

Izomműködés élettana

Harántcsíkolt izomszövet:

Sokmagvú izomrostokból állnak, melyek *hosszirányban* párhuzamos lefutásúak.

Az izomrostok többmagvú szincíciumok, amelyek az egyedfejlődés során kicsi, egymagvú sejtek, a mioblasztok fúziójával jönnek létre.

Az izomrostokat myofibrillumok, a miofibrillumokat kontraktilis filamentumok építik fel. A myofibrillumok szarkomerekből épülnek fel, ezek a harántcsíkolt izomrost funkcionális egységei. A szarkomeren belül a kontraktilis filamentumok nagyfokú rendezettsége miatt sötét és világos csíkok váltják egymást.

A sötét anizotróp csík vas-haemetoxylinnal jól festődik, míg a világosabb, izotróp csík kevésbé. Az izomrost számos, pálcika vagy ovális alakú periférikus sejtmagot tartalmaz. Az izomrostok sejtmagjai közvetlenül a plazmamembrán, a sarcolemma alatt helyezkednek el.

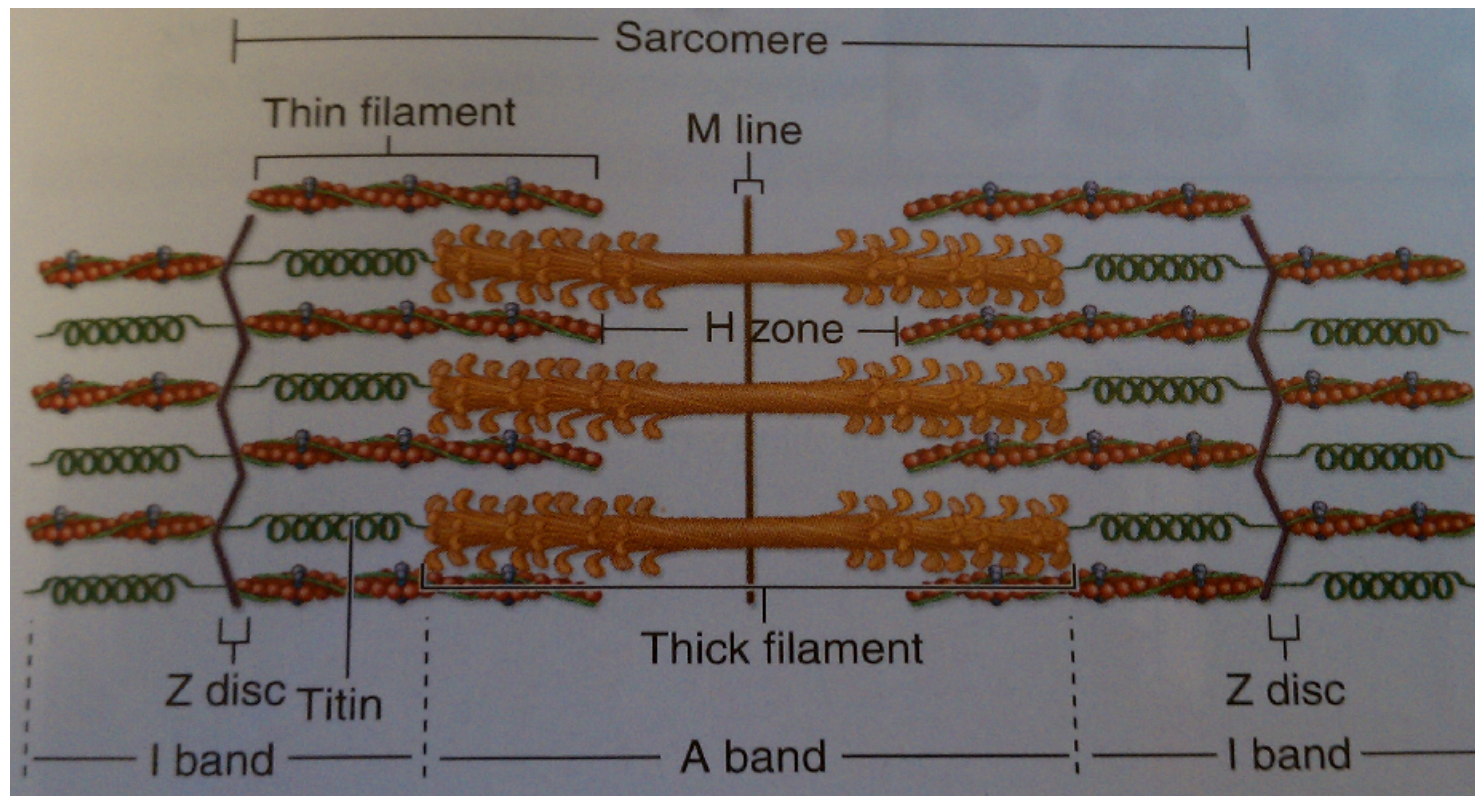
I csíkban csak aktin filamentumok vannak.

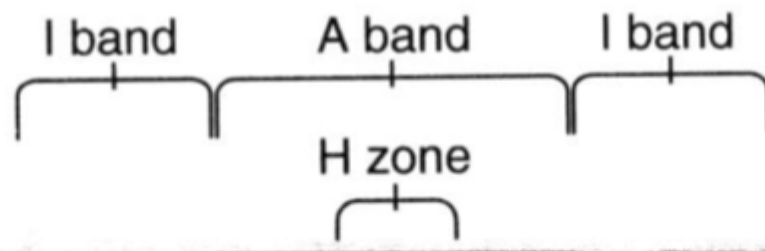
Z lemez: alfa-aktinint és más aktinkötő fehérjéket tartalmaz, a két szomszédos szarkomer világos, I csíkját választja ketté.

A csík: aktin filamentumok és a miozin filamentumok fedésbe kerülnek,

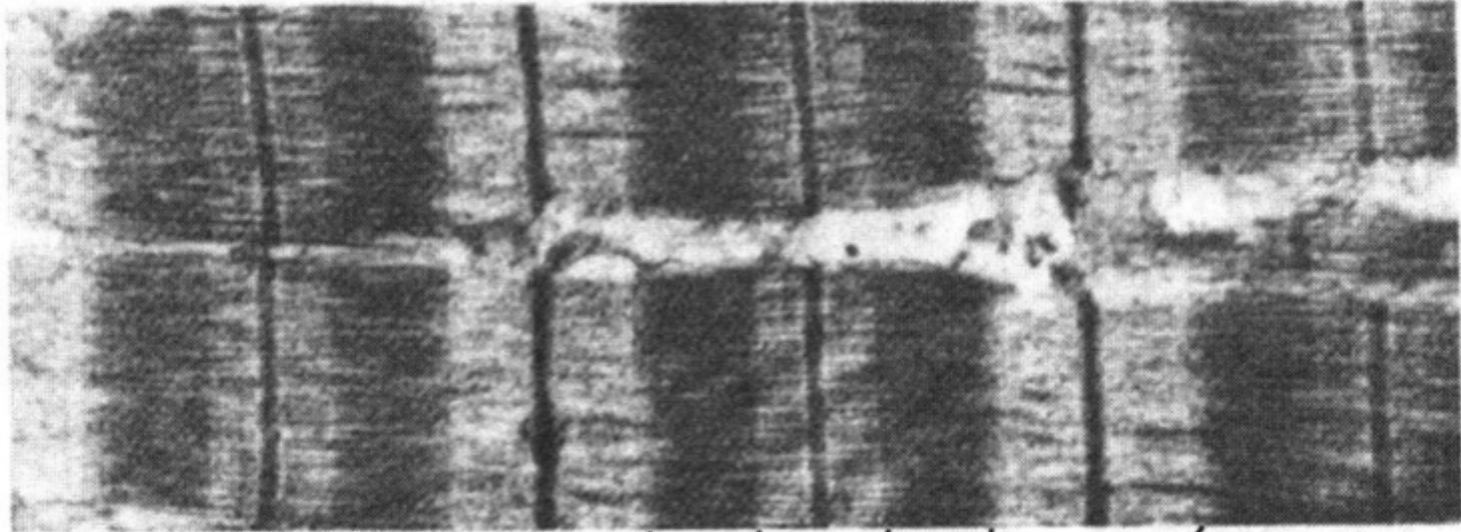
H csík: A csík közepén világos rész ahol csak a miozin filamentumok látszanak

M csík H csík közepén EM-pal látszik csak, ahova a miozin filamentumok kapcsolódnak.

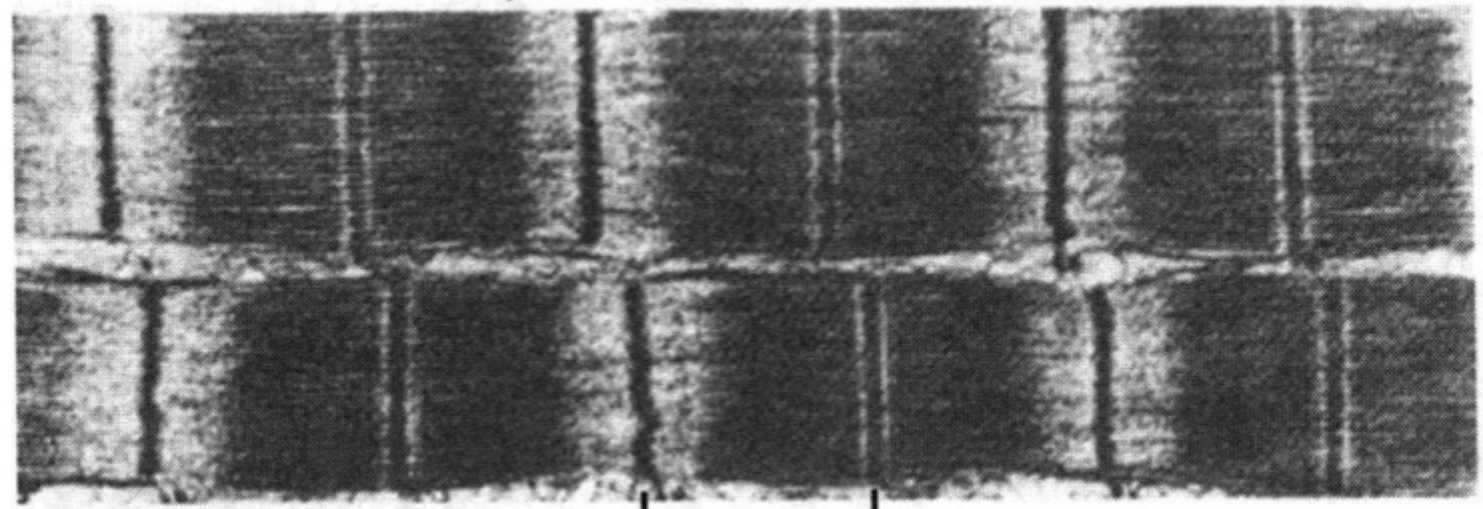




A



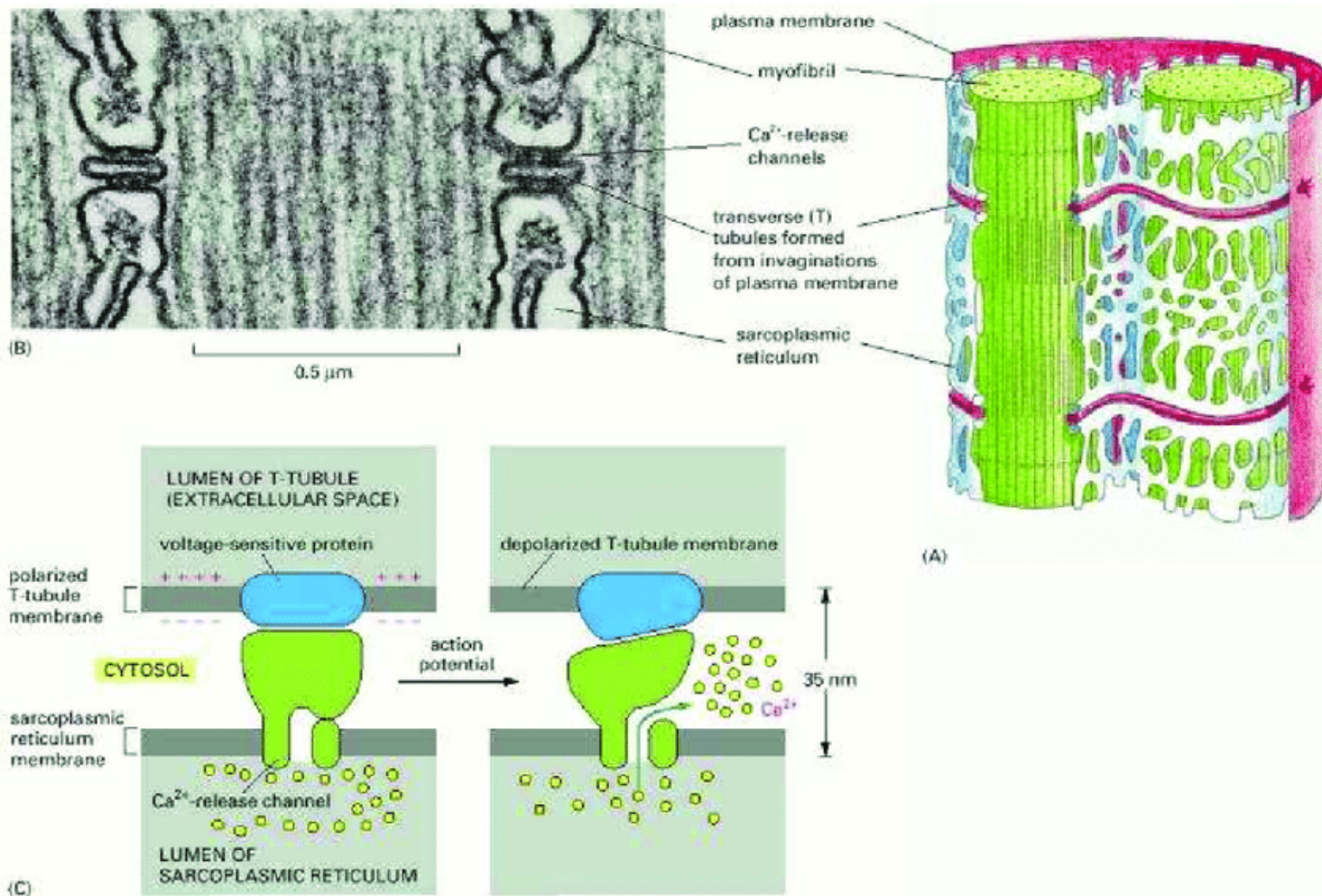
B



Z line

M line

Szarkoplazmatikus retikulum



A szarkoplazmatikus retikulum sematikus rajza és elektronmikroszkópikus képe.
(from Molecular Biology of the Cell, 3rd Edition, Alberts et al., 2002).

Izomkontrakció folyamata:

Kontraktilis filamentumok:

- Aktin
- Miozin

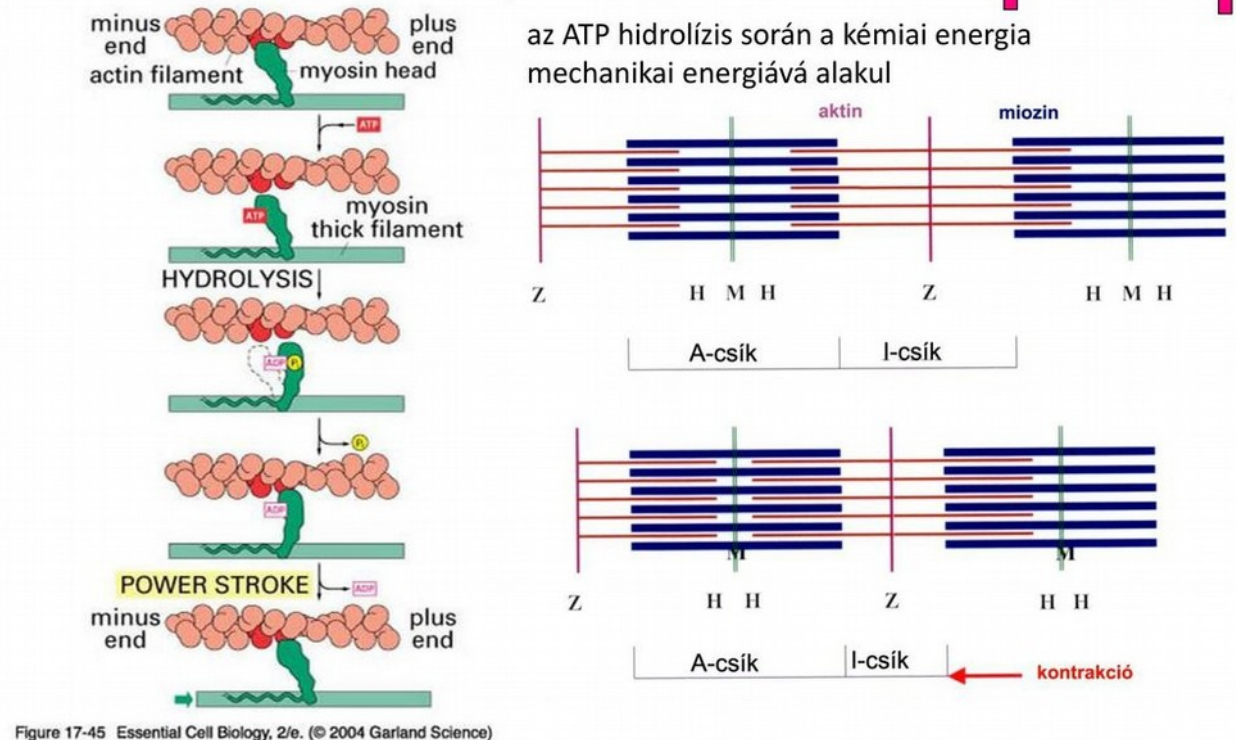
Szabályozó elemek:

- Tropomiozin: kettős hélix, aktin filamentek között helyezkedik el. Nyugalmi állapotban megakadályozza a miozin fejek és az aktin közötti kapcsolat kialakulását.
- Troponin: aktin filamenthez kötődő 3 alegységből álló komplex
 - Troponin T (**TnT**) – troponin komplex aktinhoz és tropomiozinhoz rögzítése, Troponin I (**TnI**) – ATPáz gátló, Troponin C (**TnC**) – Ca^{2+}

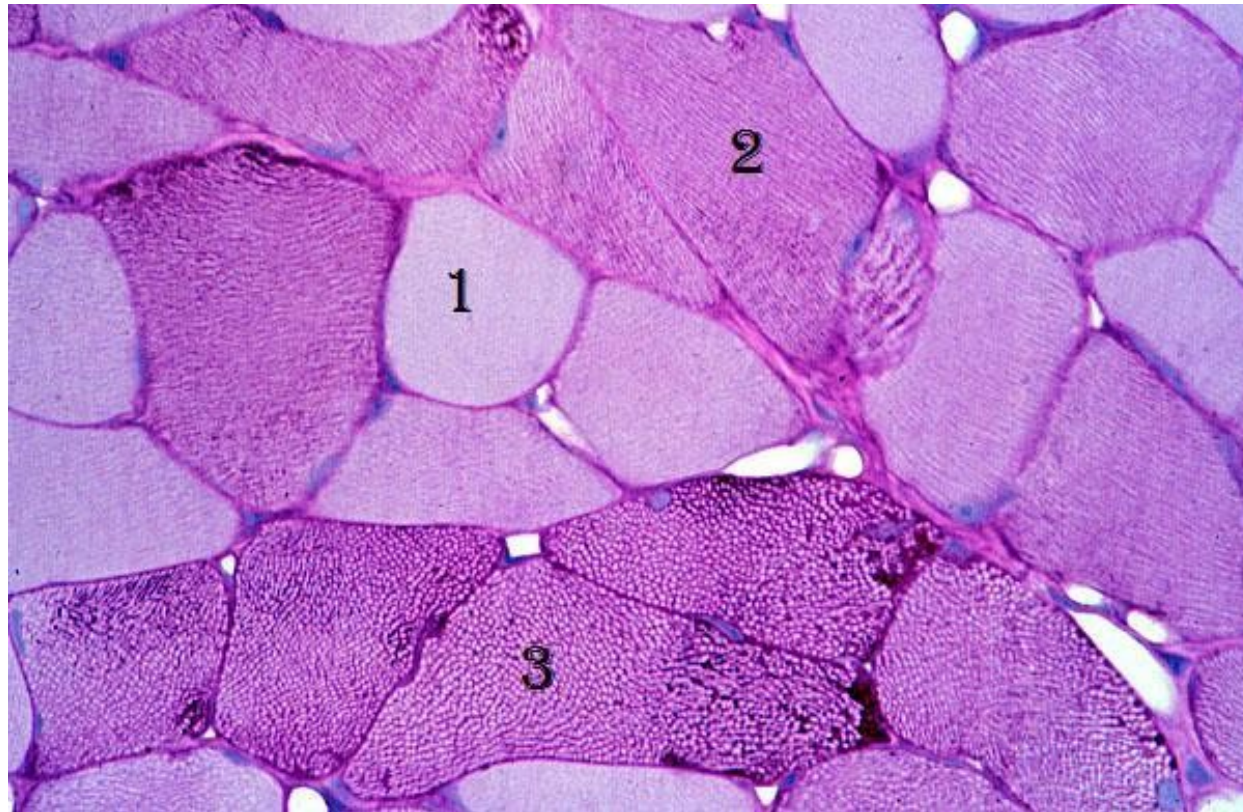
Csúszófilamentum elmélet:

- az A-csík változatlan, míg az I-csík rövidül
- nem változik sem az aktin, sem a miozin filamentumok hossza
- az aktin és miozin elcsúszik egymáson
- minél nagyobb az átfedés, annál nagyobb feszülés
- az elcsúszást a filamentumok közötti kereszthidak elmozdulása okozza
- a kontrakciót a SR-ból felszabaduló Ca^{2+} ionok indítják be
- a sejtmembrán ingerületét a z-lemezeknél betüremkedő T-tubulusok juttatják a SR-hez

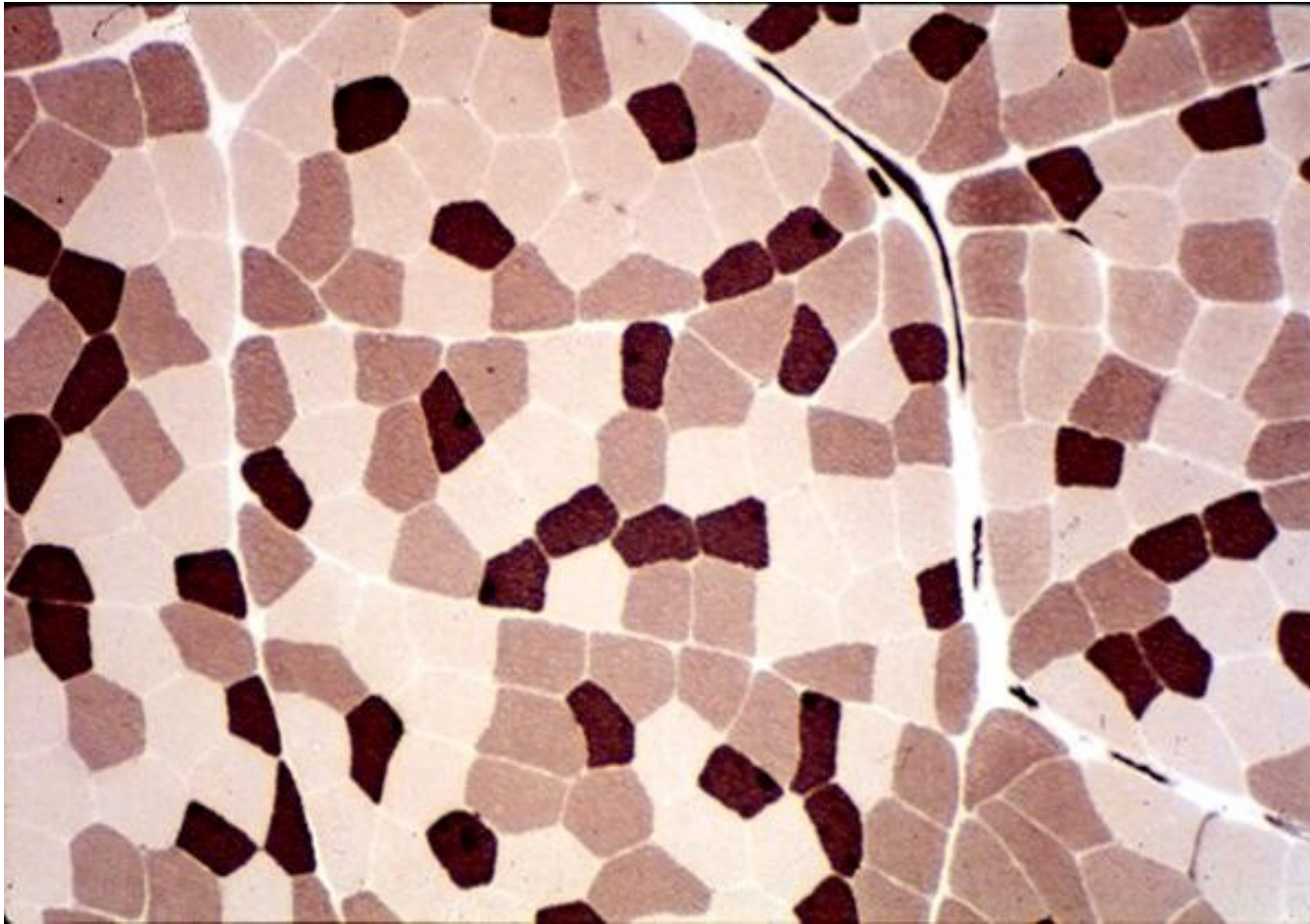
A kontrakció mechanizmusa Csúszó filamentum teória



A vázizomszövet rostjainak átmérője, színe különbözik egymástól. Leglátványosabb különbség a vörös és fehér izom rostok között figyelhető meg. A vörös rostok vagy lassú rostok vérellátása jó, viszonylag sok pigmentfehérjét, myoglobint tartalmaznak, szemben a fehér vagy gyors rostokkal, amelyeknek a myoglobin tartalma alacsony.



1. gyors izom, 2 kevert izom, 3 lassú izom



Mitokondriumok mennyiségét kimutató antitesttel készült festés: világos rostok az anaerob anyagcserét folytató gyors izmok, sötétek az aerob anyagcserét folytató lassú, kitartó izmok.

Izom anyagcsere:

Glükózt főleg saját glikogén raktáraiból és keringésből nyeri.

Glikogén raktárak kimerülésekor: más szövetekből származó glükózt, májból származó glikogént, zsírsavakat a zsírszövetekből és keton testeket májból tud felhasználni.

Preferált energianyerés: glikolízissel, gyors izmokban glükózból tejsav, amit lassú izmok, agyi illetve szívizmok használnak fel, vagy a májban a Cori cikluson keresztül visszaalakul glükózzá.

Lassú izmokban és szívizomban a glükóz komplett oxidációja zajlik.

Vázizmok működése 1000x-re növelheti akár az energiafelhasználást az alapanyagcsréhez képest.

ATP raktározás nem jelentős, emiatt az izomműködéshez folyamatos ATP utánpótlás szükséges.

Az izomműködéshez a metabolizmust és a sejten belüli reakciókat kell összehangolni:

miozin – actin kötődések kialakulási rátája

metabolizmus végtermékeinek elszállítása

extracelluláris források mobilizálása

Bármelyik folyamat zavara akadályozza a folyamatos izomaktivitást, és kifáradáshoz vezet.

Izmok glükózzal ellátása:

Ha izomműködésre kerül sor, először vér adrenalin szintje megemelkedik.

Szimpatikus idegrendszeri aktivitás: adrenalin felszabadulás. Adrenalin blokkolja az inzulin felszabadulást.

Adrenalin növeli az izmokban a glikogén lebontást.

A megnövekedett glükóz igényt inzulin antagonistá hormonok: GH, adrenalin, glukagon, kortizol hatására, glikogén bontás, glükolízis, lipolízis biztosítja

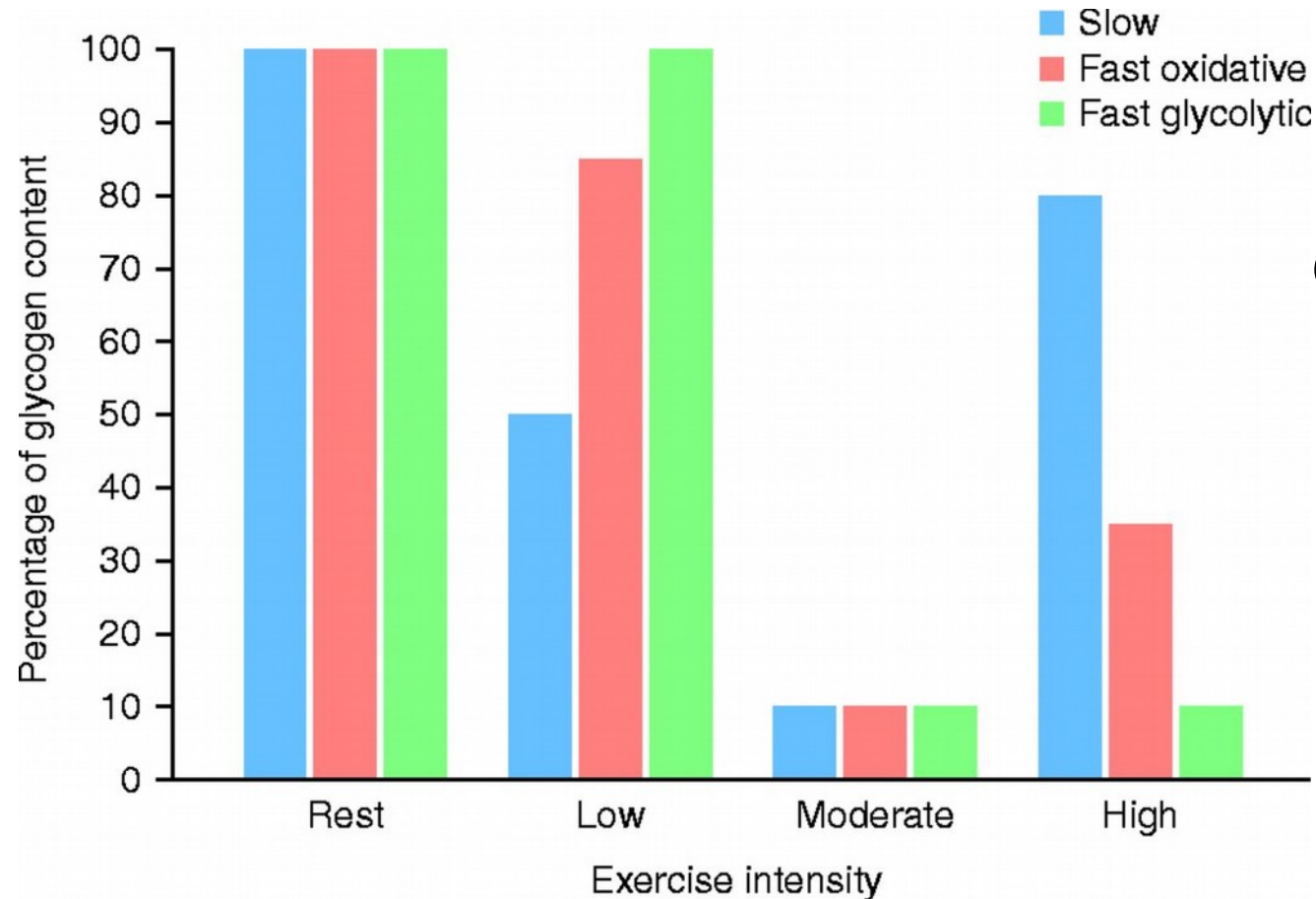
Izomban nincs glükoneogenezis.

Glikogén raktárak következő étkezéskor töltődnek fel.

Izomműködéskor zajló események:

- adrenalin szint nő, inzulin szint csökken.
- Izom inzulin érzékenysége nő.
- Kapillárisok nyitásával és a keringés fokozódásával glükóz és inzulin ellátottsága javul az izmoknak.
- Izomkontrakció inzulintól függetlenül is növeli a glükózfelvételt: növeli az izomsejteken a glükóz transzporterek számát.
- Ez a hatás a mozgás után órákig fennáll.

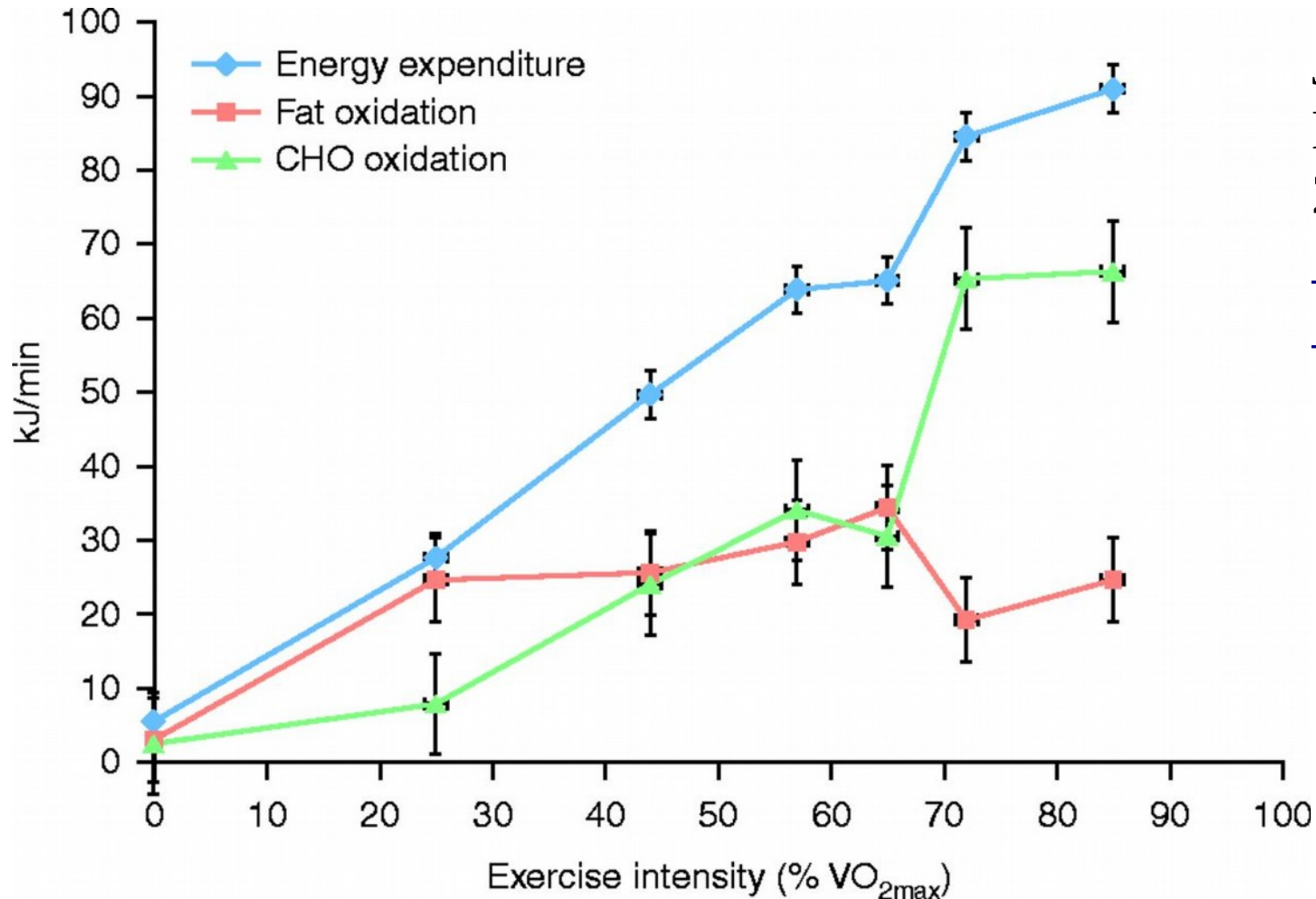
Glikogén- és zsírraktárak felhasználása különböző típusú izommunka során



Glikogénfelhasználás

Zsír felhasználás mérése nehéz.

Izotópos mérések alapján alacsony és közepes intenzitású mozgás során magasabb a zsír felhasználás, mint erőteljesebb intenzitásnál.



Journal of
Endocrinology
224, 2;
[10.1530/JOE-14-0408](https://doi.org/10.1530/JOE-14-0408)

Mozgás endokrin rendszerre gyakorolt hatása

Adrenalin, noradrenalin felszabadulás:

mozgás intenzitásával együtt nő

edzettség csökkenti egy adott aktivitási szint kialakulásához szükséges adrenalin emelkedést.

Edzett embereknél a maximális teljesítmény eléréséhez magasabb adrenalin szint kapcsolódik mint nem edzett embereknél (viszont a maximális teljesítményük is nagyobb)

Nemi hormonok felszabadulása: (Atlétáknál végzett vizsgálat eredményei)

Tesztoszteron szerepe (férfiakban):

funkciói izomban: izomtömeg, izomerősség kialakítása, fenntartása, versenyzéshez fontos agresszió kialakítása, izomban Ca^{2+} csatornák mennyisége nő

funkciói gerincvelőben: a motoneuronok sejtteste, dendrithossza tesztoszteron hatására nő.

A neuromusculáris szinapszisban az ingerületátvitel hatékonysága nő a Ca^{2+} beáramlás növekedése következtében.

Mozgás növeli a tesztoszteron szintet, de például hosszútávfutóknál csökkent tesztoszteron szintet találtak.

Általánosan érvényes, hogy azoknál a sportoknál, ahol az energiabevitel korlátozva van, vagy sokszor lép fel energiahányos állapot ott a HPG tengely (hiptalamusz – hipofízis – GnRH) működése csökken, fertilitás csökken és nőknél menstruáció zavarok, akár a menstruáció elmaradása is fellép.

Cano Sokoloff, N., Misra, M., & Ackerman, K. E. (2016). Exercise, Training, and the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis in Men and Women. *Frontiers of hormone research*, 47, 27–43.

<https://doi.org/10.1159/000445154>

Mozgás idegrendszeri hatásai

Endorfin termelés növelése

Endorfinokat a hipotalamusz és a hipofízis szintetizálja elsődlegesen, de más szervek is képesek rá.

Segítenek megbirkózni a stresszel és fájdalommal.

Magas szintjük eufóriát okoz.

Ópiát receptorokon hatnak (ópiátokhoz hasonló, de kevésbé erőteljes hatásúak)

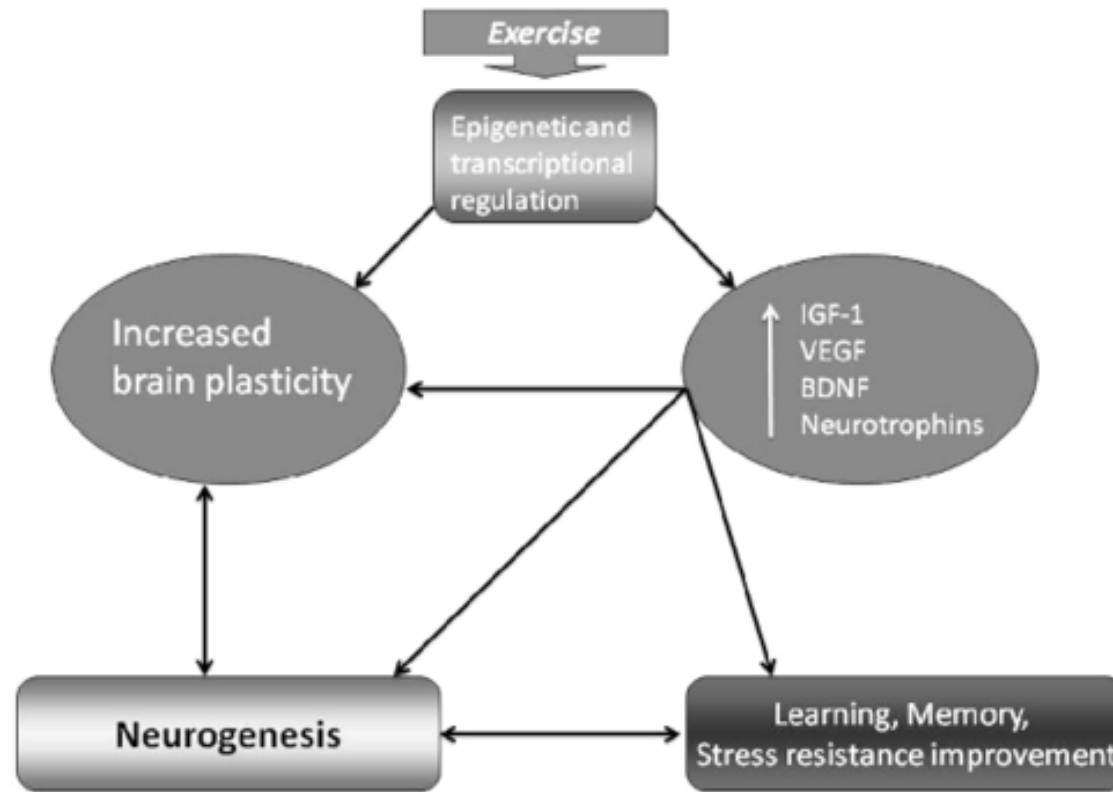
Élettani hatásukat a stresszhormonok és immunsejtek szintjének befolyásolásával illetve a fájdalomérzet blokkolásával váltják ki.

Endorfin termelést elősegítő tényezők:

Mozgás, jóga, meditáció, fűszeres ételek (kapszaicin), segítség - jótékonyság, 70%-os kakaó tartalmú csokoládé, nevetés

Testmozgás hatása az idegrendszerre:

Állatkísérletek	Humán eredmények
Hippocampusban neocortexben: új neuronok, szinapszisok és gliasejtek	Szürkeállomány növekedése frontális és hippocampalis régióban
Hippocampusban, neocortexben, kisagyban új erek	Vérátáramlás növekedése
Acetilcolin, szerotonin és noradrenalin rendszer modulációja	Neurotrofinok és növekedési faktorok szintje nő
Anyai motoros aktivitás utódokra is kedvezően hat.	Módosult neuronális hálózatok
	Jobb iskolai előmenetel
	Jobb kognitív képességek



Modell amely magyarázza a fizikai aktivitás kedvező hatásait az agyi aktivitásra:

A testmozgás transzkripción és epigenetikus hatásokon keresztül hat. Növeli az agyi plaszticitást és elősegíti új neuronok képződését.

Növeli IGF-1: Insulin-szerű növekedési faktor; VEGF: Vaskuláris endotelialis növekedési faktor; BDNF: agyi neurotrofikus faktor.

Memória javítása

Aerob testmozgás hat a hippocampusra.

Azon kevés helyek egyike az idegrendszerben ahol van sejtosztódás felnőtt korban.

Fittség növekedésével együtt új sejtek keletkeznek.

Mozgás pozitívan hat a memóriára és tanulási képességre.

Hosszú távú memória kialakítására pozitívan hat a mozgás (memóriatartalom formálása közben kell mérsékelt erősségű/stressz szint alatti mozgást végezni).

Koncentráció

Feladatok közötti 20 perc aerobik-stílusú mozgás segíti a koncentrációt, fókuszálást.

10 perc ügyességet – koordinációt igénylő feladat növeli a koncentrációt.

Iskola utáni délutáni sportaktivitás:

- növeli a koncentrációs képességet
- jobban tudják ignorálni a zavaró hatásokat,
- jobbak multi-tasking-ban
- könnyebben jegyezték meg a kapott instrukciókat
- könnyebben dolgozták fel a kapott információt

Kreativitás növelése:

20 perc séta “szárnyakat ad” a kreatív ötleteknek

Fizikai aktivitás hatása a gyerekek kognitív képességeire, idegrendszerére:

5-13 éves gyerekek vizsgálatánál úgy találták, hogy a fizikai aktivitás növeli azoknak az agyterületeknek a méretét, amelyek a komplex kognitív működéssel kapcsolatosak.

Annak ellenére, hogy a fizikai aktivitás szükséges az agy fejlődéséhez a jelenlegi eredmények az akadémiai előmenetellel ellentmondásos kapcsolatot találtak, legvalószínűbb, hogy az akadémiai előmenetelt nem befolyásolja.

Időskori kognitív leépülés késleltetése:

Heti 1-2 óra fizikai aktivitás különösen társaságban kognitív képességek megtartásában nagyon fontos.

Olyan aktivitásoknál is kimutatható a kognitív képességekre gyakorolt hatás, amelyeknél a fittség nem változik jelentősen.

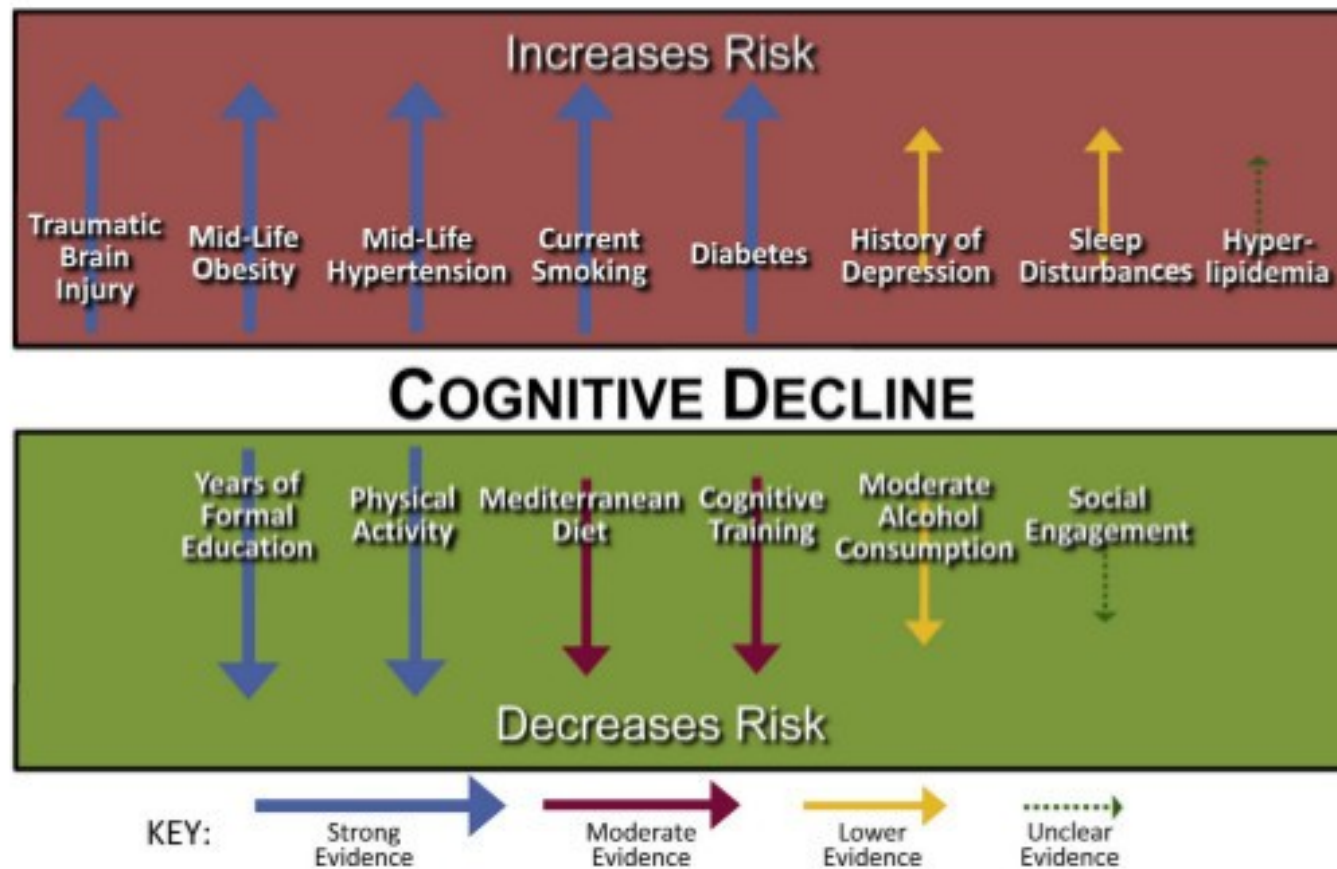


Fig. 1. Strength of evidence on risk factors for cognitive decline.

Kognitív leépülés rizikófaktorai: fejsérülések, kövérség, magas vérnyomás, cukorbetegség, dohányzás

Védőfaktorok: iskolázottság, fizikai aktivitás, mediterrán diéta, kognitív feladatok

Fizikai aktivitás és koplalás hatásai hasonlóan kedvezőek.

Exercise

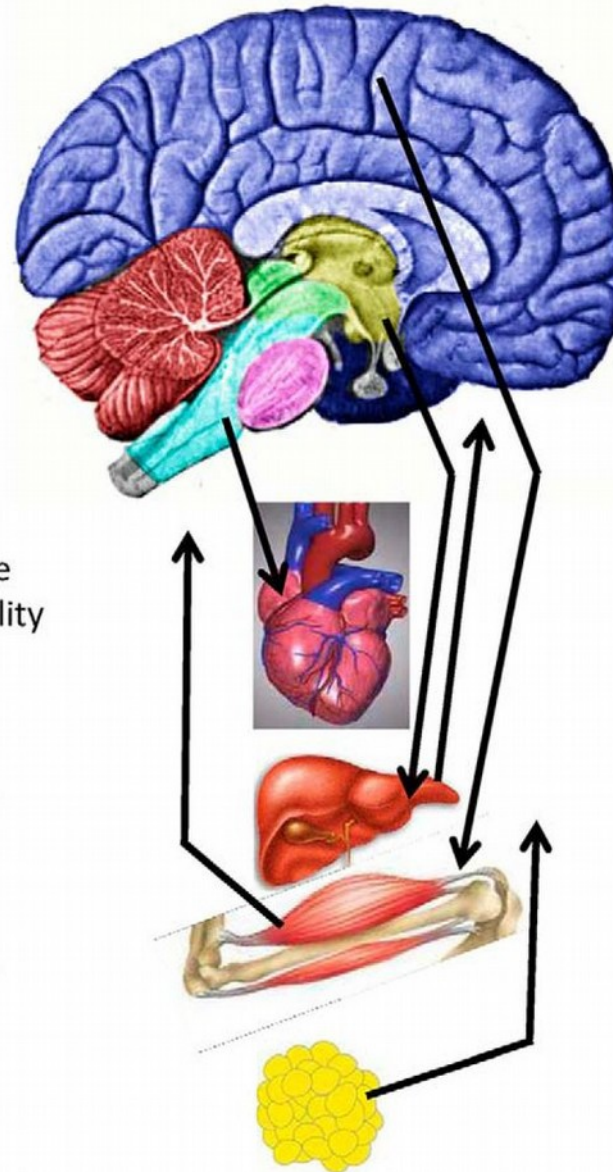
Neurogenesis
 Synaptogenesis
 Synaptic plasticity
 Cognitive function
 Motor function
 DNA repair
 Mitochondrial biogenesis
 Reduced inflammation

Decreased resting heart rate
 Increased heart rate variability
 Decreased blood pressure

Increased insulin sensitivity
 Ketone body production

Increased insulin sensitivity

Fatty acid mobilization
 Reduced inflammation



Intermittent Fasting

Neurogenesis
 Synaptogenesis
 Synaptic plasticity
 Cognitive function
 Motor function
 Reduced inflammation
 Enhanced autophagy

Decreased resting heart rate
 Increased heart rate variability
 Decreased blood pressure

Increased insulin sensitivity
 Ketone body production

Increased insulin sensitivity

Fatty acid mobilization
 Reduced inflammation

Praag et al. Journal of Neuroscience 2014, 34:15139-15149; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2814-14.2014>