



Sportbiokémia

Oktatási segédanyag a biokémia tantárgy előadásokon elhangzottak könnyebb elsajátításához.

Készítette:

Dr. Szóts Gábor

Lektorálta:

Bartusné Dr. Szmodis Márta

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



Tartalomjegyzék:

ELŐSZÓ

I. Sportolók anyagcseréjének energetikai alapjai

Bevezetés

I./1. Az energia felhasználása a sportmozgások összefüggésében.

I./1.1. ATP (Adenozin-trifoszfát)

I./2. Energiafelhasználási lehetőségek az eltérő nagyságú és intenzitású terheléseknél.

I./3. Pihenés

I./4. Összefoglalás

I./4.1. Ellenőrző kérdések

I./4.2. Tesztkérdések

II. Az anyagcsere folyamatok szabályozása

Bevezetés

II./1.1. Foszfofruktokináz (PFK) enzim működésének szabályozása

II./1.2. Piroszőlősavkináz enzim működésének szabályozása

II./1.3. Piroszőlősavdehidrogenáz (PDH) enzim működésének szabályozása

II./1.4. Az izocitromsav-dehidrogenáz szabályozása

II./2. Az izom energetikája és metabolikus szabályozása

II./3. Összefoglalás

II./3.1. Ellenőrző kérdések

II./3.2. Tesztkérdések

III. A tejsav, a tejsav képződése, a tejsav eliminációja

Bevezetés

III./1. A tejsav képződése

III./2. A tejsav eliminációja

III./3. A tejsav szintek változása eltérő típusú terheléseknél

III./3.1. Szupramaximális terhelés (például 400 m – 1500 m futás)

III./3.2. Hosszabban tartó állandó terhelés során

III./3.3. Intervall terhelés közbeni tejsav szintek

III./4. A pihenés jelentősége

III./5. Összefoglalás

III./5.1. Ellenőrző kérdések

III./5.2. Tesztkérdések

IV. Kötelező és ajánlott irodalom



ELŐSZÓ

A sportbiokémia segédanyag célja, hogy lehetővé tegye a hallgatók számára a korábbi tanulmányaik során elsajátított biokémiai ismeretek alkalmazását a sport, illetve saját sportáguk területén. A segédanyagban leírtak nagyban alapoznak tehát a már feltételezhetően meglévő biokémiai ismeretekre. Természetesen azok a hallgatók, akik nem rendelkeznek ezzel a tudásanyaggal Ők is kitűnően használhatják, csak jóval nehezebb dolguk lesz, hiszen ismerniük kell a középiskolai biológia és kémiai tanulmányok során elsajátítottakon kívül az alapvető biokémiai folyamatokat, ismereteket. A tananyag elsajátításához tehát bizonyos alapvető ismeretek szükségesek, ennek érdekében összeállításra került egy kérdéssor, amely részletezi a feltételezett ismeretek meglétét. A kérdések tehát tartalmazzák azokat a témaköröket, amelyek esetleges hiánya nehézséget okozhat a sportbiokémia tantárgy tanulása, elsajátítása során. Annak érdekében, hogy mindenki azonos szintről induljon, ennek a kérdéssornak az önálló tételszerű kidolgozása ajánlott az oktatási időszak elején. Segítségül szolgálhat még a BSc edzőknek készített, de mindenkinek szóló oktatási segédanyag ismerete is.

A fejezetek végén rövid összefoglalást is megadunk az adott témakörben leírtakról és ellenőrző kérdéseket is összeállítottunk, amelyek segíthetnek az anyag önálló feldolgozásában.

A segédlet önmagában természetesen nem tartalmazza részletesen a teljes tananyagot, hiszen az előadásokon való jelenlét mindenképpen szükséges a szükséges témakörök megismeréséhez és az összefüggések értelmezéséhez. Ezért ebben a segédletben kiragadtunk 3-4 olyan témakört, amelyekben összefüggésében kerülnek bemutatásra azok az ismeretek, amelyek megléte szükséges ahhoz, hogy a leendő szakelődök eligazodjanak az egyre inkább előtérbe kerülő sporttudományos szemléletű sportolói felkészítésben. A mellékelt irodalomjegyzékben számos idevonatkozó legújabb és korábbi ismeret is megtalálható, de ezek csak segítséget jelentenek az anyag megértéséhez és mélyebb ismeretek megszerzésének. Annak érdekében tehát, hogy mindenki, aki szeretne ebből a tantárgyból megfelelő ismereteket szerezni és sikeresen levizsgázni, ki kell dolgoznia a saját eddigi ismeretei, igényei és elvárásai szerint a kiadott vizsgakérdéseket. Ezért ebben a segédletben található szakmai anyag ismerete önmagában nem elegendő a sikeres vizsga teljesítéséhez, hanem mint nevében is utalunk rá „csak” egy segédanyag. A lényeg az alapok megismerése után az összefüggések megtalálása és egy biokémia szemlélet kialakítása, amely révén könnyebb lesz az erre épülő további szakmai ismeretek megértése, elsajátítása.



I. Sportolók anyagcseréjének energetikai alapjai

Bevezetés

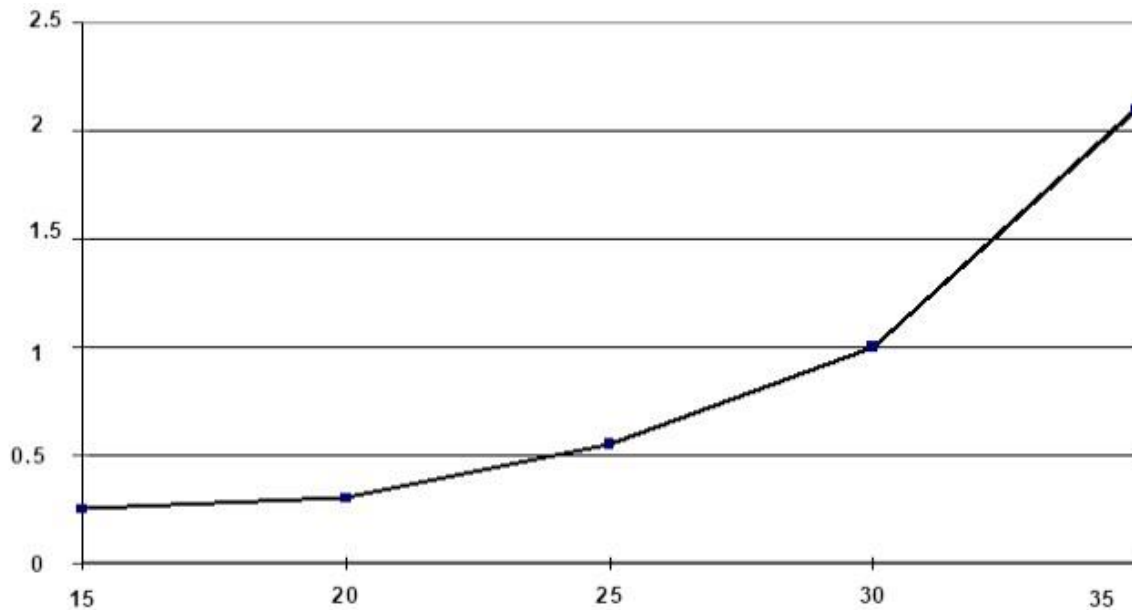
Az élő szervezetekben lejátszódó anyagcsere folyamatok megértéséhez elengedhetetlen követelmény az energia, az energiaátalakulások, az energiaviszonyokat befolyásoló tényezők, törvényszerűségek megismerése. Ebben a fejezetben ismertetésre kerülnek tehát, azok az összefüggések és törvényszerűségek, amelyek ismeretében könnyebben megérhető a szervezetben lejátszódó biokémiai reakciók alakulása.

I./1. Az energia felhasználása a sportmozgások összefüggésében.

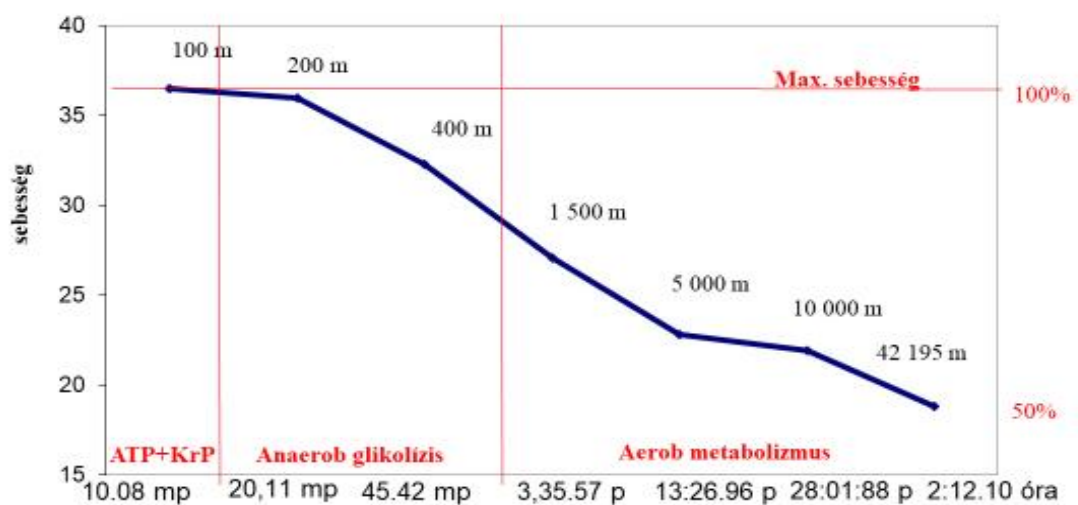
Az élőlényeknek ahhoz, hogy létezni tudjanak, energiára van szükségük. Energia szükséges a különféle anyagcsere folyamatokhoz, a testhőmérséklet állandóságának biztosításához, a szív és keringési rendszer működtetéséhez, az emésztéshez és energia szükséges természetesen a mozgáshoz, a sporthoz is. Régebben az energiát kalóriában (cal) vagy kilokalóriában (kcal) mérték, manapság - bár használatos ez a régebbi mértékegység is - a hivatalos energia egység a Joule illetve a kJoule (1 kcal = 4.19 kJoule).

Az emberi szervezet által felhasznált energia mennyiségét számos tényező befolyásolja így többek között eltérő nemeként és koronként. Az energiafelhasználás testfelület négyzetméterenként és óránként relatíve nagyobb a férfiaknál és a gyermekeknél, mint a nőknél és az idősebeknél.

A különböző egyének anyagcseréjét természetesen ezen kívül még számos egyéb tényező is befolyásolja, így például a végzett munka, annak jellege, a hőmérsékleti, időjárási viszonyok, a táplálkozás, a fizikai állapot, örökletes tényezők stb. A sporttevékenység a nyugalmi állapothoz képest természetesen megnöveli az energiafelhasználást, egy extra energiaigényt jelent. Ennek abszolút értéke a terhelés mértékétől (intenzitás, időtartam) függ. Az energiafelhasználást általában időegységre szoktuk vonatkoztatni, de lehet a teljesített távolságra és az idő kombinációjára vagy például az atlétikai dobószámoknál dobásonként is számolni. Az energiafelhasználás döntő faktora a végzett munka intenzitása és így ennek természetesen speciális szerepe is van az edzésnél. Az edzőnek nagyon fontos az edzés intenzitására, mint edzésingerre odafigyelni, hiszen különböző sportolók esetén eltérő lehet a hatása az anyagcserére. Például az atlétikai futószámok közül egy 70 kg-os férfi esetében a 400 m lefutása 60 mp alatt kb. 415 kJ-t, míg ugyanezen táv lefutása 47 mp alatt már 450 kJ-t igényel, vagy úszás esetén a 100 m leúszása gyorsúszásban 90 mp alatt kb. 265 kJ-t, míg 57 mp alatt már közel a duplája 535 kJ energiát igényel. Egy más típusú sportágat vizsgálva, a kerékpározó az 1 km-es sprint távot kb. 460 kJ energia felhasználásával tudja teljesíteni, a tízszeres táv megtételéhez viszont alig több, mint a négyszeres energia szükséges. De még szembetűnőbb az aránytalanság, amennyiben az 50 km-es táv megtételéhez szükséges energia mennyiségét nézzük ez „csak” kb. 17 000 kJ. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a hosszabb távot kisebb sebességgel és ezzel összefüggésben arányosan jóval kisebb energia felhasználásával tudjuk teljesíteni. (1.-2. ábra)



1. ábra Az energiafelhasználás és a futási sebesség összefüggése. A vízszintes tengelyen a sebesség km/óra-ban, a függőleges tengelyen az egy méterre eső energiafelhasználás (kJ/m). (saját szerkesztés)



2. ábra A magyar atlétikai férfi futószámokban érvényes csúcsok idejéhez tartozó sebesség és a futás távja. A sebesség km/órában, az idők másodpercben, percben, órában kifejezve. (saját szerkesztés)

Az adatokból két jelentős következtetést tudunk levonni, egyrészt, amennyiben növeljük az intenzitást - ha nem is egyenes arányban - de növekszik a táv lefutásához szükséges energia mennyisége is, másrészt egy idő után kénytelenek vagyunk csökkenteni a sebességet és így természetesen csökken az energiaigény is.



Az eddigiek bemutatására szolgál az **1.** és a **2. ábra**. Az **1. ábrán** az 1 méterre eső energiafelhasználás és a futássebesség összefüggése figyelhető meg, míg a **2. ábrán** a futás sebessége és az adott táv lefutásához szükséges magyar férfi csúcstartók ideje látható, pirossal bejelöltük az adott táv teljesítéséhez szükséges - döntően - felhasznált energianyeresi folyamatokat is.

Az energiafelhasználás még számos tényező függvénye. Így például befolyásolhatja a végzett munka jellege, formája is. Sík terepen végzett 9 km/h sebességű futás óránkénti energia igénye kb. 2800 kJ, ugyanilyen sebességgel végzett sífutás már 5%-al kisebb energia felhasználással jár. Viszont ugyanennyi energiával egy gyorskorcsolyázó már közel 20 km/h sebességre képes.

A sportszakemberek számára a legfontosabb annak ismerete, hogy milyen módon biztosítható ez az energiamennyiség. Természetesen a táplálékkal, amelyek lehetnek állati vagy növényi eredetűk, de mivel az állatok is többnyire növényeket esznek így direkt vagy indirekt módon a növényekből származik, mivel csak a növények képesek a napfény segítségével CO₂-ből és H₂O-ból energiában gazdag anyagokat a fotoszintézis révén előállítani.

Az emberi szervezetben energianyeres szempontjából csak háromféle tápanyag jöhet szóba: a szénhidrátok, a zsírok és a fehérjék. A három tápanyagféleség energiaértéke, melyet laboratóriumi körülmények között, zárt rendszerben ún. kaloribombában elégetve kapunk meg a következő:

Szénhidrátok esetében: 17.16 kJ/gramm = 4.1 kcal/gramm

Fehérjék esetében: 23.0 kJ/gramm = 5.5 kcal/gramm

Zsírok esetében: 38.9 kJ/gramm = 9.3 kcal/gramm

A fentiek közül az emberi szervezetben a fehérjék nem szoktak teljesen eloxidálódni, mivel még energiát tartalmazó köztestermékeké bomlanak le, így energiaértékük a szervezetben hasonló, mint a szénhidrátoké. Azonban extrém fizikai igénybevétel esetében, bekapcsolódva a lebontó folyamatokba, többféleképpen is részt tudnak venni az energiaszolgáltatásban.

A tápanyagokból kinyerhető nettó energia természetesen kevesebb, hiszen a lebontás és az újbóli szintézis szintén energiát igényel, amely természetesen hatásfok csökkenést jelent.

A **1. táblázatban** az emberi szervezet átlagos elméleti energiakészletét foglaltuk össze 70 kg-os átlagsúlyú egyénre vonatkoztatva.

1. táblázat Az emberi szervezet átlagos energiakészlete (Georg Haralambie: Einführung in die Sportbiochemie, Bartel&Wernitz, 1982)

Anyag	Szövet	Összes mennyiség (gramm)	Energia egyenérték(
Glikogén	májban	70-140	840 - 2 350
	izomban	120-500	1 600 - 8 800
Glukóz	vérben	5-20	85 - 170
Triglicerid	zsírszövetben	9 000 - 15 000	420 000 - 3 400 000
	izomban	250	9 500
	vérben	5	190
	májban	50	1 890
Fehérje	izomban	6 000	105 000



A fenti adatok természetesen csak tájékoztató jellegűek, az értékek nagymértékben függenek az utolsó táplálkozás idejétől illetve a meghatározás módszerétől és a korábban végzett fizikai aktivitás mértékétől és idejétől. A májra és az izomra vonatkozó glikogén adatok tehát nagymértékben függenek a korábban végzett munka intenzitásától is. Amennyiben az intenzitás alacsonyabb volt, mint a maximális aerob-kapacitás 60-70%-a, akkor az energianyerés eltolódott a zsírok irányába. Magasabb intenzitástartományban a glikogén csak a résztvevő izmokban használdik fel, ilyenkor mind a szénhidrátok, mind a zsírok csak részben égnek el, vagyis csak olyan köztestermékekig megy végbe a lebontás, amelyek magukban még sok-sok energiát tárolnak. (pl. tejsav, keton testek)

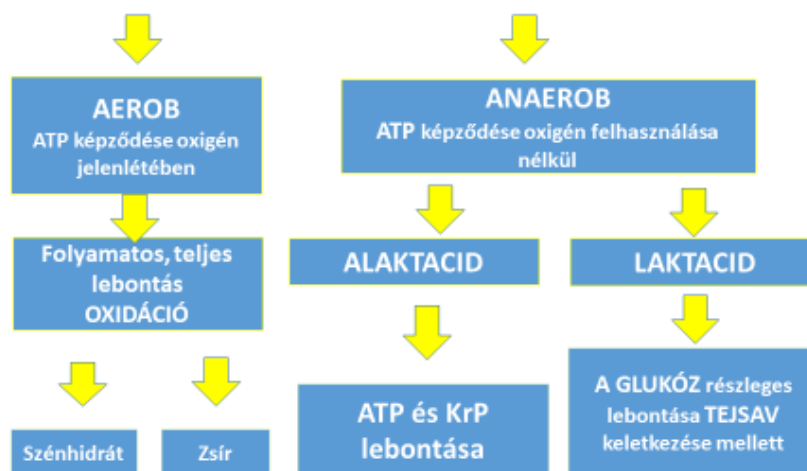
A fentiekén kívül még számos tényező befolyásolhatja az energiaviszonyokat, ilyenek például a terhelési paraméterek, a hőmérséklet, az aktuális kondíció, az edzettségi állapot stb.

A továbbiakban ismertetésre kerülnek azok a lebontó folyamatokra, amelyek lehetővé teszik, hogy a szervezet képes legyen az eltérő fizikai igénybevétel során, folyamatosan biztosítani a szükségletnek megfelelő energia mennyiséget.

A szervezetben nincs lehetőség arra, hogy a tápanyagok egy lépcsőben robbanásszerűen égjenek el és így szolgáltatassanak energiát. Az élő szervezetben tehát a megoldás, hogy az energianyerés a táplálkozásunk során a szervezetbe került tápanyagok bonyolult többlépcsős, enzimek (biológiai katalizátorok) által katalizált folyamatokon keresztül jutnak el végső soron ugyanahhoz a végtermékekhez, mintha un. laborkörülmények között égetnénk el őket. Az enzimek, mint biokatalizátorok teszik tehát lehetővé, hogy ezek a folyamatok az emberre jellemző belső viszonyok között (hőmérséklet, pH stb.) is végbe tudnak menni. Az így felszabaduló energiamennyiség természetesen kisebb, mintha un. „laborkörülmények” között nyernék ki. A kinyerési hatások szénhidrátok esetében kb. 32%, zsírok esetében közel 34%.

A tápanyagokat az élő szervezetben két féle módon tudjuk lebontani. Az egyik az **aerob út**, vagyis az oxigén segítségével megvalósuló lebontás, melynek a végterméke CO_2 és H_2O . Ez a fajta lebomlás főleg a szénhidrátokra és a zsírokra jellemző. A másik lehetséges lebomlás az **anaerob út**, amely csak a szénhidrátok lebontása esetén lehetséges. Ennél a folyamatnál nem CO_2 és H_2O a végtermék, hanem egy még energiát tartalmazó köztitermék a tejsav. Ezek a folyamatok enzimek által katalizáltak és így a szervezet normál hőmérsékletén is végbe tudnak menni.

ENERGIAKINYERÉS LEHETŐSÉGEI



3. ábra Az élő szervezetre jellemző energianyerési lehetőségek. (saját szerkesztés)



Mindkét lebontási reakcióban (aerob, anaerob) a felszabaduló energiát, egy ún. általános energiahordó az adenzin-trifoszfát formájában (ATP) szoktuk megadni.

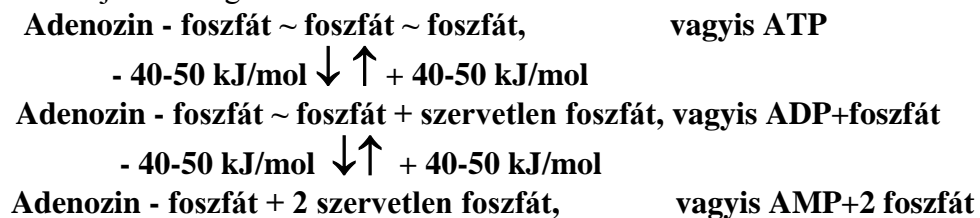
I./1.1. ATP (Adenzin-trifoszfát)

Ez az anyag két kémiai kötésben nagy mennyiségű energiát képes tárolni, amely a kötések felszakadása után szabaddá válik. A szabaddá váló energia kötésenként kb. 30-40 kJ/mol és mértéke nagyban függ a reakció feltételeitől. Az ATP-ből kinyert energiát használja a szervezetünk gyakorlatilag mindenütt: izomműködés, gyomorsavképzés, emésztés, különböző anyagok szintézise, stb.

A különböző szervek csak minimális ATP-t tudnak raktározni. Az izomban például csak kb. 4.5-4.7 $\mu\text{mol/gramm}$ ATP található, amihez még hozzászámíthatunk 1.6 $\mu\text{mol/gramm}$ ADP-t. Ez a mennyiség nagyon kevés, hiszen amennyiben mindkét foszfátcsoport felhasadna, és ATP-ből AMP keletkezne, - ami igen ritkán fordul elő - a felszabaduló energia, akkor is csak kb. 0.54 kJ/kg és mindez 100%-os kihasználtság mellett, pedig a szervezetben a kinyerési ráta csak 30-40 %. Ez, olyan kevés, hogy a sejtekben már meglévő ATP-ből nyerhető energia csak pár másodpercig tartó fizikai munkára elegendő.

Az ATP a sejten belül a legfontosabb energiaszolgáltató vegyület (áll adeninből, mely egy szerves bázis, ribózból, mely egy öt szénatomos szénhidrát és három foszforsavból). Az ATP-nek két nagy energiájú kötése van. Ennek a kötésnek a felszakadásakor az egyik foszforsav leválik és keletkezik az ADP (adenozindifoszfát). Az ADP ugyanakkora energia-befektetéssel képes visszaalakulni egy foszforsav felvételével ATP-vé.

Az alábbi séma mutatja az energia-felszabadulás mechanizmusát.



Az emberi szervezetben, nyugalomban (egy adott pillanatban/percben) átlagosan 2-10 mmol/l, vagyis kb. 50 gramm ATP van. A szervezet szükséglete nyugalomban 0,1 kg/perc, míg ez, aktív izommunka során 0,5 kg/perc értékre is növekedhet. Nyugalomban tehát, 24 óra alatt, egy 70 kg ember kb. 100-140 kg-t „fogyaszt”, azaz alakít át ADP-vé és foszfáttá az ATP-ADP ciklus során, ami azt jelenti, hogy kb. 3 000 x történik meg a fent bemutatott átalakulás. Ennek az általános energiahordozónak a jelentősége leginkább az izom összehúzódásnál van, tekintettel arra, hogy ez az egyetlen olyan energiaszolgáltató, amelyet az izom képes összehúzódása, illetve elernyedése során, mint energiaforrást felhasználni. Ezért határozzuk meg mindig az anyagcsere-folyamatok esetében ATP-ben az energiamérleget. A sejtekben az ATP/ADP aránya döntő tényező a sejt energiaállapotát illetően és emellett anyagcsere szabályozó szerepe van.

Az élő szervezet tehát csak úgy tud folyamatosan ATP-t vagyis energiát biztosítani, ha gondoskodik az állandó ATP újraképződésről.

Az ATP visszaalakulásának több lehetséges útja van.

1./ Az egyik lehetőség, hogy az egyes vegyületekben energia gazdag (makroerg) kötésekben tárolódó energiát használja ATP szintézisre. Az energiában gazdag kötés felszakadásakor felszabaduló energia biztosítja ADP-ből és foszforsavból az ATP képződését. (ezt nevezzük szubsztrát-szintű ATP képződésnek).



2./ A másik lehetséges út, hogy a különböző lebontó folyamatok révén a tápanyagokból szabadabbá váló hidrogént a hidrogénszállító koenzimek (NAD^+ és FAD^+) segítségével megkötik, és egy többlépcsős és igen bonyolult folyamat révén a mitokondrium membrán közti terében a légzési oxigén segítségével vízzé alakul. Az ekkor felszabaduló energia teszi lehetővé az ATP képződését. (Mitchell-féle kemiozmózis)

Azok, a tápanyagok, amelyek lebomláskor energiát biztosítanak, sokfélék lehetnek. A **2. táblázatban** a kiindulási és a végtermék feltüntetésével mólnyi anyagra vonatkoztatva látható, hogy elméletileg mennyi energia, vagyis mennyi ATP szabadul fel az anyagcsere folyamatok során.

1. táblázat A különböző anyagcsere utak során felszabaduló energia mennyisége ATP-ben kifejezve. (saját szerkesztés)

<u>Anyagcsere út, és annak jellege</u>	<u>mól ATP/mól anyag</u>
glukózból → tejsav, anaerob úton	2 ATP
glikogénből → tejsav, anaerob úton	3 ATP
glukózból → alanin, anaerob úton	8 ATP
glukózból → $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, aerob úton	30-32 ATP
tejsavból → $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, aerob úton	15-16 ATP
palmitinsavból → $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, aerob úton (zsírsav)	108 ATP
leucinból → $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, aerob úton (aminosav)	42 ATP

A 2. táblázat adataiból kitűnik, hogy a különböző tápanyagainkból mólonként nagyon eltérő mennyiségű ATP-t, vagyis energiát tudunk kinyerni. Megfigyelhető még az is, hogy az anaerob úton kinyerhető energia mennyisége lényegesen kisebb, mint az aerob út esetén. A kinyerhető energia mennyisége mellett a másik nagyon fontos tényező az energia kinyerés ideje, amit a reakció sebességgel jellemezhetünk. Az anaerob úton kinyerhető energia mennyisége bár sokkal kisebb, az, az idő viszont, amíg az anaerob folyamatok lezajlanak - egyrészt a folyamatban résztvevő enzimek nagyobb aktivitása révén, másrészt a lépések kevesebb száma miatt viszont - sokkal rövidebb. A biokémiai folyamatok mindig enzim katalizálta folyamatok, így a katalizált reakciósor sebességét mindig a leglassúbb – un. sebesség meghatározó - reakció fogja meghatározni és egyben szabályozni is. Ezeknek az enzimeknek megmérve az aktivitását következtethetünk az anyagcsereút mennyiségi viszonyaira is.

Az alábbi 3. táblázatban a fő anyagcsere utak sebességét befolyásoló enzim aktivitások nagyságrendjét tüntettük fel izomban.



2. **táblázat** A lebontó folyamatokban résztvevő főbb szabályozó enzimek maximális aktivitása az izomsejtekben. ($\mu\text{mol/perc/gramm}$) (Georg Haralambie: Einführung in die Sportbiochemie, Bartel&Wernitz, 1982)

Anyagszere út	Enzim neve	maximális aktivitás
Glukóz lebontás	hexokináz	2 - 2.5
Glikogén \rightarrow tejsav	foszforiláz	32 - 45
	foszfofruktokináz (PFK)	45- 50
Piroszőlősav oxidációja	citrát szintetáz	18-25
	izocitrát dehidrogenáz	26-30
	szukcinát dehidrogenáz	10
Zsírsvavlánc oxidációja	karnitin aciltranszferáz	3.5-5
Terminális oxidáció	citokrom C-oxidáz	7-9

Az adatokból egyrészt megfigyelhető, hogy egyes reakció utak akár 20-25x gyorsabbak is lehetnek – az enzimek eltérő aktivitása következtében - a leglassúbb reakciókhoz képest, másrészt, hogy a gyors folyamatok főleg a szénhidrát lebontás anaerob formájára illetve a citromsav ciklusra jellemzőek. (magas enzimaktivitás)

1./2. Energiafelhasználási lehetőségek az eltérő nagyságú és intenzitású terheléseknél.

Egy rövid idejű kb. 12 másodpercig tartó, nagy intenzitású fizikai teljesítmény fenntartásához (súlyemelés, magasugrás, atlétikai dobószámok, 100 m futás stb.) az izomsejtekben található energiában gazdag foszfátvegyületek (ATP, ADP, kreatinfoszfát) biztosítják az energiát. A közvetlen energianyerés az ATP, illetve ADP hidrolíziséből történik. A gyorsan elfogyó ATP a **kreatinfoszfát + ADP \rightarrow ATP + kreatin** vagy a **2 ADP \rightarrow ATP + AMP** átalakulásból pótlódik és így kb. 15-25 másodpercig még biztosított az energia utánpótlás az izomban. Ezt a folyamatot a kreatinkináz (CK) és a miokináz nevű enzim katalizálja, így ennek a két enzimnek az aktivitása döntő tényező az energianyerés szempontjából. Ezekhez a folyamatokhoz nincs szükség oxigénre és tejsav sem keletkezik, ezért ezt a folyamatot **anaerob alaktacid energianyerési** folyamatnak nevezzük. Ennél a folyamatnál az időegységre eső energia felszabadulás relatív magas kb. 380 kJ percnként, igaz ez csak nagyon rövid ideig lehetséges. Ha a terhelés időtartamát növelni szeretnénk, mindenképpen csökkenteni kell valamelyest az intenzitást. Az elhasznált ATP - amely az izomműködés számára az egyedüli energiaforrás - biztosításhoz működésbe lép a kreatinfoszfát + ADP átalakulás, illetve a miokináz enzim aktiválta 2ADP-ből való limitált ATP átalakulás. A további nagy intenzitású terhelés így behatárolt.

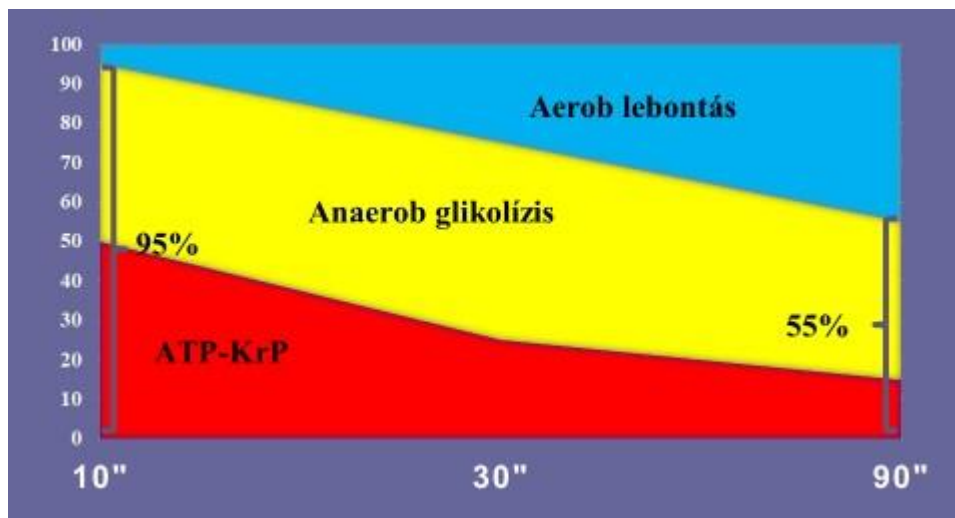
A kb. 45 másodpercig tartó megterheléseknél, mint például a 400 m-es síkfutás, (de ide tartozik az aerob folyamatok esetén a rész,- ill. véghajtás plusz energiaigénye is) az izom összehúzódáshoz szükséges energiát a már említett energiában gazdag foszfát vegyületek (ATP, ADP) majd a kreatinfoszfát illetve a vázizomzatban és a májban jelenlévő glikogén, ill. a glukóz oxigén hiányában történő lebontása biztosítja. Az oxigén hiányos állapotban történő szénhidrát lebontást glikolízisnek nevezzük, melynek végterméke a tejsav, ezért ezt a folyamatot **anaerob laktacid** folyamatnak nevezzük. Ebben az esetben a percnkénti energianyerés kb. 210 kJ. Ezt a fajta energianyerést nagyban behatárolja a képződő tejsav mennyisége (acidózis!), amelyet a szervezet puffer rendszerei segítségével próbál meg



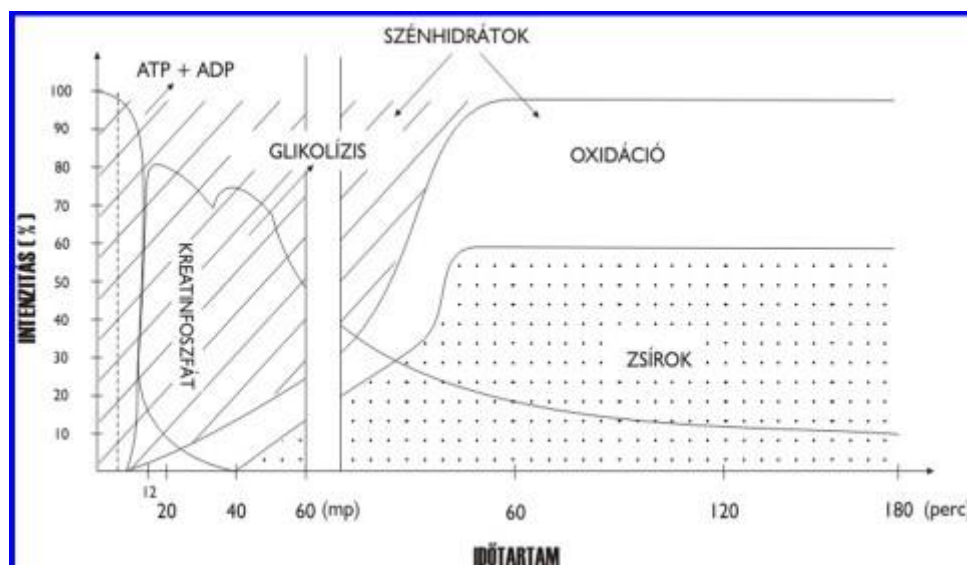
közömbösíteni. Ilyenkor elkezdi csökkenni a vér pH értéke, ami többek között csökkenti, gátolja a további izom összehúzódás lehetőségét is. Az ilyen típusú megterheléseket már csak 80-90 %-os intenzitással tudjuk végezni. Az anaerob laktacid energianyerés maximumát egyéntől és edzettségtől függően kb. a 40-50 másodpercnél éri el.

Az előbbieknél hosszabb ideig tartó fizikai megterheléseknél (közép és hosszú távú futások, labdajátékok stb.) a szervezet a szükséges energia mennyiségét döntő részben már csak oxigén jelenlétében tudja biztosítani. Ezek az ún. **aerob folyamatok** (aerob szénhidrát lebontás, a zsírsavak esetében a β -oxidáció, majd a citromsav-ciklus és a terminális oxidáció). Ezekben az esetekben a percenkénti energia felszabadulás az előzőekhez képest jóval kisebb csak 125 kJ/perc, de összességében természetesen az időtartam miatt jóval több. Ezekben az esetekben is előfordulnak olyan szituációk, amikor oxigén hiány léphet fel és igénybe kell venni az anaerob energia nyerési utakat is. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy minél intenzívebb és ennek függvényében rövidebb egy megterhelés annál kevesebb energia és energiaforrás áll rendelkezésre és fordítva is igaz, hogy minél kisebb az intenzitás és így hosszabb időtartamú lehet a megterhelés, annál inkább az összes energianyerési lehetőséget kihasználja a szervezet. (4. ábra, 4. táblázat)

Elmondható tehát, hogy minél nagyobb a fizikai terhelés intenzitása annál kevesebb lehetőségünk van az energia nyerésre ezt viszont gyorsan elérhetjük. És ahogy csökkentjük a terhelés intenzitását, úgy növelhetjük az időtartamát, és egyre több lehetőségünk van – bár lassabban az energianyerésre.



4. ábra Az energiaszolgáltató folyamatok %-os aránya a maximális terhelés első 90''-ben. (saját szerkesztés)



5. ábra A különböző energianyeresi folyamatok igénybevétele a terhelés időtartama és intenzitásának függvényében. A vízszintes tengely a 60"-tól már percekben van megadva (saját szerkesztés)
4. táblázat Az energiakinyerés formája és módja a terhelés intenzitásának és időtartamának függvényében. (saját szerkesztés)

idő, intenzitás	energiaszolgáltató	folyamat
rövid idejű, maximális intenzitás 90-100%, ~12"	ATP, ADP K _r P → ATP 380 KJ/perc	anaerob alaktacid
hosszan tartó, nagy intenzitás 80-90%, ~ 2-5'-ig	Szénhidrátok anaerob lebontása tejsav, ACIDÓZIS 210 KJ/perc	anaerob laktacid O ₂ nélkül, nem függ a keringéstől és a légzéstől
60-80 % intenzitás, 5-20 percig	főleg szénhidrátok, részben zsírok, aerob lebontás 125 KJ/perc	aerob lebontás, terminális oxidáció
25-60 % intenzitás, 20 perc felett	főleg zsírok, részben szénhidrátok aerob	aerob lebontás, β-oxidáció, terminális oxidáció

Összegezve a fentieket. Az összes energiában gazdag foszfátvegyület, amely az izomban található ATP-ben kifejezve 0,6 mól, amely kb. 5 kcal-nak felel meg (=22 kJ). Ennyi áll rendelkezésre a rövid idejű nagy intenzitású fizikai munkához. A kinyerhető energiamennyiség, amely glukózból tejsav képződés mellett kinyerhető (**anaerob laktacid folyamat**) ennél lényegesebb több, de ez is még csak 5-6 %-a annak a mennyiségnek, amit akkor kapunk ha a glukóz teljesen el tud oxidálódni CO₂-dá és H₂O-é. Ez az energia is csak



40-50 másodpercig elegendő és a keletkező tejsav nagyobb fokú oxigén felvételre és ezáltal nagyobb fokú teljesítményre ingerli a szervezetet. Ebből következik, hogy a terhelések kezdetekor az energianyerést az energiában gazdag foszfátvegyületek, ill. a tejsavképződés melletti szénhidrát lebontás indítja el. Ez vezet végül a glikogén, glukóz és a zsírsavak oxigén jelenlétében történő teljes lebontásához. (aerob lebontás) (4. ábra)

Tekintettel arra, hogy az emberi szervezetben az összes, glikogénből elméletileg kinyerhető energia egy átlagos súlyú felnőtt esetében kb. 1 200 kcal (=5 000 kJ) illetve vannak olyan szervek, mint például az agy, amely csak a glukózt tudja energiaforrásként hasznosítani, ezért a szervezet a hosszantartó kisebb intenzitású megterheléseknél kíméli a szénhidrát raktárakat és előnyben részesíti a zsírsavakat, mint energiaforrást. Ezek főleg a zsírsejtekben találhatóak és kb. 50 000 kcal-t (=210 000 kJ) tesznek ki.

Érdekes következtetéseket lehet levonni abból is, amennyiben megnézzük, hogy 1 liter oxigén felhasználásával mennyi energia nyerhető a különböző tápanyagok elégetésekor. Ezt az értéket **energia ekvivalensnek** vagy **kalória ekvivalensnek** nevezzük. Kiszámítható, hogy 1 liter oxigén révén szénhidrátok esetében 21,1 kJ, zsírok esetében 19,6 kJ, míg fehérjék esetében 18,75 kJ energia nyerhető. Zsírok és fehérjék oxidációja esetén tehát ugyanannyi oxigén segítségével kb. 13%-al kevesebb energiát tudunk felszabadítani, mint a glukóz és 16 %-al kevesebbet, mint a glikogén teljes elégetésekor. Ebből egyértelműen következik, hogy energetikai szempontból hosszantartó terhelés esetén előnyösebb a szénhidrátok bontása. Ennek megfelelően edzettekénél a glikogénraktárak lényegesen nagyobbak az izomban és a májban, mint edzetlenekénél. Ezzel is magyarázható az állóképességi edzettek nagyobb tömegű mája.

A szénhidrátok és a zsírok lebontása során megfigyelhető, hogy míg a szénhidrátok esetében több lehetőség van a lebontásra (aerob, anaerob) addig a zsírok csak oxigén jelenlétében a β -oxidáció folyamatában tudnak részt venni az energia-felszabadító folyamatokban. Ennek többek között oka, hogy a zsír molekulában nem egyforma a szén és az oxigén aránya és ezért van szükség mindenképpen plusz oxigénre a teljes eloxidáláshoz.

A fentiekből következik, hogy a különböző tápanyagok elégetéséhez különböző mennyiségű oxigénre van szükség. Ennek jellemzésére használjuk a légzési hányadost vagy idegen szóval a **respirációs quociens** (RQ). Az RQ a tápanyagok elégetésekor felszabaduló CO_2 molekulák és az elégetéshez szükséges O_2 molekulák hányadosa. Értéke a különböző tápanyagok esetén változó attól függően, hogy a tápanyag molekulában mennyi az oxigén és a szén molekula aránya. Így szénhidrátok esetében, ahol az általános képletnek megfelelően ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$) ugyanannyi O_2 molekula kell a teljes oxidációhoz, mint amennyi a molekulában eleve megvan, így az $\text{RQ}=1$. A zsírok és a fehérjék esetében viszont tekintettel arra, hogy a molekulában jóval magasabb a szénatomok száma az oxigén atomok számához viszonyítva, így a teljes oxidációhoz jóval több oxigénre van szükség és az RQ értéke kisebb lesz, mint 1. Zsírok esetében ez az érték 0,7, míg a fehérjék esetén 0,8. Tekintettel arra, hogy normál körülmények között nem egyoldalúan, hanem vegyesen táplálkozunk ilyenkor az átlagos RQ értéke 0,85. A légzési hányados értéke azonban lehet 1-nél nagyobb is, mégpedig akkor, amikor a lebontás oxigén hiányos, anaerob körülmények között zajlik (anaerob glikolízis) vagy abban az esetben, ha oxigénben gazdag vegyületek oxigénben szegényebb vegyületekké alakulnak át (például hízásakor). A légzési hányadosnak a sportban is meg van a jelentősége. A terheléses vizsgálatoknál az RQ-t R-nek (ráció) nevezzük és folyamatos méréséből következtetni lehet arra, hogy aktuálisan mit éget a szervezet, vagyis miből nyeri az energiáját. Amikor viszont ez az érték 1 fölé kerül, akkor tudjuk, hogy az energianyerés



döntően már anaerob körülmények között zajlik, vagyis ebben az esetben a teljesítmény már – bár edzettség függő, de - limitált. Minél hosszabb ideig tud a szervezet oxigén hiányos állapotban ($RQ > 1$) dolgozni, annál edzettebbnek tekinthető.

Összefoglalva az energianyerési folyamatok lehetséges módjait elmondhatjuk, hogy míg aerob úton 1 molekula glukózból 30-32 ATP molekula képződik, addig 1 molekula glukóz tejsavvá alakulása során oxigén hiányos körülmények között csak 2 ATP keletkezik. A zsírok lebontása során, amely csak oxigén segítségével történhet ez az érték jóval nagyobb, de ehhez több időre és elegendő oxigénre van szükség. Egy olyan zsír molekula esetében, amely palmitinsavakból és glicerinnél áll, a kinyerhető energia mennyisége kb. 322 ATP. Extrém igénybevétel esetében, amikor a szervezet az energiaigény fedezésére a fehérjéket, illetve az aminosavakat is bevonja az energiaszolgáltatásba, akkor a szénhidrátokhoz hasonló mértékű energia szabadulhat fel. Az aminosavak több helyen, többféleképpen tudnak részt venni a lebontási folyamatokban. (5. ábra)

Az erő kifejtés megkezdésekor tehát főleg az anaerob, oxigénhiányos energianyerési mód uralkodik. A szükséges energiát az izomsejtben lévő ATP és a kreatinfoszfát, valamint a glukóz tejsavvá alakulása során felszabaduló ATP biztosítja. Ilyenkor – amíg a légzés az aerob energianyeréshez szükséges fokozott oxigénfelvételt nem tudja biztosítani – a keletkezett tejsavval és piroszőlőssavval, valamint a felhasznált tartalékokkal egyenértékű oxigénhiány keletkezik. Az oxigénhiányt, a munka befejezése után a szervezetnek aerob úton kell „visszafizetnie”. A kialakult oxigénhiánynak egy része tehát laktacid jellegű (tejsav képződéséhez vezető), másik része viszont – amely ATP-ből és kreatinfoszfátból keletkezett – alaktacid, vagyis nem jár tejsavképződéssel. A folyamat gyakorlatilag megismétlődik a terhelés során is, valahányszor a terhelés intenzitását jelentősen növeljük. Amint a légzés és a keringés alkalmazkodik a terheléshez, ismét előtérbe kerülnek az aerob vagyis oxigén jelenlétében történő energianyerési folyamatok. Így elkerülhető a tejsav keletkezése és – bár igaz, hogy lassabban – sokkal több ATP tud felszabadulni.

A főleg régebbi tankönyvekben eltérő értéket olvashatunk a különböző tápanyagok lebontása során felszabaduló ATP számát illetően. Ez az érték, az un. P/O hányadosból számolható ki, vagyis az ATP molekulába beépített foszfát (P) csoportok számát osztjuk – a keletkezéshez szükséges - egy oxigén (O) atomra vonatkoztatva. Régebben a $NADH_2$ -re vonatkoztatva 3 ATP, míg a $FADH_2$ -re 2 ATP-t számoltunk, az újabb kísérleti bizonyítékok alapján – függően attól, hogy milyen útvonalon történik a lebontás - ez kisebb számú ATP keletkezését jelenti. Ezért a bemutatott értékek $NADH_2$ esetében 2,5 ATP, míg $FADH_2$ esetében 1,5 ATP-vel lettek kiszámolva.

A továbbiakban tehát – a munkavégzés megkezdése után – amennyiben az erő kifejtés mérsékelt marad, a teljesítéséhez szükséges energiát a szénhidrátból és a zsírból keletkezett acetil-koenzimA aerob lebontása huzamosabb ideig is képes biztosítani. Ha azonban az erő kifejtés intenzitása miatt az aerob úton kinyerhető energia a folyamatos izommunkához nem elegendő, akkor a tejsav felszaporodása és a vér-pH savas irányú eltolódása ismét az anaerob energianyerés előtérbe kerülését jelenti.

A felnőtt egészséges ember átlagos nyugalmi energiatermelésének, azaz oxigénfogyasztásának maximum kétszerese a könnyű munka, a kétszerese a közepes munka, míg a négy-nyolcszorosa a nehéz fizikai munka kategóriába sorolható.

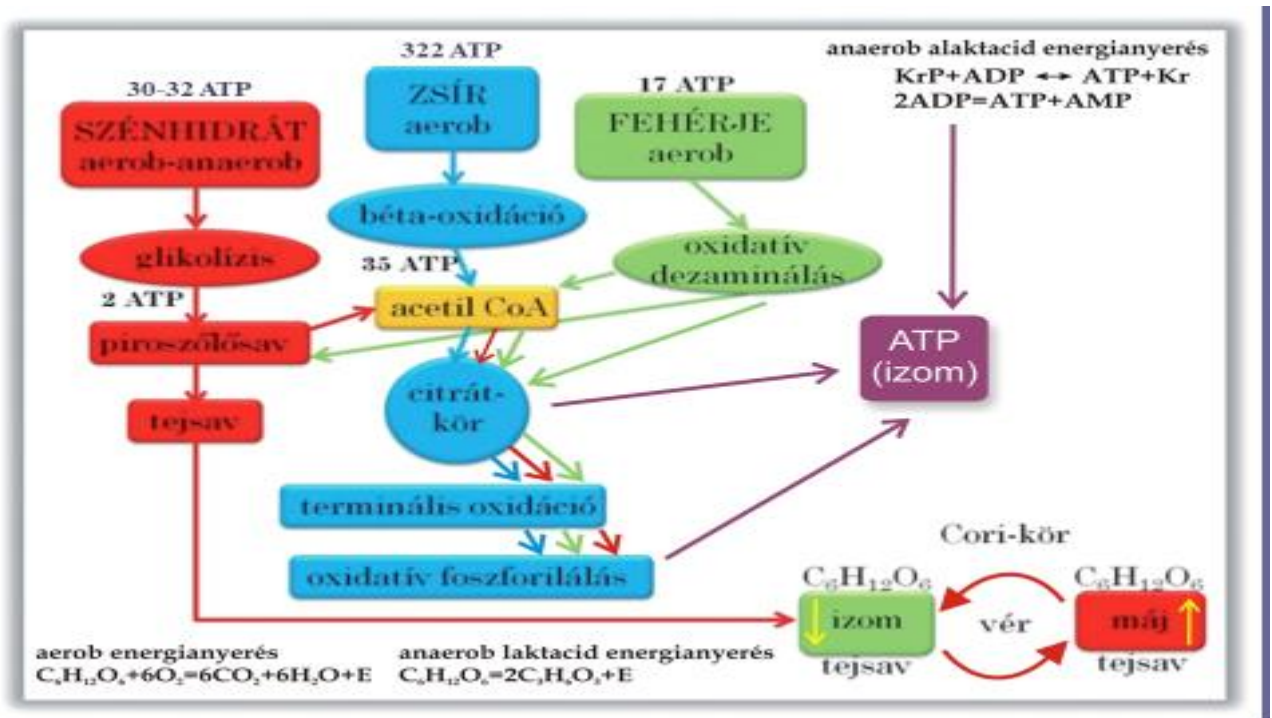


I./3. Pihenés

A sport szempontjából fontos tényező, hogy mennyi idő szükséges az energiaraktárak újratöltődéséhez, vagyis elméletileg mennyi pihenő időre lenne szükségünk nagyfokú megismételt fizikai megterhelések között és után.

A glukóz és a zsír raktárak teljes újratöltődésének ideje nagymértékben a táplálkozás függvénye. Ennek időtartama teljes lemerülés esetén glikogén esetében 1-4 nap, de zsírok esetében akár egy hétig is eltarthat. Az energiában gazdag foszfát vegyületek újraképződése - reszintézise - illetve az anaerob körülmények között termelődött tejsav teljes eltávolításához már sokkal kevesebb időre van szükség. A maximális koncentráció eléréséhez illetve a tejsav esetén a normál érték (0,8 -2,0 mmol/l) eléréséhez szükséges idő meghatározása nehézségbe ütközik, ezért az ún. biológiai felezési időt használjuk. Ezt azt jelenti, hogy azt az értéket mérjük, amennyi szükséges a maximális koncentráció felének eléréséhez energiában gazdag foszfát vegyületek esetében, ill. az elért koncentráció felére csökkenéséhez, a tejsav esetén. A maximálisan elérhető ATP koncentráció újraképződéséhez szükséges, hogy a kreatinfoszfát koncentráció optimális mértékű legyen. Ahhoz, hogy a maximális kreatinfoszfát érték felét elérjük, csupán 15 másodpercre van szükségünk.

Tejsav esetén az aktuálisan elért maximális tejsav koncentráció felére csökkenéséhez kb. 15 percre van szükség. Ennek mértéke természetesen függ a kiindulási tejsav koncentráció értékétől. Minél magasabb az elért érték annál több időre van szükség a fele koncentráció eléréséhez. Ez a 15 perces érték például a 10 mmol/l-es értékhez tartozik. Amennyiben ez az érték csak 5 mmol/l akkor 10 perc is elegendő, amennyiben viszont a maximálisan elérhető értékhez közelít (kb. 20-25 mmol/l) akkor a felezési idő akár a 30 percet is elérheti. Ez az időtartam még nagymértékben függ a pihenés módjától is. Aktív pihenés esetén ez az idő rövidebb, míg passzív pihenés esetén meghosszabbodhat. (levezetés fontossága)



6. ábra Az energianyerési folyamatok összefoglalása (saját szerkesztés)



I./4. Összefoglalás

A fentiekben áttekintettük azokat az energia-felszabadulás és energia-felhasználás szempontjából alapvetően fontos anyagcsere folyamatokat (6. ábra), amelyek befolyásolják, és egyben meghatározzák egy sportoló teljesítményét. Ennek elméleti és gyakorlati ismerete elengedhetetlen, ahhoz, hogy egy edző, versenyző a körülményekhez alkalmazkodva a legoptimálisabb taktikát alkalmazva a legnagyobb teljesítményt el tudja érni.

Kulcsszavak: energia, anaerob alaktacid, - anaerob laktacid folyamatok, aerob energia nyereség, légzési hányados (RQ), pihenés.

I./4.1. Ellenőrző kérdések

1. Az anyagcsere utak áttekintése.
2. Az energia fogalma, egysége, az anyagcsere, változása a korról, nemmel, edzettséggel.
3. A futási sebesség és az energia összefüggése, sebesség és a futási idő, a szervezet energia készlete.
4. Az energiaszolgáltatók, energiaszolgáltató folyamatok részesedése az idő és az intenzitás függvényében.
5. Az ATP szerkezete, mennyisége, szerepe jelentősége. ATP-ADP-AMP-CP (kreatinfoszfát) átalakulás.
6. Az aerob és az anaerob energia szolgáltatás megoszlása különböző terhelések esetén. Az oxigén felvétel, oxigén szükséglet és oxigén hiány a különböző terhelések esetén, az edzettségi állapot szerepe.
7. Az energiahordozók, kapacitása, hasznosíthatósága.
8. Az energiaszolgáltató folyamatok teljesítő képessége. A pihenés alatti anyagcsere folyamatok.

I./4.2. Tesztkérdések

Egyszerű választás:

1./ Az energia hivatalos mértékegysége?

- A: Joule
- B: Kcal
- C: Newton
- D: LE

2./ Az alapanyagcsere függ:

- A: a kortól
- B: a terhelés intenzitásától
- C: a terhelés mértékétől
- D: a sportágtól

3.) Az energia felhasználás összefüggése a futás sebességével.

- A: egyenesen arányos
- B: fordítottan arányos
- C: nincs összefüggés



- 4.) A terhelési idő növekedésével a szénhidrátok részesedése az energia felszabadítás során.
A: nő
B: csökken
C: nem változik
- 5.) Az intenzitás növekedése esetén a glikogén felhasználás arányosan
A: nő
B: csökken
C: nem változik.
- 6.) A szervezetben adott pillanatban rendelkezésre álló ATP mennyisége elegendő
A: 2-3 percnyi fizikai terhelés elvégzéséhez
B: 10-15 másodpercnyi terheléshez
C: 5 másodpercnyi terheléshez
D: 30 percnyi terheléshez
- 7.) Aerob glikolízis során felszabadul
A: 290 ATP
B: 30-32 ATP
C: 2 ATP
D: 42 ATP



II. Az anyagcsere folyamatok szabályozása

Bevezetés

Az élő szervezet sejtjeiben lejátszódó enzimek által katalizált folyamatok lejátszódásának feltételei nem mindig optimálisak, így amennyiben ezek a feltételek nem mindegyike megfelelő a folyamatok lelassulhatnak. Ha viszont minden feltétel teljesülése esetén minden folyamat egyszerre játszódna le, egyrészt óriási zavar lépne fel a szervezet működésénél, másrészt óriási pazarlással is működnének, hisz például egyszerre, egy időben bontanánk le és egyszerre építenénk is fel bizonyos anyagokat. A folyamatokat tehát úgy kell szabályozni, hogy minden és mindig az igényeknek megfelelően működjön. Ennek termokémiai magyarázata is van, hisz, amennyiben egy folyamat önként végbemegy az egyik irányba, akkor ugyanennek a folyamatnak az ellentettje nem mehet önként végbe. Ezekről a szabályozó folyamatokról szól a következő anyagrész, melynek célja tehát, hogy alakuljon ki mindenkiben egy olyan szemléletmód, amely révén megérti, hogy a szervezet működése nem spontán reakciók sorozata, hanem minden folyamat - normál viszonyok között - szabályozott és egymással összerendezett. Ezt az összerendezettséget az enzimeken keresztül tudjuk megvalósítani. A sporttevékenység, fizikai aktivitás során ennek kiemelt jelentősége van, ezért rendelkeznie kell mindenkinek ezzel a szemlélettel, aki eredményes munkát szeretne elérni.

II./ 1. Az energia felszabadító és energia igényes folyamatok enzimek általi működésének szabályozása

Az exorganikus (amikor energia szabadul fel) folyamatok termokémiai szempontból összességében magas negatív előjelű ΔG értékkel járnak, aminek következtében megfordíthatatlanok, vagyis irreverzibilisek, a lebontó folyamatoknál ezek azok a lépések, amelyek során ATP keletkezik ADP-ből és foszforsavból. A felépítő folyamatoknál pedig azok az egyirányú, vagyis irreverzibilis folyamatok, amelyek energiát igényelnek, mégpedig általában ATP-ből nyerve. A lebontó és a felépítő folyamatok szabályozásának módja tehát, hogy az enzimek révén, az enzimeken keresztül aktiváljuk vagy gátoljuk ezeket a folyamatokat.

Az enzimek által katalizált folyamatok tehát aktiválhatóak vagy gátolhatóak, mégpedig számos esetben nem csak egy anyag, hanem számos anyag által külön-külön vagy egyszerre. (többszörös szabályzás)

A következőkben ezekre mutatunk be néhány példát, mégpedig az energia felszabadító folyamatokon keresztül. A legáltalánosabb módja, az allosztérikus szabályozás.

Az allosztérikus aktiválást vagy gátlást az **energia telítettség** példáján mutatjuk be. Az energia szolgáltató reakciókban az ATP, ADP, AMP-nek szabályozó szerepe van, tulajdonképpen allosztérikus regulátorok. A magas ATP szint általában GÁTOL, a magas ADP-AMP szint általában AKTIVÁL. Mivel ezen nukleotidok (ATP, ADP, AMP) össz mennyisége állandó, ezért egy képlet fejezheti ki az „energia töltést” (ET)

$$ET = \frac{[ATP] + 1/2 [ADP]}{[ATP] + [ADP] + [AMP]}$$

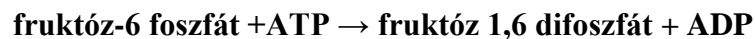
a hányados (melynek értéke 1-0 között lehet), normál esetben (0,85), ha alatta van, aktiválja a folyamatokat az enzimeken keresztül, ha felette van, gátolja a folyamatokat.



De mit is jelent ez a gyakorlatban? A sejtekben egy időben megtalálható ATP molekulák száma állandónak tekinthető, vagyis vagy minden molekula ATP formájában van jelen, vagy egy része már lebontódott ADP-vé, illetve AMP-vé. DE mivel a molekulák száma állandó, - vagyis ha minden molekula ATP formában van jelen, - az energia felszabadító lebontó folyamatok végbemenetelének nincs értelme, meg lehetősége sem, hisz nincs mihez és hová bekötni az így felszabaduló energiát. Ha viszont egy része már ADP formájában van jelen, akkor erre már lehetőség nyílik. Ezért bizonyos enzimek a magas ATP koncentráció következtében gátolják a lebontó folyamatok végbemenetelét. Amennyiben megnő az ADP molekulák száma, akkor akár ugyanezek az enzimek keresztül már aktiválódnak ezek az energia-felszabadító folyamatok, hisz már van hova bekötni a folyamat során felszabaduló energiát. (ATP szintézis)

II./1.1. Foszfofruktokináz (PFK) enzim működésének szabályozása

A glikolízis 3. lépésénél:



a katalizáló enzim a foszfofruktokináz. Ez, az enzim a magas ATP szint által gátlódik, míg a magas ADP szint által aktiválódik, ennek a teljes energia-felszabadító folyamat működése szempontjából van jelentősége.

Magyarázat: a glikolízis a szénhidrátokból való energianyerés kezdeti folyamata, célja az energia felszabadítása, amennyiben ez a folyamat működik és rendelkezésre áll a folyamat végén energiában „szegény” ADP, lesz hova bekapcsolni az energiát. DE, ha nincs ADP akkor nem tudjuk létrehozni az energiában „gazdag” ATP-t, vagyis ha magas az ADP (és AMP szint) koncentráció az enzim aktiválódik, hisz lesz lehetőség ATP-t előállítani, ha viszont magas az ATP szint, akkor nincs lehetőség hova bekapcsolni a foszforsavat, ezért a folyamat gátlódik. **Leegyszerűsítve:** ha van energiánk, az energia felszabadító folyamatok gátlódnak, ha nincs energiánk aktiválódnak.

II./1.2. Piroszőlősavkináz enzim működésének szabályozása

A glikolízis utolsó lépésénél:



a katalizáló enzim a piroszőlősavkináz. Ez, az enzim a nagy mennyiségben jelen lévő fruktóz 1,6 difoszfát által aktiválódik, míg a magas ATP, a magas acetilkoenzim A, és a magas zsírsav koncentráció által gátlódik, ennek szintén a teljes energia-felszabadító folyamat működése szempontjából van jelentősége.

Magyarázat: amennyiben az enzim környezetében magas a fruktóz 1,6 difoszfát mennyisége, ez azt jelenti, hogy aktiválni kell ezt a folyamatot, hogy keletkezzen piroszőlősav és akár van elegendő O₂, akár nincs elegendő O₂, de a folyamat tudjon működni. A magas ATP szint gátolja az enzimet, hiszen nincs rá lehetőség, hogy be tudjon kapcsolódni a köztes molekuláról leváló foszforsav, mert nincs hova bekapcsolódnia. A magas acetilkoenzim A koncentráció pedig azért gátolja az enzimet, mert amennyiben rendelkezésre áll ez az anyag, - ami mind a zsírokból, mind az aminosavakból is származhat - , akkor felesleges a szénhidrátokból energiát nyerni, mert abból nem nagy mennyiség áll rendelkezésre a szervezetben, vagyis így kímélni tudjuk a szénhidrát raktárakat, ezen folyamat gátlásán keresztül.



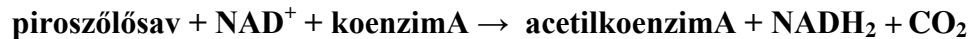
II./1.3. Piroszőlősavdehidrogenáz (PDH) enzim működésének szabályozása

A glikolízist követő folyamat, amikor a jelenlévő oxigén koncentráció függvényében ketté válik a szénhidrátok lebontása (Pasteur hatás):

1./ ha nincs elegendő oxigén, akkor az anaerob lebontás irányába megy a reakció és tejsav keletkezik,

2./ amennyiben viszont van elegendő oxigén, akkor következik a teljes oxidáció folyamata, vagyis a citromsav-ciklus és befejezésképpen a terminális oxidáció.

Ezt mutatja a következő folyamat



a folyamatot katalizálja a piroszőlősavdehidrogenáz enzim, amely fontos szabályzás alatt áll. Allosztérikus módon aktiválja a nagy koncentrációban jelenlévő AMP, NAD^+ és a koenzimA, és gátolja a nagy koncentrációban jelenlévő ATP, acetilkoenzimA, NADH_2 és a zsírsavak jelenléte.

Magyarázat: ennek a folyamatnak a terméke az acetilkoenzimA, amely a legfőbb „tápanyaga” a citromsav ciklusnak, aminek közvetlen folytatása lehet a terminális oxidáció és így megnő az ATP képződés lehetősége. Vagyis miért gátol az ATP, és az acetilkoenzimA?, azért mert ha ebből sok van, akkor nincs hova bekapcsolni a foszforsavat, hiszen nincsen szabad ADP, ha van jelen acetilkoenzimA, akkor meg miért keletkezzen, hisz elegendő mennyiség áll rendelkezésre. És a fordítottja is igaz, miért aktivál az ADP?, mert így lesz hova bekapcsolni a foszforsavat a terminális oxidáció végén.

De itt van még a NAD^+ , mint hidrogén szállítónak a szabályozó szerepe. A NAD^+ koenzim szerepe a hidrogén szállítása a légzési oxigénhez, és csak akkor tud felvenni hidrogént, ha oxidált NAD^+ formában van jelen, amennyiben NADH_2 formájában van jelen, akkor nincs hova bekötni a hidrogéneket, ami a citromsav ciklusban válhat szabaddá, és ezért gátolja ennek az enzimnek a működését.

II./1.4. Az izocitromsav-dehidrogenáz szabályozása

Ez az enzim a citromsav-ciklus egyik kulcsenzimje, vagyis ennek működése az összes tápanyag lebontását befolyásolja, szabályozza.

Működést gátolja: az ATP magas koncentrációja és a $\text{NADH}_2/\text{NAD}^+$ hányados magas értéke.

Működést aktiválja: az ADP magas koncentrációja, ill. az izomban a Ca^{2+} magas koncentrációja.

Magyarázat: a magas Ca^{2+} koncentrációja miatt aktiválja ezt az enzimet. Az izomsejtekben az ingerület hatására megnő a szarkoplazmatikus retikulumból felszabaduló Ca^{2+} ionok mennyisége, ami elősegíti a későbbi izom összehúzódást, hiszen aktiválja az ATP bontására képes – a miozin fejekben megtalálható - miozin ATP-áz enzimet. Az izom összehúzódásához viszont energiára lesz szükségünk, ezért a Ca^{2+} , már azelőtt aktiválja az izocitromsav-dehidrogenáz enzimen keresztül, - mint a citromsav ciklus egyik kulcsenzimje - minden tápanyag lebontásának közös útvonalát a citromsav-ciklust, mielőtt elindulna az izom-összehúzódás.

Természetesen a szervezet összes folyamata szabályzás alatt áll, ami sokszor az enzimek aktiválásán/gátlásán keresztül valósul meg. Most csak az energia-felszabadító folyamatok szempontjából emeltünk ki néhányat. És akkor kössük össze a fentiekben leírtakat az izomsejtek működésének energetikai szabályozásával.



II./2. Az izom energetikája és metabolikus szabályozása

- 1./ Az izomműködéshez szükséges energiát elsősorban az izomban jelenlévő **glikogén** lebontása szolgáltatja. A harántcsíktolt izmok képesek a legtartósabban anaerob körülmények között dolgozni, ezért a fehér rostokban gyorsan felszabaduló energiaforrásként is szolgálhat.
- 2./ A munkavégzéssel párhuzamosan lebomló energia gazdag ATP, a rendelkezésre álló kreatinfoszfát révén képes lesz gyorsan regenerálódni. (10^{22} - 20^{22} -es nagy intenzitású izommunka), hiszen az izom csak ezt tudja hasznosítani.
- 3./ Nyugalomban az izom a zsírsavakból regenerálódik. Aktív izomban a glukózból. Mivel nyugvó izomban nagy az ATP/ADP arány, így nincs, ami felvegye a foszforsavat. A glikolízis folyamatának egyik kulcsenzime a foszfofruktokináz (**PFK**) és az izocitromsav-dehidrogenáz enzim, amely ebben az esetben **gátlódik**. Terheléskor viszont a gátlás megszűnik, hiszen a magas **ADP szint aktiválja** ezeken az enzimeken keresztül a lebontó folyamatokat.
- 4./ A Ca aktiválja a foszforiláz enzimet, ami elősegíti a glikogén lebontást.(előbb, mint a kontrakciót) A Ca^{2+} , tehát már azelőtt **aktiválja** a glikogénolízis (glikogénből való szénhidrát lebontás) egyik kulcsenzimjét (foszforiláz), mielőtt elindítaná az izomösszehúzódást. Ehhez még társul, hogy a magas ATP koncentrációja **gátolja**, a magas AMP viszont **aktiválja** a glikolízis másik kulcsenzimjét a foszfofruktokinázt (PFK).
- 5./ Az izomban az adrenalin, mint stresszhormon is aktiválja a cAMP keresztül a foszforilázt. (bemelegítés fontossága)
- 6./ **2 ADP → ATP + AMP**. Ezt a reakciót a miokináz enzim katalizálja (3-5 perces nagy intenzitású megterhelés), és ez az egyetlen lehetőség ATP előállítására. Az ADP szint növekedése miatt tehát ATP és AMP is keletkezik, - ennek oka, hogy oxigénhiányos környezetben úgyse tudna ATP-vé alakulni - és így viszont ez aktiválja a PFK-t és így meggyorsítja a glikolízist, ennek következménye, hogy ezzel nem tud lépést tartani a citromsav ciklus és a végeredményeképpen TEJSAV keletkezik, ami a vér pH szabályozása miatt később gátolhatja a mozgást. A keletkezett tejsav, amennyiben a terhelés után ismét O_2 -ben dús lesz a környezet a CORI körön keresztül visszaalakul glukózzá, vagyis az „elfecsérelt” szénhidrát így vissza alakul.
- 7./ A terhelés során az új egyensúly, vagyis a „steady state” beálltakor a piroszölősav már a citromsav-ciklusban oxidálódik tovább, és az így keletkezett ATP gátolni fogja a glikolízist (az oxigén jelenléte a kezdeti sebesség 1/12 részével elégtí ki ugyanazt az ATP igényt)
- 8./ Újabb „steady state” állhat be (30-90 perces terhelések során), ilyenkor
A/ a zsírszövetben a **triglicerid mobilizáció hormonális hatásra nő** (inzulin szint csökken, glukagon és adrenalin szint emelkedik)
B/ A **korábbi AMP szint emelkedése elősegíti a β - oxidáció aktiválását**: az AMPK (AMP aktivált proteinkináz, mint **fő szabályzó**) foszforilálja és így inaktiválja a mitokondrium külső membránjához kötött acetilkoenzimA-karboxiláz β -t (ACC- β). A malonil CoA szint csökken (a lipogenezis, vagyis a zsírok szintézise csökken), a karnitin palmitil transzferáz (CPT-I) gátlása megszűnik és fokozódik a zsírsav transzport a mitokondriumba. Mindezek következtében **sok acetilkoenzimA kerülhet a citromsav ciklusba és így gátlódik a PFK enzim**.
- 9./ Hasonlóan hat a **javuló ATP/ADP arány** is. Így, ennek következtében fokozódik a zsírlébonatás is (lipolízis), ami viszont gátolja az izomban a szénhidrát lebontást (glikolízis) és így a glukóz felhasználást. Ez egy pozitív visszacsatolást jelent a triglicerid mobilizációra is, mivel a tejsav is gátolja a zsírok lebontását (lipolízis).



- 10./ Az izomban aktív az aminosav anyagcsere is. Alanin ciklus. Az elágazó szénláncú aminosavak (valin, leucin, izoleucin) 10% os részesedéssel részt vehetnek az energia felszabadító folyamatokban, azáltal, hogy vagy piroszölősavvá vagy acetilkoenzimA-vá tudnak alakulni.

II./3. Összefoglalás

Ebben a fejezetben az élő sejtekben lejátszódó energia felszabadító folyamatok szabályozásáról volt szó. Ez a szabályozás hasonlóképpen működik, mint egy jól megszervezett városi közlekedés csúcs időszakban. Mindenképpen figyelembe kell venni a folyamatok irányát, a rendelkezésre álló anyagok mennyiségét, koncentrációját és nem utolsósorban azt az energiaigényt, amit a szervezet működése különböző feltételek között igényel. Ha ehhez hozzávesszük, hogy a sportolás, a fizikai aktivitás nagymértékben megnöveli az energiaigényt, akkor egyértelmű, hogy egy nagyon bonyolult és összehangolt folyamatsorra van szükség, ami révén mindig annyi energiát kell biztosítani, amire éppen az adott pillanatban szükség van az elérni kívánt eredmény eléréséhez. Bemutatásra kerültek a szabályozás általános szempontjai, illetve konkrét enzimszabályozási folyamatok is. A fejezet záró részében pedig a példaként felhozott enzimeken keresztül bemutatásra került, hogy az izomműködés során ezen folyamatoknak mikor és milyen szerepe van az energia-felszabadítás kapcsán.

Kulcsszavak: enzimszabályozás, izomműködés energetikája

II./3.1. Ellenőrző kérdések

A glikolízis, szabályozása, a glikolízis kulcsenzimjei, aktivitása, szerepe.

A citromsav ciklus, szabályozása, a citromsav ciklus kulcsenzimjei.

Az izomműködés energia forrásai.

II./3.2. Tesztkérdések

1.) Az izomműködés során legfontosabb energiaforrás:

A: A zsír

B: A fehérje

C: A szénhidrát

D: ATP

2.) A glikolízis során a lebontó folyamatokban szereplő enzimeket aktiválja:

A: ATP

B: NADH₂

C: FADH₂

D: ADP, AMP

3.) Milyen szabályozás alatt áll a foszfofruktokináz enzim (PFK)?

A: ATP gátolja, B: AMP serkenti, **C: mindkettő**, D: egyik sem

4.) Melyik folyamatot katalizálja a miokináz enzim?

A: $2 \text{ ADP} \rightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$,

B: piroszölősav + NAD⁺ + koenzimA → acetilkoenzimA + NADH₂ + CO₂

C: foszfoenolpiroszölősav + ADP → piroszölősav + ATP



D: fruktóz-6 foszfát +ATP → fruktóz 1,6 difoszfát + ADP

5.) Az izom működés során a legfontosabb tápanyagforrás

A: ADP, B: ATP, C: kreatinfoszfát, **D**: glikogén



III. A tejsav, a tejsav képződése, a tejsav eliminációja

Bevezetés

A fejezet célja, hogy röviden bemutatásra kerüljenek azok a biokémiai folyamatok, és azok a sajátos körülmények, amikor és amelyek révén a sejtekben a tejsav felszaporodik. Ismertetésre kerülnek azok a körülmények is, amelyek befolyásolják a tejsavszintek alakulását eltérő fizikai tevékenység során. A szénhidrátok az egyetlen olyan tápanyagunk, amelyeket a szervezet oxigénhiányos környezetben is hasznosítani tud, mint energiaforrás. De mi az oka, hogy a lebontás egy pontján eldől, hogy melyik irányba megy végbe a folyamat? Erre is választ adunk ebben a fejezetben. A leírtak ismeretében rendelkeznie kell az olvasónak azzal az ismerettel, amely révén a legnagyobb mértékben ki tudja aknázni annak lehetőségét, hogy oxigénhiányos környezetben is képesek vagyunk energia felszabadításra.

III./1. A tejsav képződése

A glukóz lebontásának kezdeti lépései függetlenek attól, hogy a folyamat aerob vagy anaerob körülmények között zajlik, egyformák, ezt hívjuk glikolízisnek vagyis a glukóz „oldás”-ának. Ennek a folyamatnak az utolsó lépésekor piroszölősav keletkezik, és ennél a lépésnél válaszütt elé kerül a lebontás folyamata, függően attól, hogy megfelelő mennyiségben rendelkezésre áll-e O₂ vagy nem, két irányba mehetnek a folyamatok. Ezt hívjuk **Pasteur-hatásnak**. Pasteur volt az, aki megfigyelte, hogy oxigén hiányos, vagyis anaerob körülmények között megtöbbszöröződik a glikolízis folyamatának sebessége, míg oxigénben gazdag, vagyis aerob viszonyok között lelassul. Ennek az oka, - amit már a szabályozással foglalkozó fejezetben is említettünk-, hogy amennyiben megfelelő mennyiségben áll rendelkezésre oxigén, akkor a szénhidrátokon kívül a zsírok is teljes mértékben le tudnak bontódni CO₂-dá és H₂O-é, miközben sok energia szabadul fel ATP formájában, ami viszont gátolja a foszfofruktokináz (PFK) enzimen keresztül a glikolízist, mintegy kímélve a szénhidrát raktárakat. Ennek a folyamatnak másik oka lehet, hogy azonos mennyiségű energia (ATP) előállításához kevesebb glukózt kell elhasználnunk aerob körülmények között.

Nézzük meg a konkrét folyamatot, vagyis a piroszölősav átalakulásának lehetőségét, oxigén jelenlétében és annak hiányában.

A/ O₂ jelenlétében:



ebben az esetben megnyílik az út a citromsav ciklus irányában az acetilkoenzimA segítségével és a keletkezett NADH₂ is hasznosul a terminális oxidáció folyamatában.

B/ O₂ hiányos környezetben:





ebben az esetben O_2 hiányában az egyébként kétirányú reakció eltolódik a keletkezés irányába és tejsav keletkezik.

Magyarázat: az így szabaddá váló NAD^+ révén egy másik glukóz molekula lebontásához ismét rendelkezésre áll a hidrogén felvételére képes koenzim vagyis újból keletkezhet 2 mol ATP, de ezután az így felszabaduló tejsav egy idő után gátolja a folyamatokat és beindul a savasodás folyamata az ACIDÓZIS !, A sejtekben az egyre nagyobb koncentrációban jelenlévő tejsavból szabaddá válnak a H^+ ionok és folyamatosan laktát keletkezik. Az így szabaddá váló hidrogén a sejtek pH-ját savas irányba tolja el, először az izomrostokban, majd a vérbe kerülve mindenütt.

Ezt a jelenséget nevezzük **tejsavas acidózisnak**, az így keletkezett tejsav tehát leadja a hidrogénjét és eltolja az izomban és a vérben a pH viszonyokat savas irányba. Ebben az esetben gátlódik a további energiatermelés lehetősége és kénytelenek vagyunk a fizikai aktivitás intenzitását olyan mértékben csökkenteni, hogy a keringés újra megfelelő mennyiségű oxigént tudjon szállítani a sejtekhez, így az izmokba is.

A tejsav két úton tud tovább alakulni, vagyis eliminálódni. A tejsavból keletkezett laktát - a keringéssel eljutva a májsejtekhez - visszaalakulva piroszölősavvá, amely

- vagy lebontódik teljes oxidációt feltételezve széndioxidá és vízzé, a citromsav-ciklus, terminális oxidáció útvonalon
- vagy felépül a glukóz, glikogén újraépülése révén (glukogenezis, glukoneogenezis) helyreállítja a szénhidrát raktárakat.

Összefoglalva a tejsavas acidózist: oxigén hiányában keletkezik.

- A felhalmozódó laktát a plazmamembránon keresztül (laktát/ H^+ transzporter) bekerül a keringésbe. Eliminálódik, ehhez viszont oxigén kell, ezért hypoxiában (oxigénhiányos körülmények között) a laktát szint nő, viszont nem tud eliminálódni.
- A vérben a tejsav 4-5 mmol/l fölé kerül, a vér pH és a bikarbonát (puffer rendszer) szint viszont csökken.

III./2. A tejsav eliminációja

A folytonos tejsav képződés azonban nem jelent állandó felhalmozódást, ennek oka, hogy a tejsav a működő izomban, a fehér gyors rostokból, a kevésbé igénybe vett és a magasabb aerob kapacitású (I.a) vörös rostokba áramlik.

A tejsav elimináció tehát függ:

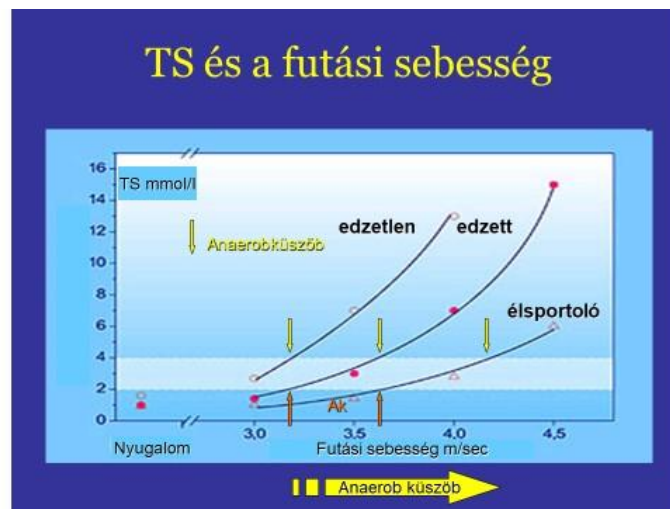
- az aerob anyagcsere mértékétől, és
- a tejsav koncentráció szintjétől

Minél nagyobb mértékű az aerob anyagcsere és minél magasabb a tejsav koncentrációja, annál gyorsabb lesz az elimináció. (7. ábra)



7. ábra A tejsav elimináció lehetőségei. (saját szerkesztés)

A tejsav (TS) tehát mindig képződik és folyamatosan eliminálódik, logikusan a TS csak akkor képződne, ha a dolgozó izom nem jut elegendő oxigénhez. Vagyis csak a szupramaximális (maximális terhelés feletti) terhelésnél lenne TS képződés, azonban szubmaximális (maximális terhelés alatti) terhelésnél a képződő TS oka a terhelés elején bekövetkező O₂ hiány, de ha lassú a terhelés növekedése, akkor is jelentős a tejsavszint emelkedése. Sőt, már nyugalomban is mérünk TS-t a vérben.



8. ábra A tejsav szintek változása eltérő edzettséggel rendelkezőknél a futási sebesség függvényében. (saját szerkesztés)

A 8. ábrán megfigyelhető, hogy az edzetlenek esetében már alacsony futási sebesség mellett is jelentősen emelkedik a tejsav szintje. A sárga nyilak jelzik az anaerob küszöb elérését, vagyis amikor már döntően anaerob körülmények között történik az energia kinyerése. Egy edzett személy esetében már a görbe jobbra tolódik, vagyis később, nagyobb teljesítmény esetében következik csak be a túlzott savasodás. Az élsportolók esetében pedig még inkább eltolódik a görbe jobbra, és olyan teljesítményt tudnak alacsony tejsav szintek mellett elérni, amire az előző személyek vagy nem képesek vagy csak nagyon magas tejsav-szint mellett lehetséges ez.



III./3. A tejsav szintek változása eltérő típusú terheléseknél

III./3.1. Szupramaximális terhelés (például 400 m – 1500 m futás)

A gyorsan beálló oxigénhiányos környezet miatt a működő izomban gyorsan emelkedik a tejsav szintje, majd a terhelés befejeztével el kezd csökkenni, és bekerülve a vérkeringésbe eliminálódik. Minél nagyobb a terhelés intenzitása, annál magasabb értéket kapunk. Például egy 300 m-es maximális terhelés esetében a vérben kb. 10-12 mmol/l is lehet a laktát (LA) koncentrációja kb. 5'-el a terhelés után. Egy 600 m-es maximális terhelés során, akár 20-24 mmol/l is lehet, azonban ehhez természetesen jóval hosszabb eliminációs időre lesz szükség.

III./3.2. Hosszabban tartó állandó terhelés során

A terhelés intenzitásnak függvényében változik a felszaporodó tejsav értéke. A növekvő folyamatos terhelés miatt, **növekvő glikolízis** hányad lesz jellemző, aminek következtében **növekvő laktát** képződés lesz a következmény. A laktát szint főleg a **fehér rostokban képződik és a vörös rostokba, májba, szívbe eliminálódik**, a rendelkezésre álló O_2 , vagyis az oxidációs folyamatok függvényében. Minden terhelési lépcsőben egy idő után be áll az egyensúly a képződés és az elimináció között (**LA steady state**), természetesen a képződés arányában mindig egy magasabb értéken. Egy bizonyos terhelés felett viszont, ha a piroszölősav képződés nagyobb, mint az oxidációs ráta, folyamatosan nőni fog a laktát szint (**LA akkumuláció**).

Maximális laktát steady state: az a terhelést, amikor még éppen beáll a steady state. Ennek átlagos értéke egyéntől függően felnőttek esetében **4 mmol/l**, az egyedi értékek 2,5 – 7 közé esnek.

Elméletileg ezt nevezzük **aerob-anaerob küszöbnek** (átmenet a tisztán aerob és a részben anaerob energianyerés között)

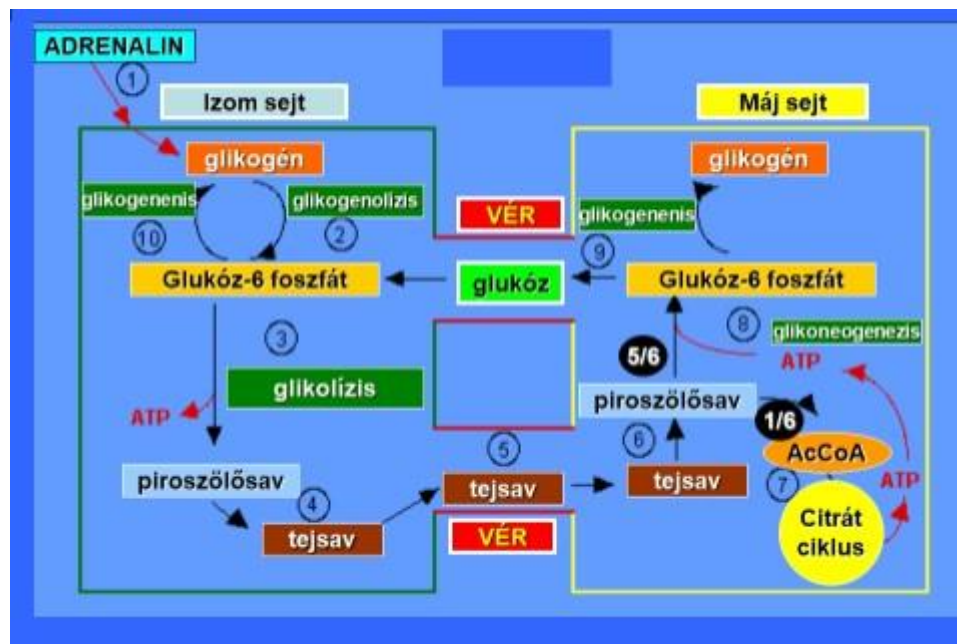
III./3.3. Intervall terhelés közbeni tejsav szintek

A terhelési és a pihenési szakaszok váltakozásával állandóan változik a tejsav képződése és az eliminációja. A terhelés ideje, intenzitása és a pihenés függvényében kétféle TS görbét kapunk.

- 1. a görbe két határérték között változik (max., min.) hol csökken, hol emelkedik.
- 2. a görbe egy állandó emelkedést mutat.

III./4. A pihenés jelentősége

A maximális terhelés utáni pihenés szerepéről már az I./ fejezet részben említést tettünk, ami kiemelendő, hogy állóképességi edzés esetén, folyamatos tejsav szint növekedés akkor várható, ha a pihenési szakasz a terheléshez viszonyítva mindig kisebb lesz. A szívfrekvencia lesz a legfőbb szabályozó tényező, a pihentető szünetnek akkor van vége, ha a szívfrekvencia, ismét 120/perc alá esik az egyéni különbségek figyelembe vételével. Anaerob terheléskor nincs közvetlen kapcsolat a szív frekvencia alakulása és az anyagcsere viszonyok között, ilyenkor a tejsav elimináció lassúbb lesz, mint a szívfrekvencia csökkenése ezekben a rövid pihenő időszakokban. Abban az esetben, amikor a magas tejsav szint már akadályozza, - szabályozó szerepénél fogva - a terhelés folytatását lép, működésbe a Cori-ciklus, mint a tejsav elimináció legfőbb formája (9. ábra)



9. ábra A Cori-ciklus folyamata (saját szerkesztés)

A Cori-ciklus lényege, hogy az izomműködés során anaerob körülmények között felhalmozódó tejsav, a keringés helyreállta után eljut a májba. A májsejtekben a tejsav visszaalakul piroszölőssavvá. A piroszölőssav 1/6 része acetilkoenzimA-vá alakulás után a citromsav cikluson és a terminális oxidáció keresztül eloxidálódva, annyi energiát tud termelni, hogy a maradék 5/6 rész vissza tud alakulni a glukóz újraképződésének (glukoneogenezis) folyamatában glukózzá, illetve glikogénné. Ezen folyamat révén pihenéskor részben visszapótlódik az izom szénhidrát raktára, amikor a vérrel vissza jut az izomsejtekhez.

III./5. Összefoglalás

Ebben a fejezetben megismerkedhettünk az anaerob anyagcsere során bekövetkező tejsav képződés és a tejsav elimináció sajátjaival. Betekintést nyerhettünk az eltérő mértékű terhelések során bekövetkező változások mikéntjébe, illetve megismertük a pihenés nyújtotta lehetőségeket.

III./5.1. Ellenőrző kérdések

- A tejsav kialakulása, szerepe.
- A tejsavas acidózis, a tejsav eliminációja.
- Tejsav szintek változása különböző mértékű terhelések esetén.
- Szupramaximális terhelés alatti változások
- Hosszantartó állandó terhelés alatti változások, maximális laktát steady state.
- Intervall terhelés alatti tejsavszintek, a pihenés szerepe, oxigén felvétel alakulása.
- Az aerob, anaerob küszöb szerepe, meghatározása. Tejsav és a terhelés intenzitásának összefüggése.



III./5.2. Tesztkérdések

- 1.) A szénhidrát lebontás révén, anaerob körülmények között kinyerhető energia, amennyiben glukózból indulunk ki?
A: 15 ATP, B: 12 ATP, C: 2 ATP, D: 32 ATP, E: 24 ATP
- 2.) A tejsav elimináció félideje:
A: 60 perc, B: 15 perc, C: 15 másodperc, D: 1-4 nap
- 3.) A tejsavképződés lehetősége:
A: tejsav mindig képződik, B: tejsav csak intenzív terhelés esetén képződik, C: tejsav, csak, szupramaximális terhelés esetén képződik, D: tejsav, csak szubmaximális terhelés esetén képződik.
- 4.) Felnőttek esetében az anaerob küszöb értéke általában:
A: 1,8-2,0 mmol/l, B: 4,0 mmol/l, C: 10 mmol/l, D: 8 mmol/l
- 5.) A Cori-ciklus
A: az izom és a máj között lejátszódó körfolyamat.
B: az izomban keletkezett tejsav újra felépülése a máj sejtekben, majd visszajutása az izomsejtekhez
C: az izomban keletkezett piroszőlősav eljuttatása a májba, hogy ott újra felépülhessen glukózzá
D: az izomban keletkezett tejsav újra felépülése a máj sejtekben

IV. Kötelező és ajánlott irodalom

Kötelező irodalom:- Előadások anyaga

- Biokémia TF jegyzet, Szóts Gábor
- Biokémia TF jegyzet, Györe Ágota

Ajánlott irodalom:

- Orvosi biokémia (szerk.: Ádám Veronika) Semmelweis Kiadó, Budapest 2017
- Hermann Heck: Energiestoffwechsel und medizinische Leistungdiagnostik, Hofman-Verlag, Schondorf, 1990
- McArdle, Katch, Katch: Exercise Physiology, Lea and Rebecer, Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kennedy: Physiology of Sport and Exercise, Human Kinetics 2008
- Poortmans J. R. : Principles of Exercise Biochemistry, Karger Verlag 1988
- Horst de Marées: Sportphysiologie, Sportverlag Strauss, Edition Sport, 2017
- Georg Haralambie: Einführung in die Sportbiochemie, Bartels & Wernitz 1982
- Don MacLaren, James Morton: Biochemistry for Sport and Exercise Metabolism, Wiley 2013