



# TANÁRTOVÁBBKÉPZÉS 2026



**Az Európai Unió  
támogatásával**

Az Európai Unió finanszírozásával. Az itt szereplő információk és állítások a szerző(k) álláspontját képviselik, és nem feltétlenül tükrözik az Európai Unió vagy a Tempus Közalapítvány hivatalos véleményét. Sem az Európai Unió, sem a támogatást nyújtó hatóság nem vonható felelősségre miattuk. Ez a projekt az Erasmus+ KA210-SCH program támogatásával valósul meg.



**PÁZMÁNY | ITK**

# BIOLÓGIA

TANÁRTOVÁBBKÉPZÉS

2026

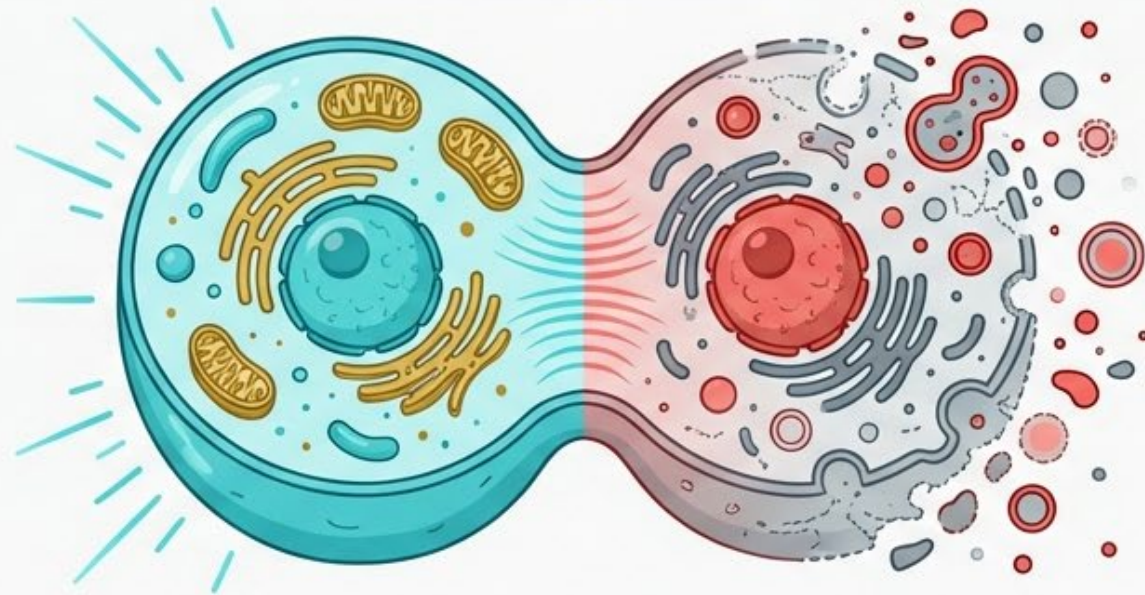
# ÖNEMÉSZTŐ FOLYAMATOK

# AVAGY NE EMÉSZD MAGAD

2026. 03. 11.

**NAGY ÁRPÁD**

*KÖZÉPISKOLAI TANÁR*

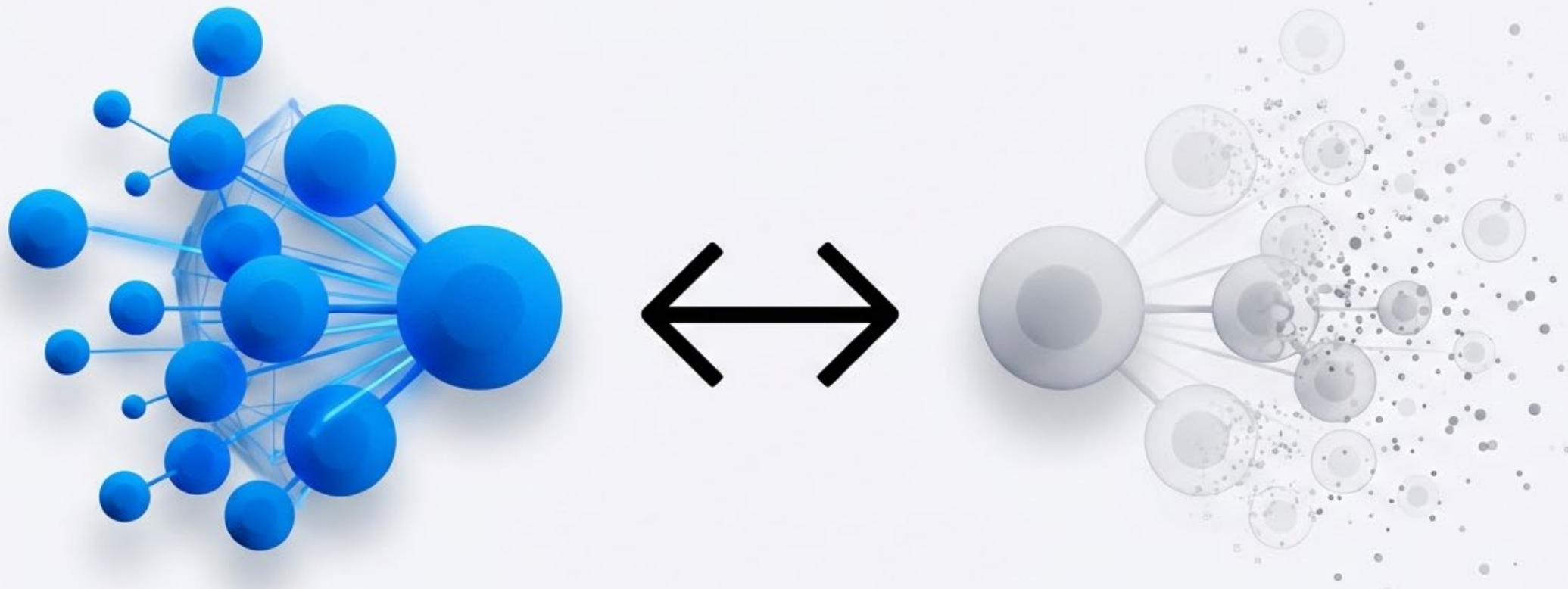


# Öneméztő Folyamatok: Élet a Halál Árnyékában

Avagy ne emészd magad: Hogyan tartja fenn az egyensúlyt a sejtpusztulás és megújulás?

# A Felfedezés Óriásai





## AZ ÉLET EGYENSÚLYA: HOMEOSZTÁZIS

**Sejtszám szabályozása:** Nem csak növekedés, hanem "tervezett fogyás" is.

**Sejtpusztulás (Mérleg másik serpenyője):**  
A felesleg eltakarítása.

**Sejtosztódás (Mérleg egyik serpenyője):**  
Meiózis, mitózis, amitózis.

**G0 fázis:**  
A nyugalmi állapot.

# HÁROM ÚT A VÉGHEZ (VAGY A KEZDETHEZ?)



## **Nekrózis**

Balesetszerű pusztulás.



## **Apoptózis**

Genetikailag szabályozott,  
„tisztá” sejthalál.

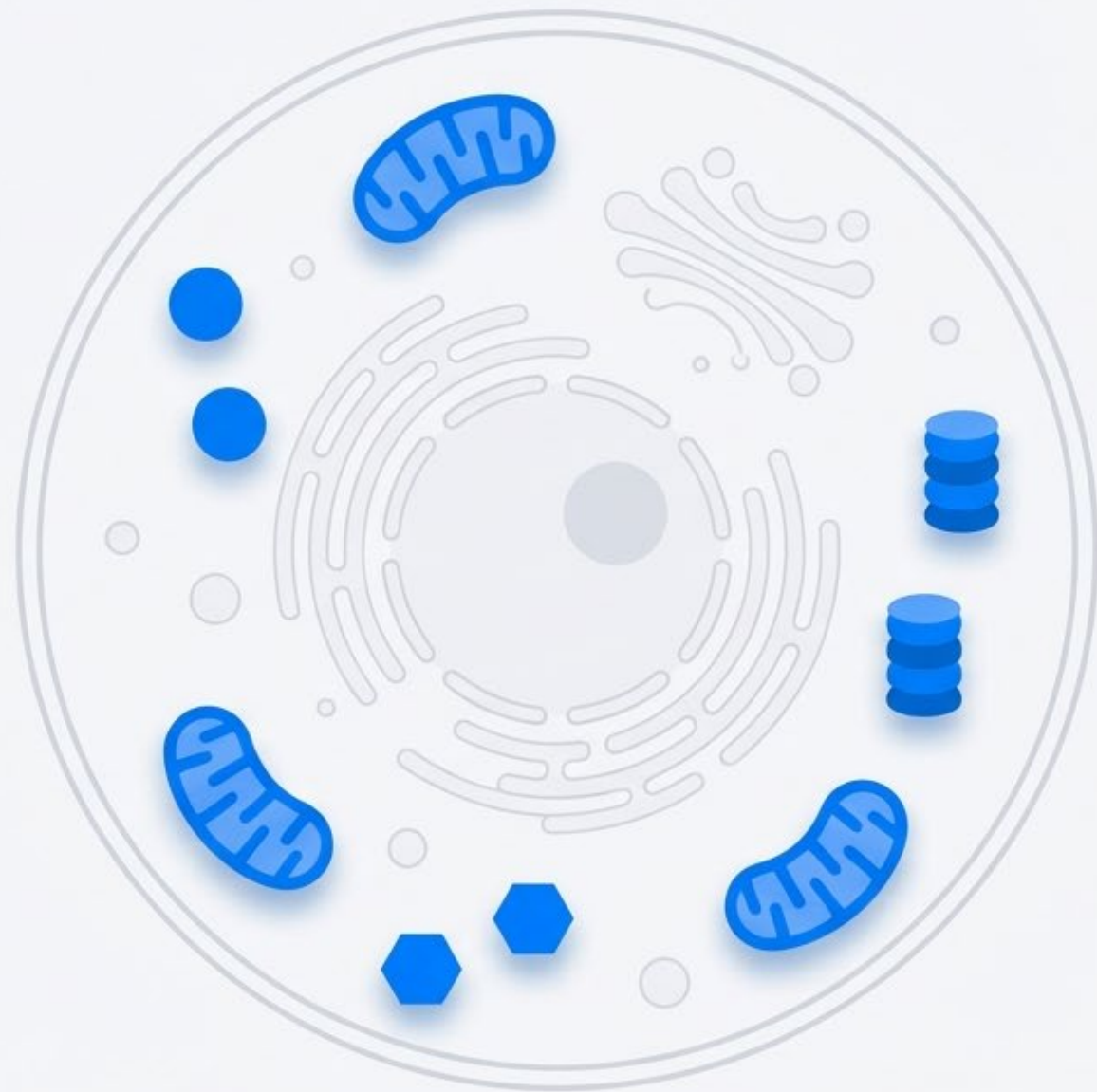


## **Autofágia/Önemésztés**

Túlélési és lebontó  
mechanizmus – nem  
feltétlenül halál!

# A SEJT HULLADÉKKEZELŐ RENDSZERE

- Eukarióta sejt kompartmentalizáció:  
A munkaállomások elválasztása.
- A 'Takarítók':
  - Lizoszómák
  - Peroxiszómák
  - Mitokondriumok
  - Proteaszóma-rendszer
- Logisztika: Endoplazmatikus retikulum (membránrendszerek).

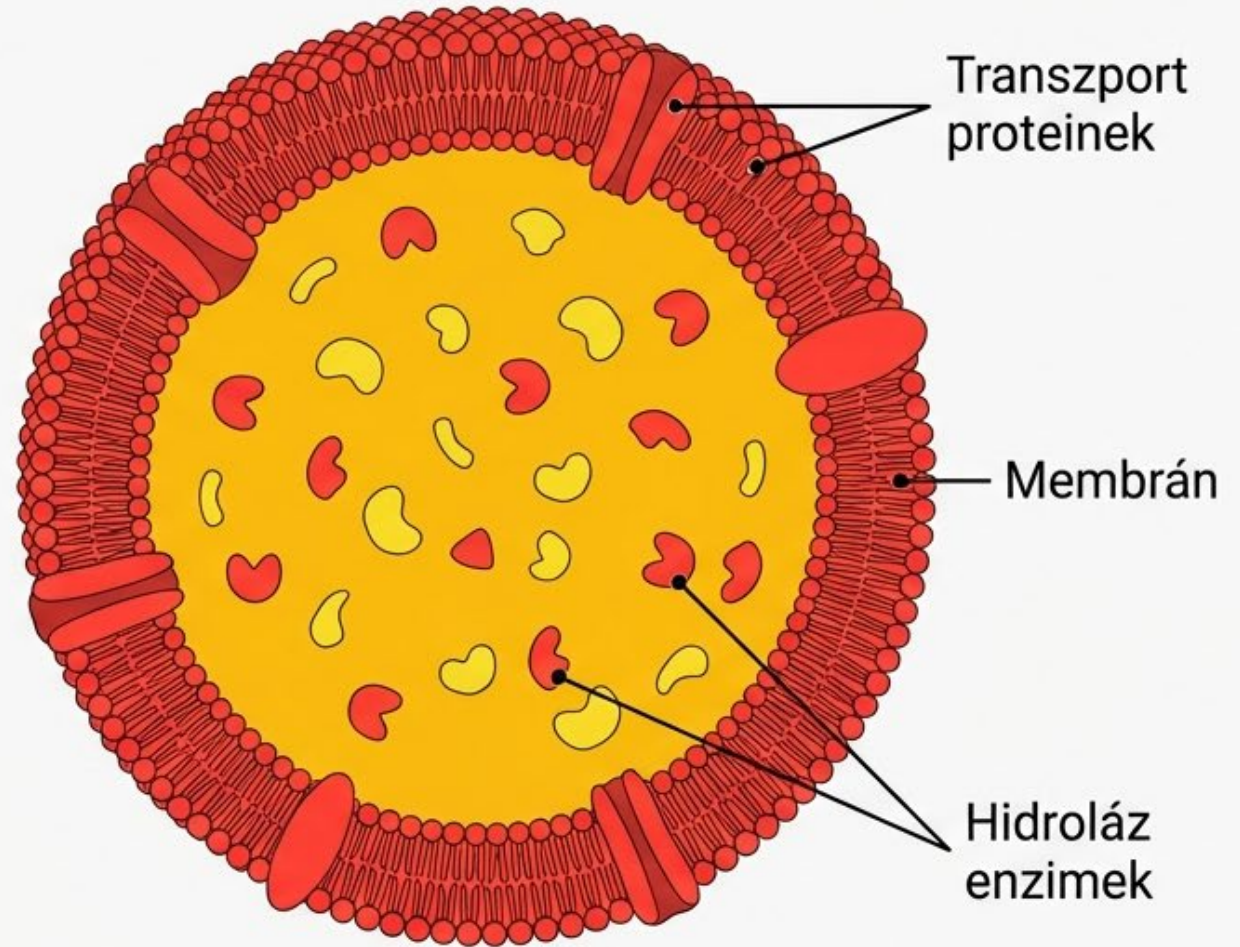


# A Hulladékfeldolgozó: Lizoszómák

## Specifikációk:

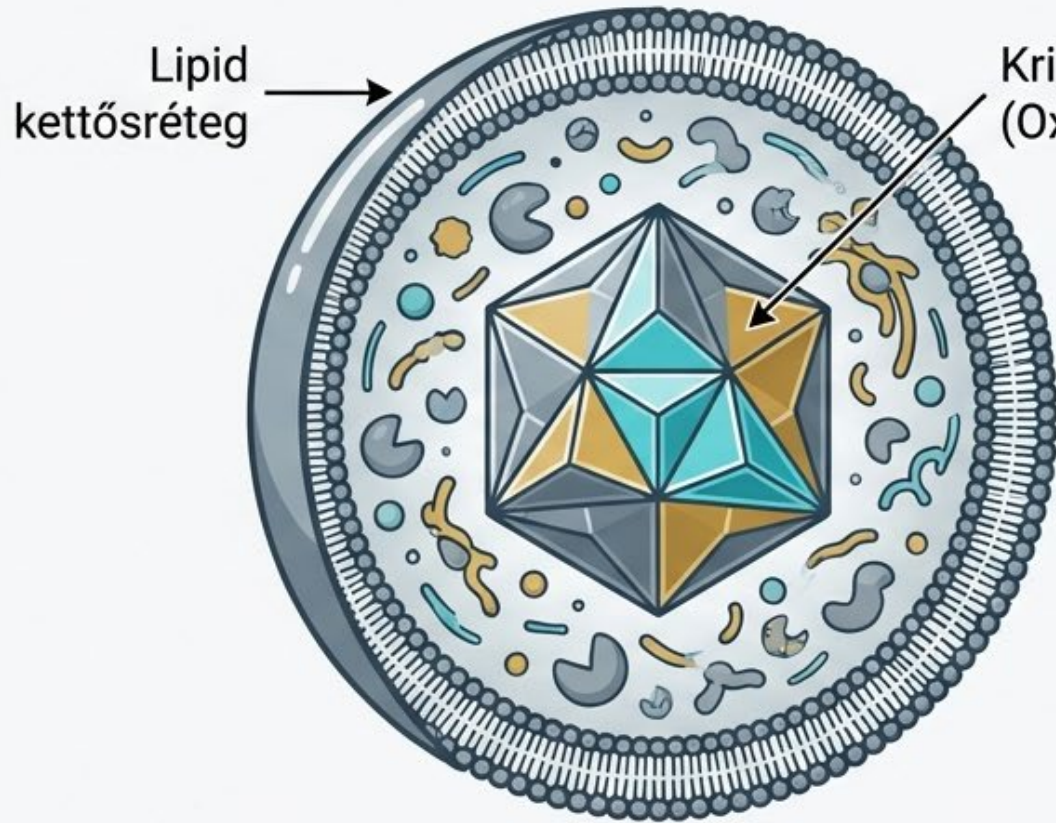
- **pH:** ~4,5 (Savanyú környezet)
- **Funkció:** Autofágia és heterofágia (belső és külső anyagok bontása)

**Mechanizmus:** A membrán elzárja a savas kémhatást és az emésztőenzimeket a sejt többi részétől (kompartmentalizáció).

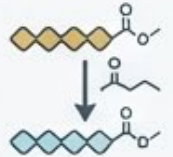


**Kontextus:** Intracelluláris emésztés | Enzimek és pH | Sejthalál és homeosztázis

# A Vegyi Üzem: Peroxiszómák



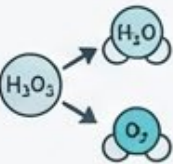
**Oxidatív anyagcsere:**  
Zsírsavak lebontása



**Melléktermék:** Hidrogénperoxid ( $H_2O_2$ ) – mérgező



**Semlegesítés:** Azonnali bontás vízzé és oxigénné



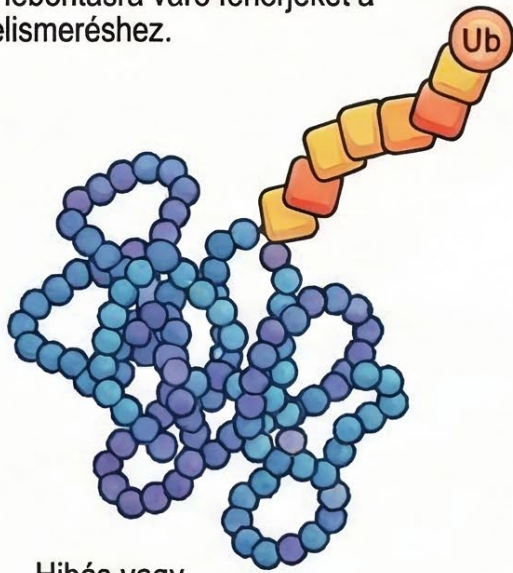
**Szerep: Védelem az öregedés és a stressz ellen.**

# A Proteaszóma: A Sejt Molekuláris Hulladékfeldolgozója

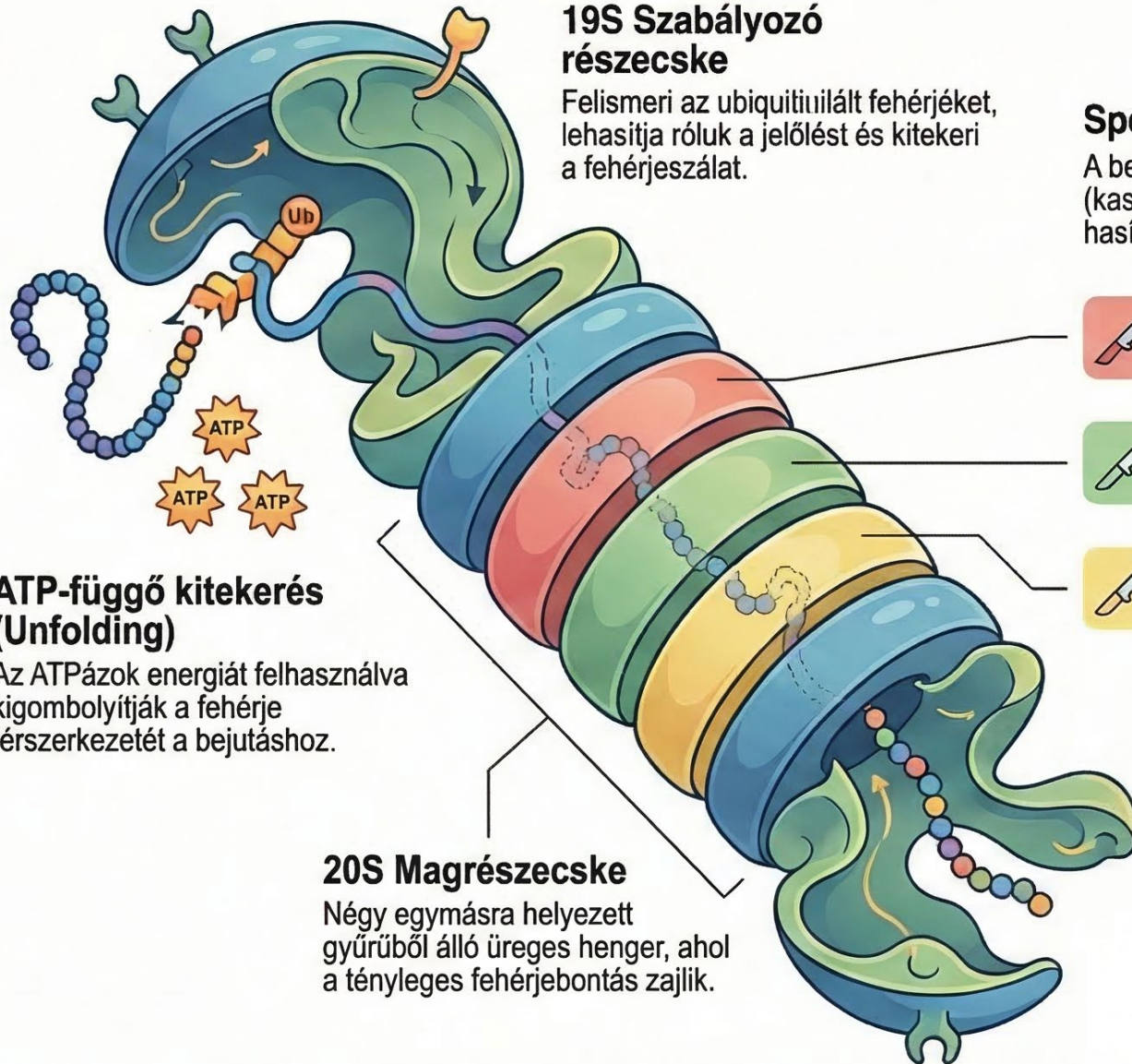
## A Lebontás Molekuláris Lépései

### K48-poliubiquitin jelölés

A sejt speciális láncsal jelöli meg a lebontásra váró fehérjéket a felismeréshez.



Hibás vagy felesleges fehérje



### 19S Szabályozó részecske

Felismeri az ubiquitinilált fehérjéket, lehasítja róluk a jelölést és kitekeri a fehérjeszálát.

### ATP-függő kitekerés (Unfolding)

Az ATPázok energiát felhasználva kigombolyítják a fehérje térszerkezetét a bejutáshoz.

### 20S Magrészecske

Négy egymásra helyezett gyűrűből álló üreges henger, ahol a tényleges fehérjebontás zajlik.

### Specifikus katalitikus aktivitás

A belső  $\beta$ -alegységek háromféle (kaspáz-, tripszin- és kimotripszin-szerű) hasítási képességgel bírnak.



### $\beta 1$ (Kaspáz-szerű)

Hasítási hely: Savas (Asp, Glu)



### $\beta 2$ (Tripszin-szerű)

Hasítási hely: Bázikus (Arg, Lys)

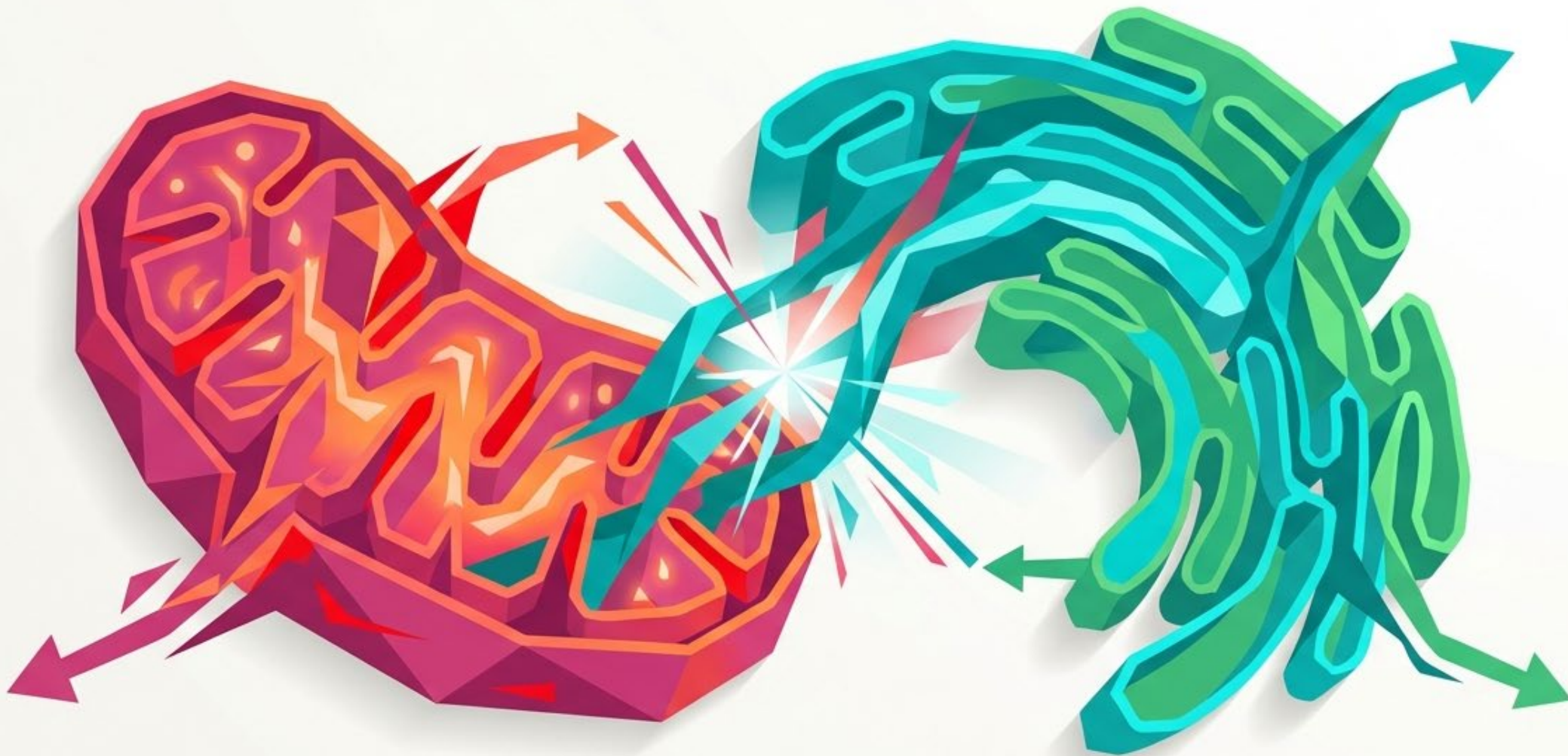


### $\beta 5$ (Kimotripszin-szerű)

Hasítási hely: Hidrofób (Tyr, Phe)

### Peptid darabolás

A katalitikus kamrában a fehérje átlagosan 7–9 aminosav hosszú darabokra bomlik szét.



# ÉLET VAGY HALÁL: A SEJT VÁLASZÚTJÁN

A MITOKONDRIUM ÉS AZ ER INTEGRÁLT STRESSZVÁLASZA

# Sejtes Krízismenedzsment

A mitokondrium és az ER jelintegrátorként működnek. Stressz hatására ők hozzák meg a végső döntést a sejt sorsáról:

**Veszély**



## **Túlélés:**

A stressz sikeres elhárítása.

## **Autofágia (Adaptáció):**

Ön-emésztés a túlélés és a megújulás érdekében.

## **Apoptózis (Programozott sejthalál):**

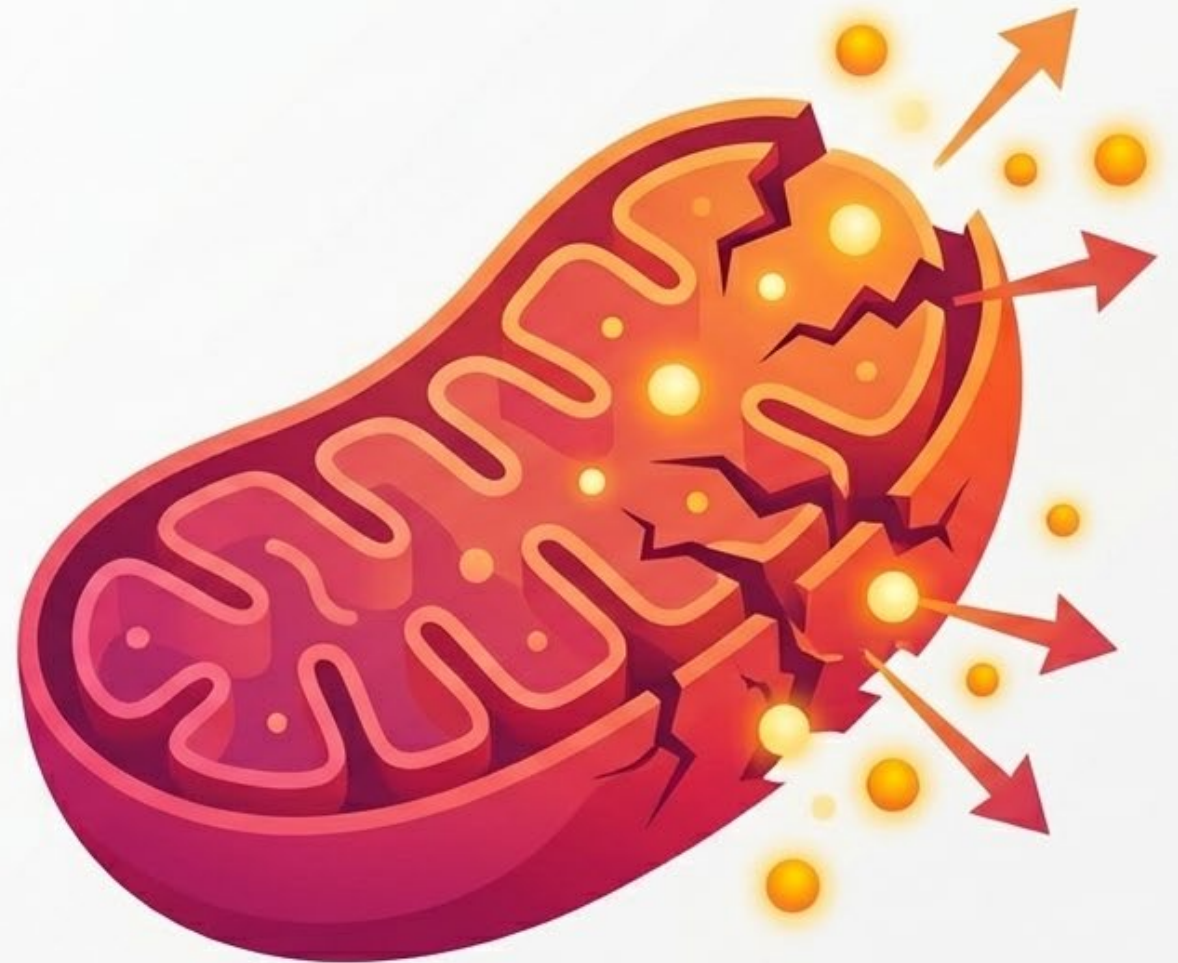
Irreverzibilis károsodás esetén a sejt kontrollált megsemmisítése.

# A Mitokondrium Mint Döntőbíró

A mitokondrium az intrinsic apoptózis útvonal központi szabályozója.

## A döntési pont: Membrán permeabilizáció

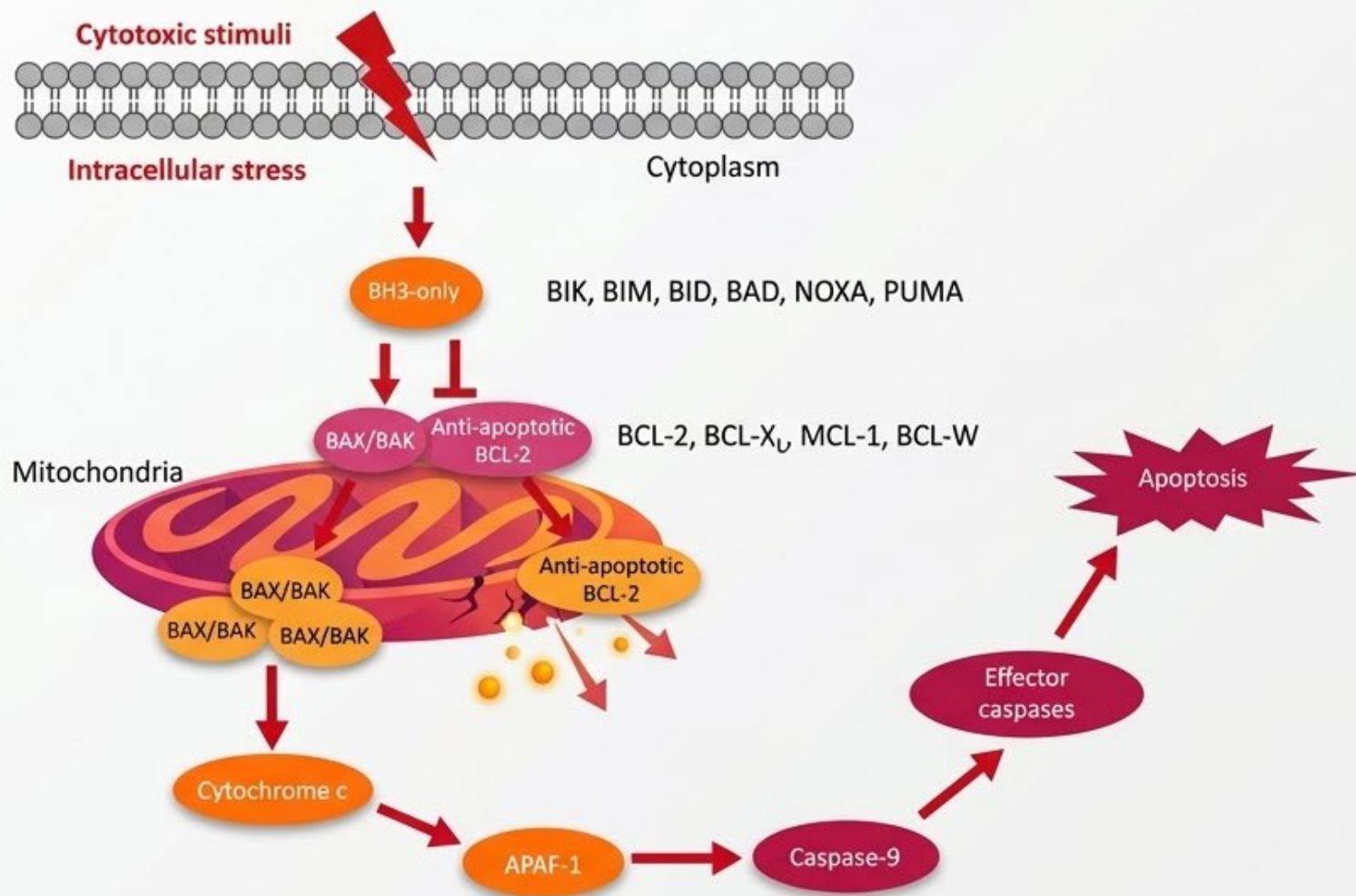
- **Stresszhatások:** DNS károsodás, oxidatív stressz, tápanyaghiány.
- **Aktiváció:** A Bcl-2 család fehérjéi reagálnak.
- **A "vörös kód":** A mitokondriális membrán átteresztővé válik.
- **A kilépő jel:** Citokróm-c szabadul fel az intermembrán térből a citoplazmába.



# Az Apoptózis Kaszkád

Amikor a citokróm-c a citoplazmába kerül, elindul a visszavonhatatlan folyamat:

- 1. Kötődés:** A citokróm-c az APAF-1-hez kapcsolódik.
- 2. Komplex:** Létrejön az apoptoszóma.
- 3. Kaszpáz aktiváció:** Kaszpáz-9 → Kaszpáz-3 és Kaszpáz-7.
- 4. Eredmény:** A sejthalál enzimatikus kaszkádja. ✨



# Az ER Gyár: Minőségellenőrzés

Az ER a fehérjeszintézis és a  $\text{Ca}^{2+}$  homeosztázis központja. Ha túl sok hibás fehérje halmozódik fel, fellép az ER stressz.

## A Válasz: UPR (Unfolded Protein Response)

Három fő szenzor aktiválódik a károk elhárítására:



**PERK:** Fehérjeszintézis drasztikus csökkentése.



**IRE1:** Stresszválasz gének azonnali aktiválása.



**ATF6:** Chaperonok (dajkafehérjék) fokozott termelése.

Protein Overload

**Eredmény: Ha a stressz megszüntethető → a sejt túlél.**

# Rendszertúlterhelés: ER-Indukált Apoptózis

Mi történik, ha az ER stressz tartós és megoldhatatlan?  
Az ER kénytelen a mitokondrium apoptózisát elindítani.



**A CHOP transzkripciós faktor akcióba lép:**

**Gátol:** Kikapcsolja a sejt túlélését segítő BCL-2-t.

**Aktivál:** Proapoptotikus (sejthalált serkentő) géneket indít be.

**Végeredmény:** A sejt feladja a küzdelmet, elindul a programozott sejthalál.

# Az Építőmester: Az ER Szerepe az Autofágiában

Az ER nemcsak döntéshozó, hanem fizikai építőelem is. Az autofagoszóma membránjának egyik fő forrása maga az endoplazmatikus retikulum.

## Az Autofágia Iniciációs Komplex:

- ▶ A kulcsfehérjék (ULK1, Beclin-1, VPS34) az ER felszínén szerveződnek egybe.
- ▶ Innen indul útjára a fagofór membrán, amely később bekebelezi a lebontandó sejtalkotókat.

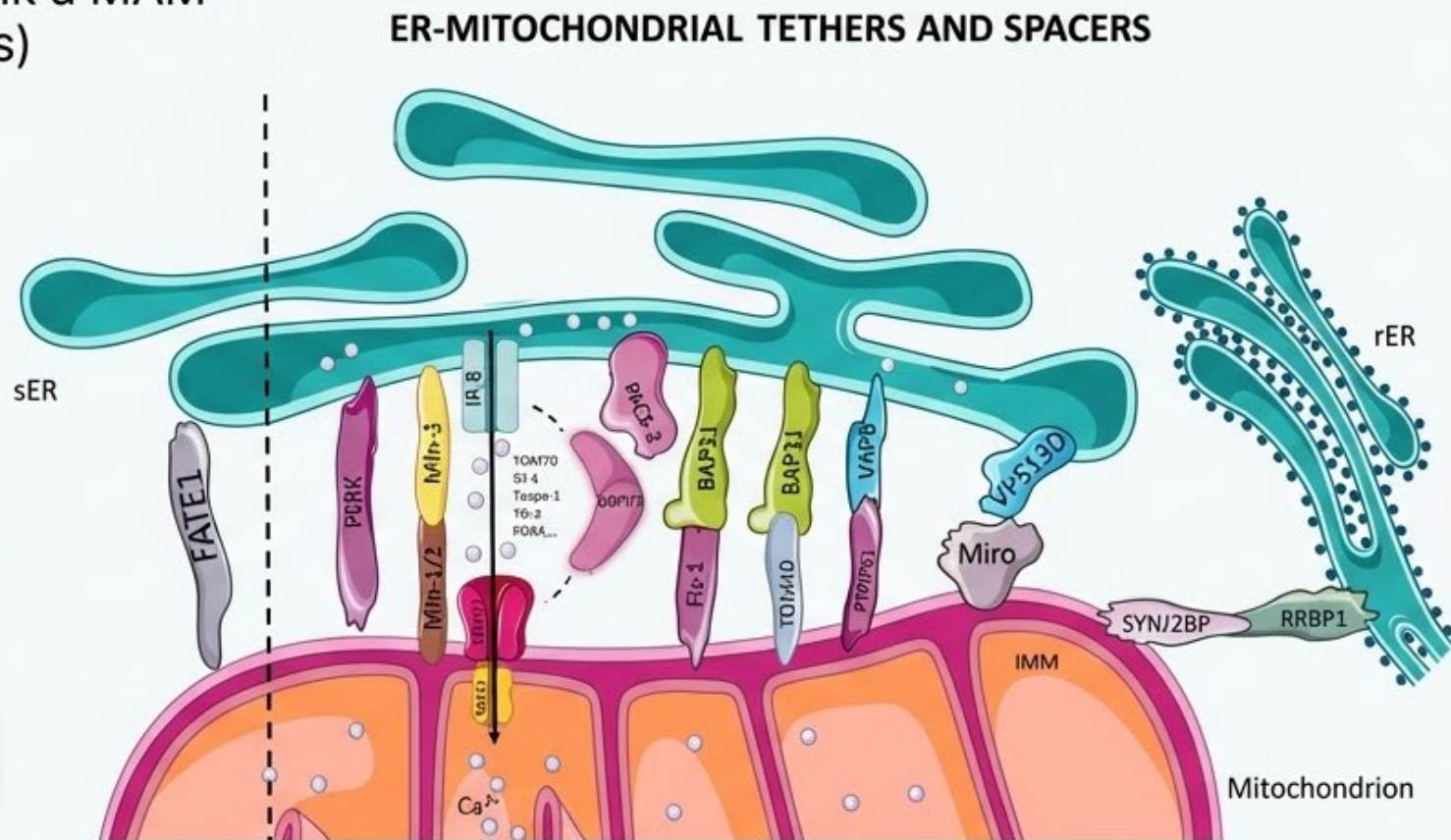


# MAM: A Két Óriás Szövetsége

A döntések nem izoláltan születnek. A két organelum szorosan összekapcsolódik a MAM (Mitochondria-associated membranes) régiókban.

**Ez a kontaktzóna a sejt legfontosabb kommunikációs központja:**

- $\text{Ca}^{2+}$  átadás a két rendszer között.
- Kritikus lipidcsere.
- Az autofágia finomhangolása és szabályozása.



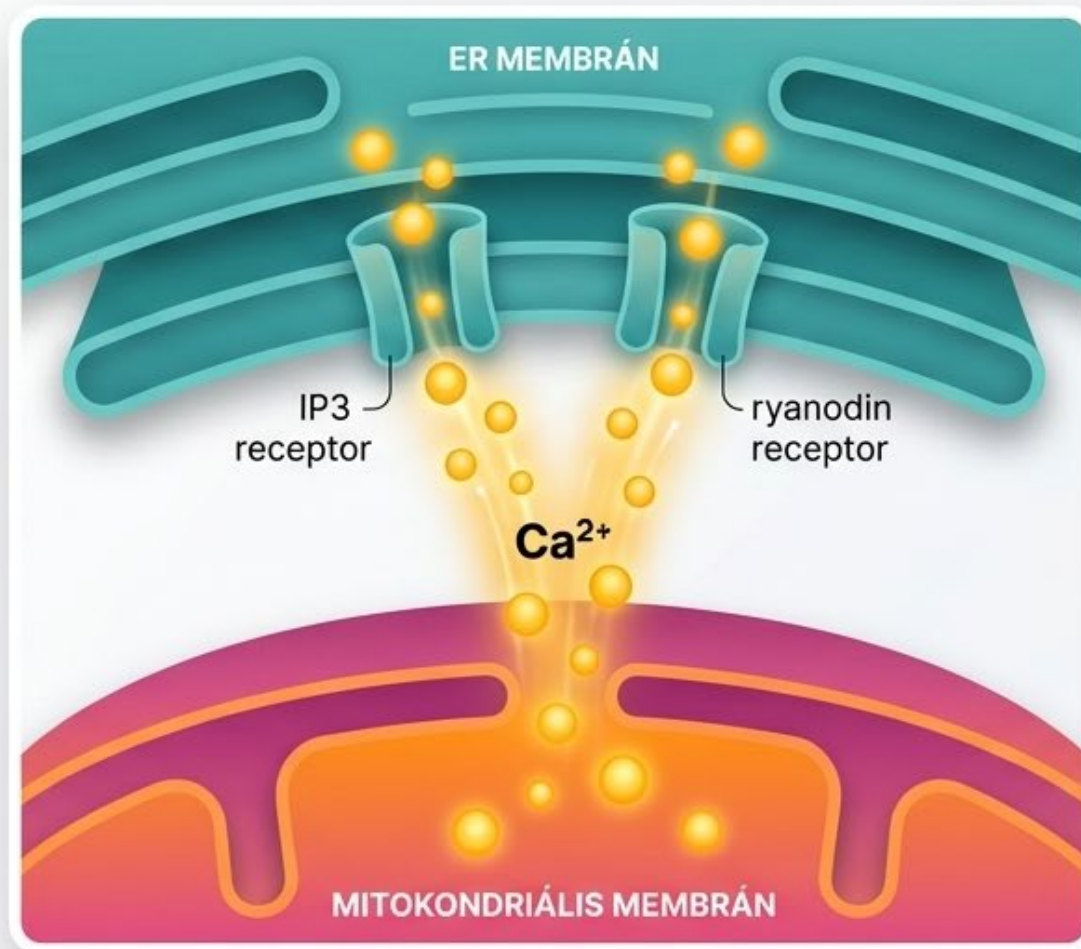
# Kalcium: A Döntés Nyelve

A MAM régión keresztül a kalcium működik a két organelum közötti elsődleges hírvivőként.

## A folyamat:

Az ER  $\text{Ca}^{2+}$ -t szabadít fel csatornáin keresztül (IP3 receptor, ryanodin receptor).

A kalcium közvetlenül a mitokondriumba áramlik.



## A kalcium kettős szerepe:

**Kisebb/kontrollált beáramlás:** Fokozott metabolizmus, energiatermelés.

**Masszív túlterhelés:** Apoptózis azonnali beindítása.

# A Mérleg Nyelve: A Végző Döntés

A mitokondrium és az ER integrált stresszérezelő rendszerként működik. A sejt sorsát a bejövő stressz mértéke határozza meg.



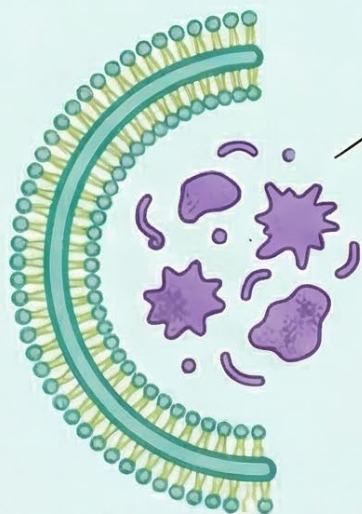
# Rendszerszintű Összefoglaló

| Organelum              | Fő szerep a sejthalálban   | Fő szerep az autofágiában                                      |
|------------------------|--|--|
| <b>Mitokondrium</b>    | Az apoptózis központi szabályozója, Citokróm-c felszabadítás, ROS jelátvitel | Mitofágia célpontja (PINK1-Parkin)                             |
| <b>ER</b>              | Fehérje stressz érzékelése (UPR, CHOP), Ca <sup>2+</sup> jelátvitel indítása | Az autofagoszóma membránjának fizikai forrása (ULK1, Beclin-1) |
| <b>MAM<br/>(Közös)</b> | Masszív Ca <sup>2+</sup> transzfer (Apoptózis trigger)                       | Autofágia iniciáció komplex szabályozása                       |

# SEJTBIOLÓGIAI LEBONTÓ MECHANIZMUSOK: FAGOFÓR ÉS KRINOFÁGIA

A sejt saját anyagainak lebontása (autofágia) alapvető a homeosztázis fenntartásához. Ez a folyamat különböző struktúrákon keresztül valósul meg: a fagofór a makroautofágia kezdő, nyitott állomása, míg a krinofágia a felesleges szekréciós termékek célzott eltávolítását végzi.

## FAGOFÓR (Az izoláló membrán)

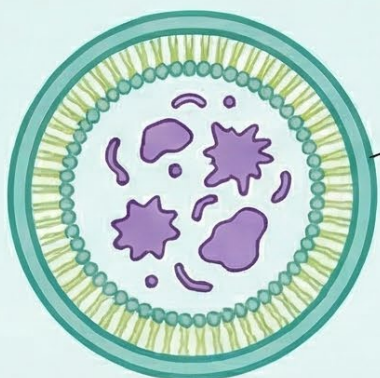


### Félhold alakú kettős membrán

A makroautofágia kezdeti, nyitott struktúrája, amely csésze alakban veszi körül a lebontandó anyagot.

### Szinte tisztán foszfolipid összetétel

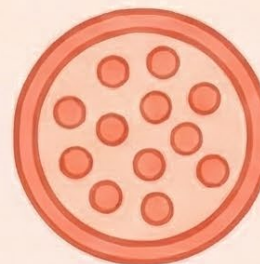
Membránja integrána fehérjéktől mentes, és gyakran az endoplazmás retikulum (RER) közelében keletkezik.



### Autofagoszómává záródik

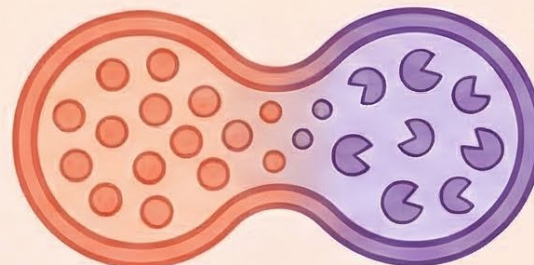
A szélek összeolvadásával gömbbé záródik, véglegesen bezárva a citoplazmarészletet a lebontáshoz.

## KRINOFÁGIA (Szekréciós termékek lebontása)



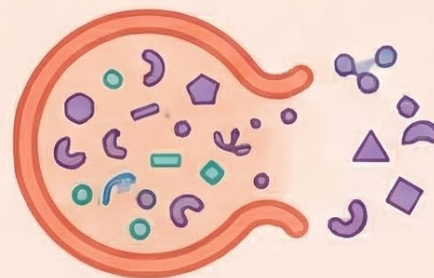
### Felesleges váladékok eltávolítása

Olyan speciális önemésztő folyamat, amely a sejt saját szekréciós termékeinek (pl. hormonok) lebontására szolgál.



### Direkt fúzió a lizoszómával

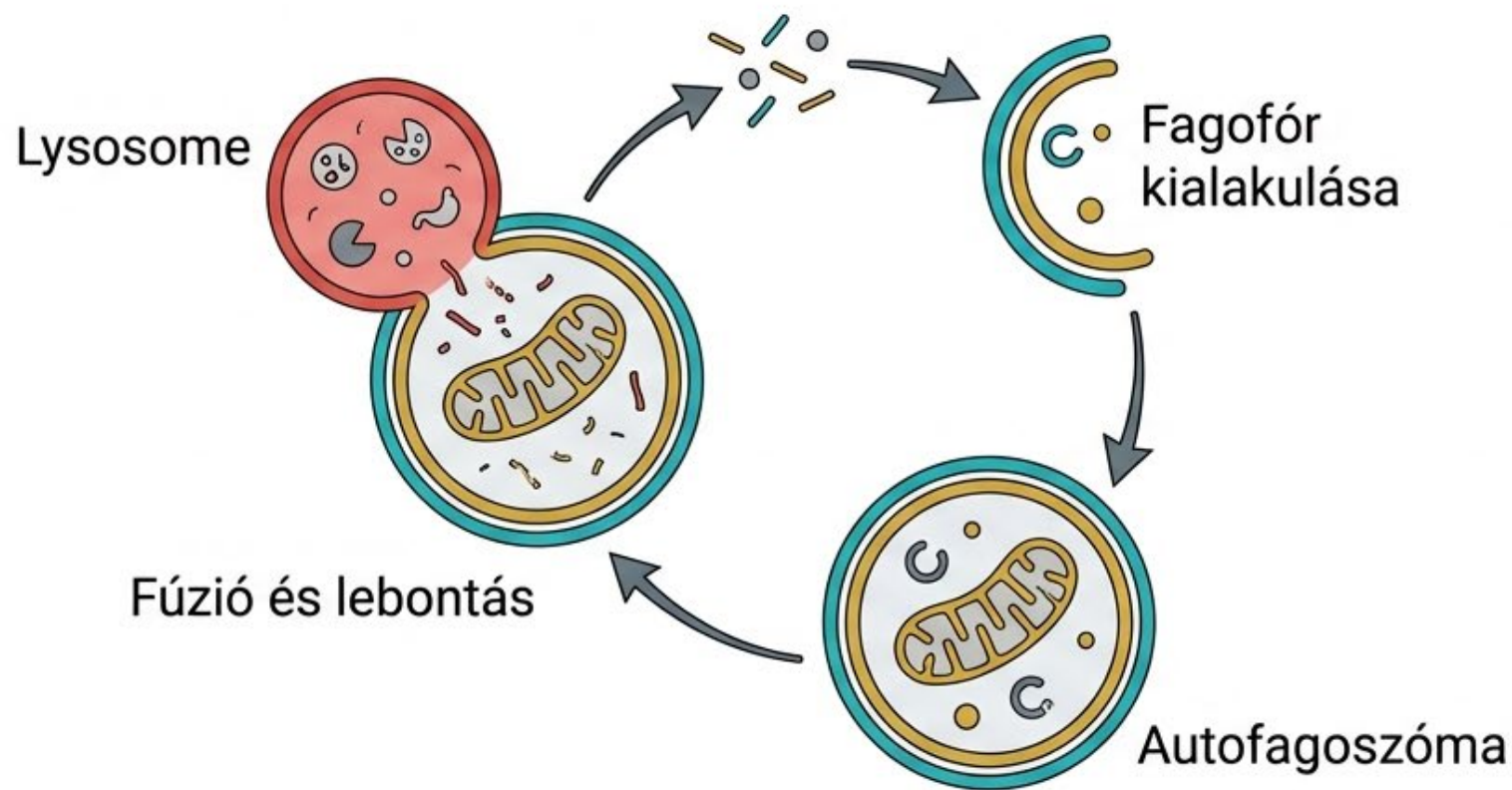
A lebontás egy lizoszóma és egy szekréciós vakuóla vagy vezikula közvetlen egyesülésével jön létre.



### Alkatrészek újrahasznosítása

Segít a túlzott mennyiségben termelt granulumok lebontásában és az alapanyagok körforgásba állításában.

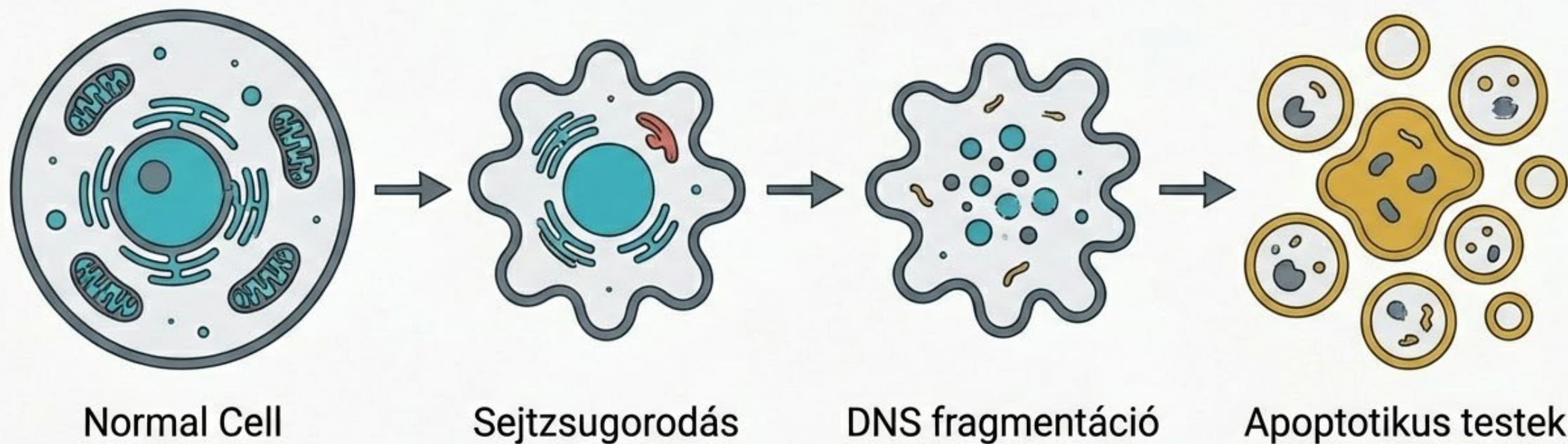
## »Túlélési és lebontó mechanizmus« – Nem azonos a sejthalállal!



**Krinofágia:** Endokrin sejtekben a felesleges szekréciós granulumok lebontása (funkcionális szabályozás).

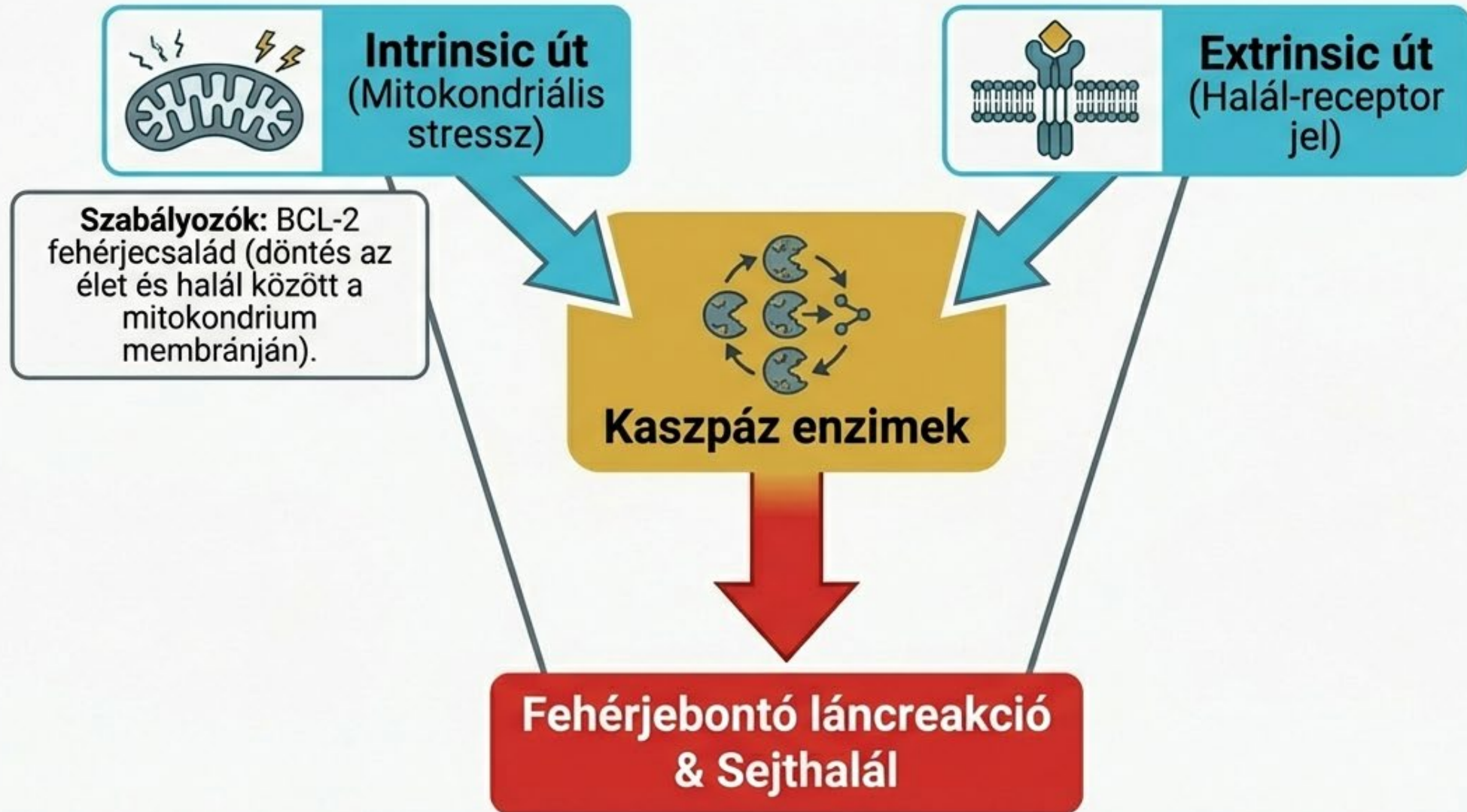
# Apoptózis: A Programozott Áldozat

**Definíció:** Genetikailag szabályozott sejthalál.



**Eredmény: Gyulladásmentes eltakarítás** (a szomszédos sejtek vagy fagociták megeszik a maradékot).

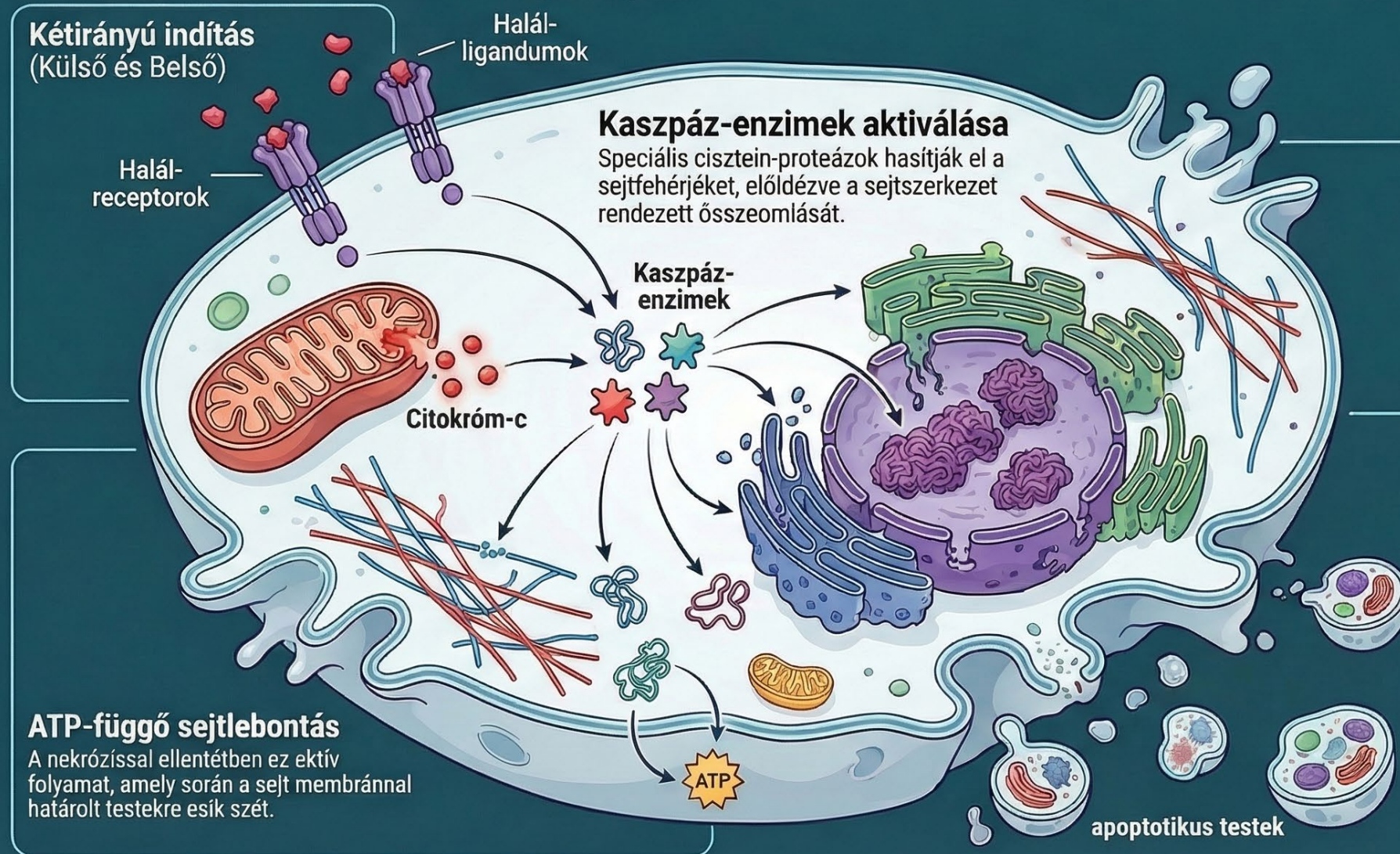
# A Molekuláris Kivégzés: Kaszpáz Kaszkád



# Az Apoptózis: A Sejt-öngyilkosság Precíz Gépezete

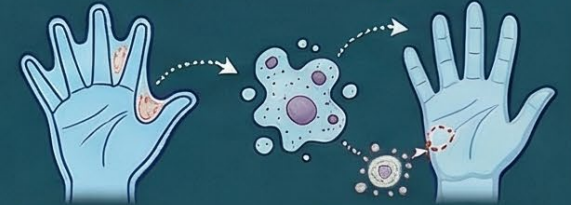
Az apoptózis egy genetikailag kódolt, energiaigényes öngyilkossági program, amely gyulladásmintesen távolítja el a felesleges vagy káros sejteket. A folyamat szigorú molekuláris kontroll alatt áll, biztosítva a szervezet fejlődését és daganatmentes működését.

## Molekuláris Mechanizmus és Végrehajtás



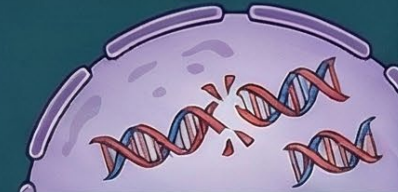
## Biológiai Jelentőség és Védelem

### Morfogenezis és fejlődés



Nélkülözhetetlen a magzati fejlődés során, például az ujjak közötti szövetek precíz eltávolításához.

### p53-vezérelt minőségellenőrzés



A p53 fehérje apoptózisra kényszeríti a sérült DNS-ű sejteket, megakadályozva a rák kialakulását.

### Szöveti homeosztázis



Sejtosztódás



Dinamikus egyensúly



Sejthalál

Dinamikus egyensúlyt tart fent a sejtosztódás és a halál között a szervezet stabilitásáért.

# Kétféle Halál: Apoptózis vs. Nekrózis



## Nekrózis (Baleset)

- Passzív, energia nem kell
- Duzzadás és szétesés
- Sejtanyag kiáramlása
- Erős gyulladás (Veszélyes!)

## Apoptózis (Program)

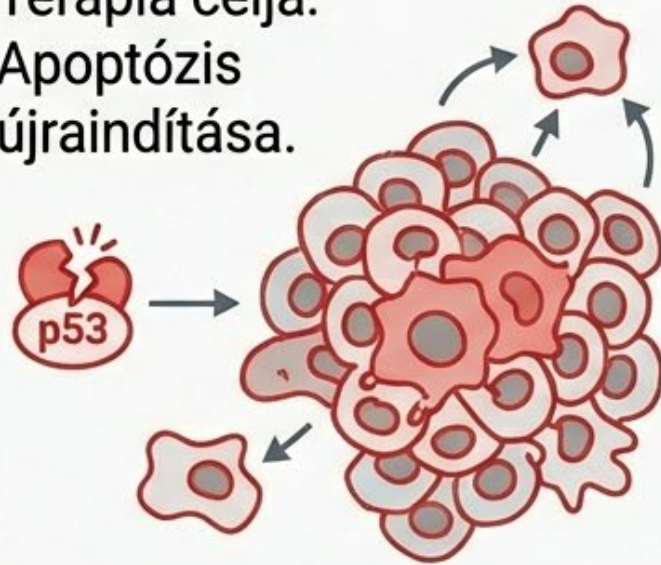
- Aktív, energiaigényes
- Zsugorodás és feldarabolódás
- Sejtanyag csomagolva marad
- Nincs gyulladás (Tiszta munka)

# Orvosi Jelentőség: Amikor a Rendszer Hibázik

## Rák (Cancer)

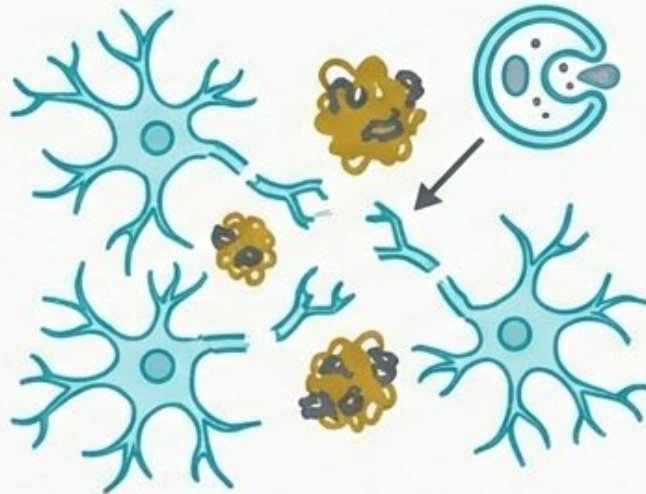
Túl kevés halál. A sejtek halhatatlanná válnak (p53 hiba).

Terápia célja:  
Apoptózis  
újraindítása.



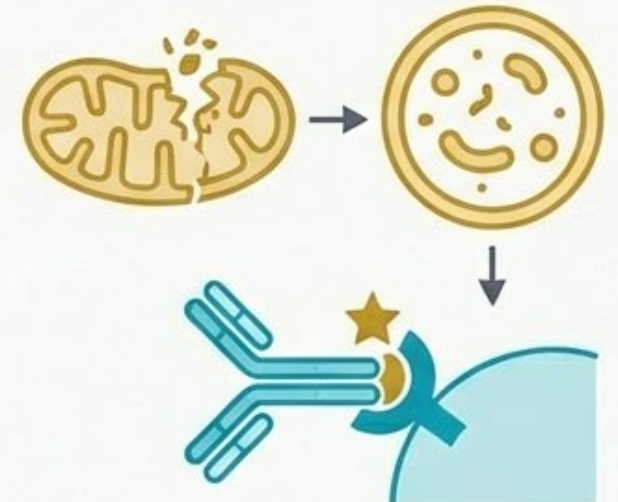
## Neurodegeneráció

Túl sok halál VAGY az autofágia hiánya. Fehérjeszemét felhalmozódása (Alzheimer/Parkinson).



## Új Irányok

Mitofágia (sérült mitokondriumok bontása) és Immunterápia.



# Összegzés: A Pusztulás az Élet Része



## Önemésztés $\neq$ Sejthalál.

Az autofágia gyakran a túlélést szolgálja.



## Dinamikus Egyensúly.

Sejtpusztulás és megújulás (bélhám, bőr, immunrendszer napi cseréje).



## Szabályozás.

Kontrollált folyamatok nélkül nincs homeosztázis.

# Érettségi Fogalomtár



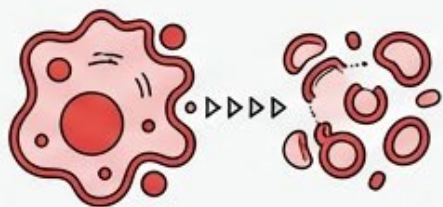
## Mutáció

A genetikai információ megváltozása (spontán vagy mutagén hatásra).



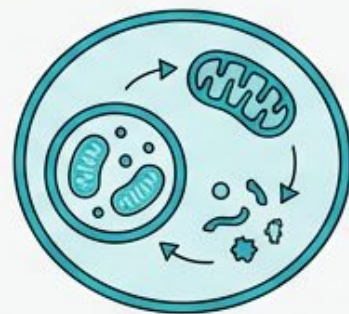
## Karcinogén

Rákkeltő anyag vagy hatás.



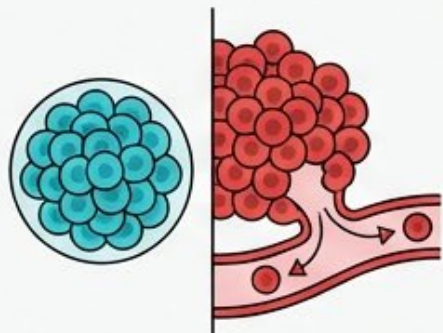
## Apoptózis

Programozott sejthalál.



## Autofágia

A sejt saját alkotórészeinek lebontása.



## Daganat

Jó- és rosszindulatú daganat: Szöveti terjedés és áttétképzés (metasztázis) különbségei.

# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET

---

2026. 03. 11.

**NAGY ÁRPÁD**  
*KÖZÉPISKOLAI TANÁR*