

### Anyagcsere, a tápanyagok felszívódása



Az anyagcsere -láncolat folyamán a komplex tápanyagmolekulák (fehérjék→fehérjék emésztése és molekuláris anyagcsere folyamata, zsírok→zsírok emésztése és molekuláris anyagcsere folyamata, szénhidrátok→szénhidrátok emésztése és molekuláris anyagcsere folyamata) több lépcsőben hasítódnak, részben azért, mivel nagyon hosszú (kémiai) láncokat kell elemi egységekre bontani (pl. poliszacharidok, fehérjék), részben azért, mert egyfajta emésztőenzim (enzim, koenzim) csak egy adott típusú kémiai kötést tud bontani (pl. a különböző peptidkötéseket más és más fehérjebontó enzim). Az emésztés részben a gyomor-bél traktus /szakasz/ ürterében, részben a bélhámsejtek felszínén (ún. kefeszegélyében) zajlik. A tápanyagok a vékonybélben (duodenumban, jejunumban) szívódnak fel. A víz és elektrolitok visszaszívása szintén a vékonybélben (víz-bioenergetika→vízterek), illetve a vastagbélben történik meg.

A felszívó felület működése: A vékonybél belső felszíne kb. 0,3 m<sup>2</sup>, a körkörös redők és a kb. 1 mm magas bélbolyhok serege révén a valóságos felszívó felület felnőttben kb. 300 m<sup>2</sup>. A felszívást az egy rétegben elhelyezkedő bélhámsejtek végzik, s a felszívódási folyamatot a bélbolyhok jellegzetes mozgása serkenti. A savas vegyhatású gyomortartalom hatására a vékonybél nyálkahártyájából felszabaduló hormon (villikinin) a bolyhok ritmikus összehúzódását segíti elő, ez elősegíti a tápanyagmolekulák eljutását a felszívást végző sejtek felszínére. A bélnyálkahártya-sejtsor vérellátása igen gazdag, a felszívódott tápanyagok innen a májba kerülnek, éspedig a továbbiakban szabályozó inzulin hormonnal és a gyomormirigyből és hasnyálmirigyből származó hormonnal (bradikininnel) együtt (hormonális szabályozás). A vékonybél felső szakaszán a tápanyag-molekulák felszívódása maradéktalanul megtörténik, kivéve, ha a felvett tápanyagmolekulák mennyisége nagyobb, mint amennyi bontását, ill. felszívását a gyomor-bél traktus éppen el tud végezni.

Tápanyag - felszívódási zavar döntően három okból jöhet létre:

A lebontás zavara miatt (pl. enzimhiány miatt, vagy gyorsult bélmozgás /passzázs/ miatt).

A felszívó felület csökkenése miatt (pl. gyulladás, boholysorvadás miatt).

Az aktív felszívás (transzport) zavara miatt (pl. glukóz és galaktóz hiányos felszívódása bélfertőzés esetén).

### **ANYAGCSERE / Emésztés a szájüregben:**

A szájüregbe kerülő táplálék a nyállal (saliva) keveredik. A nyál elsődleges feladata a szájüreg nedvesen tartása, a táplálék péppé alakítása és ezzel az ízérzékelés elősegítése is, védelem a vegyi anyagok és fertőzések ellen (bikarbonát tartalom ill. a lizozim révén). Folyadékhiány esetén csökken a nyál mennyisége, kiváltva a szomjúság érzetet, és ezzel a nyál hozzájárul a szervezet vízegyensúlyának fenntartásához is. A nyálat a kis- és nagy nyálmirigyek termelik. A kis nyálmirigyek nyálelválasztása állandó, de nem nagy mennyiségű (kis nyálmirigyek+állkapocs alatti mirigy egy része+fültőmirigy), a nagy nyálmirigyek (nyálmirigy+nyelv alatti mirigy+ állkapocs alatti mirigy) csak valamilyen ingerre reagálnak (szekretálnak-kiválasztanak). Mechanikai ingerekre (homok, vatta, száraz kenyér, stb.), továbbá erős kémiai ingerekre (savak, lúgok, konyhasó, stb.) ún. "hígító nyál" keletkezik, melynek feladata a fizikai oldás. Táplálékfogyasztáskor szerves anyagokban és fermentumokban gazdag ún. "emésztőnyál" választódik ki, melynek a kémiai emésztésben van szerepe. A nyálelválasztást az ízérző receptorok váltják ki, ill. reflektorikus úton az idegrendszer szabályozza (központja a nyúltagyvelőben van).

A nyál legnagyobb részét víz alkotja (99,27%), vegyhatása enyhén savanyú (pH 6,5-7,5 közötti), mennyisége a táplálék mennyiségétől függ (átlagértéke 700-1000 cm<sub>3</sub> naponta). A nyál szárazanyag tartalma 0,73%, szervesetlen alkotórészei közül (Cl, PO

<sup>4</sup>  
, Na, K, Ca, HCO

<sup>3</sup>,  
SCN, CO

<sup>2</sup>,  
O

<sup>2</sup>  
) jellemző a rhodánion, mely a dohányzók nyálában nagyobb mennyiségben van jelen. A

ciángyök (CN) méregtelenítés során keletkezik. A nyál szerves anyagai a mucin és két enzim: a ptialin (amiláz) és a maltaze (maltáz). A mucin egy fehérje, melynek szerepe a pufferolás (savak-lúgok közömbösítése), azaz a hidrogénion-koncentráció megfelelő fenntartása. Az enzimek a szénhidrátbontásban játszanak szerepet (keményítő bontása glukózzá). Az emésztés tehát már a nyállal elkezdődik, természetesen nem nagy mértékben, hiszen innen a táplálék hamarosan a gyomorba kerül (lásd. még: szénhidrátok és szénhidrátok emésztése, és molekuláris anyagcsere folyamata).

### **ANYAGCSERE / Emésztés a gyomorban:**

A gyomornedv víztiszta, savanyú vegyhatású, sajátos szagú folyadék. Sósavtartalma 0,3-0,5%, ami megfelel kb. 0,9-1,5 pH-nak. A sósavon kívül kevés anorganikus sót, fehérjét, vizet és három fermentumot: fehérjeemésztő pepszint, tejelvasztó chymosint (kimozint), és zsírbontó lipázet tartalmaz. A sósavat a táplálék konyhasójából, ill. a chlortartalmából a gyomormirigyek fedősejtjei készítik. A sósav elősegíti a gyomornedv enzimjeinek működését, biztosítja a pepszin számára a savanyúságot, és fertőtleníti a gyomortartalmat. A gyomorban "szabad sósav" és "kötött sósav" (nem sósav alakjában jelenlevő  $\text{Cl}^-$ ) formájában van jelen. A gyomorba jutó fehérjéket a pepszin bontja, melyek a gyomormirigyek fő sejtjeiben képződnek. A pepszin a fehérjéket peptidekre és aminosavakra már nem képes lebontani, a fehérjeemésztés a vékonybélben fejeződik be. A tej fehérje bontását a kimozin végzi el, hatására a tej kazeinje parakazeinné alakul át, és pelyhek formájában kicsapódik (így tovább tudnak emésztődni a pepszin által is a gyomorban). A lipáze igen kis mennyiségben kezdi el bontani a zsírokat zsírsavakra és glicerinnre (lásd. még: fehérjék / zsírok és emésztési és molekuláris anyagcsere folyamataik).

A gyomor üres állapotban is termel nedvet, azonban ilyenkor erősen nyálkás (mucin tartalmú), nem savanyú, hanem éppen lúgos vegyhatású gyomornedv keletkezik. Ez a gyomornyálkahártya megvédésében nagyjelentőségű, mivel a mucinnak erős savmegkötő képessége van. Gyomorhurut esetén fokozott a mucin termelés (védőleg a sósavtól), azonban fenntartja az évágytalanságot, s az emésztést gátolja. Mikor a szájba, ill. a gyomorba kerül a táplálék, megindul a "valóságos" gyomornedv elválasztása és a tápanyagok kémiai bontása. A lebomló tápanyagok hatására gasztrin is termelődik, mely a mirigyek további kiválasztását fokozza. Vannak anyagok, melyek gátolják a gyomornedv elválasztást, s ezen keresztül az emésztést is. Így, ha nagy mennyiségű zsír, epe, vagy duodenum-nedv jut a gyomorba, a gyomornedv elválasztás és a gyomormozgás 1/2 órára is megszűnhet, ezért nehéz a zsíros étel (sok zsír hatására ún. enterogasztrin termelődik a vékonybélben -duodenumban, mely a vér útján a gyomorba jutva gátolja a sósav és a pepszin kiválasztódását).

### **ANYAGCSERE / Emésztés a vékonybélben:**

A vékonybélbe került savanyú gyomortartalom háromféle emésztőnedv hatása alá kerül: pancreasnedv (pankreásznedv - hasnyálmirigynedv), epe és bélnedv. Mindhárom alkotó nagy bikarbonát- és carbontartalma miatt lúgos kémhatást biztosít, mely az enzimek számára nélkülözhetetlen. A vékonybélben történik meg az emésztés legfontosabb szakasza, melyben a fehérjék-szénhidrátok-zsírok vízben oldható, felszívható elemekre esnek szét.

### **Emésztés és a Pancreasnedv:**

A hasnyálmirigy átlátszó, színtelen, szagtalan, sós ízű, alkalikus (lúgos) vegyhatású váladéka, pH értéke 8-9 között van, napi mennyisége 1-1,5 liter között ingadozik. A duodenumba került savanyú gyomortartalom hatására, a hasnyálmirigy kiválasztását serkentő ún. secretin hatására termelődik. A pankreasnedv szerves anyagok fő tömegében a NaCl és a NaHCO<sub>3</sub>, szerves anyagok közül a legfontosabbak az enzimek. Ezek a fehérjebontó tripsin (tripszin vagy tripszinogén, karboxipeptidáz és az elasztáz), a zsírbontó pancreas-lipase (lipáz), és a polyszacharid szénhidrátokat bontó pancreas-amilase (pankreász-amiláz). A tripszin mellett egy másik fehérjebontó enzim a chimotripsin (kimotripsin, vagy kimotripsinogén), mely a gyomorban megindult kazeinemésztést (tejfehérje) fejezi be. Az enzimek mennyisége a hasnyálmirigynedv összetétele és a táplálék minősége szerint változik. A szervezet legfontosabb zsírbontó enzime a pancreasz-lipaze, mely a zsírok észterkötéseit hasítja fel glicerinné és zsírsavakká. Ennek elősegítésére szolgál az epe. Az epe fizikokémiai reakció eredményeként a zsírokat emulgeálja, az epesavak pedig a lipázét aktiválják, melyek a zsírok szappanosítási folyamatával segítik elő a zsírok bontását (lásd. még: fehérjék / zsírok / szénhidrátok emésztése és molekuláris anyagcsere folyamatai).

### **Emésztés és az Epe:**

Az epe a máj váladéka, keserű ízű, nyúlós, zöldessárga vagy sárgásbarna színű, lúgos kémhatású folyadék (máj-epe kb. 7,8 pH körüli, epehólyag epe 7,0-7,5 pH közötti). A májsejtek állandóan termelik, azonban csak az emésztés alatt kerül a duodenumba. Az emésztési szünetben az epehólyagban gyűlik össze, ahol nagymértékben besűrűsödik. Enzimeket nem tartalmaz az epe, de sok olyan anyag van benne, mely más emésztőnedvekben nem található meg. Az ép máj naponta 600-1500ml epét termel, melynek 97% -a víz, 1% -a epesavak, 0,1% -a koleszterin és lecitin, valamint epepigmentek (festékanyagok-vörösvérsejtek széteséséből származik-hemoglobinból), organikus sók /szerves sók/, 0,7% -a pedig calciumsó. Az epesavak koleszterinmolekulák, melyeket a májsejtek koleszterinből termelnek. Az elsődleges epesav-molekulák lecitin és koleszterin molekulákat vesznek magukhoz, s így fejtik ki hatásukat a bélben, azaz fokozzák a lipidek (zsírok) oldékonyságát és felszívódását (lásd. még: fogyókúra és az epe).

### Emésztés és a Bélnedv:

Az emésztés kémiai folyamatait lényegileg a vékonybél mirigyei által termelt bélnedv fejezi be. A tiszta bélnedv világossárga színű, szagtalan, gyengén alkalikus (lúgos) folyadék. Szárazanyag tartalma 1,5%, pH-ja 8,3. A bélnedv elválasztása állandó folyamat, de termelődését fokozzák a bélbe jutó tápanyagok mechanikai inger formájában, illetve fokozódik termelődésük sympathicus ideg-inger hatásra is. A bélmirigyek termelődésére a secretin és a bél falából kiválasztódó enterocrinin hat, melyek fokozzák a bélnedv mennyiségét. A bélnedvben fehérje-bomlástermékeket bontó ún. peptidasek, szénhidrátbontó carboanhidrolasek, és zsírbontó lipasek, továbbá phosphatasek (foszforsavat hasítanak le a különböző szerves vegyületekről, főképpen a bélfal sejtjein belül hatnak, nagy szerepük van a felszívódási folyamatban), nucleosidasek (a nukleinsavakat hidrolizálja és felszívódásra alkalmassá teszi őket), és a trypsin termelődését aktíváló enterokinase található meg.

### ANYAGCSERE / Anyagcsere hormonális szabályozása

Tápanyagbevitel és aktuális energiaigény változásaihoz az emberi szervezet anyagcseréje számos hormon szabályozása által is alkalmazkodik. E hormonok közül elsődleges helyen szerepelnek a hasnyálmirigyben lévő Langerhans-szigetek sejtjei által termelt hormonok. A sziget három féle sejtet tartalmaz, melyek közül az alfa (vagy A)- sejték termelik a glukagont, a béta (vagy B)- sejték az inzulint, a delta (vagy D)- sejték a szomatosztatint (a szomatosztatin a növekedési hormon termelődésére hat, mely a zsír -és fehérjeanyagcserében játszik szerepet). Táplálékfelvétel után az inzulin hormon kiválasztódásának fokozódása a raktározási folyamatok gyorsulására vezet. Az inzulin (két polipeptidláncból álló molekula) szekrécióját (kiválasztódását) elsődlegesen a vércukorszint szabályozza. Szénhidrátfogyasztás után a vércukorszint emelkedése többek között az inzulintermelés fokozódásához vezet. Az inzulinszekréció (kiválasztás) bizonyos lappangási idővel alkalmazkodik az aktuális vércukorszinthez, ezzel magyarázható a szénhidrátfelvételt pár órával követő enyhe vércukorszint csökkenés (még magasabb az inzulinkoncentráció a vérben, mint a vércukorszint).

Az inzulin hormon legfontosabb hatásai:

Glikogénfelépítés fokozása (a glikogén a glukóz raktározódási formája→májban és izomszövetben)

Glikogénlebontás gátlása (főképpen a májban)

Trigliceridek mozgósításának gátlása (a zsírszövetben)

Sejtek glukózfelvételének és égetésének stimulálása (főleg az izom és zsírszövetben)

Aminosavfelvétel és beépítés fokozása (pl. izomszövetben)

Sejtek kálium felvételének fokozása (izomszövetben, zsírszövetben, májban)

Fehérjedús, de szénhidrátban szegény táplálék elfogyasztása olyan hormonális helyzetet eredményez, ami a fehérjeszintézisnek kedvez. A felszívódó aminosavak egyidejűleg fokozzák az inzulin, glukagon és a növekedési hormon kiválasztódást (a hasnyálmirigyben termelődő szomatostatin hatására), szekrécióját. Az inzulin és a növekedési hormon fokozzák az aminosavak fehérjékbe való beépülését. A glukagon pedig segíti a glukóz felszabadulását a májból, mely aztán belépve az izomsejtekbe biztosítja a plusz energiát az izmok fehérje beépítéséhez.

Vegyes táplálkozás felvételét követően (glukóz és aminosavak, zsírok egyidejű felszívódása esetén), az inzulin és glukagon termelődése is fokozódik, az inzulin túlsúly biztosítja a zsír raktározását a zsírsejtekben.

A hasnyálmirigy által termelt hormonok, az emésztőnedv-termelés szabályozásában részt vevő gyomor-bél eredetű hormonok és a mellékvesék által termelt hormonok (pl. adrenalin, kortizol) egymásra hatása kölcsönös, kiegészítik egymást és a központi idegrendszer szabályozásával együtt, biztosítják az anyagcserefolyamatok összehangolt működését.

## **ANYAGCSERE / ANYAGCSERE - FOLYAMAT ÉS A TÁPANYAGOK ENERGIAÉRTÉKE**

Kémiai energiában „legdúsabb” tápanyagunk a zsír, ill. a zsírsavak. Energiaszükségletünk közel felét a zsírok szolgáltatják, vegyes táplálkozás esetén is (ezért pl. még mesterséges táplálás esetén is szükséges a zsír adása). A szénhidrátokban kevesebb kémiai energia tárolódik, de

égetése a zsírok mellett nélkülözhetetlen. A fehérjék elsősorban nem energiaszolgáltatók, csak végső esetben használja fel a szervezet energia „kútként”. A tápanyagok égéshője (az elégés során felszabaduló hő) általában egyezik élettani energiaértékükkel (kivéve a fehérje, mely csak ureáig ég el).

Az energia-transzformáció hatásfoka (a hasznos vagy kihasználható energia aránya az összes felhasznált energiához) a különböző anyagcserefolyamatokban más és más.

Minden energia - transzformáció (energia- átalakítás, átadás) közbeeső fokozataként energiában gazdag foszfátvegyületek (pl. ATP→kémiai energiaraktár) képződnek. Ez esetben az energiaátalakulás hatásfoka igen nagy (pl. glukóz esetében 75%!).

Ezzel szemben, mikor a kémiai energia mechanikai energiává alakul át, csak 25% az energetikai hatásfok. A tápanyagokkal a testbe került energiának mintegy fele az alpműködésre használódik fel (pl. testhőmérséklet, keringés-légzés, emésztőrendszer működése, folyadék-elektrolit egyensúly fenntartása, izommunka, stb.). A tápanyagokkal felvett energiának 15%-a a széklettel és vizelettel kiválasztódik, távozik a szervezetből.

1kJ=0,24 kcal, 1 kcal= 4,2 kJ

1 mol glukóz (=180g) szervezetben való lebontásakor 38 mol ATP képződik (=1277 kJ, =300 kcal), továbbá 1580 kJ rögtön hő formájában szabadul fel. 1g glukóz hőértéke tehát 16 kJ. A keményítő ennél nagyobb, a szénhidrátok égéshőjét átlagosan 17,16 kJ/g-nak (4,1 kcal) számolhatjuk.

1 mol zsírsav (pl. 256g palmitinsav) oxidációs égésekor 130 mol ATP képződik (=4370 kJ = 1040 kcal), továbbá kb. 5710 kJ hő rögtön fel is szabadul. 1g zsír égésének hőértéke ennek megfelelően átlagosan 38,94 kJ (9,3 kcal).

A fehérjék átlagos hőértéke 1 g fehérje égetésekor a szervezetben 22,19 kJ/g (5,3 kcal).

Mivel előbb-utóbb az ATP-ben (ATP = kémiai energiát tároló speciális molekula a mitokondriumokban) felhalmozódott energia is hővé alakul, a tápanyagégetés mértéke meghatározható a felszabaduló hő mérésével (direkt kalorimetria), vagy az égetéshez elhasznált oxigén mennyiségének mérésével (indirekt kalorimetria). Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy 1 liter oxigén felhasználásából 34 kJ energia felszabadulására következtethetünk. A respirációs quotiens (RQ) –respirációs-légzési kvóciens) az azonos idő alatt termelt széndioxid és oxigén mennyiségének hányadosa. Szénhidrátok égetésénél az RQ = 1, tisztán zsírégetésnél az RQ = 0,71, fehérjék oxidációjakor 0,8, átlagos vegyes táplálkozás esetén az RQ átlagosan = 0,80-0,85.

Az alapanyagcsere /a teljes nyugalomban és semleges környezeti hőmérsékleten levő szervezet energiafogyasztása/ elsősorban a testfelülettel arányos, függ a nemtől (nőkben kb. 10%-kal kisebb, mint a férfiakban) és az életkorral előrehaladva kissé csökken. Munkavégzés, hideg vagy túl meleg külső környezet, lelki izgalom, stressz, alvási zavarok, lázas állapot, kóros folyamatok gyulladások-betegségek, maga a táplálékfogyasztás fokozzák (ún. teljesítménytöbbletek→ fokozzák az alapanyagcserét) a tápanyagégetést /aktuális anyagcsere/.

Izommunka- anyagcsere során fellépő energiaigények: Már egészen csekély izommunka is feltűnően emeli az alapanyagcserét, az alapanyagcserehez képest az ülőmunka 50%-kal, állás

közben 100%-kal is nőhet az energiaigény. Tehát a fokozott izommunka (sport) segíti elő leginkább az energiafelhasználást ill. égetést. Az iparban a 12,56 kJ/perc (3 kcal/p) értékig könnyű, 16,75 kJ/perc (4 kcal/p) értékig közepes, ezen túl pedig nehéz testi munkáról beszélünk. Az energiatermelés azonban minden olyan kórfolyamatban nő, ami fokozott izommunkát igényel (ideg-izom /neuromuscularis/ eredetű görcsök, a hidegrázás, vagy a szívbetegség nehézlégzése, krónikus nehézfém mérgezések).

Szellemi munkában az anyagcsere nem fokozódik, mert a központi idegrendszer nyugalomban is igen sok energiát (glukózt!) használ fel!

Hőszabályozás során fellépő energia igények: Mind a fizikai, mind a kémiai hőszabályozás energiát igényel, ezért érthető, hogy a (ún. indifferens hőmérséklet) 17,5-20,5°C-nál alacsonyabb vagy magasabb hőmérséklet teljesítménytöbbletet, azaz anyagcsere emelkedést okoz. Ruha nélküli ember számára az indifferens hőmérséklet 29-31°C.

Lázban az anyagcsere °C-onként 6-12%-kal növekszik.

Kórfolyamatok esetén: Kiemelkedően emeli az alapanyagcserét pl. a pajzsmirigy túlműködése. Továbbá a cukorbetegség (diabetes insipidus), a leukémia, a magasvérnyomás, a candidabetegség, a szervezet savasodása (acidózis), a refluxbetegség, a légzés nehezítettségével, illetve a nehézlégzéssel járó betegségek, a stressz-szorongás krónikus pánik formái.

Kifejezetten csökken az alapanyagcsere pl. éhezésben, a pajzsmirigy alulműködésében (jód), mellékvese betegségében (Addison-kór). Gyógyszerek közül csökkentő hatással bír pl. a kinin, a morfin, alapanyagcserét emelő hatással pl. az adrenalin és a nikotin rendelkezik.

### **Átlagos energiaszükségletek:**

Ágyban fekvő ember napi energiaszükséglete 8.400 kJ (2000 kcal) körül van.

Könnyű munkát végző emberé 12 600 kJ (3000 kcal) körül van.

Nehéz fizikai munkát végző emberé, illetve sportoló napi igénye 16 800 kJ (4000 kcal) körüli, de sportolók állóképességi edzése során 5 000-6 000 kJ óránkénti energiafelhasználás is mérhető!

Kirándulás során átlagosan óránként 2 100 kJ (500 kcal) plusz energiaigénnyel számolhatunk.

Terhes nők átlagos energiaigénye 12 180 kJ (2 900 kcal) körül, a szoptató anyák energiaigénye, pedig 12 600 kJ (3 000 kcal) körül van.

Idős emberek energiaigénye napi 10 080 kJ (2 400 kcal) átlagosan.

A napi energiaszükségletet nem a tényleges, hanem az ideális testtömeghez célszerű számítani:



Ideális férfi testtömegkg = (testmagasság cm – 100)\* 0.9

Ideális női testtömegkg = (testmagasság cm – 100) \* 0.85

A napi energiaszükséglet ennek megfelelően fizikai munkavégzés nélkül : ideális testtömegkg szorozva 126 kJ (pl. 178 cm-es magasságnál 70 kg\*126 = 8820 kJ/ (2 100 kcal) nap).

A többletigény könnyű fizikai munka esetén +30%, a közepes nehézségi munkánál +50%, nehéz fizikai munkát végzők esetében +100%.

Csecsemők és gyermekek alapanyagcseréje testtömegre számítva nagyobb, mint a felnőtteké, gyarapodásukhoz pedig a fenntartó energián felüli tápanyagbevitel is szükséges. Csecsemők napi energiaigénye testtömegkg-ra számítva kezdetben 500 kJ (120 kcal), majd egyre kevesebb, az első év végére 360 kJ (85 kcal). 3-5 éves gyermek napi energiaigénye már 6 300 kJ (1500 kcal), 15-16 éves korig átlagosan (2800 kcal), 16-20 éves korig pedig több az energiaigény (3 000-3 200 kcal), mint a felnőttek energiaigénye.