

Modul cím:	MEDICINÁLIS ALAPISMERETEK – BIOKÉMIA – BIOENERGETIKA II.
-------------------	---

1. kulcsszó cím: ENERGIA

Szervezetünk tápanyagok felvételével, illetve azok lebontásával biztosítja a számára szükséges energiát. **G001**

Mint ahogy az ábra is mutatja, a szénhidrátok, zsírok valamint fehérjék lebontása egy közös útba torkollik, melynek végeredménye energia nyerése (ATP) lesz. **G002**

Azonban, hogy mikor mit használunk ATP szintézisére, az többek között a szervezet igénybevételétől is függ.

1. képernyő cím: Szénhidrátok

A táplálkozás során nagy mennyiségben rendelkezésre álló, az izomzat számára könnyen felhasználható molekulák.

Mérsékelt illetve nagy erőfelfejtésekor szervezetünk többnyire szénhidrátot éget el.

1 mol glükóz lebontásakor ~ 689 kCal energia szabadul fel, aminek csak 38%-a fog ATP molekulában raktározódni, a többi hővé alakul.

A szervezetbe került szénhidrátok a vérben glükózként folytatják útjukat, ami glikogén formájában az izomban és a májban raktározódik.

Szükség esetén a glikogén a májban visszaalakul glükózzá, amit a vérkeringésből az izmok fel tudnak venni. **G003**

2. képernyő cím: Zsírok

Nyugalomban és alacsony intenzitású, hosszú terheléskor szolgálnak energiaforrásként.

Szervezetünk zsírraktárai lényegesen nagyobbak, mint a szénhidrát raktár. A zsírsejtek 95%-a triglicerid formájában raktározza a zsírcseppeket.

A zsírok nehezebben hozzáférhetőek az energiaháztartás szempontjából, mert először glicerinre és szabad zsírsavakra (FFA) kell bomlaniuk, amely időigényes folyamat. **G004**

3. képernyő cím: Szervezetünk tápanyag- és energiaraktárai

	g	kcal
Szénhidrátok		
Máj glikogén	110	451
Izom glikogén	500	2050
Testfolyadék glükóz	15	62
Összes	625	2563
Zsír		
Bőr alatti zsigerék	7800	73320
Izom	161	1513
Összes	7961	74833

Megjegyzés: Az adatok egy átlagos, 65 kg tömegű és 12% zsírtartalmú emberre vonatkoznak

4. képernyő cím: Az izom trigliceridszintjének visszaállítása fizikai terhelés után

Munkavégzés után a vékonybélből, a májból és a zsírszövetből zsírsavak szállítódnak az izomba, hogy a trigliceridek mennyisége megfelelő szinten legyen. **G005**

5. képernyő cím: Az energiaforrás különböző intenzitású terheléskor

Nyugalomban és 40%-os W_{max} esetén szervezetünk az energia több mint a felét lipidekből nyeri. Azonban fokozottabb igénybevételkor (W_{max} 55%-a és 75%-a) a szénhidrátok szolgáltatnak több energiát. A diagram azt is mutatja, hogy az izomban tárolt glikogénből nagyobb mennyiségű energia képződik (a nyugalmi helyzet kivételével), mint a plazma glükózból.

G006

6. képernyő cím: Fehérjék

A fehérjék építőegységei - az aminosavak – használhatók energia nyerésére (~ 4,1 kcal energia/g fehérje).

Szerepe akkor fontos, mikor a szervezet már nem képes az energiát a szénhidrátokból előállítani. Az aminosav energiaforrásként akkor használható, ha glükózzá alakul a glükoneogenezis során.

Éhezéskor a lipogenezisen keresztül szabad zsírsavakat képezhetnek, amiből szintén energia

állítható elő. **G007**

7. képernyő cím: Az energiaszolgáltató rendszerek

Közvetlen energiaforrás: az ATP–kreatin-foszfát (ATP-PCr) rendszer

A vázizom kb. 5 mmol ATP-t és 15 mmol kreatin-foszfátot tartalmaz kg-onként.

Ha mondjuk izomzatunk 20 kg-ja végez fizikai munkát, akkor az ATP-PCr rendszerből származó közvetlen energia egy 1 perces gyors sétára, egy 20-30 másodperces lassú futásra, egy 6-8 másodperces sprintfutásra vagy úszásra elegendő.

Az elhasználódott ATP újratermelését kreatin- foszfátból (PCr) a kreatin- kináz enzim végzi.

G008

Az ATP–kreatin-foszfát rendszer működik rövid időtartamú, erős intenzitású igénybevétel esetén (súlyemelés, 100 m-es sprint, 25 m-es úzás, labdajátékok, küzdősportok, stb...). **G009**

Az izom adenoszin-trifoszfát (ATP) és kreatin-foszfát (PCr) koncentrációjának változása maximális erő kifejtéskor (sprint).

Az izmok ATP mennyiségének szinten tartása a kreatin-foszfát által korlátozott.

Az ATP-PCr rendszer mellett a másik gyors energiaszolgáltató a laktát-, vagy glikolítikus rendszer.

Intenzív terheléskor az izomban raktározott glikogénből ATP nyerhető a glikolízis útján.

Azonban a képződött piroszőlősavból anaerob körülmények között tejsav lesz, így az ezen az úton nyert energia (ATP) mennyisége nem túl nagy.

1 mol glikogén bontásából mindössze 3 mol ATP keletkezik.

A két rendszer - az ATP-PCr és a laktát - együtt egy erős intenzitású igénybevétel első perceire szolgáltat elegendő mennyiségű energiát anaerob körülmények között.

A harmadik energiaforrás az oxidatív-, vagy aerob rendszer.

Szerepe a 2-3 percnél hosszabb fizikai terhelés esetén kerül előtérbe (800 m-nél hosszabb távú futás, 200 m-nél hosszabb távú úszás, evezés, labdajátékok, sífutás, stb.).

Ez a rendszer oxigén jelenlétében jóval több energiát képes biztosítani, mint az ATP-PCr és a laktát-szisztéma (38 ATP/ 1 glükóz).

8. képernyő cím: Szervezetünk energiaforrásai

A táblázat adataiból jól látszik, hogy fordított a kapcsolat az energiaraktárak ATP mennyisége és az ATP előállításának sebessége között. Így a legkisebb forrásból (PCr) termelődik a leggyorsabban az energia, míg a legnagyobb raktárból (zsírszövet triglicerid) az egyik leglassabban. **G010**

9. képernyő cím: A három energiaszolgáltató rendszer kapcsolata

Számos sporttevékenység (pl. labdajátékok) esetén a kemény, erős intenzitású terhelés váltakozik mérsékeltebb, könnyedebb, esetleg nyugalmi periódussal. Ilyenkor nagyon rövid időn belül változik az energiaforrások százalékos aránya. **G011**

Az ábra két egymást követő 30 másodperces maximális intenzitású terhelés (kerékpározás) alatt az energiaszolgáltatás (anaerob, aerob) százalékos megoszlását mutatja. A két esemény között 4 perces szünet van beiktatva. Az első fél perces terhelés alatt az anaerob úton nyert energia sokkal jelentősebb, mint a második alkalommal. **G012**

10. képernyő cím: A fizikai terhelés időtartama és intenzitása közötti kapcsolat

Egy 5 perces maximális terheléskor az egyes energiaforrások százalékos megoszlásának változása. Az ábrán jól látszik, hogy az első mintegy 7 másodpercben az ATP-PCr rendszer a domináló, míg a 7-60 másodperc közötti időszakban az anaerob glikolízis. Közben egy kis késéssel beindul az oxidatív szisztéma is, ami aztán átveszi a főszerepet. **G013**

A fizikai aktivitás időtartamának és intenzitásának a kapcsolata, valamint a felhasznált energiaforrások aránya jól tanulmányozható a különböző távú futás illetve úszás esetén.

11. képernyő cím: Energiaforrások különböző távú futáskor

A táblázat nyolc különböző távú futás esetén mutatja az energiaszolgáltató rendszerek részvételének arányát. A sebesség (intenzitás) a távolság növekedésével csökken a 100 és 200 m-es táv kivételével. A laktát (anaerob glikolízis) rendszer kulcsfontosságú a 100, 200 és 400 m-es táv esetén. Az oxidatív (aerob) szisztéma a 800, 1500, 5000, 10000 m, illetve maratoni futáskor egyértelmű túlsúlyban van. **G014**

12. képernyő cím: A táplálék hatása a választott energiaforrásokra

A felvett táplálékok befolyásolhatják az energiaforrások mennyiségét. Az A ábra egy edzett egyén 70-75% VO₂max intenzitású terhelésekor (kerékpározás) az izomban tárolt glikogénből, plazma glükózból, illetve lipidekből nyert energia százalékos eloszlásában bekövetkezett változásokat mutatja be egy 3 órás időintervallum alatt (kifáradás). Ekkorra az összenergiatermelésnek csak mintegy 30%-át adják a szénhidrátok. Azonban, ha az egyén szénhidrátot vesz magához a fizikai terhelés alatt (B ábra), akkor a kerékpározás időtartama megnövekszik (+1 óra), ráadásul a szénhidrátokból nyert energia még mindig 50% körüli.

G015

13. képernyő cím: Az energiaforrások megoszlásának változása állóképességi (aerob) edzés esetén

Az edzettségi állapot befolyásolja a fizikai terhelés alatt használt energiaforrások arányát. Röviden összegezve elmondható, hogy az állóképességi edzés növeli a lipidekből nyert energia mértékét a szénhidrátokhoz képest hosszabb idejű aktivitás alatt.

Több héten át tartó állóképességi edzés (90 perces kerékpározás, 60% VO₂max) hatására bekövetkezett arányváltozások az energiaforrások között. Ha az edzés utáni teszteket ugyanazon a relatív intenzitáson (60%-a az új VO₂max-nak, ami ebben az esetben 20%-kal magasabb az eredetinél) végzik, akkor nincs eltolódás a lipidek javára a szénhidrátokkal szemben. **G016**

Hogy miért használ az izom több lipidet állóképességi edzéskor?

- Növekszik a mitokondriumok száma, illetve azok mérete. Egy 6 hónapos állóképességi edzést követően mintegy kétszer annyi mitokondrium van az izomrostban mint eredetileg volt, ami által pl. a citrátkör vagy a b-oxidáció enzimeit is jóval nagyobb számban vannak jelen, megnövelve az ATP újratermelődés lehetőségét.

Az ATP képzésében szerepet játszó két enzim aktivitása különböző edzettségi szinten lévő egyének esetén eltérő. **G017**

Elektronmikroszkópos kép mitokondriumról (A), izom glikogén szemcsékről (B), és trigliceridet tartalmazó vakuólumokról (C). **G018**

- Csökken a GLUT4 fizikai aktivitás indukálta transzlokációja. Habár a GLUT4 mennyisége növekedik a tréning után, azonban csökken a sejtmembránba történő beépülése, ezáltal

az edzett izom kevesebb glükózt képes felvenni a plazmából.

- Emelkedik az izomban tárolt glikogén mennyisége. Ez részben azért van, mert edzés hatására nő az inzulinérzékenység. Az inzulin nemcsak a glükóz felvételét segíti, hanem a glikogén szintézisét is. Állóképességi terhelés esetén megnő a glikogén-szintáz enzim mennyisége, így több glikogén fog képződni.
- Növekedik a myocelluláris trigliceridek mennyisége. A plazmából több zsírsavat tud felvenni az izom, mert megnő a kapillárisok, az endothel sejtek felszínén a lipoprotein-lipázok, illetve a szarkolemma zsírsav-transzportereinek a száma.

Mikroszkópos felvételen jól látszik a A B különbség az izomrostok körüli kapillárisok számát illetően edzetlen (A) és edzett (B) egyén esetén **G019**

Mindent együttvéve állóképességi edzés esetén az izmok úgy adaptálódnak a megváltozott körülményekhez, hogy a lipidek oxidációja fokozódik a glikogénnel szemben. Ehhez még mérsékelt intenzitású terheléskor az izom alacsonyabb glükózfelvétele is járul, ami azt eredményezi, hogy a lipidek arányban veszik ki a részüket az energia előállításában.

14. képernyő cím: Az energiarendszerek adaptációja anaerob terhelésekhez

Anaerob munkavégzés (erő-, és sprintedzés) nem okoz olyan markáns változást az energiaszolgáltató rendszerek százalékos arányában, mint egy aerob tréning.

Milyen hatása van az anaerob aktivitásnak az energia-metabolizmusra?

- Az erőedzés növeli az izom PCr és glikogén koncentrációját.
- Növekedik a glikolítikus enzimek és a laktát-dehidrogenáz aktivitása.
- Az izom hipertrófiája következik be (elsősorban a IIA és IIB típus).

Az izom anaerob enzimeinek - kreatin- kináz (CK) és miokináz (MK) - aktivitásának változását mutatja 6 illetve 30 másodperces maximális erő kifejtésű anaerob tréning után. **G020**

- Sprintedzés esetén az ATP-PCr rendszer enzimeinek aktivitásnövekedést mutatnak.

- Emellett a mitokondriális enzimeknél is hasonló tendencia figyelhető meg.
- Az izomrostok közül a IIA típusú rostok aránya növekszik.

15. képernyő cím: A laktát-küszöb változása edzés hatására

A szervezetben felhalmozódott laktát jelentős mértékben befolyásolja a teljesítményt. Minél magasabb a laktát- küszöb, annál jobb az aerob teljesítőképesség. Az ábrákon jól látszik, hogy állóképességi edzést végző egyén vérében később kezd emelkedni a laktát szintje, ennek megfelelően jobb a teljesítőképessége. **G021**

16. képernyő cím: A kifáradás

Egy fizikai tevékenység velejárója, hogy a szervezet előbb vagy utóbb, de nem képes a terhelést ugyanolyan intenzitással végezni - kimerül. A fáradás fokozatosan jelentkezik, az izomkontrakciók ismétlődésével.

A fáradásnak két formája van: centrális és perifériális.

Centrális fáradás esetén a központi idegrendszer felől jövő impulzusok frekvenciája csökken.

Lehetséges okai:

- hypoglikémia (elsősorban hosszabb igénybevétel esetén);
- dehidráció;
- hipertermia;
- katekolaminok, szerotonin megnövekedett szintézise.

Hisztokémiai eljárással láthatóvá tett glikogén az izomrostban. FT = fast-twitch rost **G022**

A perifériális fáradás magában az izomban vagy az ideg-izom kapcsolatban (neuromuszkuláris junkció) bekövetkezett változásokra vezethető vissza.

Okai:

- a működő izom esetén megnő az extracelluláris K^+ koncentráció, aminek következtében

csökken a szarkolemma ingerelhetősége;

- az ACh szintézise és felszabadulása kisebb mértékű;
- a PCr elhasználása;
- a citoszolban lévő Ca^{2+} koncentráció csökkenése;
- a laktát és a H^+ felhalmozódása (elsősorban 30 percnél rövidebb idejű terheléskor).

Rövid idejű terhelés esetén az anaerob glikolízis következtében laktát és H^+ képződik. A sejtek pufferkapacitásuk révén (HCO_3^-) képesek a pH-t 6,4 és 7,1 között tartani. Azonban ha az intracelluláris pH 6,9 alatt van, a glikolízis és ATP termelés mértéke csökkeni fog.

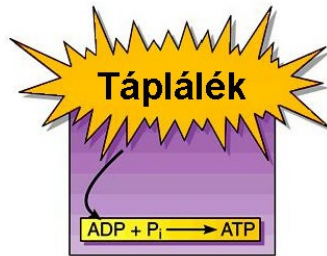
Ha a pH eléri a 6,4-et, a glikolízis leáll - kifáradás. Elsősorban az izom pH az, ami befolyásolja a teljesítőképességet. **G023**

17. képernyő cím: A szervezet terhelés utáni oxigénszükséglete (EPOC)

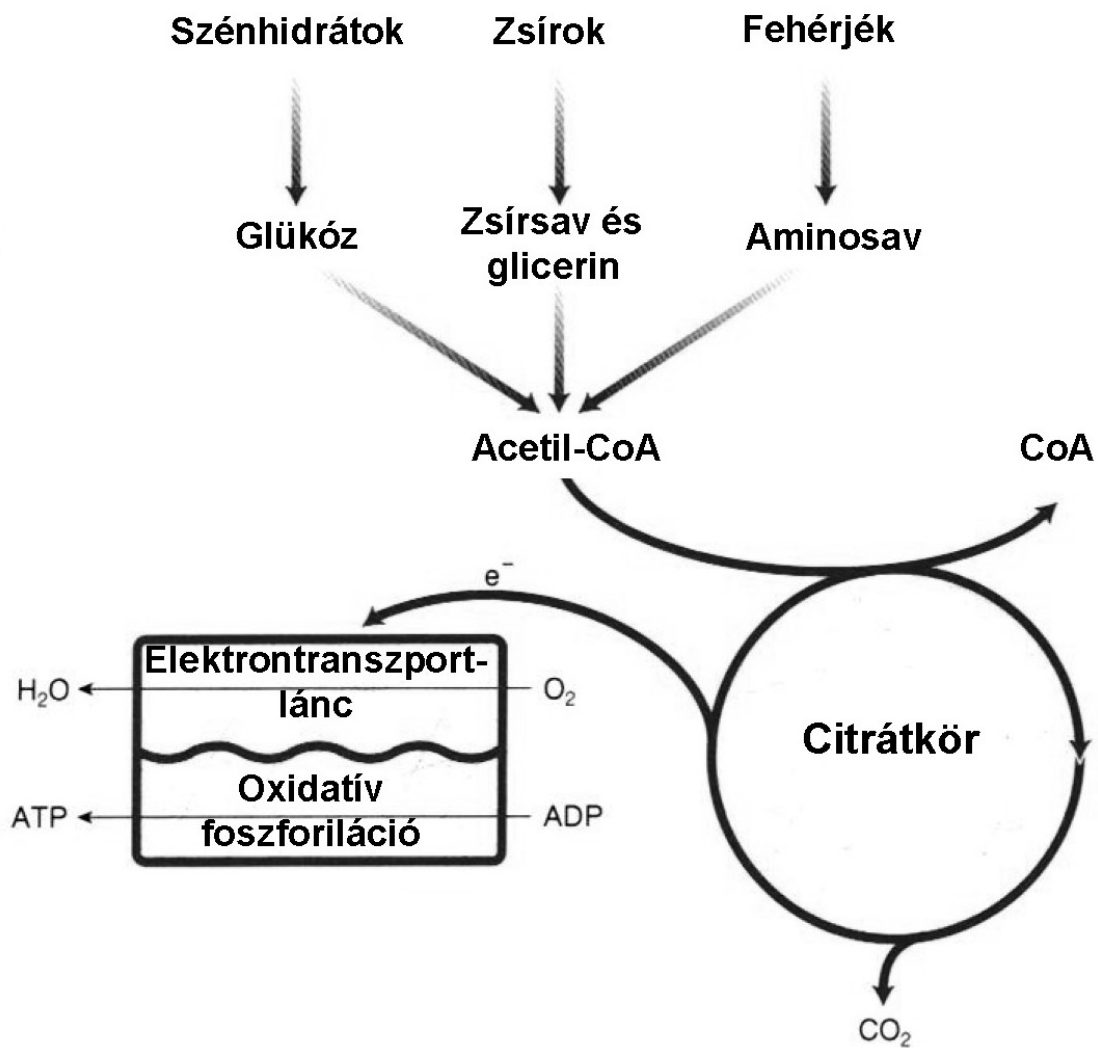
A fizikai aktivitás befejezése után nem tér vissza rögtön az oxigénfelvétel az eredeti (nyugalmi) szintre, habár a munkavégzéshez aerob úton nyert energia előállítása már nem szükséges. A nagyobb oxigénfogyasztás többek között az energiaraktárak (ATP-PCr) helyreállításához, a felhalmozódott laktát eltávolításához elengedhetetlen. A katekolaminok jelenléte és a magasabb testhőmérséklet is hozzájárul a magasabb oxigénfelvételhez. **G024**

Képgyűjtemény:

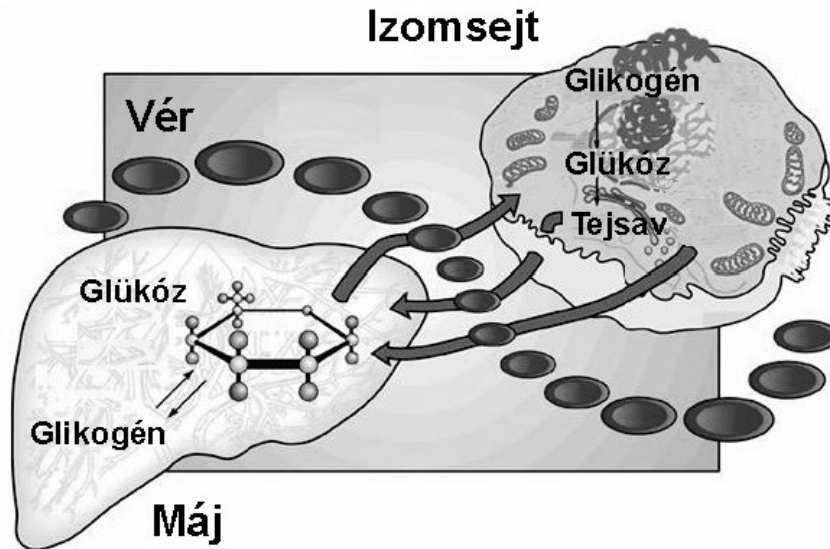
- G001



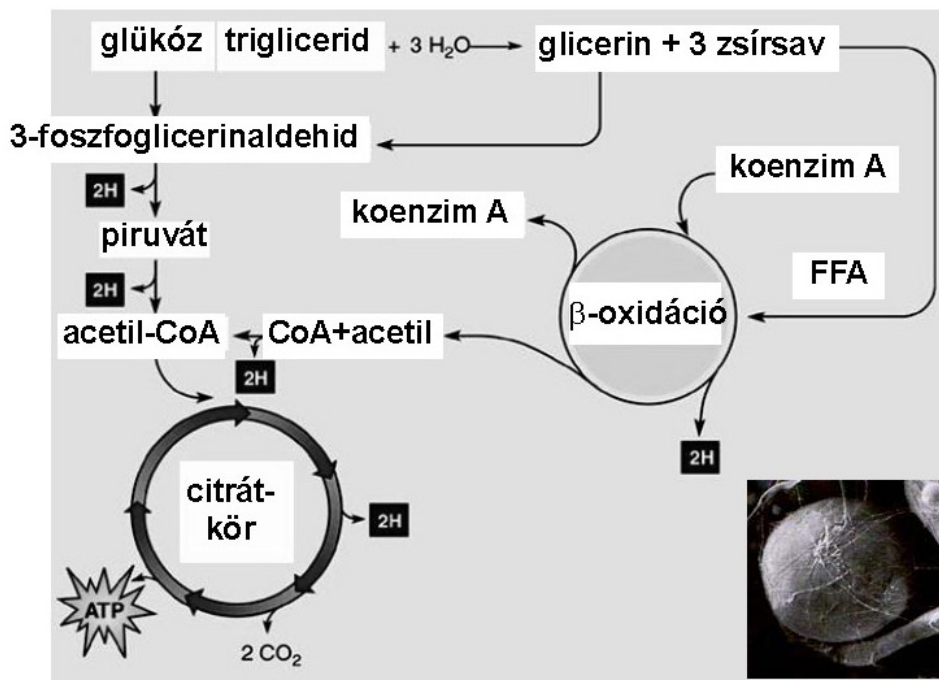
- G002



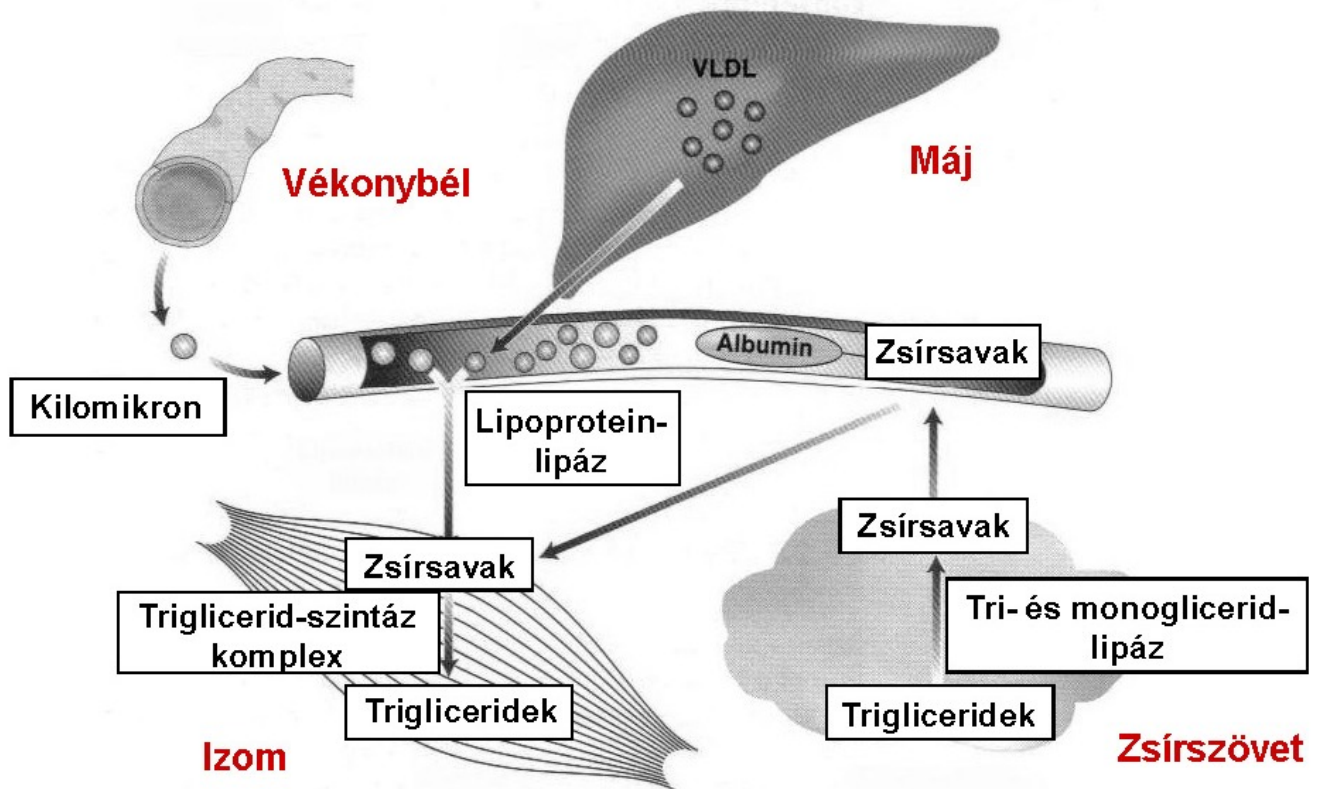
- G003



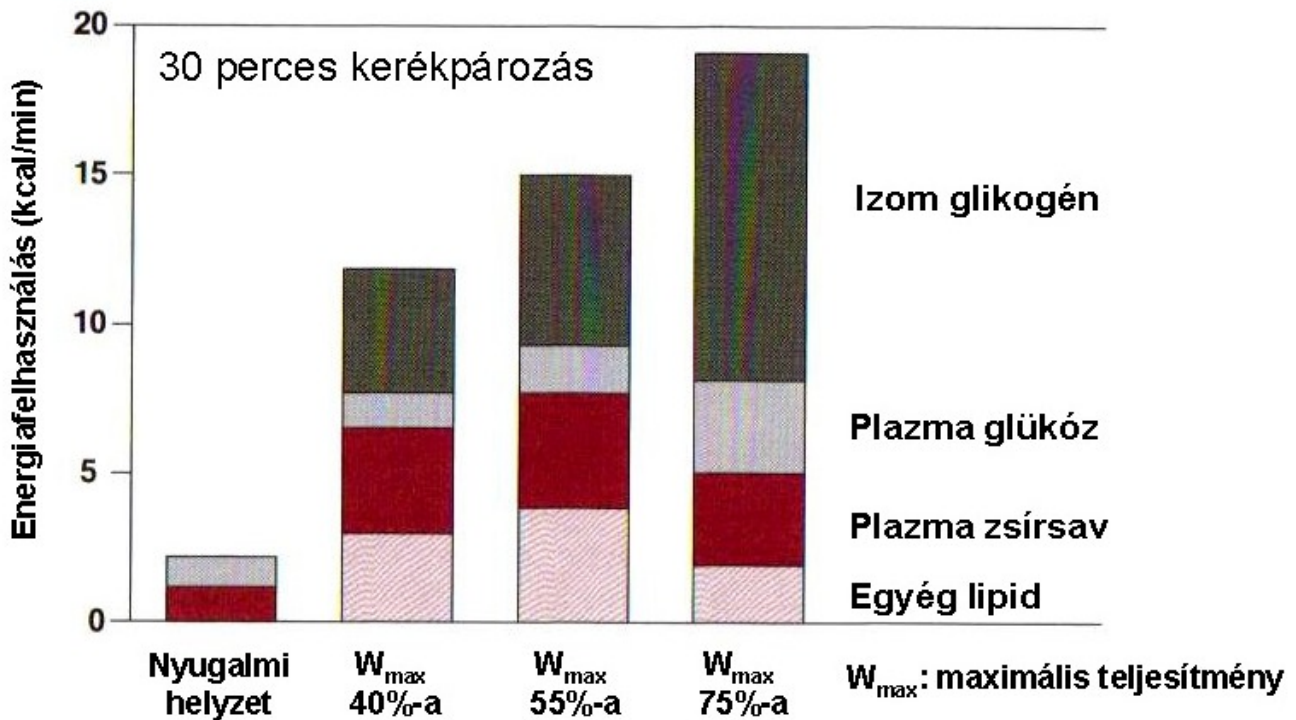
- G004



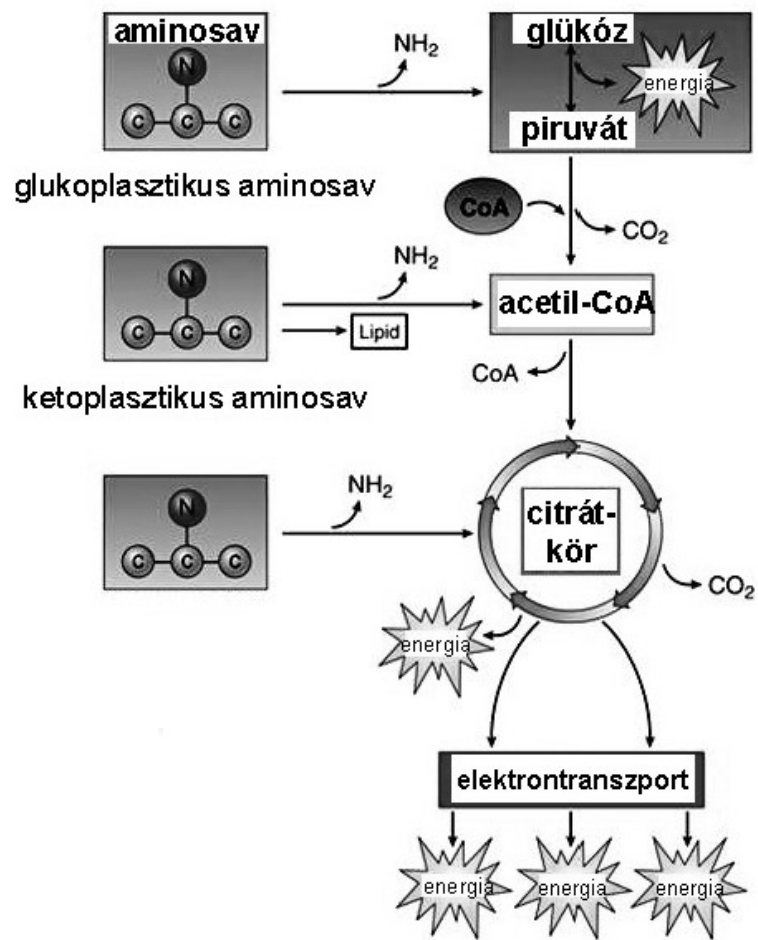
• G005



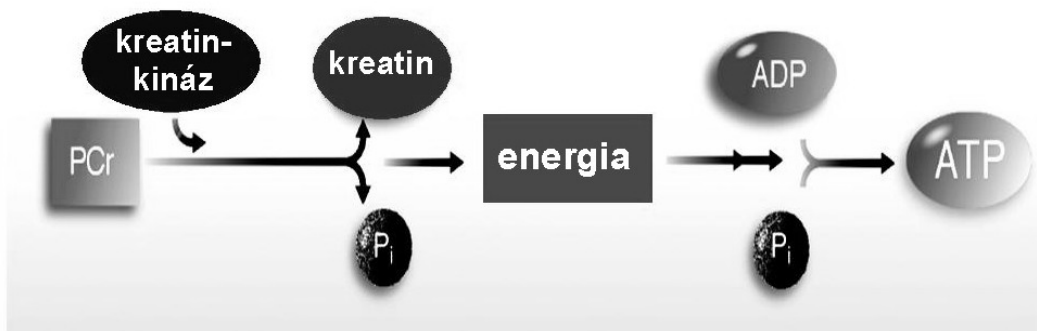
• G006



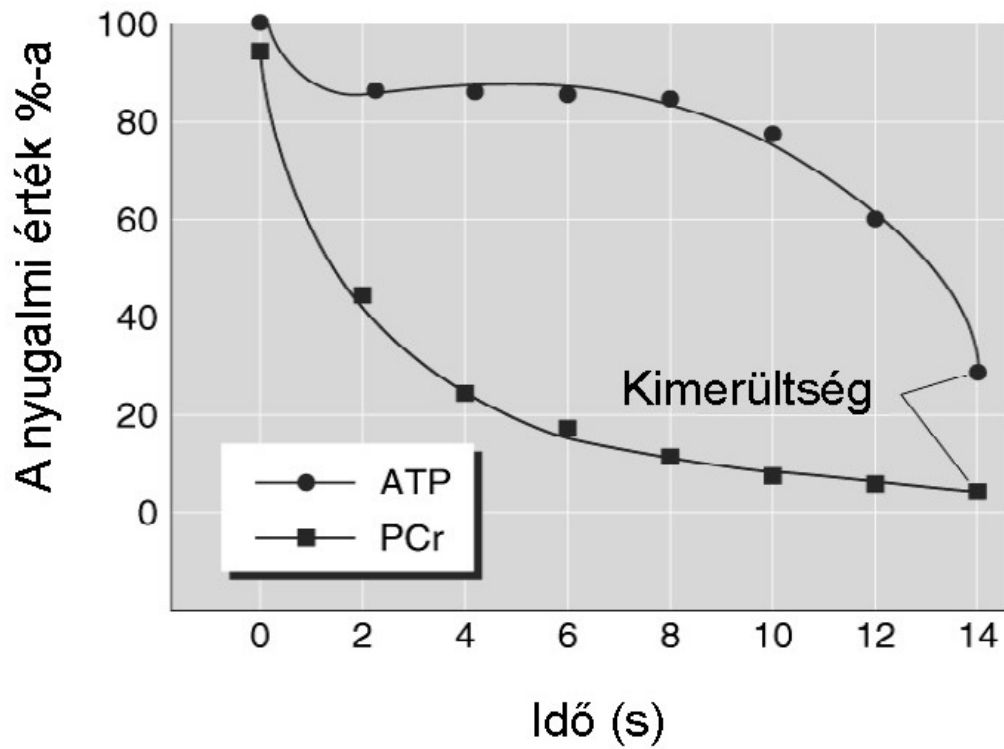
- G007



- G008



• G009

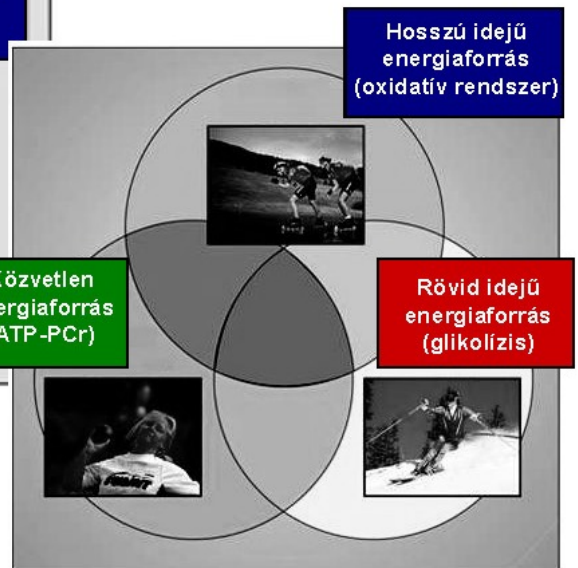
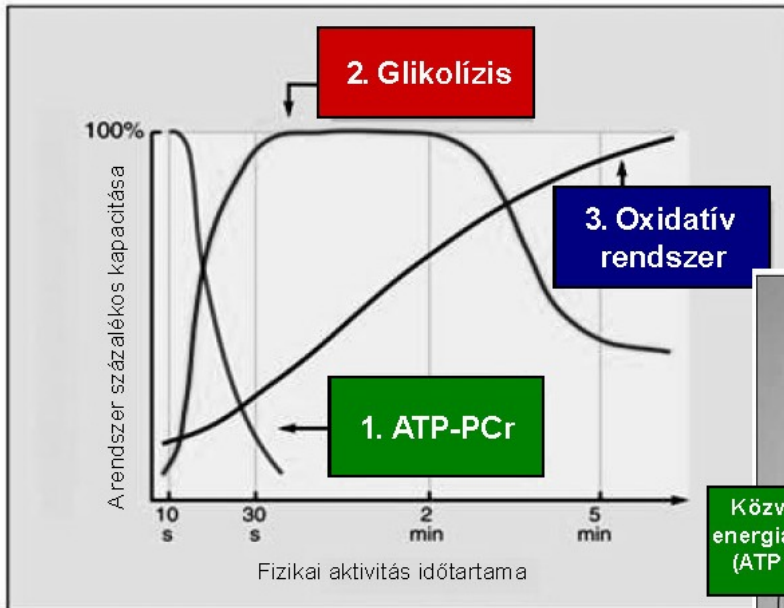


• G010

Forrás	Menny. (mmol)	ATP hozam (mmol)		ATP újratemelés max. mértéke (mmol/kg/s)	
		Anaerob	Aerob	Anaerob	Aerob
Izom ATP	168	168	–	–	–
Izom PCr	560	560	–	2.6	–
Izom glikogén Máj	2,160 ^a	6,480	66,960	1.5	0.5
glikogén Miocelluláris	556 ^a	1,112	16,680	0.2	0.1
triglicerid Zsírszövet	163	–	58,680	–	0.3
triglicerid	11,628	–	4,186,080	–	0.2

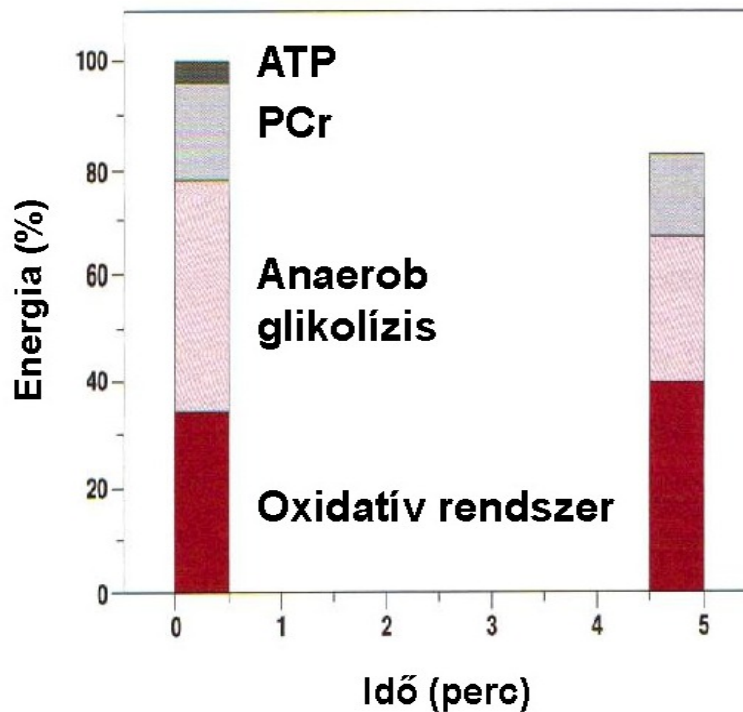
^a glükózil egységenként

• G011

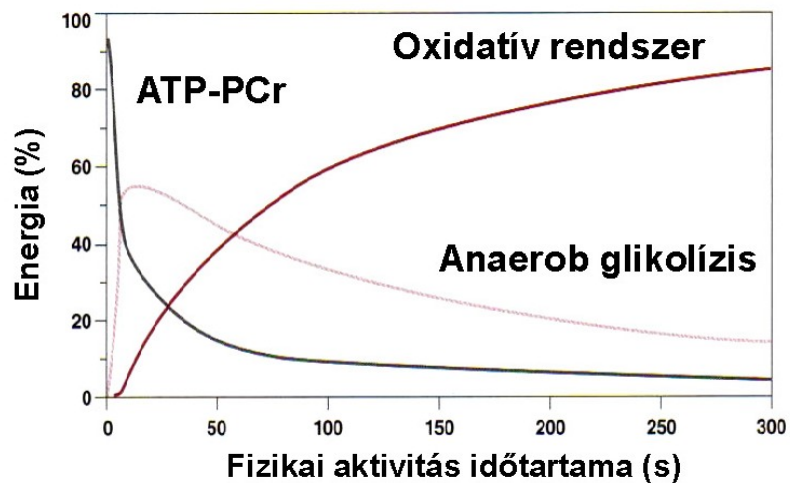


1. Közvetlen energiaszolgáltató: ATP-PCr rendszer
2. Rövid időtartamú energiaforrás: laktát-rendszer (glikolízis)
3. Hosszú időtartamú energiaszolgáltatás: oxidatív rendszer

• G012



• G013

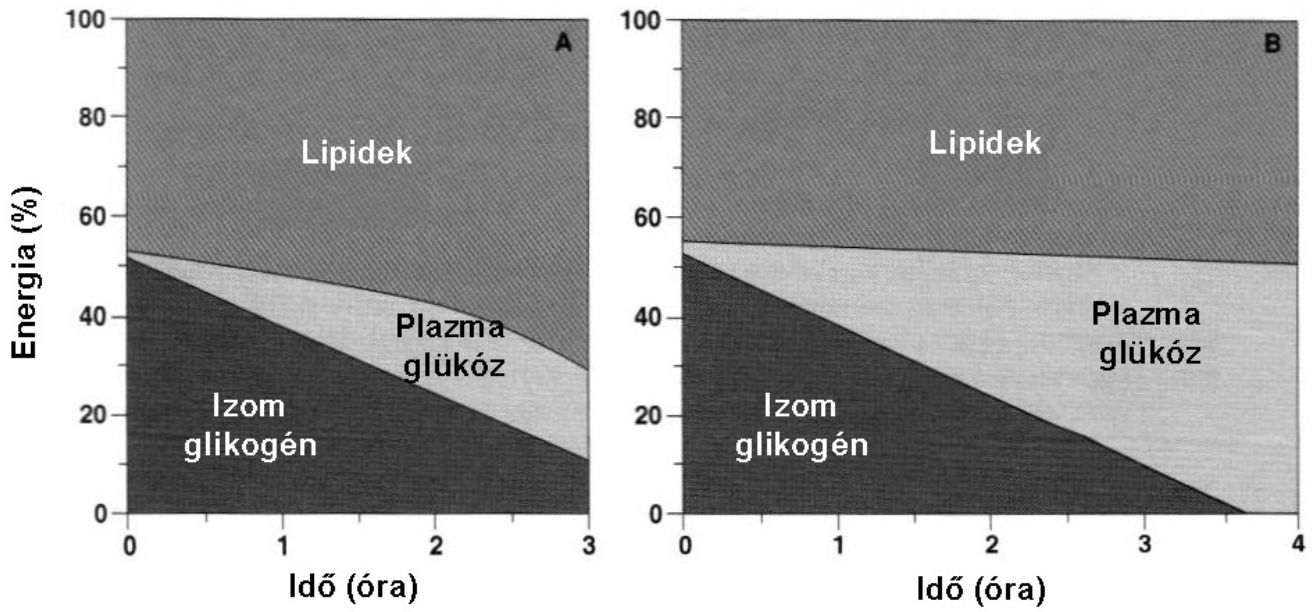


• G014

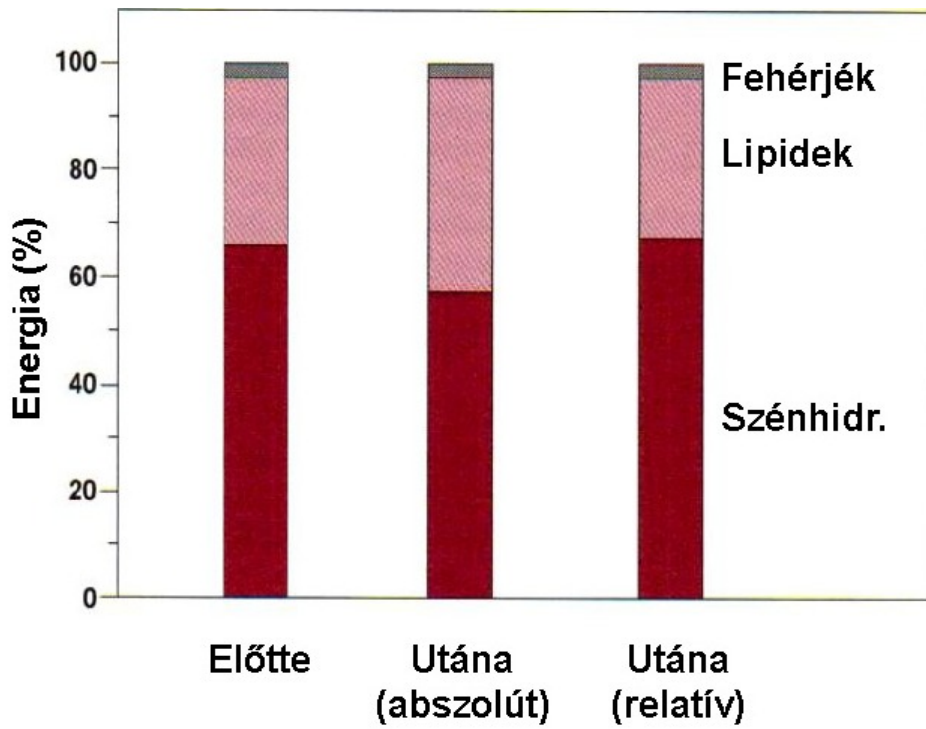
Távolság (m)	Idő (s) ^a	Seb. (m/s)	Energiarendszerek megoszlása (%) ^b		
			ATP-PCr	Laktát	Oxidatív
100	9.77	10.24	39	56	5
200	19.32	10.35	30	55	15
400	43.18	9.26	17	48	35
800	101.11	7.91	9	33	58
1,500	206	7.28	4	20	76
5,000	759.36	6.58	1	6	93
10,000	1,582.75	6.32	1	3	96
42,195	7,538	5.60	0	1	99

^a Férfi világrekordok; ^b Az előző ábra alapján kalkulálva

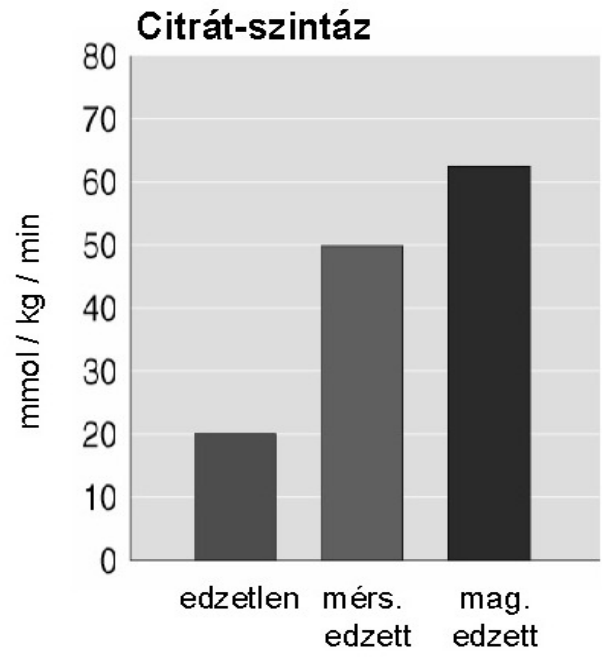
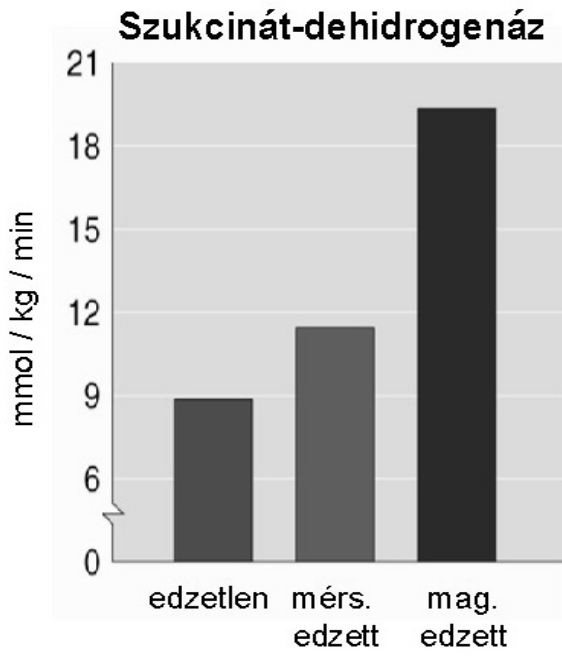
• G015



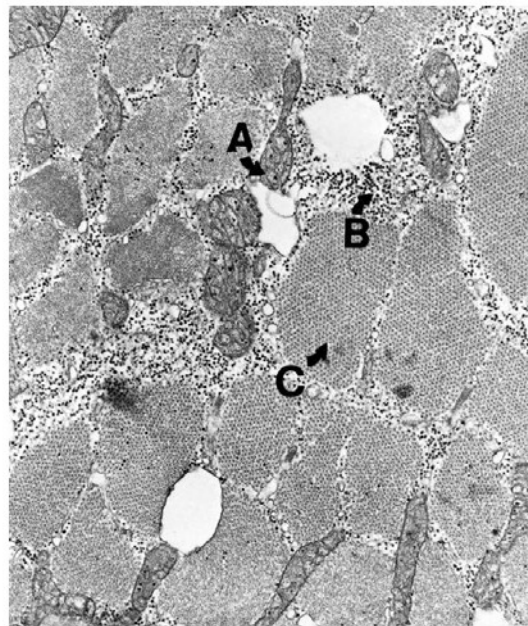
• G016



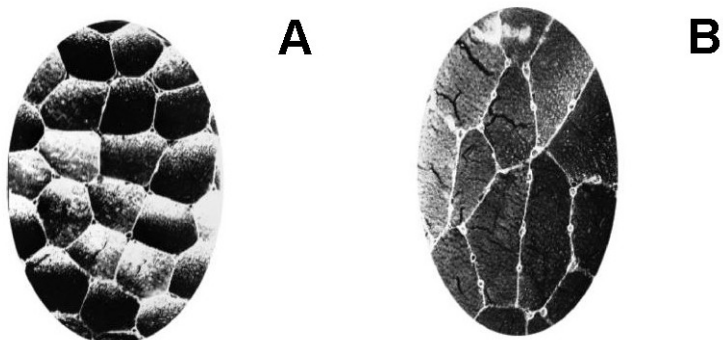
• G017



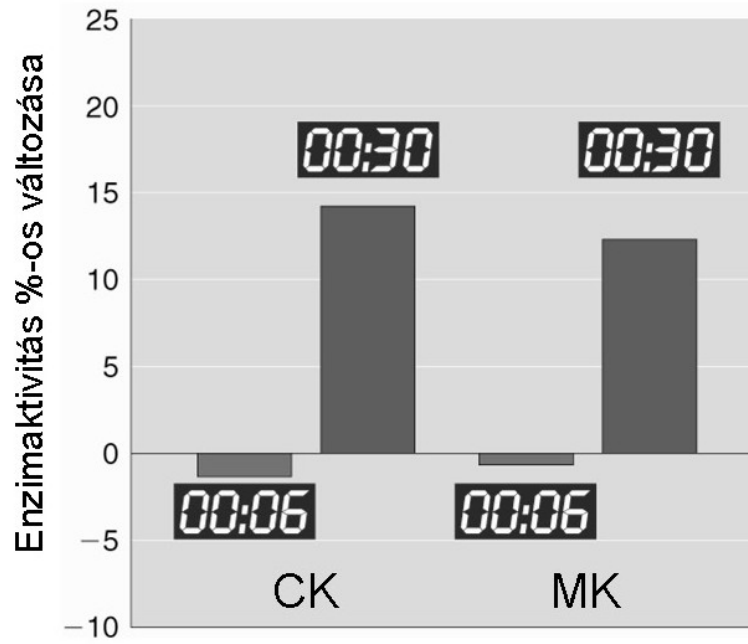
• G018



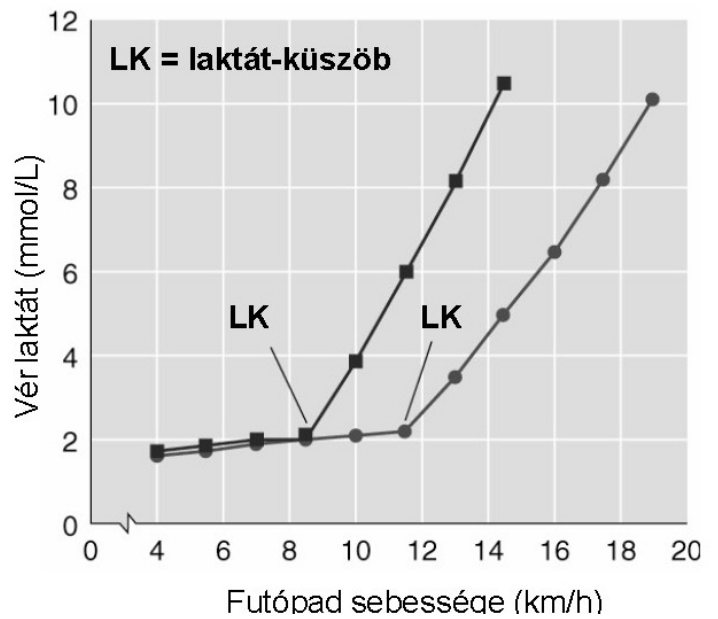
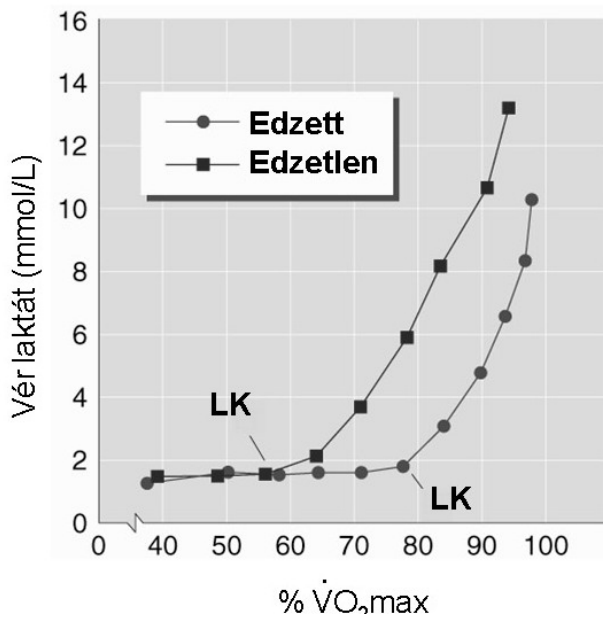
• G019



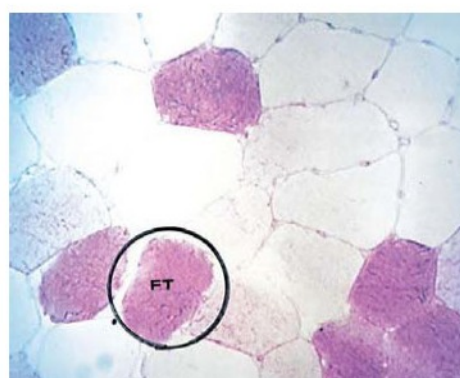
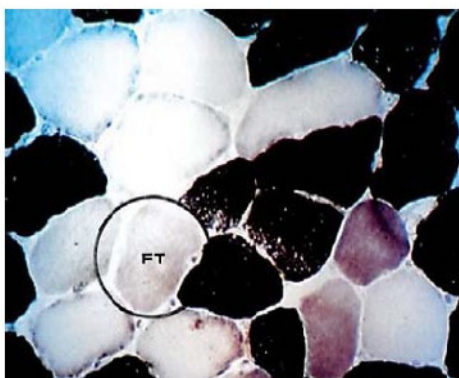
- **G020**



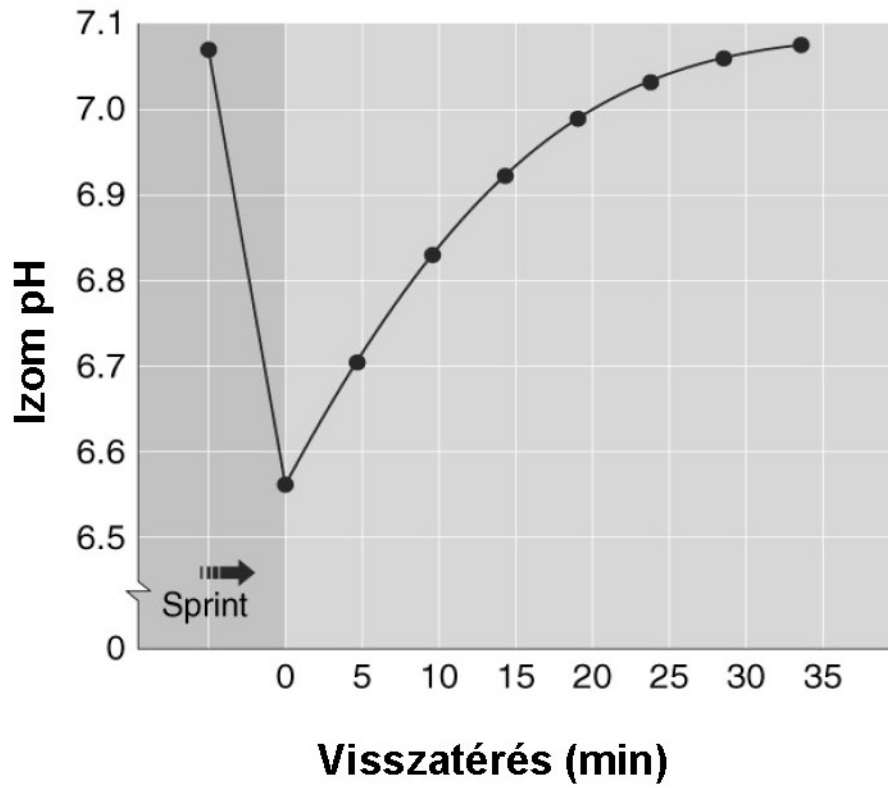
- **G021**



- **G022**



- G023



- G024

