

# KÖNYVISMERTETŐ

**(Prof. Dr.) Bauer Ervin: Elméleti biológia, Akadémiai Kiadó, 1967.**

Terjedelem: 243 oldal, ebből 145 oldal a függelék.

A könyv oroszul jelent meg 1935-ben, a függelékben olvasható könyv pedig 1920-ban németül „*A természettudományos biológia alapelvei*” címmel.

## A könyv témája röviden

Hol a határ élő és élettelen között, miben különbözik az élő és az élettelen anyag, hogyan működik az élő rendszer? A szerző az elméletét jelentős kutató munkával, laboratóriumi kísérletekkel és mérésekkel támasztja alá. Ezek kiértékelésében, a fizikai, kémiai, matematikai egyenletek kidolgozásában közreműködött felesége, Szilárd Stefánia matematikus.

## Az élő rendszer tulajdonságai

Az élő rendszer folyamatos változásban van, alapvető jellemzői:

- Anyagcsere
- Növekedés
- Ingerelhetőség
- Szaporodás
- Öröklődés
- Evolúció

Ha ezek közül bármelyik hiányzik, nem tekinthető élőnek.

Egy élettelen rendszer a természet törvényei szerint előbb-utóbb magától egyensúlyba kerül a környezetével, felveszi annak nyomását, hőmérsékletét, pH értékét, és egyéb paramétereit, beáll benne az entrópia maximális szintje, szerkezeti elemei felveszik a minimális potencia szintet, miközben a bennük tárolt minden energia hővé alakul.

Ezzel szemben egy élőlény olyan rendszer, amely a környezetével soha nincs egyensúlyi állapotban (mivel ez a halálát jelentené), és a folyamatos aktivitása arra irányul, hogy a környezet energia forrásait olyan energia formákká alakítsa át, amelyek a környezettel beállni akaró egyensúly ellen hatnak.

Ez az **állandó egyensúlytalanság (inaequilibrium)** elve.

Az élő rendszer létfeltétele az, hogy legyenek a környezetében megfelelő energiaforrások, amelyeket maradék nélkül fel tud használni az egyensúlyi állapot elkerülésére.

Az élő rendszer mindaddig a szüntelen változás, átalakulás állapotában van, amíg a környezet károsító hatásai miatt, vagy az energiái kimerülése miatt be nem áll a termodinamikai egyensúly állapota, és ezzel az élete véget ér.

## A táplálék felvétele és felhasználása

Egy erőgép tipikus működése úgy zajlik, hogy üzemanyagot (fát, szenet, olajat, stb.) fogyaszt, és ezt elégetve állít elő munkavégzésre alkalmas energiát, miközben a belső szerkezete nem változik.

Az élő szervezet nem így működik.

Példaként képzeljünk el egy olyan gépet, amely a felvett üzemanyagból gépkatrészeket (pl. fogaskerekeket, csapágyakat, stb.) készít, és ezt beépíti a szerkezetébe. Ezzel egyidejűleg a szerkezet kopott, elhasználódott alkatrészeit leselejtezi, és ebből termeli a működéséhez szükséges energiát. Bár egy élettelen rendszer a valóságban így nem működhet, azonban az élő rendszer működése mégis ehhez hasonló.

Az élő rendszer a táplálékot megfelelő átalakítás után beépíti a saját struktúrájába (**asszimiláció**), energia termeléséhez pedig a saját szervezetének egy részét használja fel (**disszimiláció**).

Az ennek során termelődő energia kétféle munkavégzésre fordítódik. Az egyik a **külső munka**, amely a táplálék megszerzésére és a külső hatások kivédésére szolgál, a másik a **belső munka**, amely arra szolgál, hogy a táplálék anyaga és energiája megfelelő átalakítás után az asszimiláció folyamatában beépüljön az élő struktúrába.

Ha az asszimiláció túlsúlyban van a disszimilációval szemben, akkor az élő anyag mennyisége gyarapodik, a struktúra növekszik, ellenkező esetben az élő anyag tömege csökken.

Az élőlények nagy molekulájú szerves vegyületek kémiai energiáját használják fel energia forrásként, és a keletkezett bomlástermékek eltávolításáról belső regulatív életfolyamatok gondoskodnak. A felvett táplálék kémiai energiája nem közvetlenül alakul munkává, hanem csak azután, hogy beépült az élő rendszer szerkezetébe, felvette annak inaequilibrium állapotát, és munkavégzésre hasznosítható szabad energiával rendelkezik. Kísérletek igazolják, hogy maguk a szövetek disszimilálódnak, és nem a vérbe felvett vagy a sejtbe jutó anyagok.

Más szóval: Az élő anyag a felvett tápanyag energiáját nem alakítja át (közvetlenül) munkává, hanem azt a saját belső szerkezetének megújítására, vagyis az egyensúlytalanság fenntartására használja fel. Élő rendszerekben a rendszer struktúrájának energiája alakul át munkává.

Kérdés, hogy a disszimiláció során milyen elven történik a munkavégzésre alkalmas energia előállítása. Kísérleti méréseket végeztek arra vonatkozóan, hogy mekkora az ember által elfogyasztott táplálék energia tartalmának hasznosítási hatásfoka. Ennek során kiszámították, hogy a tápanyag molekuláiban található szén és hidrogén oxidációja során (amelynél széndioxid és víz keletkezik), mennyi hőenergia termelődik, és meghatározták azt is, hogy ehhez mekkora külső izommunka, továbbá a szervezet működésére (szívműködés, emésztés, stb.) szolgáló mekkora belső munka tartozik, és azt találták, hogy a kémiai energia hasznosulásának hatásfoka kb. 30% lehet.

A termodinamika II. fő tétele alapján egy hőerőgépben a hőenergia munkává alakítása esetén az elvileg elérhető maximális hatásfok:

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1$$

ahol  $T_1$  az üzemanyag elégetésének hőmérséklete,  $T_2$  pedig a keletkezett égéstermék hőmérséklete.

Tudjuk, hogy  $T_2 =$  kb. +37 C fok (310 Kelvin), mivel ilyen hőmérsékleten távozik a tüdőnkől az égéstermék (széndioxid és vízgőz), ezért 30% hatásfok esetén ehhez  $T_1 =$  kb. +170 C fok (443 Kelvin) oxidációs hőmérséklet tartozik, ami nyilván lehetetlen.

Az élő szervezet tehát biztosan nem termodinamikai gépezet.

Megállapítható az is, hogy az élő szervezet biztosan nem lehet kemodinamikai gép sem, mivel benne olyan kémiai átalakulások zajlanak, amelyek élettelen rendszerekben akkor sem tudnak létrejönni, ha biztosítjuk az azonos környezeti feltételeket (nyomás, hőmérséklet, pH érték, stb.).

## **Az élő rendszer szabad energiája, külső és belső munkája**

A termodinamika törvényei szerint egy egyensúlyban lévő rendszer struktúrája belső erők hatására nem változhat. Az élő rendszer struktúrája azonban változatlan környezetben is szüntelenül változik, mivel munkaképes belső strukturális szabad potenciális energiája van, és ennek felhasználásával a munkája éppen arra irányul, hogy ne kerüljön egyensúlyba. Ezért szüntelenül módosítja a belső struktúráját, ezáltal tartja fenn az egyensúlytalan állapotot.

Az élő rendszer akkor is képes működni, egy darabig életben maradni, ha nem jut táplálékhoz, mivel rendelkezik belső strukturális szabad energiával, amit az **inaequilibrium** állapot fenntartására fordíthat. A **belső munka** a kívülről felvett energia folyamatos átalakítása strukturális szabad energiává, erre a szervezet a meglévő szabadenergia egy részét használja fel. Élő anyag csak úgy maradhat fenn, ha **külső munkát** (is) végez, amely elsősorban a táplálék felvételéhez szükséges.

Az élő rendszer akkor (is) végez külső munkát, ha **külső hatások** akadályozzák (károsítják) a rendszert abban, hogy a szabad energiájával belső munkát végezzen a belső struktúra inaequilibrium állapotának fennmaradása érdekében. A külső munka is a belső strukturális szabad energiából származik, miközben a működése megsemmisíti a belső munka eredményét, amely csak a környezetből felvett további energiával pótolható.

A rendszer inaequilibrium állapota azt jelenti, hogy a rendszert alkotó molekulák struktúrája nincs egyensúlyi állapotban, a szabad energiájuk nem minimális. Ennek oka, hogy az élő anyagot alkotó fehérje molekulák feszített, torzult állapotban vannak, olyanok, mint a felhúzott rugók, amelyek valamiféle torzult rácsszerkezetre hasonló alakzatot alkotnak. Ez magyarázhatja az élő anyag elektromos tulajdonságait (nyugalmi áram, dipólmomentum, stb.), és azt, hogy az élő anyag elektromosan polarizált állapotban van külső elektromos erőter nélkül is.

Az inaequilibrium állapotban lévő élő anyag feszített állapotú molekuláinak telítetlen vegyértékei vannak, ez teszi lehetővé a bontási és oxidációs folyamatokat. A szabad vegyértékek megkötik a tápanyagok molekuláit, ezeket az élő anyag molekuláinak elektromos tere deformálja. A tápanyagok molekuláinak potenciális energiája megakadályozza az élő anyag molekuláinak átmenetét egyensúlyi állapotba és/vagy regenerálja a molekulát az átalakulás után.

Élettelen anyagi rendszerben, egyensúlyi állapotban, az ellentétes töltésű atomok és atomcsoportok távolsága minimális. Az élő anyag molekuláinak alakja azonban megnyúlt, az inaequilibrium struktúra következtében. A hosszú szénláncú fehérje molekulák rendszeres méretváltozása (a bennük felhalmozott szabad energia változása miatt) szerepet játszik az izomszövetek működésében is.

Számos kísérlet igazolja, hogy az élő anyag elhalásakor a dipólmomentum csökken, miközben a molekulák megrövidülnek, az inaequilibrium struktúra eltűnik, és a megmaradó szabad energia hő és UV sugárzás formájában felszabadul. Mérések igazolják, hogy a keletkező hőenergia nagyobb, mint amennyit a bomlási folyamatok termelnek.

Elhaláskor, amikor a molekulák a deformált inaequilibrium állapotból egyensúlyi állapotba mennek át, UV sugárzást is kibocsátanak a 0,24-0,26 mikron hullámhossz tartományban. Ezt az ún. mitogenetikus sugárzást mérésekkel igazolták. Mivel az élő anyag inaequilibrium állapota elektrosztatikus teret hoz létre, ezért a mitogenetikus sugárzás polarizált. Ezzel függ össze az a kísérleti tény is, hogy az élő anyagra a polarizált fény ingerkeltő hatása nagyobb.

## Ingerelhetőség és adaptáció

Az élő anyag fontos tulajdonsága az ingerelhetőség. Az **inger** az élő struktúrát érő külső hatás, amely megzavarja az élő anyag inaequilibrium állapotát, az ingerre való reagálás pedig az élő anyag aktivitása az inaequilibrium állapot helyreállítása érdekében.

Mivel tartós külső hatásra az inaequilibrium állapot fenntartása érdekében folyamatosan reagálni, alkalmazkodni kell, változó környezetben az **adaptáció** többlet külső és belső munkával jár.

Ha a környezet változása annyira erős, hogy az inaequilibrium állapot fenntartására több energiát kell fordítani, mint amennyit az élő anyag struktúrája termelni képes, az élő anyag tömege és/vagy potenciálja csökken és előbb-utóbb elhal. Ez szabja meg az élő rendszer alkalmazkodó képességének a határát.

Nem mindegy, hogy tartósan fennálló külső hatáshoz kell alkalmazkodni, vagy pedig a külső hatás gyors változási sebességéhez kell alkalmazkodni. Két különböző jelenségről van szó.

Gyors, impulzusszerű változás hatására átmenetileg zavart szenved az inaequilibrium állapot, és ha a hatás nem túl erős, a normális állapot gyorsan helyreáll, azonban ha az impulzus túl erős, az anyagsere véglegesen károsodhat.

Gyors, impulzusszerű ingerületeknél látens periódus lép fel, a reagálás késleltetése. Az inger gyakori ismétlése esetén a reagálás gyengülhet, kimerülési folyamat léphet fel, de pihentetés után a normális állapot helyreállhat.

Az élőlény alkalmazkodásának határa azon legerősebb ingerek összege, amelyek még nem vezetnek katasztrófához. Az alkalmazkodás fokát meghatározza a regulatív életfolyamatok összege. Minél intenzívebbek az életfolyamatok, annál rövidebb az élettartam, amely egyenesen arányos az alkalmazkodási képesség fokával és fordítottnan arányos az életfolyamatok intenzitásával.

Az evolúciós szelekcióban, amelynek során az egyik élő fajtól egy másik fejlődik ki, növekszik az alkalmazkodási fok és az életfolyamatok intenzitásának a szorzata.

Élőlény egy részének leválása (pl. baleset vagy műtét miatt) a megmaradó szomszédos részekben ingerként működik. Az ezt követő regeneráció az adaptáció speciális esete.

Soksejtű élőlény esetén a szomszédos sejtek proliferációja (elhalt vagy eltávolított szövetek pótlása) indul meg. Ennek során a sejtek asszimilációja fokozódik, ami osztódáshoz vezet.

A sejtproliferáció olyan sejteket hoz létre, amelyek a keletkezésükkor még nem differenciálódtak szöveti sejtek, azaz „indifferens” vagy „embrionális” sejtek. Ezek úgy differenciálódnak, mint az eltávolított sejtek, mivel ugyanolyan szomszédos sejtek hatása alá kerülnek. Minél differenciáltabb egy szövet, annál kevésbé képes regenerálódni.

## Az asszimiláció korlátai

Az egyedi élőlények élettartama alatt asszimilálható összes kalória mennyisége korlátozott, és ez meghatározza egy-egy élőlény lehetséges maximális élettartamát. Ezt fejezi ki az ún. Rubner állandó, amely bár egyedenként eltérő, azonban a teljes populációra számított átlagos értéke a legtöbb emlős állatfaj esetében közel azonos, az embernél viszont magasabb.

Az ezzel kapcsolatos gondolatmenet lényege a következő:

Élő rendszer a molekulák gerjesztett inaequilibrium állapota miatt a nem gerjesztett állapothoz képest szabad energia többlettel rendelkezik, ennek mennyisége:  $F = m \cdot \mu$  ahol  $m$  = az élő állomány tömege, és  $\mu$  = az egységnyi tömegű élő anyag fajlagos szabad energiája.

Az asszimiláció során a beépülő táplálék molekuláit ugyanolyan állapotba (szabad energia szintre) kell felhozni, mint amelyben az élő anyag molekulái vannak, és ehhez annál több meglévő szabad energiát kell felhasználni, minél magasabb az élő anyag kezdeti potenciálszintje. Emiatt viszont a teljes rendszer (egységnyi tömegre eső) fajlagos szabad energiája alacsonyabb lesz.

A csökkenés mértéke:  $d\mu/dm = c \cdot \mu$  ahol  $c$  = konstans (egyedenként különbözik).

A könyvben részletezett matematikai levezetés szerint az élő rendszer tömege és szabad energiája mindaddig növekszik, amíg  $m \cdot c < 1$  fenn áll. Ezt követően, ha az állomány  $m$  tömege tovább gyarapodik, a rendszer bruttó szabad energiája csökkenni fog.

Az elérhető maximális határ-tömeg:  $M = 1/c$

Ekkor a rendszerhez tartozó, elvileg lehetséges maximális szabad energia:

$F_{\max} = M \cdot \mu_0 \cdot \exp[(m_0 - M)/M]$  ahol  $m_0$  a kezdeti tömeg, és  $\mu_0$  a kezdeti fajlagos szabad energia.

A növekedés során az  $M$  határérték elérése előtt az egységnyi tömegre vetített fajlagos  $\mu$  szabad energia tartalom csökken, azonban a rendszer teljes  $F$  szabad energiája mégis növekszik, mivel a tömege gyorsabban növekszik, mint a fajlagos  $\mu$  szabad energia. Ha viszont az  $M=1/c$  határ elérése után tovább növekedne, a szabad energiája rohamosan csökkenne, és az élőlény elpusztulna.

Ez tehát a növekedés elvi korlátja.

A teljes életsiklus során az élő anyagban az asszimiláció kezdetben túlsúlyban van a disszimilációval szemben, de amikor a kettő kiegyenlítődik, a rendszer növekedése megáll, majd ezt követően az élő állomány  $F = \mu \cdot m$  szabad energiája csökken, a rendszer öregszik.

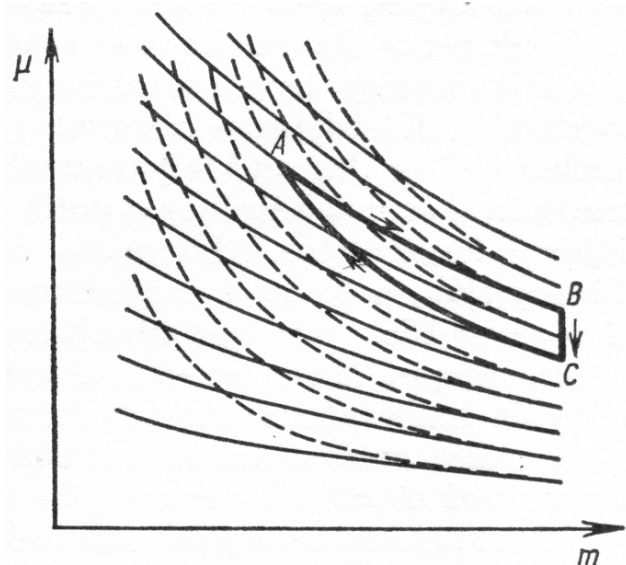
Az öregedés oka az élethez nélkülözhetetlen anyagcsere, az öregedés sebessége pedig az anyagcsere intenzitásától függ, amelynek során az élő rendszer szabad energiája az asszimilált energiával arányos mértékben csökken. A csökkenés mértéke:  $dF/dQ = K$  ahol  $K$  az egyedre jellemző számérték, amely meghatározza az élet folyamán a szabad strukturális energia terhére átalakítható összes hőmennyiséget:  $Q_{\text{sum}} = \mu_0 \cdot m_0 / K = R \cdot \mu_0 \cdot m_0$

Így az összes kalória mennyiség, amelyet a szervezet az egész élete folyamán képes átalakítani, a petesejt kezdeti szabad energiájától függ és azzal arányos, feltéve, hogy a petesejt tömege a szervezet teljes tömegéhez képest nagyon kicsi.

A fentebb említett Rubner állandó definíciója:

$$R = 1/K = Q_{\text{sum}} / \mu_0 \cdot m_0$$

A diagram azt mutatja, hogy az élő anyag  $m$  tömegének gyarapodása során ( $A \rightarrow B$ ) a maximális tömeg elérésekor a növekedés megáll, de az egységnyi tömeghez tartozó  $\mu$  szabad energia tovább csökken ( $B \rightarrow C$ ). Ha tömeg csökkenést idézünk el, például éheztetéssel, a  $\mu$  szabad energia gyorsabban növekszik, mint amennyit a tömeg növekedése során csökkent ( $C \rightarrow A$ ), ugyanis a felszámolt tömegrész szabad energiája növeli a fennmaradó tömeg szabad energiáját. Ilyen körfolyamattal az élettartam bizonyos mértékben meghosszabbítható, ezt állatkísérletek igazolták.



## Növekedés és szaporodás

Minden élőlény növekedik és szaporodik, miközben a szervezetében nagy molekulájú anyagok szaporodnak (ideiglenesen) fel. A növekedés nem folytatódhat korlátlanul, előbb-utóbb vagy beáll az egyensúly a környezettel, vagy az élőlény osztódik.

Egysejtűeknél az asszimiláció határának elérésekor bekövetkező osztódás visszatérést jelent a kiindulási alakhoz, és ez az asszimiláció határának csökkenéséhez vezet.

Soksejtű szervezetek kiindulási alakjának (petesejt) osztódásakor nem tér vissza a kiindulási formához, és nő az asszimiláció határa.

A szerző az **alapvető folyamat** megnevezést használja az osztódás bármely formájára, amely akkor következik be, ha az anyagcsere folyamat zavart szenved, de lehet a kiváltó ok az élő anyag potenciáljának csökkenése is.

Az asszimiláció határának elérése után ugyanis a rendszer potenciálja csökken, és a rendszer közeledik az egyensúlyi állapothoz, ezért az életképesség további megőrzésének lehetősége utódok létrehozása, vagyis a szaporodás. A szaporodás lehetősége abban áll, hogy az élő állomány inaequilibrium állapotban lévő deformált molekuláinak egy része termodinamikai egyensúlyba jut (élettelené válik, elpusztul), és az így felszabaduló energia növeli a megmaradó többi molekula szabad energiáját.

A soksejtű szervezet egyetlen sejtől, nagyszámú osztódással jön létre. Az ivarsejtek keletkezése az elhaló testi sejtek strukturális energiájának terhére történik, vagyis az osztódások során a sejtek szabad energiája csökken, miközben a többi sejt terhére teljes értékű ivarsejtek (is) keletkeznek.

Amennyiben a soksejtű szervezetek sejtjei nem érik el az asszimilációs határt, és már korábban osztódnak, csökkentett tömegű utódsejteket hoznak létre.

Egysejtű lény csak akkor osztódik, ha elérte az asszimilációs határt.

Az egysejtűek szaporodása (osztódása) a sejtek azon részeinek strukturális energiájának terhére következik be, amelyek a szaporodáskor elpusztulnak. Az egysejtű tenyészetek életképességének feltétele ezért az, hogy a tenyészetben legyenek olyan sejtek, amelyek elérik a növekedésük felső határát, és osztódással az eredeti potenciállal és tömeggel rendelkező két új sejtet hozzanak létre.

## Az evolúció

Az evolúció hajtóereje a környezet szüntelen változása.

Itt már nem egy konkrét élő szervezet fizioiógias alkalmazkodásáról van szó, hanem az élő állomány (populáció) alkalmazkodásáról, amelynek során más tulajdonságú ivarsejtek jönnek létre, és új belső struktúrák alakulnak ki.

A külső környezet változása kétféle lehet: az élettelen környezet változása és az élő környezet változása. Az élő környezet változását jelentheti egy faj túlnépesedése, vagy ellenséges fajok elszaporodása.

Az evolúciós versenyben azok az új alakok lesznek előnyben, amelyek több külső munkát képesek végezni és/vagy új energiaforrásokat találnak és/vagy nagyobb határfokkal hasznosítják az energiát.

A fizioiógias alkalmazkodás határát a Rubner állandó szabja meg. Ha a környezet változása túllépi a fizioiógias alkalmazkodás határát, ez kiválthatja az „alapvető folyamatot”, vagyis a szaporodási folyamatot, amelynek során utód élőlény jön létre. (pl. idő előtt megindul a szülés)

Új struktúrával rendelkező ivarsejtek képződése a **mutáció**, amelynek kiváltó oka az alapvető folyamat zavara, károsodása, valamint az anyagcserezavar következtében fellépő idő előtti szaporodási folyamat.

A genetikai alkalmazkodás során tehát az élő anyag károsodik, emiatt a mutációk gyakorisága megnövekszik, és ezzel megnő annak a valószínűsége, hogy adaptációra alkalmasabb mutáns egyedek is keletkezzenek.

Kísérleteket végeztek legyekkel, és azt találták, hogy röntgen besugárzás hatására a mutációk gyakorisága megnőtt, akkor is – bár kisebb mértékben – ha a sugárzás nem érte a test azon részét, ahol az ivarsejtek képződnek.

Kísérletek igazolják, hogy a mutációk leggyakoribb oka az élő anyag károsodása, és hogy egy sejt bármilyen külső eredetű károsítása kiválthatja az idő előtti osztódást.

*„Az evolúció nyersanyagát a létért folyó küzdelem legyőzöttei, és nem a győztesei adják.”*

Amikor már a fajok sem képesek alkalmazkodni, akadhat más olyan korábban háttértbe szorult kis létszámú faj, amely ez által nyer életteret. Pl. óriáshüllők kihalása után az emlősök tömeges fellépése.

Fontos tényező a Rubner állandó, vagyis az az energia, amelyet az élő szervezet az egész élet folyamán asszimilálhat. Az evolúció törvénye és lényege pedig a külső munkavégző képesség és a Rubner állandó növekedése.

### **Betegségek, daganatok**

Erről a kérdésről főleg a függelékben olvashatunk.

Eszerint a betegség regulációs zavar, amely miatt a szervezet nem képes a felvett energiákat maradéktalanul felhasználni az inaequilibrium állapot fenntartásához.

Betegséget általában külső hatás okoz.

Az alkalmazkodás határát meg nem haladó külső hatás regulációs zavart okoz, és regulációs folyamatot vált ki.

A betegség maga a regulációs zavar, de a kiváltott alkalmazkodási folyamat (pl. láz) nem tekinthető betegségnek.

A sejtek degenerációja az alkalmazkodási fokot meghaladó regulációs zavar.

A degenerálódó sejtekben lejátszódó nem regulatív folyamatok képezik a gyulladást.

Atrófia (sorvadás) esetén a kiindulási alakká nem dedifferenciálódó sejtek elhalnak, ezeket már nem befolyásolják a szomszédos sejtek életfolyamatai. Ez okozza a többsejtűek öregedését (öregkori atrófia).

A daganat sejt szaporodás, önálló növekedési folyamat, amelynek során – sejt kiesés következtében – az újonnan keletkező sejtek nem kerülnek a környezet szabályozó hatása alá.

A legdifferenciáltabb szövetekben ritkán képződnek daganatok. (Mivel kevésbé képesek a sejtek embrionális állapotba visszaalakulni.)

*(Héjjas, 2015. dec.)*