerülnek az élőlény véráramába, és a szervezet részévé válnak. A katabolikus, azaz a lebontó folyamatok ugyanakkor megállás nélkül bontják le a szervezetet, annak működési igényeinek megfelelően.

Megmutatjuk, hogy milyen kapcsolatok vannak a szervekben és a szervezetekben zajló folyamatok között, valamint azt is, hogy miként kapcsolódnak össze az élőlények az élővilágban.

1.1. Felépítő és lebontó folyamatok, energiaszállítás

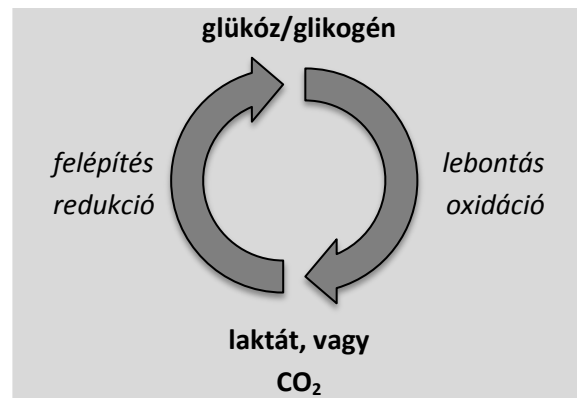
A anyagok áramlása az anyagcserében alapvetően két ellentétes irányban zajlik.

1. Felépítő (anabolikus) irány:

Az anyagcsere felépítő ágán nagyobb molekulák készülnek a kisebbekből. *Reduktív* kémiai folyamatok játszanak döntő szerepet ezekben a reakciókban. Ilyen például az összetett szénhidrátok felépítése laktátból vagy széndioxidból.

2. Lebontó (katabolikus) irány:

A lebontó folyamatok az ellenkező irányba haladnak, az összetettebb molekulákat kisebbekre bontják. Ezekben a reakciókban a kémiai *oxidáció és dehidrogenizáció* játszik fontos szerepet. Ilyen például a glükóz vagy a glikogén átalakítása széndioxiddá.

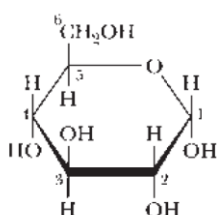


1.1. ábra. Felépítő és lebontó folyamatok a szénhidrát-anyagcserében

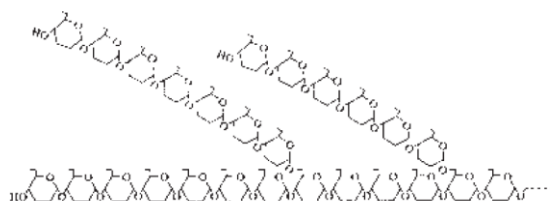
A *felépítő folyamatok* hatására nagyobb molekulák képződnek, amelyek beépülnek a szervezet látszólag állandó szerkezetébe. A felépítő reakcióknak a folyamat végbemeneteléhez általában *energiára van szükségük*. Energia kell a reakcióhoz és a létrejött bonyolultabb vegyületek szerkezetének összetartásához is. A vegyületek szerkezetébe *befogott energia* tárolt, előhívható energia. Ez az energia például a molekulák közötti kötésekben nyilvánul meg. Példák erre:

- minden kovalens kötés, beleértve a bonyolult szénhidrátok glikozidos kötéseit és a fehérjék elsődleges szerkezetének peptid kötéseit;
- a különböző kötések, amelyek összetartják a fehérjék háromdimenziós szerkezetét, pl. peptid kötések, H-hidak, kén-hidak;
- a lipid szerkezetek hidrofób és van der Waals kötéseit.

A *lebontó folyamatok* anyagokat bontanak le a szervezetben, minek eredményeként *energia szabadul fel* más célokra. A felszabadított energia felhasználható az izmok mozgásához (biomechanikus energia), az idegszövet vezetésének serkentéséhez (bioelektromos energia), a biokémiai anyagok szintetizálásához és az anyagok aktív transzportjának működtetéséhez.



α-D-glükóz



glikogén (Campbell, 1999)

A *felépítő folyamatok* kötési energiát építenek be a nagyobb molekulákba, melyek ezután részévé válnak a sejt, vagy szövet szerkezetének, például a sejtmembránnak, a kötőszöveti rostoknak vagy a glikogénnek a májban. A *lebontó folyamatok* tulajdonképpen ezt az energiát szabadítják fel. Az élőlények szerkezeti anyagainak van tehát egy további funkciója, szükség esetén potenciális energiaforrásként szolgálhatnak.

Trauma vagy extrém körülmények – például éhezés – esetén, a szervezet több különböző szerkezeti molekula lebontásával fedezi szükségleteit. Végül minden élőlény anyaga a környezetében köt ki, vagy energia formájában (például izommozgás hatására, bizonyos halak fluoreszcens fényével stb.), vagy anyagként (mint kiválasztott termék, vagy az élőlény halála után).

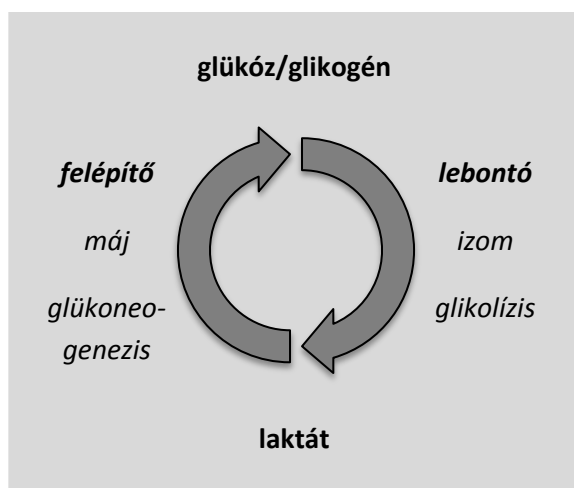
KÉRDÉS: Vajon a különböző típusú kötések eredendően adóttak a különböző típusú vegyületekben? Vajon a különböző típusú energiákat különböző típusú kötések tárolják?

KÉRDÉS: Vajon honnan jön az az energia, amit az olyan szellemi folyamatokhoz használunk, mint például gondolatok, érzések vagy elhatározások? Vajon ez is a szervezet szerkezetének lebontásából szabadul fel?

1.2. Biokémiai ciklusok az anyagcserében

A felépítés és a lebontás ellentétes folyamatok, de az egyik mégsem a másik egyszerű megfordítása. Általában a felépítő utak számos kulcsfolyamata más enzimeket igényel és/vagy más köztes termékeket produkál, mint a lebontásban használatosak. A felépítés és lebontás megfér egy sejten belül, de gyakran különböző sejtalkotórészekben (például a lipid felépítés a citoszolban, míg a lipid lebontás a mitokondriumban) és valószínűleg nem egy időben történik. A felépítés és lebontás nem egyszerűen ellentétei egymásnak, hanem körforgásként kapcsolódnak össze, ahol az egyik követi és előkészíti a másikat. Nincs lebontás anélkül, hogy valamit előbb felépítettünk volna, amit aztán lebonthatunk. Nincs felépítés a lebontásból származó energia nélkül, ami aztán beépül a nagyobb struktúrákba.

1.2.1. Egy biokémiai ciklus a szervezetben, mint egészben



1.2. ábra. A Cori-kör: példa a felépítő és lebontó folyamatok körfolyamattá kapcsolódására a szervezetben, mint egészben

A szervek közötti anyagcsere-ciklusra példa az anaerob terhelés alatti anyagcsere. Az úgynevezett Cori-kör a terhelt izom glikolízisét és a máj glükoneogenezisét foglalja magába.

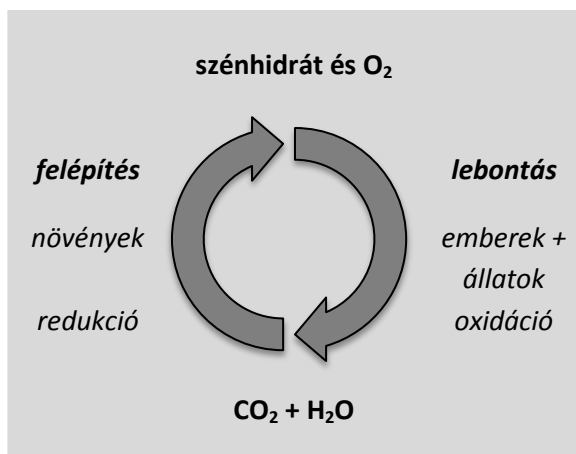
Megerőltető terhelés során a közvetlenül hasznosítható többletenergia érdekében a vázizmok anaerob módon glükózt bontanak laktáttá (glikolízis). A vér elszállítja a laktátot a májba, ahol glükóz újra felépülhet a laktátból (glükoneogenezis). Ez tárolódhat glikogén formájában, vagy a vér visszashallíthatja az izomba, hogy ismét energiaforrásként szolgáljon az izom-összehúzódáshoz.

Az emberi szervezetben a felépítő és lebontó folyamatok a szervek között periodikusan válthatják egymást.

1.2.2. Egy biokémiai ciklus a természetben

A természetben az élőlények között egy szénhidrát-körforgás áll fenn.

A zöld növények a széndioxidot és a vizet a fotoszintézisnek nevezett folyamatban szénhidráttá és oxigénné redukálják. A fotoszintézisben készült szénhidrátokból építik fel szervezetüket, és oxigént bocsátanak ki. Ez egy redukív, felépítő folyamat a növényben, ami energiaforrásként a külső napfényt használja.



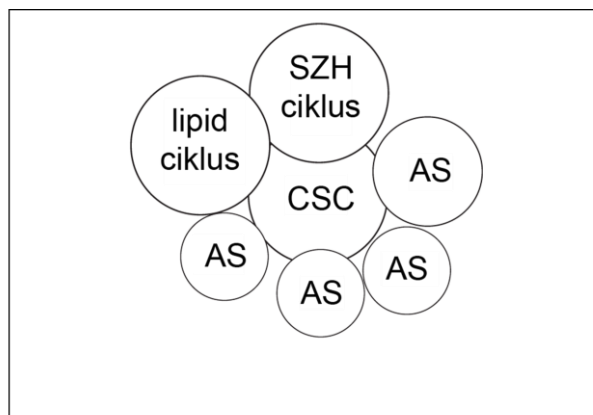
1.3. ábra. Példa a kapcsolt felépítő és lebontó folyamatokra a természetben

Az oxigént és a fotoszintézisben termelt növényi szénhidrátot aztán magasabb élőlények használják fel oxidatív folyamataikban, és az emésztés során lebontják a szénhidrátokat. Az anyagi-körforgás, amely egyrészt a növények, másrészt az emberek és állatok között áll fenn, az élőlényeket a természetben különböző módon érinti.

Az emberi és állati anyagcsere szerepe a természetben elsősorban lebontó. A növényi anyagcsere *eredendően* felépítő szerepet játszik a természetben, és ez szolgáltatja a magasabb élőlények elsősorban lebontó anyagcseréjéhez szükséges energiát.

1.2.3. A citromsav-ciklus

Az anyagcsere aerob része a mitokondriumban kezdődik. A mitokondriumban található citrát-kör nyolc lépésében a szénhidrátok, a fehérjék és a lipidek metabolitjai végül széndioxidá és vízzé oxidálódnak. Ez a lebontó folyamat adenzin-trifoszfát (ATP) formájában nagy mennyiségű biokémiai energia képződését eredményezi. A folyamat befejeződéséhez némely, a citrát-körben keletkezett energiaszállító molekulának részt kell vennie a mitokondrium belső membránjában zajló ún. oxidatív foszforilációban, amikor az oxigén (O₂) vízzé (H₂O) redukálódik, s ennek segítségével az energia ATP-vé alakul. Ezek az energiaszállító molekulák például a NADH (a nikotinamid-adenin-dinukleotid redukált formája) és a FADH₂ (a flavin-adenin-dinukleotid redukált formája). A citrát-kör egyben a glükoneogenezis kiindulópontja is, és intermediereket szolgáltat a fehérjék és a lipidek szintetizálásához, illetve a hemoglobin hem részéhez. A citrát-körben felépítő és lebontó anyagcsere-utak találkoznak. A ciklusok összekapcsolódnak más ciklusokkal, a citrát-körrel a középpontban.

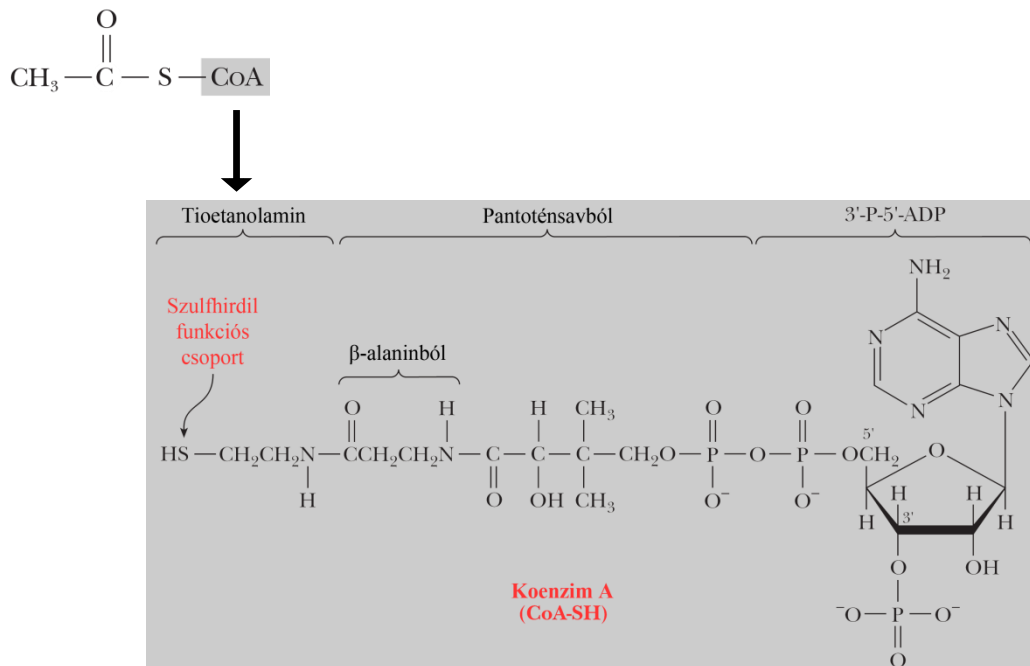


1.4. ábra. A citrát-kör központi szerepe (SZH = szénhidrogén, AS = aminosav, CSC = citromsavciklus)

Az acetyl-CoA és a citromsav-ciklus

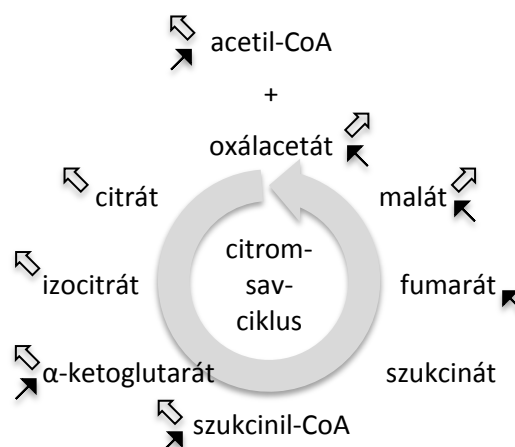
Az acetyl-coenzim A az a molekula, amely elindítja a citrát-kört, miután annak „végtermékéhez”, az oxalacetáthoz kötődik. A szénhidrátok és lipidek minden metabolitja acetyl-CoA-ként lép be a ciklusba, és sok aminosavnak is ez a kapcsolódási pontja a végső oxidatív lebontáshoz.

Az acetil-CoA valószínűleg α kulcsmolekula az anyagcserében (lásd még a 2.1.3. szakaszt és az 5. fejezetet). Amellett, hogy a citrát-kör indító molekulája, kiindulópontja a zsírsav és koleszterinszintézisnek is.

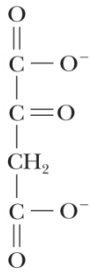


Az acetil-koenzim A (fent) és a koenzim A (lent) (Campbell, 1999)

Baktériumokban és növényekben az acetil-CoA átalakítható oxálacetáttá vagy a citrát-kör más intermedierévé a glioxalát-úton, és mint ilyen, egyaránt kiindulópontja lehet az aminosavak és szénhidrátok szintézisének. A glioxalát-ciklus emlősökben hiányzik, ami megakadályozza őket abban, hogy a zsírokat szénhidráttá alakítsák. Ez az oka annak, hogy az emlősök nem tudnak kizárólag zsírt tartalmazó táplálékon élni. Sok baktérium használ egyszerűen acetilsavat – acetil-CoA-vá alakítás útján – a szervezetét felépítő anyagok szintetizálásához.



1.5. ábra A citromsavciklus és annak felépítő („⇌”) és lebontó („→”) irányú kapcsolatai, „+” jelöli az acetil-koenzim A és az oxálacetát kapcsolódási helyét.



Az oxálcetátot jellemzően megfelelő szinten kell tartani ahhoz, hogy az acetyl-CoA beléphessen a citrát-körbe. Az oxálcetát *ugyanúgy* kiindulópontja a glükoneogenezisnek is.

Oxálcetát

1.2.4. Időbeli biokémiai ciklusok

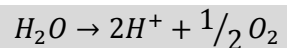
A biokémiai ciklusokban a felépítő és lebontó folyamatok hangsúlya eltérő a különböző napszakokban (cirkadián ritmus) és az élőlény különböző életciklusaiban.

Fotoszintézis a növényekben

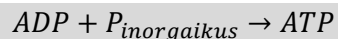
A fotoszintézis főleg a zöld növények leveleiben zajlik. Igazából két folyamatot jelöl, a fény-szakaszt és a sötét-szakaszt.

1. Fény-szakasz

A fény-szakasz reakciói fény hatására mennek végbe, melyet a klorofill fog be (a klorofill a növények egyik biokémiai alkotója, amely hasonló a magasabb élőlények vérében található hemoglobinhoz). A fényreakciók közé tartozik a víz oxidációja, miközben oxigén keletkezik.



Az ebben a *lebontó* folyamatban megjelenő energiát köti meg a növény, a $NADP^+$ $NADPH$ -vá alakításán keresztül, az adenzin-difoszfát (ADP) ATP-vé foszforilálásával, mely a víz oxidációjához kapcsolt átalakulás. A második fényreakció:



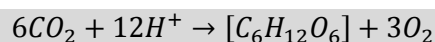
Az ATP egy energiaszállító molekula, amely a biokémiai energia közvetlenül hasznosítható formái közé tartozik (lásd még a 3.3. szakaszt). Normális körülmények között a fotoszintézis fényszakasza nappali folyamat. A fényreakciók napenergiát használnak, hogy elérhetővé tegyék a vízmolekulát összetartó energiát, ami ezután $NADPH$ útján ATP-vé alakul.

A fényszakaszban a növény biokémiai energiává alakítja a napfényt.

A fény hajtja a protonok áthelyezését az egyik anyagról a másikra, termodinamikailag „hegynek fel” történő irányban.

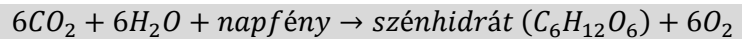
2. Sötét-szakasz

A fotoszintézis második része a *sötét-szakasz*. Ide tartozik a CO_2 megkötése a cukrok készítéséhez:



Ehhez a *felépítő* folyamathoz az energiát a fényszakaszban keletkezett ATP szolgáltatja. A sötét-szakaszban diszaharidok és poliszaharidok (keményítő és cellulóz) keletkeznek. Ahogy neve is sugallja, ez a szakasz nem függ *közvetlenül* a napfénytől, csak *közvetetten*.

A fotoszintézis általános egyenlete:



A növény klorofillje napközben elnyeli a napfényt és a fotoszintézisben közvetlenül elérhetővé teszi azt a fényszakasz, közvetetten pedig – kémiai energiává alakítva – a sötét-szakasz számára. A növények mutatnak nekünk példát napenergia-hasznosításból!

A növény a fotoszintézis sötét-szakaszában építi fel szervezetét, aminek eredményeként szemmel láthatóan nő. A fényszakasz nem eredményez látható növekedést, hanem energiát termel, ami szabad szemmel láthatatlan. A látható növekedés ott megy végbe, ahová nem esik fény. Az, hogy a növények a Nap felé nőnek, illetve az a bonyolult folyamat, ami a napraforgó fejét a fény felé fordítja, azon alapul, hogy a növény gyorsabban nő Nap felől elfordított oldalán, vagyis ahol a sötét reakció végbemehet. A növény megvilágított oldalán a napenergia biokémiai energiává alakul, miközben a víz oxidálódik.

A fotoszintézis fény-szakasza éjszaka nem működhet, hacsak nem biztosítunk mesterséges fényforrást. A növényi anyagcsere a nappal és az éjszaka körforgásához kapcsolódik. A növények belső óráját normális esetben a Nap fényének ritmusa állítja be. A növényi ritmusokat könnyedén befolyásolhatjuk a megvilágítás változtatásával, ahogyan az a mesterséges világítású üvegházakban történik.

KÉRDÉS: A növények nappal, vagy éjszaka nőnek gyorsabban?

Magasabb élőlények anyagseréje az időben

Emberekben és a magasabb rendű állatokban evés után a felépítő folyamatok kerülnek túlsúlyba. A felépítés előtérbe kerül a növekedési periódusok alatt is. Az élet kezdetén, amikor a növekedés kifejezettebb, az anyagserének erősebb a felépítő jellege, mint az élet későbbi szakaszában. Az emberek lebontó állapotokat tudnak előidézni koplalással. Betegség alatt a lebontás dominál.

Állatokban és emberekben a biológiai óra ritmusa szabályozza az anyagcsere folyamatát. A fénynek itt is szerepe van a belső óra beállításában. Az állatok és az emberek anyagseréje cirkadián ritmusban (nap-éj ritmusban) működik. Az anyagcsere cirkadián ritmusa nagyon korán kimutatható a madarak embrióiban és az emberi újszülöttekben is. A felnőtt emberi szervezetben a Naphoz kötött ritmus eltolódott mind az alvást és ébrenléteket, mind az anyagserét illetően.

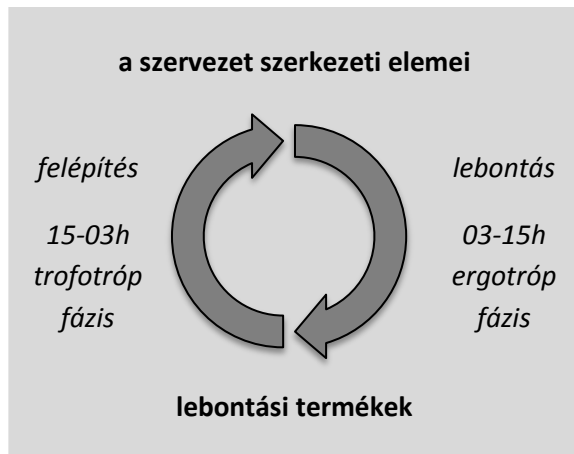
1. Az ergotróp fázis: hajnal három és délután három között.

Hildebrandt és mt. (1998) kimutatták, hogy egyszeri, 2000 kalóriás étkezés ebben az időszakban több mint fél kilós súlycsökkenést eredményez öt nap alatt. Megmérték az oxigénfogyasztást is, úgy, hogy az alanyok gyakran (kettő-négy óránként, éjjel-nappal), egyenlő, kicsi, alacsony fehérjetartalmú táplálékot vettek magukhoz. Az oxigén felhasználás 50%-kal magasabb az ergotróp fázisban (a napi átlagos oxigénfogyasztás 120%-a). Ebben a fázisban a lebontás van túlsúlyban.

2. A trofotróp fázis: délután három és hajnal három között.

Ugyanaz az egy fogás a trofotróp fázisban egy hét alatt több mint fél kilós súlygyarapodást eredményez. Az oxigénfogyasztás a napi átlag 80%-a. Ebben a fázisban az anyagcsere felépítő folyamatai dominálnak.

A felnőtt ember anyagcseréjében a Naphoz kötött ritmus eltolódott a hajnal három /délután három ritmus irányába.



1.6. ábra. Időbeli ritmusok az anyagcsere-folyamatokban

Az ember biológiai órája ellenáll a változásoknak; nehezebb befolyásolni, mint a növények óráját (Hildebrandt és mt., 1998). Az embereknek akár egy-három hétbe is telhet, hogy egy időzónákon átívelő repülőút után élettanilag alkalmazkodjanak (az amerikaiak ezt el is nevezték „Jet Lag”-nek, ami magyarul szó szerint sugárhajtású késést jelent; a kifejezés nyomtatásban a 60-as években jelenik meg először, a ford.). Egy gyors időzóna-átlépés után sok belső ritmus fázisát el kell tolni. Néhány ritmus a megérkezés napján alkalmazkodik az új időzóna nap-éj ritmusához, másoknak hetek kellene az illeszkedéshez. Általában a belső óra naponta egy-két órát tud változni egy ilyen utazás után.

1.2.5. Egyedfejlődés, törzsfejlődés és időbeli ritmusok

Hildebrandt és munkatársai különböző ritmusokat írnak le az élőlényekben:

A. Hosszúhullámú ritmusok:

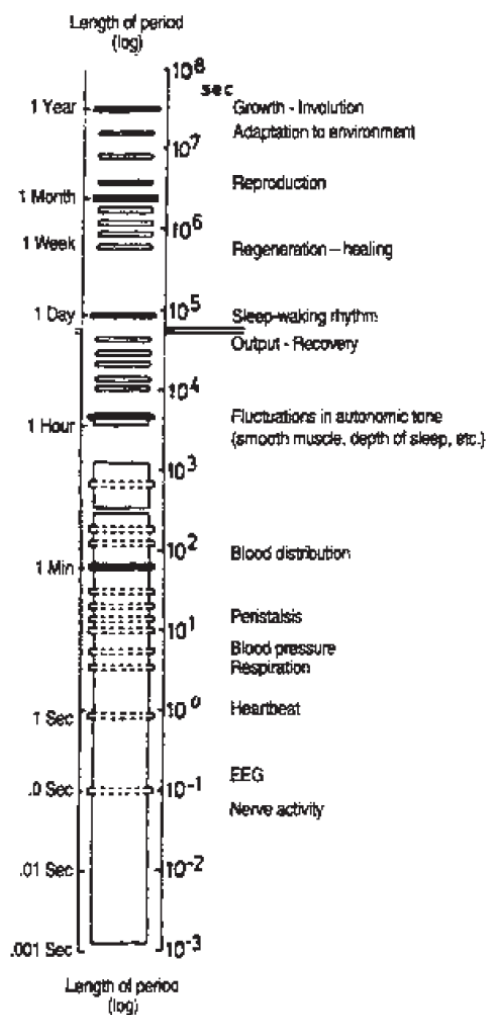
- cirkannuális ritmus, azaz éves ritmus
- cirkalunáris ritmus, azaz havi ritmus
- cirkaszeptán ritmus, azaz heti ritmus
- cirkadián ritmus, azaz napi (diurnális) ritmus

B. Középhullámú ritmusok:

órás és perces ritmusok, amiket szervezetben találunk, például ilyen a perisztaltika és a légzés ritmusa.

C. Rövidhullámú ritmusok:

másodpercek vagy másodperctörédek ritmusai. A sejtekben és szövetekben ezek vannak túlsúlyban [ahogyan az például az agy elektro-enkefalogram (EEG) ritmusaiban látszik].



1.7. ábra (forrás: Hildebrandt, 1998)

Általában a hosszúhullámú ritmusok inkább *exogén ritmusok*, ami azt jelenti, hogy külső behatásoktól függenek, például a Nap vagy a Hold ritmusától. A növényekben a hosszúhullámú – azaz cirkannuális és cirkalunáris – ritmusok túlsúlyban. A növényeknek nincs erősen fejlett belső ritmusuk, ez könnyebbé teszi belső órájuk külső megváltoztatását, ahogyan az például a mesterséges megvilágítású üvegházakban történik.

A rövidebb hullámhosszú ritmusok, pl. szervritmusok, általában *endogén ritmusok*. Ezek csak a belső órától függenek. Az endogén ritmusok fejlettebbek az állatokban. Minél magasabban fejlett egy állat, annál inkább fejleszt ki egy egész spektrumot a ritmus-frekvenciákból, egészen a nagyon rövidéig.

Az embereknek kifejezett endogén ritmusuk van. Az említett időzónás eltolódás is az erős endogén ritmus eredménye. Az emberek kifejlesztettek egy további fontos tulajdonságot is az időbeli ciklusokkal kapcsolatban – képesek vagyunk fokozatosan *felszabadítani* magunkat az exogén hosszúhullámú ritmusok befolyása alól (ilyen például a Nap és a Hold ritmusa). Ezek az exogén ritmusok belsővé válva működhetnek az emberi szervezetben fáziseltolással is. A Naphoz kötött napi ritmus fent említett eltolása mellett másik példa erre a női ciklus és a holdfázisok kapcsolata. Az emberi lények viszonylag függetlenek lehetnek az exogén ritmusoktól, és önállóbbak lehetnek az időbeli ritmusok tekintetében.

1.3. Összegzés és konklúzió

Anyagcsere-folyamatok

Általában az emberi szervezet anyagcsereje a belekből származó bontási termékekkel kezdődik, melyek a felépítő és lebontó folyamatok számára elérhetővé válnak. Felépítő reakciók építik fel a szervezet anyagait. Felépítő folyamatok teszik lehetővé a szervezet számára, hogy „anyagot szerezzen” és formát öltson. A szervezet láthatóvá válik, akár egy álló hullám a patakban.

A nagyobb molekulák kötési energiát tartalmaznak, ami a molekula szerkezetét tartja össze. Ezt az energiát a lebontó folyamatok tehetik hozzáférhetővé a szervezet közvetlen energiát igénylő funkciói számára. Az élő szervezetek anyagcserejének áramlása szubsztanciájuk lebontásával ér véget, ami energiát szabadít fel a szervezet funkciói (például felépítő biokémiai folyamatok, bioelektromos-, biomechanikus-, illetve aktív transzport szükségletek) számára.

A citromsavciklus, amely a mitokondriumban zajlik, az oxidatív lebontás középpontjában áll, és a nagy molekulák redukzív szintézisének kiindulópontjaként is szolgálhat a szervezetben. Az acetil-CoA kiemelkedő szerepet játszik az anyagcsere-működés e központjában.

A növények anyagcsereciklusa a víz bontásával kezdődik. A zöld növények a víz napenergia segítségével történő bontásából szerzik az energiájukat. A víz oxidációja szolgáltatja azt az energiát, amelyre a növénynek szervezete felépítéséhez szüksége van. A növények ráadásul fontos részei a táplálékláncnak a természetben. Táplálékul szolgálnak az állatoknak és az embereknek, egyszersmind oxigént biztosítanak a lebontó folyamatokhoz, amelyek szükségesek a tápanyag hasznosítható energiává és metabolitokká alakításához. Tehát a magasabb élőlények működéséhez kellő energia közvetetten a növényekben zajló napfény általi vízbontásból származik.

Jellemzés

A két ellentétes anyagcsere-folyamat, a felépítés és a lebontás igazából különböző biokémiai reakciókat, sejtszervecskéket, szerveket és/vagy szervezeteket, illetve időbeli ritmusokat magukba foglaló *körforgások* része.

Bioritmusok

A *napfény* szolgáltatja az energiát a víz bontásához a növényekben, és meghatározza e folyamat napi ritmusát is: a megvilágítás a meghatározó tényező a növények, de az állatok és emberek belső órájának beállításában is. Az emberi szervezetnek saját belső órája van, ami irányítja az anyagcsere-ciklust, minthogy periodikusan áthelyezi a hangsúlyt a felépítő, vagy a lebontó folyamatokra – mindezt egy eltolt napi ritmus szerint (ergotróp és trofotróp fázis), ami a Naptól függő ritmus belsővé válását jelzi.

Jellemzés

Az anyagcsere-ciklus hullámhosszspektruma az élőlény releváns folyamatának működési időtartamához kapcsolódik. A növényeknek hosszabb hullámú ritmusaik vannak, az állatoknak több endogén ritmusuk van, mint a növényeknek, az emberek pedig függetlenek lehetnek az exogén ritmusoktól.

Mivel itt egy alapvető különbséggel találkoztunk ember és állat között, – voltaképpen azzal, hogy az emberek viszonylag függetlenek lehetnek az exogén ciklusoktól, – a továbbiakban az emberi szervezetet külön tárgyaljuk.

KÉRDÉS: *Vajon milyen viszony van az anyagcsere (felépítő és lebontó) fázisai és a tudat állapotai között?*

Konklúzió: Az anyagcsere fontos szerepet játszik az élő szervezetek és környezetük közötti egységben. Az anyagcsere-folyamatok összekapcsolódó ciklusokban működnek, és időben is ciklusosak. A Nap ritmusa, mint exogén hatás, fontos szerepet játszik az anyagcsere ritmusaiban. Ennek alaptípusa a növényekben található meg. Az élő szervezeteknek megvannak a saját endogén időbeli ciklusaik, amelyek jobban kifejezésre jutnak magasabb rendű állatokban. Az emberek egy további alapvető képességgel rendelkeznek: viszonylag függetlenek lehetnek az exogén ciklusoktól.



2. A szénhidrátok, fehérjék és lipidek szerkezete és kötése

2.1. Polimerek, monomerek és kötések

A szénhidrátok, a fehérjék és a lipidek az ember elsődleges táplálékelemei. A tápanyagok (szénhidrátok, fehérjék és lipidek) a belekben kis molekulákra (metabolitokra) bomlanak, amelyek be tudnak lépni a bélfalon keresztül a vérbe. Az összetett szénhidrátok és fehérjék polimerek, amelyek nagyszámú kisebb, hasonló vegyületekre, az ún. monomerekre bomlanak. A lipideknek nincs monomer és polimer formája. *Egy szervezetben minden összetett alkotóelem magában a szervezetben keletkezik, és rá jellemző.*

2.1.1. Összetett szénhidrátok/poliszacharidok

A természetben három fő összetett szénhidrát található. Mindhárom poliszacharid (lásd még a 3.2. szakaszt). A keményítő és a cellulóz a növényekre jellemző termék. Ezek a glükóz polimer formái, és a glükózt tekintjük a keményítő és a cellulóz monomerének. Bár a növényekben mindkettő glükózból tevődik össze, a keményítőnek és a cellulóznak különböző formája és különböző feladata van. A glikogén az állatokban és emberekben található glükóz-polimer. Mindhárom poliszacharid nagyszámú D-glükóz molekulára bomlik.

Ezekben a poliszacharidokban a glükóz molekulákat α - vagy β -glikozidos kötések kapcsolják össze. A glikozidos kötések különleges kovalens kötések. E kötések különleges természete nagyban meghatározza a bonyolultabb molekulák alakját, jórészt azért, mivel ezek a kötések megakadályozzák bizonyos molekulák egymás felé fordulását.

A keményítő, a cellulóz és a glikogén homopoliszacharidok, mert csak egyféle monomert tartalmaznak, a glükózt. Vannak heteropoliszacharidok is, amelyek többféle monomert tartalmaznak, mint például a peptidoglikánok a baktériumok sejtfalában. Legtöbbször nincs kettőnél több különböző monomer a szénhidrát polimerekben. Úgy véljük, a szénhidrátok polimer szerkezete kevésbé differenciált, mint a fehérjéké (2.1.2. szakasz).



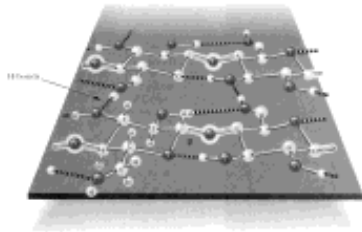
2.1. ábra Keményítő
(Campbell, 1999)

Keményítő

A keményítő granulumban van jelen a növényi sejtekben. Lebontása során nagyszámú α -D-glükóz keletkezik belőle. A keményítőben α -glikozidos kötések kapcsolják össze a glükóz molekulákat. Az amilóz, a keményítő legegyszerűbb alakja preferáltan egy hélix konformációba rendeződik. Az energia, ami a helikális szerkezetet és a glikozidos kötéseket összetartja, felszabadul, mikor a keményítő a növényben

vagy az állatok és emberek emésztőcsatornájában lebomlik. Szerepét tekintve fontos energiaforrásként szolgál az élővilágban. A növényi, állati és emberi enzimek könnyedén felbontják a keményítő-hélix α -glikozidos kötését, hogy felszabadítsák a glükózt, s a glükóz tovább bontható energiatermelés céljából (3.3. szakasz). A keményítőben a glükóz molekulák között lévő α -kötések meghatározzák annak energiaraktározó funkcióját is.

Cellulóz



**2.1. ábra Cellulóz
(Campbell, 1999)**

A cellulóz a növényi sejtfal fő alkotóeleme. A cellulóz β -glikozidos kötésekkel kapcsolódó β -D-glükóz molekulákból áll. A cellulóz β -glikozidos kötése a lineáris poliszacharid láncok között további H-hidak kialakulását teszik lehetővé. Ez egy erős, sík formát eredményez, ami nem bomlik le egykönnyen a növényekben, sőt az ember és sok állat emésztőcsatornájában sem. A cellulóz jellemző β -kötései és az ezáltal kialakítható H-hidak avatják a cellulózt szerkezeti szénhidráttá a

növényekben. A növények sejtmembránjait körülvevő sejtfal főleg cellulózból áll, ez adja a növények szilárdságát. A fás szárú növények több cellulózt tartalmaznak.

További β -glikozidos kötések tartalmazó alkotóelemek

A nem növényi eredetű szénhidrátokban aminosavak vagy aminosav-szekvenciák vannak, mint monomerek. A növényi sejtfalak viszonylag kevés fehérjét vagy peptidet tartalmaznak.

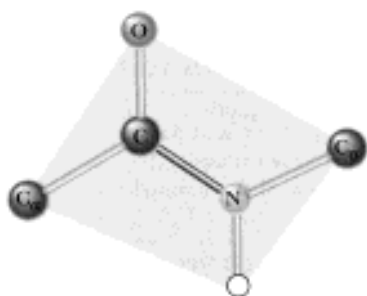
β -glikozidos kötések tartalmazó szénhidrátok találhatóak néhány gerinctelen állatban, például rovarokban, garnélában, homárban. Külső vázuk kitint tartalmaz, ami az *N*-acetyl- β -D-glükózamin (egy monoszacharid, a cukorra ragasztott amin-csoporttal) polimerje. A kitinben – mint a cellulózban – a különálló fonalakat H-hidak tartják össze. Ennek megfelelően a kitinnek szerkezeti funkciója van. Szintén megtalálható élesztők, gombák és algák sejtfalában.

β -glikozidos kötések kötnek össze a baktériumok sejtfalában két, amin-csoportot tartalmazó monomert is: az *N*-acetyl- β -D-glükózamint és az *N*-acetyl-muraminsavat. A fonalak közt aminosav oldalláncok létesítenek kereszt-kötést, peptidoglikánt alkotva. A peptidoglikánok erős szövetet alkotnak, mely bizonyos antibiotikumok célpontja.

Glikogén

A glikogén granulumban található bizonyos emberi és állati sejtekben, mint például máj-, vagy izomsejtekben, de nem normális a jelenléte az emberi szívben, illetve agysejtekben. A glikogénben α -glikozidos kötések kapcsolják össze a glükóz molekulákat. Akárcsak a keményítőnél, az α -glikozidos kötések lehetővé teszik, hogy a glikogén energiátárolóként szolgáljon, mert a glükóz könnyedén levágható róla.

2.1.2. Fehérjék



2.1. ábra A peptid kötés (Campbell, 1999)

A fehérjék hidrolizációja nagyszámú aminosavat eredményez. A poliszacharidok monomerjeitől eltérően az aminosavak sok különböző formában vannak jelen a fehérjékben. Húsz különböző aminosav található az emberi fehérjékben, változatos mennyiségben és kombinációban. Peptid kötések kapcsolják össze őket, és a fehérjék *elsődleges szerkezetét* alkotják. A fehérjék peptid kötései szintén különleges kovalens kötések, a szénhidrátok glikozidos kötéseihez hasonlóan. Továbbá – csakúgy, mint a glikozidos kötésekénél – a peptid kötések gátolják az aminosavakban bizonyos molekulák egymás körüli elfordulását, így szerepet játszanak a proteinek végső alakjának kialakításában.

Mindamellet a fehérjék végső alakját nem egyedül az aminosavak sorrendje és az őket összekötő peptid kötések (a fehérje elsődleges – kovalens kötés – szerkezete) határozzák meg. A proteinek konformációja a bonyolult hajtogató folyamatoktól is függ, melyek különböző kötésekhez, például H- és kénhidakhoz kapcsolódnak. Jóllehet a fehérjék elsődleges szerkezete meghatározza lehetőségeiket a másodlagos és harmadlagos szerkezet kialakítását illetően, ami pedig szükséges ahhoz, hogy a szervezetben a fehérjék biológiailag aktívak legyenek.

A *fehérjék másodlagos szerkezete* a fehérje aminosav gerincének H-hidas elrendezésén alapul. Ez felelős a fehérjelánc α -hélix és β -redő szakaszaiért. A H-hidak fontosak a kollagén végső szerkezetében, amely egy szerkezeti fehérje (ld.: 4.2.2. szakasz).

A fehérjék *harmadlagos szerkezete* adja igazi háromdimenziós szerkezetüket, a kéntartalmú aminosav oldalláncok közti kovalens kénhidak, az aminosav oldalláncok közötti H-hidak, elektrosztatikus vonzóerők, és hidrofób kölcsönhatások segítségével. A fehérjék megjelenési formája lehet pálcaszerű szál vagy kompakt, gömbszerű konformáció, ami nemcsak a fent említett kötőerőktől, hanem a fehérje kialakulásának körülményeitől is függ (4.2.2. és 4.2.3. szakasz).

A fehérjéknek lehet *negyedleges szerkezete* is, ami több különböző polipeptid-láncot foglal magába. A kötések, melyek részt vesznek e fehérjeszerkezet összetartásában, nem kovalensek.

Egy fehérje a rá jellemző konfigurációval bír, mely meghatározza feladatát és határfokát.

2.1.3. Lipidek

Az acetyl-CoA a lipidek egy fontos közös elemének tekinthető. A lipidek csoportjában a zsírsavak és a koleszterin egyaránt teljes mértékben acetyl-CoA-ból szintetizálódnak. A nyítláncú lipidek egy vagy több zsírsavat tartalmaznak, a gyűrűvé kapcsolódott lipidek pedig a szteroidok, melyek átalakult koleszterinek. A zsírsavak is acetyl-CoA-vá oxidálódnak. A koleszterinszármazékok nem bomlanak le az emberi testben, hanem kiválasztódnak (5.4.1. szakasz).

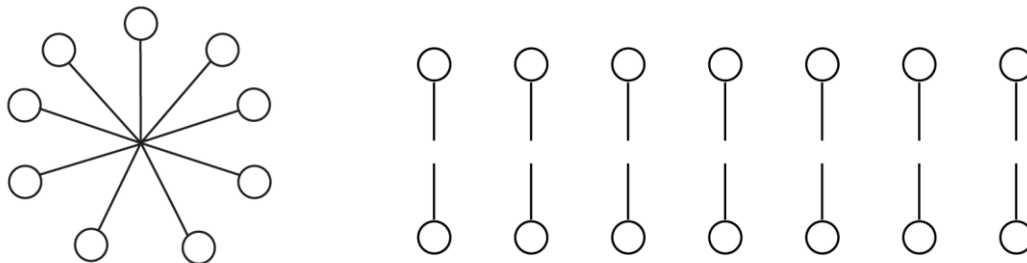
A lipidek a test vizes miliójében hajlamosak nyalábokba rendeződni, mivel hosszú apoláris láncok vannak, amik hidrofóbok. A zsírsav hidrofób farokrésze „rejtve van” a nyaláb belsejében, a víztől elválasztva, a nyaláb szélén pedig kilóg a vízdékony, hidrofil fejrész (ld.: 2.4. ábra). A hidrofób kölcsönhatások spontán zajlanak a vizes környezetben. Termodinamikai szempontból ez a fajta kölcsönhatás nem igényel hozzáadott energiát, mikor hidrofób oldalláncok vagy farokrészek vannak jelen a test vizes miliójében. Ez ellentétben áll az eddig tárgyalt kötéstípusokkal, melyek létrejöttéhez többlet energia szükséges (ld.: 1.1. szakasz).

A lipid nyalábok micella vagy membrán-szerű formákat vehetnek fel, hogy hidrofób részeit elrejtse a vizes környezet előtt. *Micella forma* alakul ki például, mikor a lipideket a szervezet felveszi és szállítja. A micellák szerkezetileg egy réteg lipidből állnak. Nagyfokú összetettséget érnek el például az alacsony sűrűségű lipoproteinekben (LDL), ahol egy fehérjéhez (apoprotein B-100) kötött foszfolipid-koleszterin mozaik alkot külső vázat temérdek koleszterin-észter molekula körül. A véráramban az LDL-partikulumok fontos szerepet játszanak a koleszterin szállításában.

A triacil-glicerolok (trigliceridek) formájában tárolják a lipidek az energiát, és *zsírszemcsékbe* gyűlnek a zsírszövet sejtjeiben (ld.: 5.2.1. szakasz).

A trigliceridek kivételével minden lipidféleség megtalálható a *membránokban*.

Membránok: A membránok kialakulásához lipidek szükségesek a, hidrofób tulajdonságuk és az ebből következő nyalábképző készségük miatt. A membránok kétrétegű lipidek. A vizet belül elkülönült részre osztják, ami nélkülözhetetlen minden élőlény működéséhez. Az egysejtű élőlényekben ez teszi lehetővé a sejtszervecskék létrejöttét, elválasztva az élőlényt (többnyire vizes) környezetétől.



A micella forma

A membrán forma

2.4. ábra. A lipidek micella és membrán formája. (○ jelzi a lipid hidofil fejét, | jelzi a hidrofób láncokat). A micella nagy lehet, és rendelkezhet a víztől elválasztott belső térrel, amelyben lipideket szállíthat, lásd: LDL-partikulumok. A membránok tulajdonképpen szintén körbeérnek és belső teret zárnak magukba: a sejt, vagy sejtszervecskék belsejét.

A membránok félig-áteresztők, főképp a lipidek közt csatornaként funkcionáló fehérjék jelenlétéből fakadóan. Ez teszi lehetővé a molekulák transzportját a membránon keresztül, és biztosítja a membránon kívüli és a membránon belüli vizes milió közötti kapcsolatot. A félig-áteresztő membránok teszik lehetővé a sejten belül egy a környezettől különböző milió megteremtését. Ezáltal válik egy sejt a szervezet részévé. Többsejtű élőlényekben a membránok teremtik meg a differenciált működés lehetőségét. A sejteknek lehet különböző funkciójuk, miközben ugyanaz a sejt kívüli

környezetük. Az anyagcsere főleg a sejtek belsejében folyik. A sejten kívüli milió fontos szerepet játszik az anyagcseretermékek szállításában, és összekapcsolja az élőlény sejtjeit, hogy egészsé váljon. Gerincesekben az intra- és extracelluláris tér szétválasztása teszi lehetővé az olyan funkciókat, mint az izom-összehúzódás és az idegrendszer elektromos ingerület-vezetése.

A koleszterin (gyűrűvé kapcsolódott lipid), amely szerkezetileg inkább merev, illetve a telítetlen zsírsavak, melyek láncra megtörik, együttes jelenlétükkel ellentétes irányban befolyásolják a membránok mozgékonyosságát (fluiditását). A prokarióták (pl. baktériumok) membránja a legrugalmasabb, mivel alig van bennük szteroid. A növényi membránok fitoszterint (egy koleszterinhez hasonló szteroid) tartalmaznak, és kevésbé mozgékonyak. A növényi membránokban található sok telítetlen zsírsav mozgékonyabbá teszi őket az állati és emberi membránoknál, melyekben koleszterin is van.

A lipidek (talán a trigliceridek kivételével) jellegzetes, szervezett alakban fordulnak elő az élőlényekben. A lipid szerkezetek, mint például a micellák és membránok, talán a lipid polimer formájának is tekinthetők. Ezekben a szerkezetekben meghatározó a spontán bekövetkező hidrofób kölcsönhatás, amelyet gyenge és változókéony van der Waals kötések tartanak fenn. A hidrofób kölcsönhatások okozzák a lipid részek viszonylagos mozdulatlanságát egymáshoz képest.

Mindazonáltal a membránok minden alkotóeleme áramlásban van, ahogyan az élőlények látszólag állandó alakja is mindig mozgásban van.

2.2. Összegzés és konklúzió

A szénhidrátok és a fehérjék polimerekként is előfordulhatnak, amelyek monomerekre bonthatók. A lipideknek nincs polimer formájuk, de nyálábokat alkotnak a szervezet vizes miliójában.

Molekulaszerkezetek

A *szénhidrátok* polimer formái általában nem több, mint kettő különböző monomerből épülnek fel. A leggyakoribb poliszacharidokban – a keményítőben, a cellulózban és a glikogénben – a glükóz az egyetlen monomer. A poliszacharidok közötti funkcióbeli eltérések az eltérő glikozidos kötésekől erednek. A keményítőben és a glikogénben α -glikozidos kötések vannak, és megfelelő növényi, állati vagy emberi energiaforrásként szolgálnak. A cellulózban, a kitinben és a peptidoglikánokban β -glikozidos kötések vannak, és szerkezeti elemként funkcionálnak a növényekben és az alacsonyabb rendű állatokban.

A *fehérjék* differenciáltabb polimerek. Az emberi szervezet nem kevesebb, mint húsz különböző aminosavat tartalmazhat. A fehérjék háromdimenziós szerkezete jellegzetes formákat ölt, mely lehetővé teszi a fehérjék képességét a funkcióhoz.

A *lipideknek* nincs monomer vagy polimer formájuk, mint olyan; felépítő útjuk kiindulópontján az acetát gerjesztette acetyl-CoA áll. Másodlagos szerkezet kialakítására képesek micellák és membránok formájában.

Jellemzés

A szénhidrátok, a fehérjék és a lipidek szerkezete változatos összetettségű formákat vehet fel, kezdve a tároló formáktól, mint amilyenek a granuláriumok vagy gömböcskék a sejtekben a funkcionálisan fontos formákig, mint amilyen a hélix vagy sík forma a szénhidrátokban és a fehérjékben. Továbbá erre utal a fehérjék fibrilláris vagy globuláris konformációja vagy a micella, illetve membrán lipid szerkezete. Többsejtű, magasabb rendű élőlényekben, a sejtekben megjelenő tároló formához kapcsolódik a tárolt szubsztancia is, például a glikogén a májhoz és izomhoz, a lipidek a zsírszövetekhez. *Egy szervezetben minden összetett alkotóelem magában a szervezetben keletkezik és arra jellemző.*

Kötések

A *kovalens* kötés a domináns kötéstípus a szénhidrátok szerkezetében (beleértve a glikozidos kötést) és a fehérjék elsődleges szerkezetében (beleértve a peptid kötést). A lipidek alapformája szintén kovalens kötésre épül. *A kovalens kötések az alkotóelemek alapszerkezetében játszanak fontos szerepet.* Ez a keményítő fő kötéstípusa.

Hozzáadott *H-híd* kötések szükségesek a szerkezeti poliszacharidok (pl. a cellulóz) és a kollagén nevű szerkezeti fehérje végső alakjának kialakításához, valamint ezek teszik lehetővé az α -hélixek és β -redők létrejöttét a fehérjék másodlagos szerkezetében. *A H-hidak további szilárdságot visznek az alkotóelemek szerkezetébe.* Ez nélkülözhetetlen a szerkezeti alkotóelemekben. Egyszerűbb életformák felépítménye a szénhidrátok H-hídjaira támaszkodik. *A kovalens kénhidakkal, elektrosztatikus vonzóerőkkel és hidrofób kölcsönhatásokkal* együtt a H-hidak teszik lehetővé a fehérjék egyedi konfigurációjának kialakulását, amely meghatározza a fehérjék működését.

A hidrofób kölcsönhatás teszi lehetővé a micella- és membránformát, a lipidek jellegzetes szerves formáit. A hidrofób kölcsönhatások elsősorban nem a vonzás elvén – mint az összes többi kapcsolat – , hanem a taszítás elvén alapulnak. Spontán, energia-befektetés nélkül létrejönnek a test vizes közegében. *Az élőlények belsejében a nélkülözhetetlen részekre bontást és elkülönülést a vizes folyadéktól a lipidek hidrofób kölcsönhatásai teszik lehetővé.* Ez teremti meg a szervezetek differenciált működésének lehetőségét. Lipidekben bizonyos fokú H-híd képzés és elektrosztatikus vonzóerők, valamint *van der Waals kölcsönhatások* vannak.

Jellemzés

A kovalens kötés alapvető a szénhidrátokban. A H-hidak teszik lehetővé a stabilabb szerkezetek kialakulását mind a szénhidrátokban, mind a fehérjékben. A hidrofób kölcsönhatások nem igazi kötések; ezek inkább a szétválasztás, semmint a kötés elvén működnek, és spontán létrejönnek. Kiemelkedő szerepet játszanak a lipid-szerkezetekben, és lehetővé teszik az élőlények meglehetősen bonyolult, mégis nagyon alapvető szerveződését.

KÉRDÉS: *Vajon a különböző kötések különböző típusú energiákat képviselnek? (lásd még a 6. fejezetet)*

Konklúzió: A kötések felszabadítható energiát tartalmaznak, és meghatározzák az alkotóelemek szerkezetét és funkcióját az élőlényekben.



3. A szénhidrát anyagcsere és működése

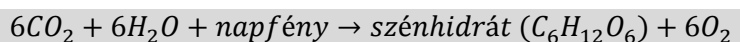
Bevezető: Táplálékelemek

Az elsődleges tápanyagokat a szervezet változatos módon hasznosítja. Lebontásuk az emésztés során olyan metabolitokat eredményez, melyek hasznosíthatók a szervezet további anyagcsere-folyamataiban. Felhasználhatók nagy molekulák felépítésére, melyek a szervezet szerkezetét adják (mint a növényi sejtfalak szénhidrátjai, a kollagén fehérjéi vagy a membránok lipidjei). A metabolitok átalakíthatók a szervezetet és annak funkcióit szabályozó anyagokká is (mint például az immunfelismerés, a neurotranszmitterek vagy az enzimek esetében). Ezen kívül tovább oxidálhatók, hogy végső lebontásukkal a fenti folyamatoknak, illetve biomechanikai és aktív transzport szükségleteknek energiát szolgáltatassanak, ahogyan az például a glükóz esetében történik.

A szénhidrátok, a fehérjék és a lipidek mind különböző feladatok nagy választékában használhatók; korlátozott mértékben egymásba is átalakíthatók a citrát-körben – mely összekapcsolja ezek felépítő/lebontó ciklusait – köztes termékek (intermedierek) segítségével. Továbbá mindegyik jellemző hatáskörrel rendelkezik, ezt az egyes anyagokat illetően a következő fejezetekben tárgyaljuk. Ez a fejezet a szénhidrát anyagcserével és működéssel foglalkozik, a 4. fejezet a fehérjék, az 5. pedig a lipidek anyagcseréjét és működését tárgyalja.

3.1. A szénhidrátok és a víz

Az 1.2.4. szakaszban megismertük, miként áll a fotoszintézisben a szénhidrátok szintézisének elején a víz bontása. Ez egy fontos folyamat, amely rámutat a szénhidrátok és a víz közötti kapcsolatra. A víz oxidálódik, hogy a napfény biokémiai energiává alakuljon a szénhidrátok széndioxidból (CO₂) történő szintéziséhez.



Az állatok és emberek oxigént (O₂) lélegeznek be, és széndioxiddá, illetve vízzé bontják a szénhidrátokat a citromsavciklusban és az oxidatív foszforiláció során (1.2.2. szakasz). Ez az oxidatív lebontó folyamat a fotoszintézis redukzív felépítő folyamatával együtt a természetben körforgást alkot a növények, illetve az állatok és emberek szervezete között (lásd: 1.3. ábra), amelyben a víz felváltva oxidálódik és képződik.

Szintén felfedezhetjük a víz-szénhidrát kapcsolatot akkor, amikor a cukrot oxigén hozzáadása nélkül égetjük, vagyis szenesítjük. Ez történik, amikor a cukrot egy zárt edényben hevítjük, hogy ne jusson be oxigén. Az eredmény szén és víz, utóbbi gőz formájában elszökik. A jelenség azt sejteti, hogy a szénhidrát monomerek összegképlete így írható fel: C_n(H₂O)_n. Ez az oka annak, hogy *szén-hidrátoknak*

(a szén vízzel alkotott komplex kristálya, a ford.) nevezték el őket. A glükóz összegképlete például $C_6H_{12}O_6$.

A szénhidrátok mind szerkezetükben, mind anyagcsere-folyamataikban kapcsolódnak a vízhez. A poliszacharidok felépítése során – ahogyan a fehérjék peptid kötéseinek kialakulásakor is – egy vízmolekula lép a glükózokból a glikozidos kötés kialakulásakor minden glükóz molekula hozzáadásánál.

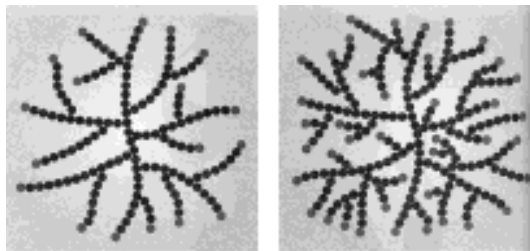
3.2. A szénhidrát polimerek funkciói

A szénhidrát polimerek, mint minden nagy molekula, *felszabadítható energiát* hordoz a szerkezetében, ami lebontásukkor válik elérhetővé a szervezet számára, mint metabolikus és egyéb energia. Sok közönséges szénhidrát poliszacharid.

A poliszacharidok cukrok polimerei (lásd: 2.1.1. szakasz). A leggyakrabban előforduló monomer a glükóz (3.3. szakasz). A szénhidrátok szerkezeti funkciókkal is bírnak.

Tároló funkció

A glikogén és a keményítő a glükóz tároló formái. A glikogén általában jobban elágazik, mint a keményítő, ez egy időben több ponton teszi lehetővé a glükóz levágását. Ennélfogva a glikogén, a magasabb rendű élőlények fő glükózpolimere, szükség esetén gyorsabb glükózellátást biztosíthat, mint amire a – csak növényekben előforduló – keményítő képes volna. Az állatoknak és az embernek hamarabb és több glükóz áll rendelkezésre, mint a növényeknek. Amint azt korábban említettük a 2.1.1. szakaszban, a szívben és az agysejtekben nem található glikogén. Főleg a máj- és izomsejtekben található meg, de csak a máj képes a laktátot glükózzá alakítani. Az izomsejtek a májtól függenek a glükoneogenezist illetően (lásd: Cori-kör, 1.2.1. szakasz), és a szérum glükóz szintjét is a máj állítja be. *A máj szénhidrátszabályzó funkciója alapvető a magasabb rendű állatokban és az emberben.*



amilopektin

glikogén

(Campbell, 1999)

A glikogénnek nincs szerkezeti támasztó szerepe a magasabb rendű élőlényekben, ennélfogva a felépítmény befolyásolása nélkül lebontható. A máj glikogénraktárai ideális energiaellátást biztosítanak a szervezet számára. Ugyanakkor, az emberi glikogénraktárak kimerülését éhezéskor 10-15 órára becsülik, ezért folyamatos utántöltésre van szükség.

Szerkezeti funkció

A cellulóz egy szerkezeti glükóz polimer a növényekben (lásd: 2.2. ábra). A nem növényi szerkezeti szénhidrátokban aminosavak vannak, vagy aminosav-szekvenciákat tartalmaznak monomerként, amik kitint vagy peptidoglikánt alkotnak (2.1.1. szakasz). A cellulóz lebontása hatással van a növény

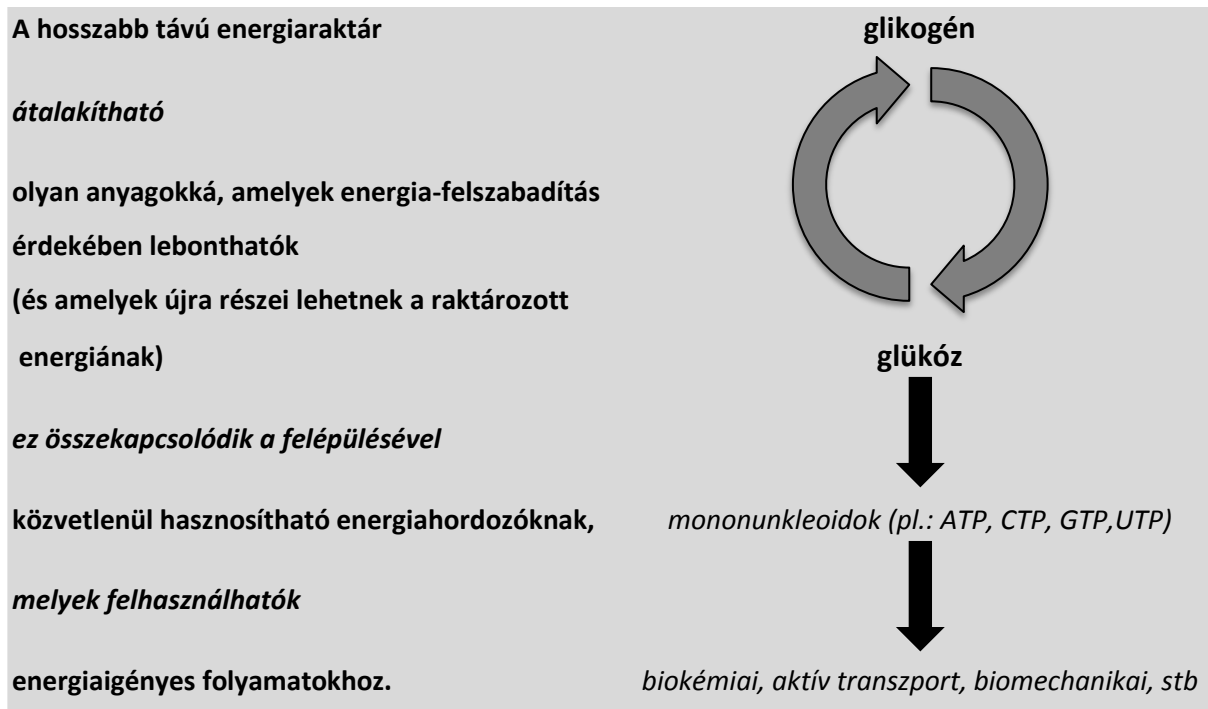
szerkezetére, ahogyan a peptidoglikánok antibiotikus lebontása a baktériumok szerkezetére, illetve a kitin lebontása a gerinctelenekére, melyek azt külső vázukban hordják.

A glükóz nem vágható le a cellulózzal, csak különleges enzimek, a cellulázok jelenlétében, amelyek baktériumokban és például a szarvasmarhák emésztőtraktusában találhatóak meg (utóbbiak szimbiózisban élnek a cellulózbontó baktériumokkal). Az ember emésztőcsatornájában nincsenek cellulázok. Étrendünkben a cellulóz a fő alkotója az oldhatatlan étkezési rostoknak, melyek serkentik a perisztaltikát, és megkötnek néhány a táplálékban előforduló potenciálisan mérgező anyagot.

3.3. A glükóz és az energia

A glükóz a legelterjedtebb szénhidrát monomer a természetben. A glükóz-anyagcsere áll az élő szervezetek energiaháztartásának középpontjában. A testben arra a helyre szállítható, ahol szükség van az energiára.

A glükóz anaerob lebontása a glikolízisben piruvátot vagy – tartós anaerob körülmények között – laktátot és glükóz-molekulánként két molekula ATP-t eredményez. További aerob lebontása a citrát-körben zajlik (1.2.3. szakasz), ami még 30 ATP-t jelenthet. A glükóz lebontása energiát szabadít fel, aminek eredményeként az ADP ATP-vé foszforilálódik. Az ATP a közvetlenül elérhető energia hordozója az élőlényekben. Két foszfátkötés található benne, melyek a foszfát-csoportok között, vízkilépés mellett alakulnak ki. Ezeket a kötések könnyű hidrolizálni, amit azonnali energia-felszabadulás követ (kevesebb, mint egy perc alatt). Mint ilyen, ez egy közvetlenül elérhető biokémiai



3.1. ábra. Az energiahordozó molekulák átalakítása energiaigényes folyamatokká

energia, amit viszont „abban a minutumban” fel kell használni. Felhasználásával átalakítható a biokémiai energia biomechanikai energiává (pl. az izom-összehúzódás esetében), bioelektromos energiává (pl. az idegrendszerben), fénnyé (pl. foszforeszkáló baktériumokban), aktív transzportoz, stb.

A glikolízisből és a citrát-körben zajló oxidációból felszabadult energia ATP formájában redukív felépítő folyamatokhoz is felhasználható, melyek például fehérje vagy lipid molekulákat eredményeznek. A glükóz redukív cukor. Amikor a glükóz oxidálódik egy felépítő folyamatban, egy másik molekula redukálódhat az elérhetővé vált energiával (ATP szállítja).

Mivel nincs rájuk szükség a szervezet szerkezeti vázában, a glükózt és a glikogént a test szerkezetére nézve következmények nélkül lebonthatjuk. Így válik a glükóz az élő szervezetek fő energiaellátójává. *A glükóz alapvető funkciója az élőlényekben az energiaszolgáltatás.*

3.4. Összegzés és konklúzió

A szénhidrátok funkciói

A szénhidrátok változatos funkciókat tölthetnek be az élőlényekben. A növényekben más feladatokat látnak el, mint a magasabb rendű élőlényekben. A növények az egyetlen élőlények, amelyek homopoliszacharidokat használnak szerkezeti molekuláik felépítéséhez, emellett keményítőt és glükózt energiaforrásként is használnak. A szénhidrátoknak alacsonyabb rendű állatokban is lehet szerkezeti funkciója. Ekkor ezek konformációja aminosavakat vagy aminosav származékokat tartalmaz. Magasabb rendű élőlényekben a szénhidrátok csupán energiát szolgáltatnak a szervezet anyagcsere-szükségleteihez, szerkezeti támasztékot nem biztosítanak. *A szénhidrátok a növényekben más feladatokat látnak el, mint a magasabb rendű élőlényekben.* A szénhidrátok polimerjeinek alaptípusa a növényekben található meg, keményítő és cellulóz formájában. Magasabb rendű állatokban és az emberben a máj glikogénje a szénhidrát-polimerek alapvető megjelenési formája.

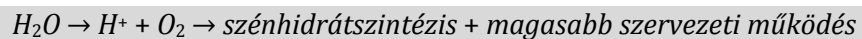
A növények keményítőjének, az állatok és az ember glikogénjének potenciális energiaraktára szabadon elérhető lebontásuk során anélkül, hogy megzavarnánk az őket magába foglaló élőlény szerkezeti egységét. *Ez teszi e szénhidrátokat ideális energiaforrássá.* A glikogén glükózra bomlik. A glükóz egy közvetítő energiaszállító molekula. Lebontása során keletkezik az ATP nevű energiaszállító molekula, amit abban a minutumban el kell használni, mert könnyedén hidrolizálható. Az energia változatos szervezeti feladatokra fordítható, a felépítő biokémiai funkcióktól kezdve a transzportfolyamatokon át a biomechanikus műveletekig.

A glükóz egy redukív cukor, amennyiben oxidációja látja el a szervezetet azzal a szükséges energiával, ami a szervezetet felépítő redukív folyamatokhoz is kell. Ez teszi lehetővé a molekulák, szövetek, szervek és szervezetek szintézisét.

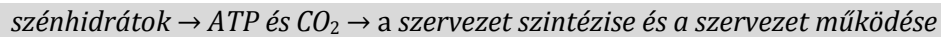
Jellemzés: víz, szénhidrátok és növények

A víz fontos szerepet játszik a szénhidrátok szerkezetében és reakcióiban. A víz szerepe olyan, mint a szénhidrátok szerepe az élőlényekben és a növények szerepe a természetben.

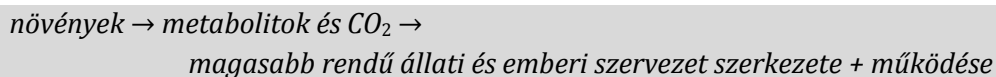
A víz és a szénhidrátok közötti kapcsolat a fotoszintézis folyamatában válik láthatóvá. A fotoszintézis napfény általi víz-oxidációja jelenti a növények szénhidrátszintézisének kezdetét. A folyamatban felszabaduló oxigén nélkülözhetetlen a magasabb rendű élőlények működéséhez.



A szénhidrátok szerepe az anyagcserében, hogy lebontásuk során elérhetővé tegyék az energiát az élőlény felépítő folyamataihoz és működéséhez.



A növények egész természetben betöltött *helye* láthatóvá vált az 1.2.2. szakaszban. A természetben a növények fontos részei a táplálékláncnak. Sok faj számára a legfontosabb táplálékforrások. A növények jellemző funkciója a természetben az, hogy a magasabb rendű élőlények számára segítsék az energia elérhetővé tételét, midőn lebomlanak a magasabb rendű állatok és az ember emésztőrendszerében.



Konklúzió: A víz bontása, amelyet a napfény biokémiai energiává történő átalakítása kísér, szolgáltatja közvetetten az élő szervezetek számára az energiát. A víz funkciója a növényekben hasonló a szénhidrátok funkciójához a magasabb rendű élőlényekben, ami hasonló a növények funkciójához az egész természetben. A víz minden élet alapja. A szénhidrát anyagcsere az élőlényekben „növény-szerű”.

4. A fehérjék anyagcseréje és működése

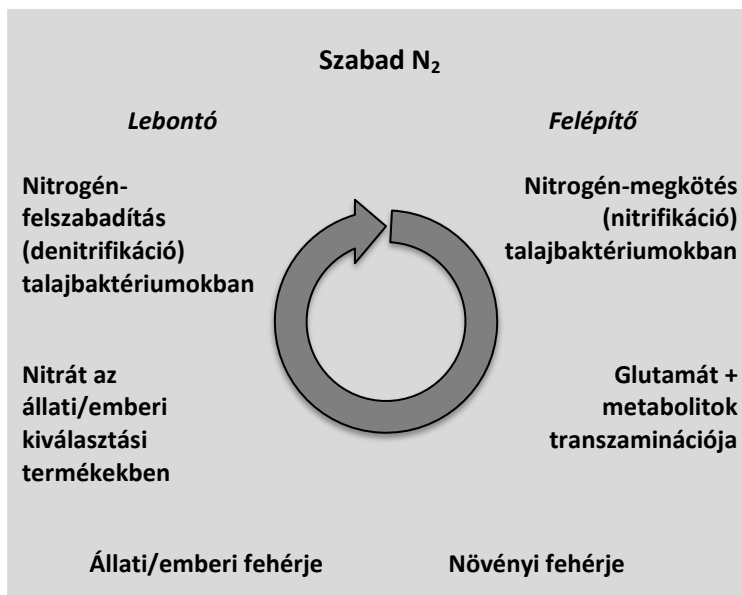
Minden fehérje alapszerkezetében van nitrogén a szén és víz (= hidrogén és oxigén) mellett, mely utóbbiak jellemzően a poliszacharidokban találhatók. A fehérjék a nitrogént tartalmazó aminosavak polimer formái. Ebben a fejezetben tulajdonságaikat vizsgálva jellemezzük specifikus működési területüket, és összehasonlítjuk ezt a természetben fellelhető folyamatokkal, így ráláthatunk a természetben betöltött szerepükre.

4.1. A fehérje-anyagcsere és a nitrogén

4.1.1. A nitrogénegyensúly

Az élőlényekben a fehérjék lebontása nem egy kifizetődő módja a szervezet energiaellátásának, mivel a nagyobb arányú fehérjebontás főleg izomfehérjék szerkezeti bontását eredményezi. Ez az élőlények nitrogénegyensúlyában mutatkozik meg. Fiziológias körülmények között az ürített nitrogén mennyiségének meg kell egyeznie a táplálékkal felvett mennyiséggel.

4.1.2. Nitrogén-anyagcsere a természetben



4.1. ábra. A nitrogén-anyagcsere körforgása a természetben

Az aminosavakban és fehérjékben lévő nitrogén teljes egészében a levegőből származik, amely 80% N₂-t tartalmaz. A legtöbb élő szervezet mégsem tudja közvetlenül felvenni a levegőből. A pillangósvirágúak gyökérgumóin lévő különleges (nitrifikáló) baktériumok megkötik a nitrogént, ez az első belépés a talajba. Ebben a folyamatban a nitrogén (N₂) előbb ammóniává (NH₃) alakul, majd az α-ketoglutarátba (citrát-köri termék) épül be, így alakítva ki a glutamát nevű aminosavat. A glutamát aminocsoportja transzaminációs folyamatokban átkerül további citrát-köri

termékekre, valamint más szénhidrát- és lipid metabolitokra (acetyl-CoA és acetoacetyl-CoA). Bonyolult átalakító műveletekben legvégül felépülhet mind a 20 aminosav.

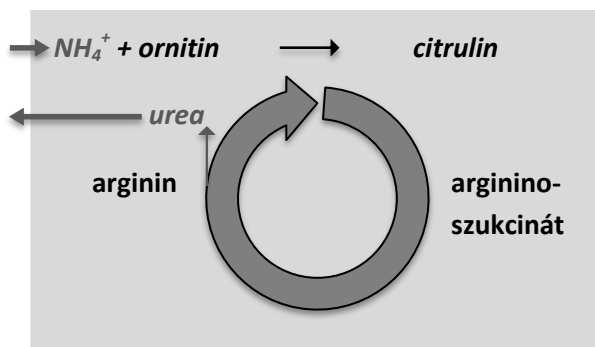
A növények a talajban élő baktériumok által termelt szerves nitrogéntartalmú molekulákat veszik fel a szervezetükbe.

Magasabb rendű élőlények nitrogénjüket a táplálékul szolgáló növényekből szerzik. Kiválasztási termékeik ismét nitrogént adnak a talajhoz.

A talajban élő denitrifikáló baktériumok a nitrogént visszajuttatják a levegőbe.

Az emberben található húsz aminosavból tíz nem állítható elő elégséges mennyiségben – különösen növénytelen lévő gyermekekben – és a táplálékkal kell felvinnünk, hogy megelőzzük a szerkezeti lebontást.

4.1.3. Az élőlények ureaciklusa



4.2. ábra. Az ureaciklus, az élőlények nitrogénkörforgása

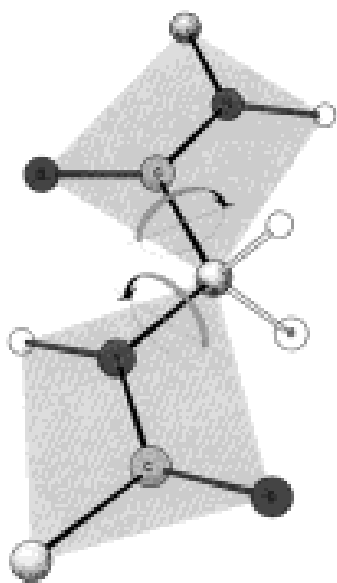
Az élőlények nitrogén-anyagcseréje szintén ciklusos. Az *ureaciklusban* a mitokondriumban zajló dezaminációval a glutamát odaadja az ammóniáját egy ornitinnek, ami a citrulin kialakulásához vezet. Ez kikerül a citoszolba, és két további lépésben átalakul argininné, amely ureát ad le, és ismét ornitinné alakul. Az ureaciklus a nitrogén-anyagcsere felépítő és lebontó folyamataihoz egyaránt kapcsolódik. Az ureaciklus két ponton kapcsolódik a citromsavciklushoz, az oxálacetátnál és a fumarátnál.

Az urea kiválasztása víz jelenlétét igényli, ennél fogva sok emlős a vizeletében választja ki, mint „hulladékot”. Megfelelő kiválasztásához elégséges mennyiségű víz szükséges.

A nitrogén-anyagcsere egy ellenőrzött folyamat, korlátokkal az ellátási és a kiválasztási oldalon. *Negatív visszacsatolási rendszerek* irányítják. Mikor a végtermék eléri egy bizonyos szintet, saját szintézisét gátolja. A visszacsatolási rendszerek ellenőrző-körökként működnek. Ez jellemző a nitrogén anyagcseréjére, tekintettel annak saját szűkös ellátási és keresleti korlátaira.

4.2. A fehérjék szerkezete, mint a fehérjeműködés alapja

4.2.1. A fehérjeszerkezet egyedisége



4.3. ábra Polipeptid lánc
(Campbell, 1999)

Az elsődleges fehérjeszerkezet hosszú peptidláncokba rendeződő, húsz különböző aminosav változatos kombinációjából áll (2.1.2. szakasz). A fehérjék konformációja differenciáltabb és bonyolultabb, mint a szénhidrátok szerkezete. A fehérjéknek még három lehetséges konformációs szintjük van az aminosavláncok (polipeptid láncok) elsődleges szerkezetén túl.

A másodlagos szerkezetbe az α -hélixek és β -redők kialakítása tartozik (lásd: 2.1.2. szakasz). A csavart és a sík formák különböző molekulákban szénhidrátoknál is előfordulnak. A fehérjéknél azonban ugyanabban a molekulában jelennek meg. A harmadlagos szerkezet tulajdonképpen az önmagában összehajtogatott fehérje, ami a működéshez szükséges jellegzetes háromdimenziós elrendezést eredményezi. Negyedleges szerkezetről akkor beszélünk, mikor több polipeptid lánc (alegység) együtt alkot egy működő molekulát, például a hemoglobint.

Az aminosavak változatossága teremti meg a differenciált polipeptid láncok – s ezzel a temérdek különböző fehérje – kialakításának lehetőségét. Egy élőlényben a fehérjék nagyon változatosak, és sokféle feladatot képesek ellátni. A fehérjék – a szénhidrátokkal ellentétben – teljesítendő feladatuk terén is meglehetősen specifikusak. A polipeptid lánc egy-néhány aminosavának megváltoztatása új funkciót adhat nekik (lásd pl.: a mioglobint kontra a hemoglobin α és β alegységei) vagy működésképtelenné teheti őket (lásd: hemoglobin S a sarlósejtes anémiában).

A fehérje konformációja lehet szálszerű, rostos (*fibrózus*) vagy gömbszerű (*globuláris*). A *membránfehérjék* sejtek membránjában találhatóak. Különböző formákat vehetnek fel változó funkciójuk függvényében. A *glikoproteinek* szénhidrát oldallánccal rendelkező fehérjék.

4.2.2. Szálszerű fehérjék

A fibrózus fehérjék általános alakja egy hosszú pálcá. A rostos fehérjék *nem oldhatók vízben*.

Példák a tipikusan fibrózus fehérjékre



4.4. ábra
Kollagén
(Campbell,
1999)

- A *kollagén* a szálszerű fehérjék alaptípusa és gerincesekben a leggyakrabban előforduló fehérje. A kollagén három helikális polipeptidből áll, melyek egymás köré csavarodva alkotnak egy nagy hármass hélixet. H-hidak tartják össze a három fonalat. A kollagén a sejten kívüli térben található a csontokban és a kötőszövetekben. A polipeptid láncok nagyrészt egy viszonylag egyszerű triászából állnak, mely három aminosavból áll: glicinből, prolinból és hidroxiprolinból. Minden harmadik aminosav glicin, a második prolin vagy hidroxiprolin, az első pedig szintén prolin vagy hidroxiprolin, de lehet más aminosav is. A kollagének fontos szerkezeti szerepe van. Ez a fő rost a kötőszövetben: a szervek és más szövetek közti szövetben, melybe a sejtek és szervrészek beágyazódnak.

- Egy másik példa a fehérjék szálszerű konformációjára a *keratin*, ami a szőrben és a gyapjúban található; főleg α -hélixből áll. A *fibroin*, a selyem fő alkotójának szála nagyrészt β -redőkből állnak.
- Az *izomfehérjék*, az aktin és a miozin szintén főleg fibrózus fehérjék. Ezek az izomrostok fő összetevői, de más típusú sejtekben is előfordulnak. Ezek a fehérjék mindig a sejtek belsejében találhatóak. Felépítésük viszonylag egyszerű, bár bonyolultabb, mint a kollagéné. A miozin egy gömbszerű fejjel rendelkezik, amely az izom-összehúzódásért felel. Ez szolgáltatja a nyomatókot az összehúzódáshoz, kölcsönhatásban az aktinnal. Működés közben az aktin és miozin komponensek összekapcsolódása intenzívebb lesz, és az izom összehúzódik –így mozgatva a testet részben vagy egészben – módosítja a szerv vagy szervezet viszonyát annak környezetéhez. Ezek a fehérjék nyugalmi állapotban szerkezeti, mozgásban pedig működési fehérjék. Az izomrostok befolyásolják a sejten belüli mozgásokat is.

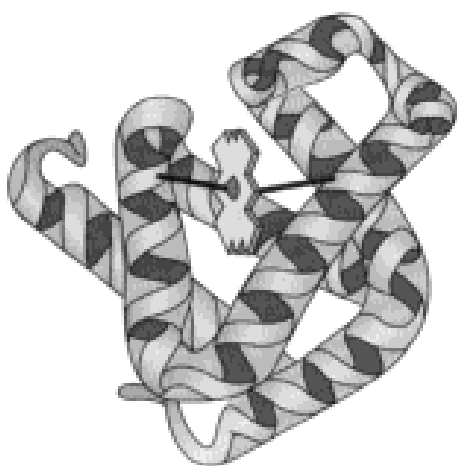
A szálszerű fehérjék biztosítják a szerkezeti elemeket az állati és emberi szervezet számára.

4.2.3. Gömbszerű fehérjék

A globuláris fehérjék kompakt *működési* fehérjék. A gömbszerű fehérjék alakja egészében véve gömbölyű, amint azt neve is mutatja. Harmadlagos, negyedleges szerkezetük összetett. A globuláris fehérjék *vízoldékonyak*.

Példák globuláris fehérjékre

- A legtöbb *enzim* globuláris fehérje és elsősorban kizárólag működési fehérje. Molekulák közötti kémiai reakciókat katalizálnak. Az enziműködés kulcs-zár modellje szerint megkötnék egy szubsztrátot, egy specifikus reakciót katalizálnak, majd elengedik a reakció termékeit. Konfigurációjuk reverzibilisen megváltozik működés közben. Egyébiránt a katalizált folyamat nem változtatja meg őket.



4.5. ábra A mioglobin, egy globuláris fehérje (Campbell, 1999)

Az enzimek szervezet szerete számos anyagcsere-folyamatot katalizálnak. Az enzimek által katalizált reakciók akár 10^{14} -szer (százbilliószor) gyorsabban zajlanak le, mint a nem katalizált reakciók. Minden reakcióhoz egy egyedi enzim tartozik, amely katalizálja. A fehérjék e formai változatosságát húsz különböző aminosavból álló elsődleges szerkezetük konformációja teszi lehetővé, ami a továbbiakban megengedi a másodlagos, harmadlagos és esetleg a negyedleges szerkezet kialakulását. Az aminosav-sorrendnek pontosnak kell lennie, hogy a fehérje biológiailag aktív legyen.

- További példák a gömbszerű fehérjékre a mioglobin és a hemoglobin.

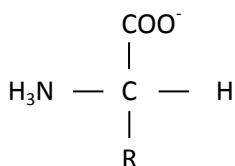
4.2.4. Membránfehérjék

A membránfehérjék a membránok fontos alkotóelemei. Az állati és emberi sejtek membránjai 20-80%-ban fehérjéből állnak. Ezeknek a fehérjéknek szerkezeti funkciójuk is van, de fő szerepük működési. A membránon átívelő csatornákat alkotnak, amelyek bizonyos körülmények között lehetővé teszik a megfelelő molekulák áthaladását, részt vesznek bizonyos vegyületek membránon keresztüli aktív transzportjában, illetve receptorként működnek a membrán külső vagy belső felszínén olyan molekulák számára, mint például a neurotranszmitterek. Maguk is lehetnek enzimek.

4.2.5. Glikoproteinek

A glikoproteinek az immunfelismerésben az antitest, az emberi sejtmembránokban az antigéndetermináns szerepét játsszák. A glikoproteinek használata a vércsoportok és transzplantátumok osztályozásában és illesztésében jó példa a szervezetek fehérjéinek egyediségére. Bár nagymértékű hasonlóságot találhatunk például ikreknél, tökéletes illeszkedés csak adott szervezeten belül fordulhat elő. *A fehérjék kiemelik az élőlények egyediségét*, és fontos szerepet játszanak a „saját” és „nem saját” közti különbség felismerésében, ami az immunrendszer feladata.

4.3. Aminosavak



Az aminosavak általános szerkezete

Az anyagcserében a fehérjebontás nem különösebben eredményez energiahordozó anyagokat, bár az aminosavakból felszabadul energia, mikor lebontódnak. Az aminosavak fontos metabolitok, amelyeket a szervezet felépítő folyamatokban használhat saját fehérjéinek szintéziséhez. Az ehhez szükséges energia a szénhidrátok lebontásából származik.

4.3.1. Aminosav-működés

Sok aminosav biológiailag aktív a szervezetben önállóan is (mint például a glutamát és a glicin) vagy apró szerkezeti változtatás után (például a monoamin szerotonin, amely triptofánból keletkezik, illetve a katekolaminok, amelyek tirozinból származnak) vagy peptidként (rövid aminosav láncként). Neurotranszmitterként működnek az idegszövetben, ahol funkcionálisan összekötik az idegsejteket, mivel az axonról kémiai átviszik az elektromos impulzust a következő sejt axonjain vagy sejttestén elhelyezkedő receptorokra. Némelyiknek fontos funkciója van epesavként (glicin a glikokólsavban), metilációs reakciókban (metionin) vagy gyulladásozó folyamatokban (a hisztidinből származó hisztamin). A tiroxin egy tirozin-származék és az anyagcsere sebességét befolyásoló fontos hormonnak funkcionál. Az oxitocin, a vazopresszin és az inzulin peptidhormonok, amelyek rendre a méh simaizmainak összehúzóását, a vérerek simaizmainak kontrakcióját, illetve a szénhidrátok anyagcseréjét befolyásolják.

Ezen molekulák közül soknak tudatos befolyásoló hatása is ismert. A méh fullánkjából bekerülő szerotonin és hisztamin erős fájdalomérzetet és helyi gyulladást okoz. Skizofréniában megemelkedett szerotonin és katekolamin szinttel találkozunk, a dopamint is beleértve. Endogén depresszióban hiány lép fel a szerotonin és katekolamin anyagcserében. A kávé azért hat serkentőleg a tudatra, mert serkenti a monoamin anyagcserét. A tudatmódosító szerek központi idegrendszeri hatásokat utánoznak, például a kokain a katekolaminok, az LSD pedig a szerotonin hatását. A monoamin anyagcsere sebessége az egészséges szervezetben az alvás és ébrenlét ritmusa szerint változik. A szerotonin és a dopamin az agytörzs azon területén szekretálódnak, ami ébrenlét alatt aktív (lásd: Elsas, 1994).

4.3.2. Aminosav-anyagcsere

A legtöbb aminosav *glükoplasztikus*, ami azt jelenti, hogy a dezaminációt (az amincsoport leválasztását) követő lebontásuk piruvátot vagy oxálacetátot eredményez. Ez megteremti a lehetőséget annak, hogy a glükoneogenezisben glükózzá alakuljanak, és belépjenek a szénhidrát-anyagcserébe, vagy elhasználhatjuk őket a citromsavciklusban. Az aminosavak tehát képesek – a szénhidrátokhoz hasonlóan – energiát szolgáltatni a szervezet számára, de nem olyan hatásosan. Amikor a test energiaszükségletei nagyobb mérvű fehérjebontást igényelnek, például éhezéskor vagy rossz táplálkozásból kifolyólag, ez a szervezetben a fehérjék és aminosavak egyéb – mind szerkezeti, mind működési – feladatainak rovására megy végbe (4.1.1. szakasz).

A leucin nevű aminosav kizárólag *ketoplasztikus*, ami azt jelenti, hogy csak acetil-CoA-vá vagy acetoacetil-CoA-vá bontható, és lebontása ketontestek vagy zsírsavak szintéziséhez vezet. Felhasználható a citrát-körben, de glükózzá nem alakítható. Az izoleucin, lizin, fenilalanin, triptofán és tirozin egyaránt keto- és glükoplasztikus.

A nukleinsavak és a hemoglobin pirrolgyűrűjének szintézisében szintén rész vesznek aminosavak.

4.4. Összegzés és konklúzió

Nitrogén

A légköri nitrogént a talajban élő baktériumok kötik meg, és a pillangós virágú növények veszik fel. Amikor az állatok és az emberek megeszik a növényeket, a nitrogéntartalmú anyagok bekerülnek a szervezetükbe. A nitrogén az urea-ciklus részévé válik a szervezetekben, ami egyaránt kapcsolódik felépítő és lebontó folyamatokhoz és a citrát-ciklushoz is. Ha egyszer a nitrogén ureaként kiválasztódik, újra belép a természet nagyobb körforgásába, és/vagy növények veszik fel ismét, vagy denitrifikáló baktériumok által a levegő nitrogénjének részévé válik egy még nagyobb körforgásban. Az élőlények nitrogén-anyagcseréjét kiterjedt negatív visszacsatolós mechanizmusok irányítják, hogy fenntartsák a kényes nitrogénegyensúlyt. A szerkezeti lebontást megelőzendő, a nitrogénfelvételnek meg kell egyeznie a leadással.

A fehérjék az emésztőcsatornában aminosavakra bomlanak, amelyek a szervezet számára fontos metabolitok, felépítő folyamatok során, saját fehérjéinek szintéziséhez kellene. Ezekhez a folyamatokhoz a szénhidrátok lebontása adja az energiát. Ha a fehérjéket a szervezet energiatermelés céljából bontja, ahogy az éhezéskor történik, az a szervezet szerkezeti és működési bontását is jelenti. A fehérjéknek szerkezeti szerepük van az állatokban és az emberben, és nem használhatók mindennapi energiaforrásként. Láttuk, hogy a szénhidrátoknak szerkezeti funkciójuk van a növényekben, és hatalmas szerepük van a baktériumok és gerinctelenek szerkezeti elemeiben is. A két utóbbiban a szerkezeti elemek amin- vagy aminosav származékokat tartalmaznak. Ezek átmenetnek tekinthetők a szerkezeti fehérjék felé. Ez teszi a fehérjéket az *állati felépítmény ismertetőjegyévé*.

A fehérjék konformációja

A fehérjék konformációja fibrózus vagy globuláris. A fehérjék polipeptid gerincében általában húsz különböző aminosav található változatos sorrendben. A polipeptid lánc sok száz aminosavból is állhat. Mégis a fehérjét akár egyetlen aminosav megváltozása működésképtelenné teheti. A fehérjék szerkezete pont annyira *változatos, mint amennyire specifikus*. A fehérjék elsődleges szerkezete, az aminosav-sorrend meghatározza képességeiket a másodlagos és harmadlagos (illetve néha negyedleges) szerkezetek kialakítását illetően, ami pedig szükséges ahhoz, hogy biológiailag aktívak legyenek a szervezetben. Az aminosavak és fehérjék tengernyi szerkezettel és működéssel rendelkeznek, de ezek pont annyira specifikusak, mint amennyire *változatosak*. A szénhidrátok specifikus funkciója az energiatárolás és az energiaszolgáltatás. A 2.1.2. szakaszban láttuk, hogy a

fehérjék a kötések egész sorával rendelkeznek, míg a szénhidrátokra speciális kovalens kötések jellemzők.

A magasabb rendű élőlényekben leggyakoribb fehérje a kollagén, a kötőszövet és a csont *szálszerű fehérjéje*. Hármass helix szerkezetében nagyrészt háromféle aminosavat tartalmaz csupán. Mint a kötőszövet fő rostja, a kollagén szolgáltatja a vázat, amelyben szervek és sejtek elhelyezkednek. Az izomban a fibrózus fehérjék egy másik formája található. Az izomrostok nyugalomban hozzájárulnak az élőlény szerkezetéhez. Működés közben lehetővé teszik a szervezet és részei mozgását. A szálszerű fehérjék nem oldódnak vízben, és főleg *szerkezeti* fehérjék.

A *globuláris fehérjékre* az enzimek szolgálnak példaként. A legtöbb gömbszerű fehérje enzim. Katalízissal befolyásolják a szubsztrátok közötti reakciókat. Konfigurációjuk csak ideiglenesen és reverzibilisen változik működésüknek megfelelően. Az enzimek szervezet szerte számos anyagcsere-folyamatot katalizálnak, és minden egyes reakciónak saját enzimje van, mely azt katalizálja. A fehérjék változatossága és specializációja az enzimeknél szembeötlő. A globuláris fehérjék vízdékonyak, és elsősorban csak *működési* fehérjék.

A *membránfehérjék* szerepet játszanak a jelek és anyagok átvitelében a membránokon. A *glikoproteinek* szerepet játszanak az immunfelismerésben. Az immunrendszer feladata a saját és nem saját közötti különbség felismerése. Mint ilyenek, a glikoproteinek az élőlények egyediségét erősítik, és elősegítik az individualizációt.

Sok fehérje monomerekből áll – az aminosavak és származékaik – és biológiailag aktívak a szervezetben. Elősegítik az anyagcsere-folyamatokat, az idegrendszeri vezetést, és befolyásolják a simaizom-összehúzódását.

Jellemzés

A növények és az állatok közötti alapvető különbség, hogy az állatok képesek magukat az izomműködés és az idegrendszeri vezetés segítségével mozgatni. Ez az állatokat individualizáltabbá teszi a növényeknél. Ennek eredményeként belső szervek változatos sorát alakítják ki, melyeknek szervezetükben egyedi funkciói vannak. A növények csak külső szerveket alakítanak ki, mint például virágokat. Az individualizáció a környezettel való kapcsolódás új módjait teszi szükségessé, hogy ne kerüljön sor az elszigetelődésre. Az izmok, idegek és érzékek szolgálják az állatokat a környezettel való kapcsolat fenntartásában. Az állatok jellemzően tanulnak viselkedésük visszajelzéseiből.

Aminosavak és fehérjék	Állatok
Jellemzően változatos szerkezetek	Jellemzően változatos belső szervek
Egyedi enzimfunkciók	Egyedi szervi funkciók
Izomfehérjék	Izommozgás
A glikoproteinek immunfunkciói	Individualizáció
Neurotranszmitterek	Idegrendszeri működés
Visszajelzés jellemzi	Jellemzően tanulnak a visszajelzésből
Szerkezeti elem az állatokban	Fehérjéket használnak szervezetükben

4.1. táblázat. A fehérjék és az állatok közötti viszony

A jellemzők, melyekre az állatoknál rámutattunk, kapcsolatban állnak a fehérjék és aminosavak jellemzőivel, amint az a 4.1. táblázatban látható. Az aminosavak és fehérjék szerkezet- és működésbeli változatossága összefoglalható egy átfogó gondolatban: *az aminosavak és fehérjék a kapcsolatok erősítését szolgálják az élő szervezeteken belül, valamint az élőlények és környezetük között.*

A kötőszövet ennek szerkezeti, az enzimek pedig működési alaptípusai.

Konklúzió: *Az aminosavak és a fehérjék a szervezetben olyan feladatokkal rendelkeznek, amelyek kapcsolatban állnak az állatokra jellemző funkciókkal. Az aminosavak és a fehérjék „állatszerűek”. Általános jellemzőjük, hogy kiterjesztik a kapcsolatokat.*



5. A lipidek szerkezete és anyagcseréje

A lipididek szerkezetét relatív oxigénhiány jellemzi. Emiatt a lipidek kalóriában gazdagabbak, mivel hosszabb utat tehetnek meg az oxidációs folyamatban. A lipideket majdnem kizárólag szén és hidrogén alkotja, és túlnyomó többségben apoláris csoportjaik vannak. Ez azt jelenti, hogy nem keverednek jól a vízzel, hidrofóbok.

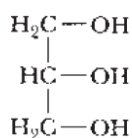
Az acetil-CoA a kiindulópontja a zsírsavak és a koleszterin felépítő útvonalának, és a végterméke minden hosszú láncú lipid lebontásának (a szteroidok nem bomlanak le, hanem kiválasztódnak). Az acetil-CoA a lipidek fontos közös elemének tekinthető. Az acetil-CoA a citrát-kör kezdőmolekulájaként is funkcionál (lásd még a 1.2.3. és 2.1.3. szakaszokat).

5.1. A lipidek osztályozása

5.1.1. A lipidek szerkezete

Szerkezetileg két fő lipid csoportot különböztetünk meg:

- Az első csoport *nyílt láncokkal* rendelkezik. Ebben a csoportban a lipideknek egy (nagyrészt poláris) feje és változó méretű apoláris láncai vannak. Ebbe a csoportba tartoznak a triacil-glicerolok (trigliceridek), a glikolipidek, a foszfoacilglicerolok (foszfolipidek) és a szfingolipidek. Az apoláris láncok ezeket a lipideket hidrofóbbá teszik.
- A másik csoportot a szteroidok képezik, melyek *kapcsolt gyűrűkkel* rendelkeznek. Ide tartozik a koleszterin. Csak egy hidrofil csoport van a koleszterinben, ami nagyon hidrofóbbá teszi (5.4. szakasz).



Glicerín

5.1.2. A lipidek működése

A lipidek osztályozásának egy másik módja inkább a működés, mintsem a kémiai felépítés szerint történik:

- **Energiaszolgáltatás**
A lipidek első csoportja a zsírszövetben halmozódik fel, és közvetlenül elérhető a szervezet energiaszükségei szerint. Ezek a lipidek szerepet játszanak bizonyos létfontosságú szervek – például a szemek, a szív, illetve a vesék – kipárnázásában is. Ez a csoport csak triglicerideket és zsírsavakat foglal magába.

- *Membránalkotás*

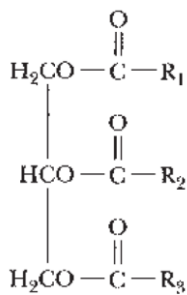
A lipidek második csoportjának fontos szerkezeti szerep jut, mivel a sejtmembránok nélkülözhetetlen alkotóelemei. Összetevőik egy sor további, működési tulajdonságokkal rendelkező molekulává alakíthatók, például prosztaglandinná, leukotriénekké, tromboxánná, melyek az arachidonsav, egy a membrán-lipidekben található zsírsav származékai. A második csoportba tartoznak az egyéb nyíltláncú lipidek és a koleszterin.

- *A szervezet működésének irányítása*

A lipidek harmadik csoportjába a többi kapcsoltságú lipid tartozik: a szteroid hormonok, az epesavak és a zsírolédékony D₃ vitamin, melyek mind a koleszterin származékai, és a szervezet karbantartásában különböző irányító funkciókkal bírnak, de nincs közvetlen szerkezeti szerepük.

Mi a lipideket három csoportban tárgyaljuk:

- *A trigliceridek és zsírsavak* (eltérő funkciójuk miatt ezeket az egyéb nyíltláncú lipidektől elkülönítve tárgyaljuk)
- *Az egyéb nyíltláncú lipidek*
- *A kapcsoltságú lipidek*



5.2. Trigliceridek és zsírsavak

A trigliceridek egy glicerin gerinchez kapcsolódó három zsírsavláncból állnak. A trigliceridek több módon is kapcsolódnak a szénhidrátokhoz, ahogyan azt az 5.2.1. szakaszban kifejtjük.

5.2.1. A trigliceridek és a zsírsavak anyagcseréje

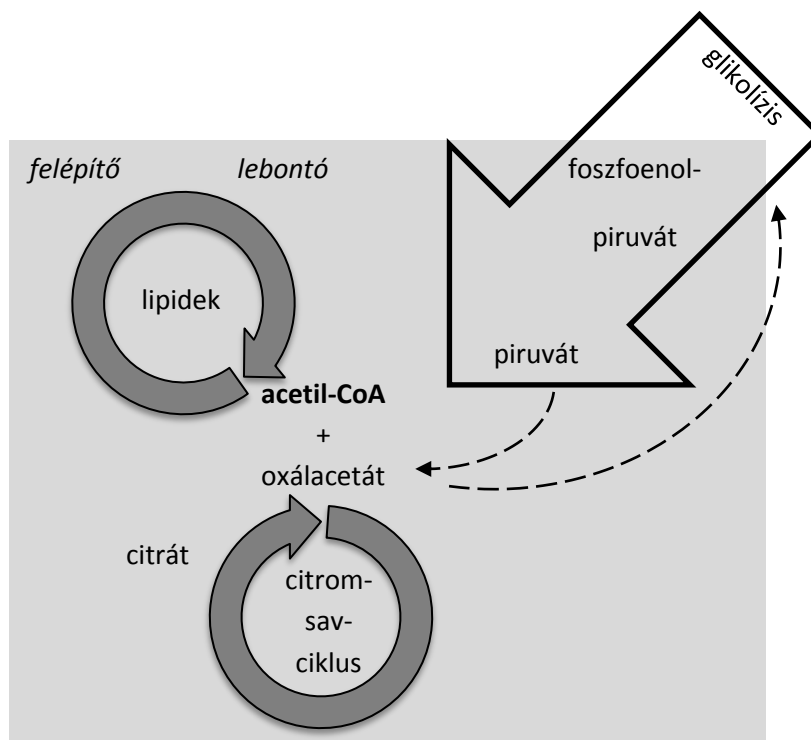
A glicerin a glikolízisből válik elérhetővé, mint glicerinaldehid-3-foszfát, és lebontása glükózt eredményez. A trigliceridek (és minden más lipid) szintézise a citoszolban, lebontása a mitokondriumban zajlik. Trigliceridek a zsírszövetben találhatóak, és ezek az állatok és az ember energiátároló lipidformái.

A zsírsavak *lebontása az* energiatermelés fő forrása. A zsírsavak a mitokondrium mátrixában β-oxidációval acetyl-CoA-vá bomlanak. A zsírsavak teljes lebontásához az acetyl-CoA be kell lépjen a citrát-körbe. Ez nagy mennyiségű ATP-t eredményez a szervezet energiaszükségleteinek ellátására. Egy tizennyolc szénatom hosszúságú zsírsavmolekula teljes oxidációja széndioxidá és vízzé 120 ATP molekulát eredményez.

Az acetyl-CoA-nak elérhető oxalacetátra van szüksége a citrát-körbe lépéshez. Az oxalacetát piruvátból termelődik, ami a glikolízis jellemző végterméke. Tehát állatokban és emberben a zsírsavlebontás glikolízis-termékeket, kiváltképp piruvátot igényel a teljes végbemenetelhez és a zsírsavakban tárolt energia kitermeléséhez.

A zsírsavak *felépítő* útja az acetyl-CoA-val kezdődik, amely piruvátból képződik. További acetyl-CoA molekulák hozzáadásával alakul ki a zsírsav lipid lánc.

5.1. ábra. A lipid-anyagcsere, a szénhidrát-anyagcsere és a citromsavciklus kapcsolata (+ jelöli az acetil-CoA és az oxálacetát kapcsolódásának helyét)



A zsírszövetek trigliceridjei az energia hosszú távú – a glikogénnél sokkal hosszabb – tárolására szolgálnak a fejlettebb élőlényekben. Tömegegységként több felhasználható energia nyerhető belőlük, mint a szénhidrátokból.

5.2.2. Zsíranyagcsere éhezéskor és diabetes mellitusban

A szervezet számos felépítő és funkcionális tevékenysége energiaellátásához előnyben részesíti a szénhidrátokat, de a máj glikogénraktárának glükóz-energiája becslések szerint nem több mint 10-15 órára elegendő mennyiség (ami egy hosszú éjszakai alvásnak felel meg) (lásd: 3.2. szakasz). A szervezet ezután a lipidek oxidációjából nyer energiát.

Hosszan tartó éhezésben a glikolízis nem termel elegendő oxálacetátot, ami ahhoz szükséges, hogy az acetil-CoA-val összekapcsolódva a zsírsavak teljes oxidációja végbemenjen (lásd: 5.1. ábra). Az oxálacetátot ekkor az izomfehérjék lebontásából képezhetjük. Az izomfehérjékből felszabadult aminosavak a glükoneogenezisbe lépve szolgáltatják a szükséges oxálacetátot (főleg glutaminból és alaninból). Fiziológiásan is megtörténik az oxálacetát felépítése aminosavakból, mikor a szervezetbe viszonylag (a szénhidrátokhoz képest) sok zsír kerül be. Ekkor a glükoneogenezishez az ételben lévő fehérjék bontása szolgáltatja az aminosavakat.

Amikor relatív vagy abszolút *szénhidrát-anyagcsere hiány* lép fel, mint például éhezéskor, akkor felszaporodik a β -oxidációból származó acetil-CoA, és két molekula acetil-CoA acetoacetáttá kapcsolódik össze. Utóbbi ezután redukálódhat β -hidroxi-vajsavvá, vagy dekarboxilálódhat, és acetone keletkezhet belőle. Ezek a „ketontestek” nagyon hatékonyan hasznosíthatók az energiaellátásban, mindennapi fő energiaforrásai a szívnek, amely zsírszövetbe van ágyazva, és nem tárol glikogént.

A ketontestek fontos tápanyagai az agynak is, különösen akkor, amikor szénhidráthiány áll fenn. Ez azt jelenti, hogy *a szív- és agysejtek, melyek nem tartalmazzak glikogént, energiájukat teljesen vagy nagyrészt lipidekből nyerik, semmint szénhidrátokból.*

Diabetes mellitusban a zsírsavbontás nem tud illeszkedni a glikolízishez, és így az acetil-CoA nem tud közvetlenül belépni a citrát-körbe, ami patológiás ketontesttermelést eredményez az acetil-CoA-ból. Ez az oka cukorbetegségben a ketoacidózis veszélyes állapotának.

5.3. Egyéb nyíltláncú lipidek és a membránok

5.3.1. Membránkomponensek és funkciók

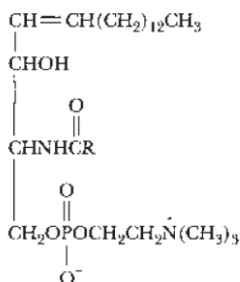
Az egyéb nyíltláncú lipidek, mint a foszfolipidek, a szfingolipidek és a glikolipidek egy fontos közös jellemzővel rendelkeznek: mind membránok részei. Mivel az egyéb nyíltláncú lipidek egyik végén apoláris hidrofób csoport, másik végén poláris hidrophil csoport található, lipid kettősrétegeket alkothatnak – tulajdonképpen ezek a membránok is (lásd: 2.1.3. szakasz). A lipidek nélkülözhetetlenek a membránokhoz. A membránok teszik lehetővé a vizes folyadékokon belüli szeparálódást, a belső alkotóelemek kialakulását. Ezek választják el az egysejtű élőlényeket a környezetüktől. Az élőlényekben ezek választják el a sejteket egymástól, és a változatos sejtalkotó elemeket az őket körülvevő citoplazmától.

A membránok másik fő alkotóelemei a fehérjék (lásd: 4.2.4. szakasz). A membránfehérjék alkotják a plazmamembránok elemeinek körülbelül felét. Van szerkezeti funkciójuk, de átívelő csatornaként is szolgálnak, melyen számos molekula léphet be a sejtbe, illetve távozhat a sejtéből, ezen kívül receptorként működnek a membrán belső és külső felületén.

A foszfolipidek a test minden membránjában megtalálhatók, és a trigliceridekre hasonlítanak. Foszforsav és más egyéb alkohol helyettesíti az egyik zsírsavat a glicerín-gerincen. A szfingolipidek és a glikolipidek csak a központi idegrendszer membránjaiban található meg.

5.3.2. Membránok az idegrendszerben

Mind a ceramidokat és szfingomielineket magukba foglaló szfingolipidek, mind a gangliozidokat és cerebrozidokat magukba foglaló glikolipidek speciális, csak az idegrendszerben (elsősorban az idegek és az agy sejtjeinek membránjában) előforduló membránlipidek. Gerincük szfingozin, ami egy amin csoportot tartalmaz. A glikolipidek szénhidrátmaradványokat tartalmaznak.



Az agy fehérállományában lévő axonok körüli mielinhüvelyekben a szfingolipidek találhatóak többségben, az agyállomány színe és elnevezése a benne lévő zsír mennyiségéből származik. Az axon körüli mielinhüvelyek a sokszorosan feltekeredett plazmamembránokból állnak, melyek sokrétegű szerkezetet alkotnak. A mielin nagyon kevés fehérjét tartalmaz a lipid kettősrétegben, és alapvetően csak lipidből áll. Az axon körüli mielinhüvely az elektromos impulzus sokkal gyorsabb terjedését teszi lehetővé az idegrendszerben. A mielinhüvelyek károsodása súlyos neurológiai tüneteket

okozhat, pl. a sclerosis multiplex esetén.

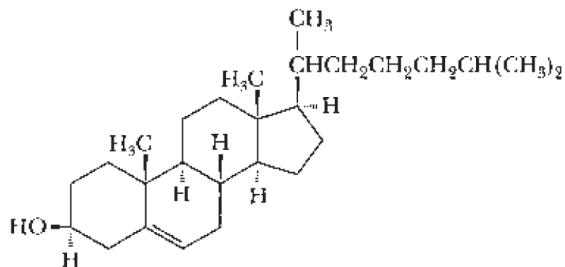
5.3.3. Membránok, mint „tároló helyek”

A membránok egy fontos szerepe, amely a mai kutatások középpontjában áll, hogy különleges tároló funkciójuk van. A membránok alkotórészei bizonyos körülmények között felszabadíthatók fontos, biológiailag aktív molekulák termelése céljából. Egy jól ismert példa erre, amikor sérüléskor a prosztaglandinok, a leukotriének és a tromboxán felszabadulnak, melyek a sérülés helyén létrejövő gyulladásért felelősek, de befolyásolhatnak olyan távoli szerveket is, mint a tüdő, a méh vagy olyan funkciókat, mint a vérnyomás. A membránokban lévő arachidonsav a fenti molekulák zsírsav-prekursora. Az a prosztaglandinokban és a tromboxánban átalakulásuk során gyűrik jönnek létre..

5.4. Kapcsoltgyűrűs lipidek

A kapcsoltgyűrűs lipidek a *koleszterin* és az abból származó *szteroidok*. A koleszterin a prekursora az összes többi szteroidnak, ami az emberi szervezetben termelődik.

5.4.1. Koleszterin



A koleszterin az acetil-CoA acetil csoportjaiból épül fel, és négy gyűrűt alakít ki. A legtöbb koleszterin a májban képződik. A koleszterin rendkívül hidrofób, mivel csak egy hidofil csoportja van. A koleszterin lebontásakor keletkeznek az *epesavak*. A belekben az epesavak segítik és szabályozzák a zsírok felvételét. Ha nagy mennyiségben van jelen ez a koleszterintermék az emésztőcsatornában, az azt eredményezi, hogy több lipid kerül be a véráramba. Ez egy példa a pozitív visszacsatolásra.

A szerkezetileg elég merev koleszterin jelenléte befolyásolja a membránok folyékonyágát (fluiditását) (2.1.3. szakasz). A prokarióták membránja a legképlékenyebb, mivel alig tartalmaz szteroidokat. A növényi membránok viszont fitoszterolt (egy koleszterinhez hasonló szteroidot) tartalmaznak, minek következtében már kevésbé folyékonyak. A növényi membránok a sok telítetlen zsírsavnak köszönhetően képlékenyebbek, mint az állati és emberi membránok, amelyek koleszterint tartalmaznak.

A koleszterin jelátvivő molekulák prekursora (lásd 5.4.2. szakasz).

A koleszterin jelen van a vérplazmában, és összekapcsolták az artériás érlemezés kialakulásával (Linder, 1997).

5.4.2. Szteroid hormonok

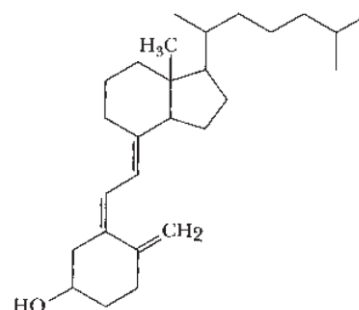
A szteroidok a koleszterin származékai. Legtöbbjük jelátvívő molekula. Ide tartoznak:

- a *glükokortikoidok*, például a kortizol, melynek szabályozó szerepe van a szénhidrát-anyagcserében, csökkenti a gyulladást, és szabályozza a szervezet hosszan tartó stresszre adott választ,
- a *mineralokortikoidok*, például az aldosteron, amely a szervezetben az elektrolit-egyensúlyt (különösen a káliumét) szabályozza, és
- a *nemi hormonok*, amelyek a koleszterinből a pregnenolonon és progeszteronon keresztül keletkeznek. A nemző funkciókat szabályozzák.

A hormonoknak szabályozó funkcióik vannak a szervezetben. Segítik a szervezetet a homeosztázis fenntartásában. Magukat negatív visszacsatoláson keresztül szabályozzák.

5.4.3. D-vitamin

A koleszterin a zsírdékony D₃ vitamin prekursora is. Ennek funkciója a kalcium plazmakoncentrációjának szabályozása.



D₃ vitamin

5.5. Összegzés és konklúzió

Acetil-CoA

Az acetil-CoA az a molekula, amelyből az összes lipid származik. Fontos átjáró a citromsavciklus felé, amely minden anyagcsere-folyamat középpontjában áll. Lehet, hogy ez az anyagcsere kulcsmolekulája.

Három lipid csoport

A lipideket három csoportba soroltuk.

- Az első csoportba tartoznak a *trigliceridek és zsírsavak*. Ezek a zsírszövet hosszúláncú zsírsav elemei, és fő funkciójuk az *energiaraktározás*. Szerkezeti funkcióval is bírnak, és létfontosságú szerveket párnáznak ki, például a szívet, a veséket, az epidermiszt és az emlőmirigyeket, melyek zsírszöveti rétegbe ágyazódnak. A zsírszövet mennyisége az élőlények felépítését is befolyásolja! Több módon állnak kapcsolatban a szénhidrátokkal. Szerkezetük gerincét glicerinnel alkotja, amely a glikolízisből származik. Funkciójukat tekintve – amennyiben energiát szolgáltatnak az állati és emberi szervezetek számára – jellemző szénhidrát feladatot látnak el. Anyagcseréjük sok helyen kapcsolódik és függ a szénhidrát-anyagcserétől. A trigliceridek biztosítják az energia elérését a szervezet számára átmeneti szénhidráthiány idején, mivel hosszú ideig képesek tárolni az energiát. A trigliceridek biztosítanak megbízható energiaellátást a szervezet számára szükség idején.

- A második csoport az egyéb nyíltláncú lipidek csoportja, amelyek bipoláris természetüknél fogva biológiai *membránokat* alkotnak. A membránok teszik lehetővé az intra- és extracelluláris folyamatok közötti kényes egyensúly kialakítását.

Az egyéb nyíltláncú lipidek a *foszfolipidek*, a *szfingolipidek* és a *glikolipidek*. A foszfolipidek minden sejtmembránban megtalálhatók. A szfingolipidek és a glikolipidek membránok részeként csak az idegszövetben találhatók meg. Szfingomielinekben gazdag az axonok mielinhévelyét alkotó lipid kettősréteg. Az agy fehérállományának neve magas lipidtartalmából származik. A mielinhévelyek gyorsítják az elektromos impulzusok vezetését az idegrendszerben, és csaknem fehérjementesek.

A biológiai membránokban a fehérjék kiegészítik a nyíltláncú lipideket. A membránfehérjék szerepet játszanak a kapcsolat létrehozásában a sejt és környezete közt.

A membránok speciális tároló funkcióval rendelkeznek. A membránlipidek zsírsavainak származékai, például a prosztaglandinok, a leukotriének és a tromboxán szerepet játszanak a gyulladásban, a vérnyomásban, a véralvadásban stb. Így segítenek a szervezet homeosztázisának visszaállításában vagy fenntartásában.

- A lipidek harmadik csoportja a *szteroidok*, a *kapcsoltgyűrűs lipidek* csoportja. A legfőbb kapcsoltgyűrűs lipid a koleszterin. Acetil-CoA-ból szintetizálódik. A koleszterin fontos szerepet játszik az állati és emberi sejtmembránok keménységének szabályozásában. A koleszterin az összes többi szteroid prekuzora. A koleszterinből származó hormonok és a D-vitamin *anyagcsere-folyamatokat szabályoznak*, s mint ilyenek, megteremtik a homeosztázist a szervezet funkcióiban.

Lipidek jellemzése

A trigliceridek az energiaellátási lehetőségek finomításával kiterjesztik a szervezet működését. A lipidek ezen csoportja funkcióját, anyagcseréjét, felépítését tekintve „szénhidrátszerű”. Ezek a test hosszú távú energiatároló formái, ugyanakkor ezek a lipidek tömegegységként több energiát szolgáltatnak, és hatékonyabb energiaellátók a szénhidrátoknál. Ketontestek formájában ezek jelentik a szív fő, és az agy egyik fontos energiaforrását, mindkettő a legfejlettebb emberi szervek közé tartozik.

A lipidek második csoportja teszi lehetővé a test differenciáltabb működését kettős rétegeket alkotva, melyek szervezet szerete a membránok alapjai. Az egyéb nyíltláncú lipidek kapcsolatban állnak a fehérjékkel és azoknak a kapcsolatokat az élőlényen belül és az élőlény és környezete között kiterjesztő funkciójával. Ennek a csoportnak két osztálya, a szfingolipidek és a glikolipidek csak az idegrendszerben fordul elő. Mielinhüvelyként ezek segítik a vezetést az idegrendszerben, és mint ilyenek, javítják az idegrendszer működését. Olyan gyakoriak a központi idegrendszerben, hogy a fehérállomány színe tőlük származik.

A lipidek harmadik csoportja a sejtmembránokat keményebbé, így stabilabbá teszi, és jellemzően szabályozó funkciója van. A koleszterin ennek a csoportnak az alaptípusa, és prekuzora is a többi vegyületnek.

Így írtuk le a három lipid csoport három jellemző funkcióját:

- kiterjesztik az élőlények működését, mivel finomítják az energiaellátás lehetőségeit (ami a szénhidrát-anyagcserével van kapcsolatban),
- lehetővé teszik a differenciált működést a testben, és javítják az idegrendszer működését (ezek a lipidek a fehérjékhez kapcsolódnak), és
- szabályozzák az anyagcsere-folyamatokat, és mint ilyenek, elősegítik a homeosztázis fenntartását a szervezetben.

Az emberek jellemzően

- kiterjeszthetik és finomíthatják az energiaellátást a gazdasági folyamatban,
- lehetővé tehetik a differenciáltabb működést a társadalmi élet kiterjesztésével, és
- szabályozhatják a természet folyamatait műveléssel, úgy hogy fenntartják a homeosztázist.

Ezek mind olyan feladatok, amelyeket az állatok nem képesek ellátni. Az emberi működés a természetben hasonló minőségekkel rendelkezik, mint a lipidek működése az élőlényekben. Az emberek azt is szabadon eldönthetik, hogy befolyásolják-e ezeket a természetes folyamatokat, vagy nem.

A lipidek jellemző vonásai az emberi szervezetben a lehető legmagasabb szintre fejlődtek a szív, az endokrin- és az idegrendszer működésében.

Konklúzió: A lipidműködés az élőlényekben „emberszerű”. A jellemző lipidfunkciók nagyon fejlettek az emberben.



6. Áttekintés és konklúzió

A biokémia tanulmányozásában a *goethei tudományos módszert* alkalmaztuk. Ez tette lehetővé számunkra, hogy következtetéseket vonjunk le azzal kapcsolatban, milyen szerepe, illetve milyen *jelentése van a folyamatoknak* az egész szerv vagy szervezet vonatkozásában.

6.1. Ciklusok és ritmusok

A megelőző fejezetekben biokémiai jelenségeket vizsgáltunk. Kimutattuk az anyagcsere-folyamatok ciklusos természetét, láttuk, hogyan terjednek ki a ciklusok a sejtekre, a szervekre, a szervezetekre és a természet egészére is. Úgy találtuk, hogy a ciklusok összekapcsolódnak, és időbeli ritmusok alá vannak rendelve. Az időbeli ritmusok spektruma felöleli a hosszú, Naphoz kötött ritmusokat, például a növények növekedésében, és az idegrendszer rövid, ezredmásodperces ritmusait is. A növényekben a hosszú exogén ritmusok a meghatározók; az állatoknak egész sor ritmusuk van; az emberek viszonylag függetlenek lehetnek az exogén ritmusoktól. Egy élőlény leghosszabb ritmusa az életpályája. Biokémiai tanulmányaink során az élőlények úgy jelentek meg előttünk, akár az állóhullámok a patakban, melyeken keresztül szakadatlan folyik a víz, míg alakjuk csak lassan, néha észrevétlenül változik. *A körforgások magára az életre jellemzőek* – a szervetlen kémiában a folyamatok inkább az ok-okozat lineáris minőségével rendelkeznek, s nem ciklusosak.

6.2. Szénhidrátok, növények és fény

A 3. fejezetben megállapítottuk, hogy a szénhidrátok *jellemzően energiaszállító molekulák*. A fotoszintézisben a víz fény befolyása alatti oxidációja szolgáltatja az energiát a szénhidrátok szintéziséhez.

A szénhidrát-anyagcsere az élőlényekben „növényyszerűként” írható le, mivel hasonló szerepe van a szervezetben, mint a növényeknek a természetben. A szénhidrát-anyagcsere tipikus példát nyújt a ciklikus folyamatokra.

Minden elsődleges táplálékem, amely belép az élőlények körfolyamataiba, jellegzetes kötéstípussal rendelkezik. A kovalens-kötés a szénhidrátokra jellemző. A fotoszintézis mutatta meg, hogy a szénhidrátok kovalens-kötéseinek energiája eredetileg a napfényből származik.

A monoszacharidok kapcsolatban állnak a fényvel, amennyiben forgatni (polarizálni) tudják azt. Ez a tulajdonság eltűnik a poliszacharidok kialakulásával. A glikozidos kötésben részt vesz a monoszacharidok királis szénatomja, amelynek a fényt polarizáló képességben is része van. Sok más kicsi, főleg kovalens kötésekkel rendelkező molekulában (például aminosavakban) ismét megtaláljuk a fény polarizációjának képességét. A fehérjékben a peptid-kötés kialakulásával ez a képesség ismét eltűnik. *A fény forgatásának képessége átalakul olyan különleges kovalens kötések kialakításának képességévé, mint amilyenek a glikozidos kötések a szénhidrátokban.*

6.3. Fehérjék, állatok, valamint matematikai és zenei törvények

A 4. fejezetben leírtuk a fehérjék és aminosavak működését. Ezek az alkotóelemek mind tartalmazzák a levegőből származó nitrogént. Olyannyira változatosak, mint amennyire specifikusak. A fehérjék szerkezetükben jellemzően felsorakoztatják a kötéstípusok teljes választékát, beleértve a kovalens-kötést, a H-hidat, a kén-hidat, az elektrosztatikus és hidrofób kölcsönhatásokat. A fehérje-anyagcserét „állatszerűként” írtuk le, hiszen funkciói a szervezetben hasonlóak az állatok funkcióihoz a természetben (4.4. szakasz).

A fehérjék és aminosavak általános jellemzője, hogy *kiterjesztik a kapcsolatokat*. A kötőszövet a szerkezeti, az enzimek pedig a működési alaptípusai ennek.

A kapcsolataikban az enzimek olyannyira változatosak, mint amennyire specifikusak, akár a hangjegyek egy zeneműben. Minden hang megfelelő viszonyban kell legyen a többivel, hogy képesek legyünk hallani a zenemű dinamikus szerkezetét. Ugyanezt a törvényszerűséget láthatjuk matematikai számításokban, és ha már itt tartunk magában a kémiában is, ahol az alkotóelemek közötti megfelelő viszony nélkülözhetetlen a szervezetek működéséhez. A szénhidrát-anyagcsere ciklikus természete további finomításon megy keresztül a fehérje-anyagcsereben. Bonyolult negatív visszacsatolási mechanizmusok – melyek a nitrogén-anyagcsere sajátjai – indulnak be ennek elérése érdekében. Jellemezhetjük úgy a *fehérje-anyagcserét*, mint amit *matematikai/zenei törvények irányítanak*.

6.4. Emberek, lipidek és a „nem” kimondásának képessége



Az 5. fejezet a lipidekre koncentrált, és így írtuk le azok feladatait: *kiterjesztik és finomítják az élőlények energiaellátását; differenciáltabb működést tesznek lehetővé az egész szervezetben, különösen az idegrendszerben, mivel képesek membránok kialakítására és tökéletesítésére; illetve folyamatokat szabályoznak a homeosztázis fenntartása érdekében*. Az embereknek hasonló feladataik vannak a természetben, és lényeges, hogy a lipidek jellegzetes funkciói az emberekben fejlődtek a lehető legmagasabb szintre. A lipid-anyagcsere az élőlényekben „emberszerű”, mivel hasonló funkciói vannak a szervezetben, mint az embereknek a természetben. A lipidekben a ciklusok (körök) szerkezetivé válnak a sejteket, sejtservecskéket körülvevő micellák és membránok formájában.

Hidrofób kölcsönhatások jellemzőek a lipidekre. Ezek a

kölcsönhatások inkább a taszítás, semmint a vonzás elvén alapulnak, ami az összes többi kötést meghatározza. A gyermek fejlődésének van egy jellemző fázisa kétéves korban, amit magyarul dackorszaknak nevezünk. Ebben az időben a pici megtanulja, milyen kimondani a „nem”-et, ami néha körülötte lévő bosszantásig fajul! Az élőlények jellemzően vizes, szerves közegében spontán lejátszódó folyamatokban a hidrofób kölcsönhatások membránok kialakulásához vezetnek, és a membránok teszik lehetővé az elkülönült életformákat. A „nem” kimondásának képessége teszi lehetővé az individualizációt is. A dackorszak végül a gyermek azon képességében teljesedik ki, hogy képes magára azt mondani: „én”. *A lipid-anyagcsere fekteti le az individualizáció alapjait.*

A „nem” kimondásának képessége élettanilag is megtalálható az emberi fejlődési úton. Az ember tovább marad éretlen, mint bármely állat, és a fejlődés lehetősége az egész élet során fennáll, noha tizenhét éves kor után inkább kulturálisan, mint élettanilag (lásd: Verhulst, 1999).

A „nem” kimondásának képessége szükséges a szabad cselekvés kifejlődéséhez. A szabadság alapja a visszatartás és a választás képessége, nem az a képesség, hogy bármit megtegyünk, ami lehetőségként szembejön! Az emberi lény részvétele a természetben egyre függetlenebb a természeti törvényektől. Ez egy olyan helyzetet teremt, amely egyszerre bizonytalan és reményteli, mivel ez a kreatív kölcsönhatás nemcsak kulturális fejlődésünk alapköve, hanem a természeti erőforrások kiaknázásának kiindulópontja is. A szabad egyéniség kialakulása magával hozza a felelősségvállalás szükségességét. Talán jobban megérthetjük felelősségünket, ha tanulmányozzuk a természet egységét, illetve a környezet és a magunk kapcsolatát. Ez az, ahol a goethei tudomány kiegészítése lehet a természettudománynak.

Irodalomjegyzék

Bortoft, H, *Goethe's Scientific Consciousness*. Institute for Cultural Research, 1986, ISBN 3-7725-1544-4.

Campbell, Mary K, *Biochemistry*. 3rd edition, Saunders College Publishing, 1999.

Elsas, S, *Giftbildung und Eiweisszerfall im Nervensystem als Grundlage von Wachbewusstsein und Vorstellungstätigkeit*. Der Merkurstab 6/1994.

Frisch, K, *Medizin und biochemischer Forschung*. www.klaus-frisch.de, 1999.

Hildebrandt, Moser and Lehofer, *Chronobiologie und Chronomedizin*. Hippocrates Verlag GmbH, Stuttgart, 1998, ISBN 3-7773-1302-5.

Linder, M.C, *Nutritional Biochemistry and Metabolism - with clinical applications*. 2nd edition, Appleton and Lange, 1997.

Verhulst, J, *Der Erstgeborene*. Verlag Freies Geistesleben, 1999, ISBN 3-7725-1557-6

Stryer, L, *Biochemistry*. 4th edition, Freeman and Company, New York, 1999.

Wolff, O, *Biochemie*. Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1999, ISBN 3-7725-1734-X.

Biokémia

A biokémia betekintést kínál az emberi szervezet folyamatos változásaiiba. Ámde képesek vagyunk szem előtt tartani a (változó) szervezet egységét, miközben a részleteket tanulmányozzuk? Hogyan értelmezhetjük a megannyi folyamatot egy egyedi szervezet alapvető aspektusaiként? Létezik kapcsolat egyetlen szervezet biokémiai folyamatai és a természet egészének folyamatai között?

Kiterjeszthetjük az e kérdésekre adott lehetséges válaszok körét, ha kombináljuk a mai tudományos módszert azzal a fenomenológiai módszerrel, melyet kifejezetten az élő szervezetekben zajló folyamatok egységének vizsgálatára fejlesztettek ki. A mai tudományos módszert biológiai tények feltárására használjuk. A fenomenológiai megközelítés segít megtalálnunk e tények jelentését.

Amit kapunk, az a biológiai folyamatok, a tudat, a pszichológia és a viselkedés közötti összefüggések új értelmezése.