

# 6.4. A BIOSZFÉRA EVOLÚCIÓJA

## 6.4.1. PREBIOLÓGIAI EVOLÚCIÓ ÉS AZ EMBER EVOLÚCIÓJA

*Készítette Vizkivicz András*

We live here in the Milkyway



## Emelt szintű vizsgakövetelmények 2024

### 6.4. A bioszféra evolúciója

#### 6.4.1. Prebiológiai evolúció és az ember evolúciója

##### Kulcsfogalmak

- nagyraszok,
- fizikai és kémiai evolúció, a földi élet lehetősége, abiogenezis, Miller kísérlete, Homo nemzetség evolúciójának főbb lépései.

##### Gondolkodási művelet

- Hasonlítsa össze ábrák alapján az emberszabású majmok és az ember vonásait.
- Indokolja, hogy az ember evolúciója során kialakult nagyraszok értékükben nem különböznek; a biológiai és kulturális örökség az emberiség közös kincse.
- Magyarázza az összefüggést a Föld Naprendszeren belüli elhelyezkedése, kozmikus környezete, a bolygó adottságai és a földi élet lehetősége között. Idézza fel, hogy a biológiai evolúciót fizikai és kémiai evolúció előzte meg.
- Értelmezze leírások alapján a korai emberfélék és a Homo nemzetség evolúciójának főbb lépéseit, pl. az agytérfogat változásai, testtartásra utaló bélyegek, tűz- és eszközhasználat alapján. Ismertesse egy töredékes koponyából levonható következtetéseket az adott emberelőd tulajdonságaira vonatkozóan.
- *Értelmezze Miller kísérletét és ismertesse annak jelentőségét.*



## 6.4. A bioszféra evolúciója

Készítette Vizkievics András

*A fejezet a követelményrendszer 6.4. pontja alapján készült.*

### Az evolúció fogalma

A **biológiában** evolúciónak, törzsfelődésnek nevezzük az **élővilág fokozatos és szüntelen történeti fejlődését**. Ugyanakkor az evolúció fogalmát más szinteken is értelmezzük. Tágabb értelemben az evolúció egy lassú, fokozatos, bizonyos irányba haladó változást jelent. Az evolúció jelensége így akár az Univerzum fejlődésében, a társadalmi változásokban vagy a tudományos elméletek alakulásában is megjelenik.

Ennek megfelelően beszélhetünk

- **fizikai evolúcióról**, az anyag fejlődéséről, a **kémiai elemek kialakulásáról**, továbbá
- **kémiai, molekuláris evolúcióról**, azaz a **biológiailag fontos** egyszerűbb, ill. bonyolultabb **vegyületek kialakulásáról**.

A biológiai evolúciót a fizikai és a kémiai evolúció előzte meg (**prebiológiai evolúció**).

### Fizikai evolúció

#### Az Univerzum keletkezése

Ma – hiányosságai ellenére - a leginkább elfogadott elképzelés a világegyetem keletkezésére vonatkozóan az **ősrobbanás** (Big Bang) elmélete. Lényege:

- a világegyetem kb. **13,7 milliárd** évvel ezelőtt keletkezett,
- ezt megelőzően az Univerzum összes anyaga és energiája egyetlen végtelen hőmérsékletű és nyomású, rendkívüli sűrűségű pontban koncentráldott.
- A keletkezés pillanatában az ősanyag tágulni és ezzel párhuzamosan hűlni kezdett.
  - A létrejött  $8 \times 10^{83} \text{ cm}^3$  térfogatú ( $r = 14 \times 10^9$  fényév sugarú) látható Univerzum 350 milliárd galaxisában  $3\text{-}5 \times 10^{22}$  csillag van és az atomok száma  $4 \times 10^{79}$ , az átlagos sűrűség pedig  $10^{-29} \text{ g/cm}^3$ .
  - Extrém gyors kiterjedés, kozmikus infláció szakasz  $10^{-30}$  s-ig, amely alatt a világegyetem eredeti méretének  $10^{48}$ -szorosára növekedett (ma 70 km/s).
  - $10^{-7}$  s kvarkok, leptonok és fotonok keletkezése.
  - $10^{-4}$  s protonok, neutronok és antirészecskék összeállnak a kvarkokból.
- kb. 380 000 év alatt jönnek létre a legegyszerűbb elemek, a H, He, Li.

#### Fizikai evolúció: a kémiai elemek keletkezése

Az ősrobbanást követő elemképződés a Li-ig jutott el, a csillagok belsejében uralkodó viszonyok a vasig terjedő elemek képződéséhez vezetnek, az ennél nehezebb elemek viszont csak szupernóva-robbanás hőmérsékleti és nyomásviszonyai között jöhetnek létre.

#### A Naprendszer keletkezése

A ma általánosan elfogadott felfogás szerint a **Naprendszer**

- **kozmosz porból** (szupernóva-robbanás maradványából)
- és **gázból** (főleg H és He) álló felhőkből **gravitációs hatásra sűrűsödött** össze.



A gázfelhő **4,6 milliárd évvel ezelőtt** forgó koronggá alakult, centrumában a Nappal.

A Föld típusú kőzetbolygók esetében a csillagközi porcszemcsék a **gravitációs tömörödés** és a **radioaktív elemek termelte hő hatására megolvadtak**. A Föld éppen úgy, mint a többi belső bolygó, különböző méretű, összetételű, a **központi vasmagtól a kéregig csökkenő sűrűségű övekből áll**. A Föld korai állapotában egy **Mars méretű égitest ütközhetett a Földnek**, mely egy köpeny összetételű részt **kiszakította a Holdat pályára állította**.

### A légkör kialakulása, az őslégkör

A földi légkör a földtörténet során jelentős változásokon ment keresztül.

A Föld **legelső**, ún. **őslégköre** abból a **gáz és porfelhőből származik**, amelyből maga a bolygó is kialakult. A kialakuló Földbe

- egyrészt **meteorok, üstökösök, bolygókezdemények csapódtak be**, amelyek jelentős mennyiségben **hoztak magukkal gázokat is** fagyott állapotban, amelyek rögtön elillantak és a légkörbe kerültek.
- Másrészt a **földfelszín lehűlése, 4,3 milliárd évvel ezelőtti megszilárdulása** során a **kőzetek gázleadása** és a **vulkanizmus** révén **CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, vízgőz, NH<sub>3</sub>, HCN, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S** került a légkörbe.

A földtörténet e kezdeti szakaszában

- a **szén-dioxid mennyisége jelentősen meghaladta a jelenlegi értéket** (egyesek a jelenlegi tízszeresének becsülik).
- Ezzel szemben a légkör **oxigéntartalma elhanyagolhatóan csekély volt**.

A szén-dioxid koncentráció csökkenésének két alapvető oka van:

1. az ősóceánok kialakulásával a szén-dioxid jelentős része **elnyelődött, a vízben kicsapódva karbonátos kőzeteket hozott létre**.
2. A **fotoszintézis** megjelenésével az élőlények a levegőből szén-dioxidot vettek fel.

### Az oxigéntartalmú légkör kialakulása

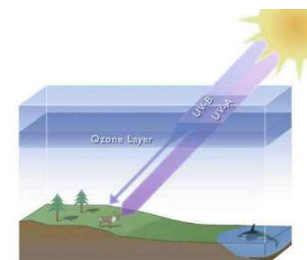
Az O<sub>2</sub> két forrása:

1. **UV sugárzás hatására a víz bontásából.**
2. Az élet kialakulása után az oxigéntermelő **fotoszintézisből.**

### Az ózon kialakulásának jelentősége

Az ózon (O<sub>3</sub>) egy három oxigénatomból álló **instabil** molekula. Ma az ózon a légkör **20-30 km magasságában** köpenyszerűen veszi körül a Földet, **hőmérséklete eléri a 60 Celsius-fokot**.

A földi élet számára rendkívül fontos, mert **kiszűri az UV sugarak legnagyobb részét**. Ultraibolya sugárzásnak nevezzük a 100 nanométer (nm) és 400 nm hullámhosszúság közé eső **nagy energiájú** sugárzásokat.



## Az ősóceán kialakulása

Amikor kb. **4,3 milliárd évvel ezelőtt** a hőmérséklet elérte a 100°C-ot, **megkezdődhetett a vízgőz cseppfolyósodása** és a Föld felszínén **megindult az óceánvizek kialakulása (ősóceán)**. A víz egy része a **becsapódó jeges üstökösökből**, másik része pedig **vulkanikus kigőzölgésekből** származott.

## Kémiai evolúció

A kémiai evolúció **az a folyamat, amelyben a biológiailag jelentős szerves anyagok létrejöttek**. Az élet keletkezésére nézve többféle elképzelés ismert.

## Pánspermia elmélet

Eszerint az **élet nem a Földön keletkezett, hanem valahol a Földön kívül** és egy kisbolygó vagy meteorit útján került a Földre.

20 évvel ezelőtt az Antarktiszon olyan meteoritot találtak, mely szerves élet nyomait is tartalmazta. Az Allen Hills meteor (ALH84001) 4,5 milliárd éves anyagból van, a Mars felszíne alól 1 kilométerrel szakadt ki és került a világűrbe, amikor hozzávetőleg 16 millió évvel ezelőtt egy aszteroida vagy üstökös becsapódott a vörös bolygóba. A meteor ekkor indult útnak és mintegy 13 ezer évvel ezelőtt csapódott be az Antarktiszba. Kutatók már 1984-ben megtalálták a meteoritot, de csak 1996-ban derült ki, hogy a kő fosszilizálódtott mikrobák nyomait tartalmazza. Bár sokak szerint az Allen Hills meteorban talált életnyomok valójában már a Földön adódtak az üstököshöz, manapság valóban egyre többen vallják a Földön kívülről érkezett élet hipotézisét.

**Szerves vegyületek** sem csak a Földön találhatók: felfedezhetők a csillagközi molekuláris porfelhőkben, a meteoritokban és az üstökösökben is. Mára már körülbelül száz csillagközi molekulát azonosított a rádiócsillagászat.

Figyelemre méltó, hogy az Univerzum leggyakoribb háromatomos molekulája a víz, és leggyakoribb szerves molekulái a formaldehid, valamint a hidrogécianid. A legnagyobb molekula, amit eddig azonosítottak, tizenhárom atomból áll. A legegyszerűbb aminosavat, a glicint is megtalálták már a világegyetemben.

Ezen elmélet igazolására jó alkalmat kínáltak a közelmúlt üstökösöket vizsgáló űrexpedíciói.

A Stardust űrszonda 2004-ben a Wild 2-üstököst látogatta meg, míg a Deep Impact szonda 2005-ben a Tempel 1-üstökösbe csapódott.

Előbbi szénhidrogén molekulák egész sorát találta az üstökösben, míg a Deep Impact lövedékének irányított becsapódása rávilágított, hogy az üstökös belsejében szerves molekulák és por keveréke található. Ez azért érdekes, mert az elméletek szerint a porrészecskék katalizátorként működhetnek, s felszínükön az egyszerűbb szerves molekulákból bonyolultabb vegyületek jöhetnek létre.

A Földön megtalálható kráterek tanúskodnak arról, hogy az ősi Föld is ki volt téve heves meteorzáporoknak. Ennek erőssége úgy 4,4 milliárd évvel ezelőtt hagyott alább annyira, hogy lehetségessé vált az élet kifejlődése az ősóceánok kialakulása után.

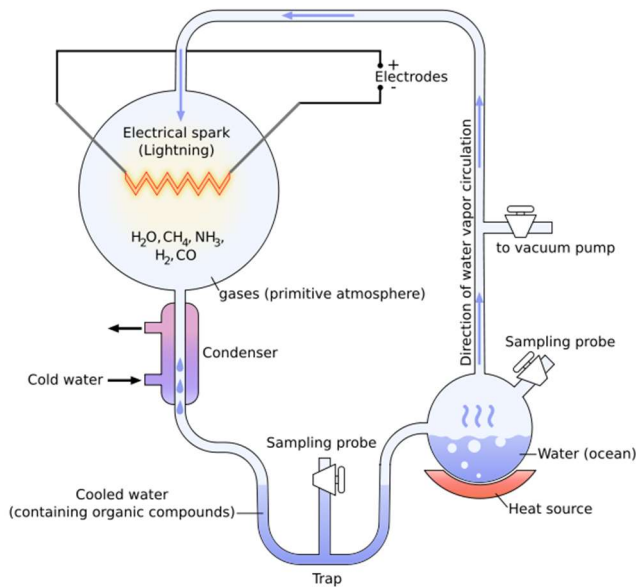
## Ősleves elmélet – szerves vegyületek abiogén képződése

A szerves vegyületek megjelenésére vonatkozó másik – kísérlettel bizonyított - elmélet szerint az **oxigénmentes őslégkörben villámlás és UV-sugárzás hatására egyszerű szerves molekulák, többek között aminosavak, karbonsavak jelenhettek meg**, melyek bemosódtak az ősóceánba. Ezt a folyamatot nevezzük **abiotikus szerves anyag képződésnek** (Stanley Miller és Harold Urey).

Az elmélet bizonyítását Stanley Miller végezte 1953-ban.

A kísérleti berendezésben

- $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , és  $\text{H}_2$  reagált egymással gáz formában.
- A gázokat egy olyan térbe vezették, ahová **elektródák** nyúltak be.
- Az elektródákon keresztül **szikrákat** vezettek a térbe, ami a korai Föld idején gyakori **villámlásokat modellezte**.
- Az eszköz elrendezése szimulálta a víz körforgását.



HCHO	formaldehyde
HCOOH	formic acid
HCN	hydrogen cyanide
$\text{CH}_3\text{COOH}$	acetic acid
$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	glycine
$\text{CH}_3\text{CHCOOH}$   OH	lactic acid
$\text{NH}_2\text{CHCOOH}$   CH <sub>3</sub>	alanine
$\text{NH}-\text{CH}_2\text{COOH}$   CH <sub>3</sub>	sarcosine
$\text{NH}_2-\text{C}-\text{NH}_2$    O	urea
$\text{NH}_2\text{CHCOOH}$   CH <sub>2</sub>   COOH	aspartic acid

Néhány egyszerűbb vegyület, melyek a Miller kísérletben képződtek.

A lecsapódott vízből elvégezték a vegyelemzést. Azt találták, hogy a szén 10–15 %-a alakult át szerves vegyületté. Ezeket az egyszerű szerves molekulákat a mindennapos **zivatarok belemosták az ősóceánba**, ahol mennyiségük egyre gyarapodott (**ősleves**).



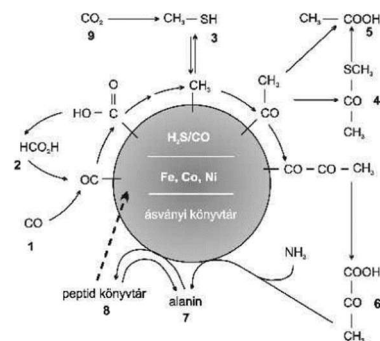
A következő kérdés az volt, hogy az **egyszerű szerves monomerek hogyan kapcsolódtak össze bonyolultabb makromolekulákká**.

Erre megoldásként egyes tudósok az ásványi felszínek, mint például az **agyagásványok** jelentőségét hangsúlyozták a prebiológiai evolúcióban.

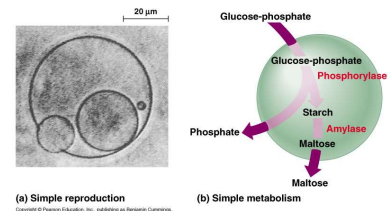
A **vaskén világnak**, avagy "**prebiotikus pizzának**" nevezett elmélet szerint **egyes ásványi felszínek – agyagásványok – megkötni képesek bizonyos molekulákat és katalizátorként segítik összekapcsolódásukat**, aminek következtében egyszerűbb nukleinsavak, peptidek, összetett szénhidrátok keletkezhetnek.

A **következő probléma** a létrejött szerves vegyületek további **makromolekuláris rendszerekké szerveződése**.

Az **óriásmolekulák** vizes közegben spontán **nagyobb cseppekké állnak össze**. Az így kialakuló makromolekuláris rendszereket **koacervátumoknak** nevezzük.



Oparin fehérjét és poliszacharidot összekeverve mikroszkopikus cseppeket figyelt meg. Sejtekből származó fehérjékből álló koacervátumokhoz glükózt és enzimet adva a **mikrogömbök keményítőt állítottak elő, a cseppek növekedve több részre váltak szét.**



Sajátos állapotú anyagrendszer jött létre, amely az életjelenségek előfutáraként fogható fel.

### Élőlényeknek tekinthetjük-e a koacervátumokat?

Az élőlények **életjelenségeket** mutatnak. Életjelenségeken olyan **folyamatokat** értünk, amelyek **csak az élő szervezetekre jellemzőek**. Ezek teszik lehetővé a változó környezetben az élőlények életben maradását és a környezethez való alkalmazkodását.

A koacervátumok működése **több ponton hasonló az élő rendszerek működéséhez**:

- **anyagcserét folytatnak, anyagokat vesznek föl, ill. adnak le, nyílt rendszerként működnek, növekednek, szaporodnak.**

Ugyanakkor **még nem tekinthetők élőlényeknek**, mivel:

- **nincsenek öröklődő tulajdonságaik, nem tartanak fenn homeosztázist, nem alkalmazkodnak, nem ingerlékenyek stb.**

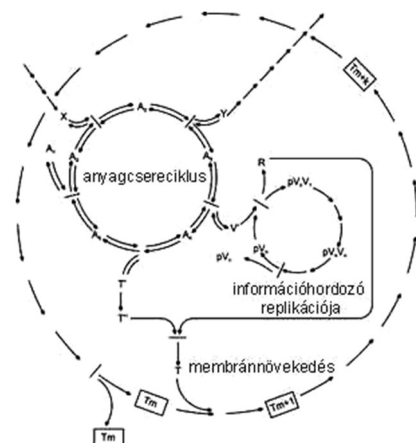
A koacervátum cseppek **spontán képződhetnek a megfelelő körülmények között**, de összességükben az élő rendszereknél sokkalta egyszerűbbek. Mégis elég sok tudós véli úgy, hogy a koacervátumok lehetnek a kémiai (prebiológiai) evolúció egyik állomásai, amelyekből az élő szervezetek létrejöttek.

Az **Oparin-féle koacervátum** modellt továbbfejlesztette **Gánti Tibor** a **kemoton** elmélet megalkotásával, amely magába foglalja az élő rendszerekre vonatkozó alapkritériumokat:

- **anyagcsere, állandóság,**
- **önfenntartás**
- **elhatárolódás,**
- **növekedés,**
- **szaporodás, öröklődés.**

A **chemoton** egy kémiai szuperrendszer, mely három autokatalitikus alrendszert tartalmaz:

- egy **reakcióciklust** (anyagcsereciklust),
- egy **információtároló rendszert** és
- egy **határolórendszert.**



**Anyagcsere alrendszer:** olyan **kémiai rendszer**, amely a **környezetből anyagokat vesz fel és más molekulákká alakítja. Energiát termel és alapanyagot szolgáltat** a további két alrendszernek (különböző fehérjék együttese).

**Vezérlő alrendszer:** az **információk tárolására és átadására ad lehetőséget** (RNS, DNS). Molekulaláncok, amelyek képesek elkészíteni saját másolataikat (replikáció).

**Membrán alrendszer:** **féligáteresztő burkot alkotó molekulák együttese**, amely a fenti két alrendszert körbeveszi, és azt elkülöníti a környezettől (foszfolipidek alkotta hártya).

## RNS világ - ribozimok

Az élet keletkezésének egyik máig megválaszolatlan kérdése, hogy a **fehérjék vagy az örökítő anyag (DNS) jött létre előbb** a kémiai evolúció folyamán.

Nincs genetikai kód fehérjék nélkül, és nincs fehérje genetikai kód nélkül. Ez egy klasszikus "tyúk-tojás" probléma. Erre megoldást a **ribozimok** felfedezése szolgáltatta. A **ribozimok katalitikus aktivitást mutató RNS-ek**.

Egyes RNS-ek ugyanis

- képesek arra, hogy **enzimként (ribozimként) működve** más RNS-eket **hasítsanak** (pl. splicing során), ill.
- **a riboszómákban katalizátorként működnek közre a fehérjeszintézis folyamatában.**



Másfelől léteznek olyan vírusok, ún. **retrovírusok** – HIV, koronavírusok stb. – melyek **örökítőanyaga RNS**. A fertőzés során a vírus RNS-ben foglalt információtartalma a reverz transzkriptáz enzim segítségével DNS molekulába íródik át. A reverz transzkriptáz használatával a retrovírusok genetikai információjukat beilleszthetik a gazdasejt genomjába, amelyet a gazdasejt ezután sajátként kezel.

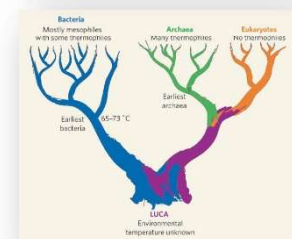
Ezért számos kutató véleménye szerint a **legelső ősi sejteknek RNS volt az örökítő anyaga**. Ebben az ún. **RNS világban** az RNS-molekulák töltötték be mind az **információtárolás, mind pedig az enzimek szerepét**.

## A biológiai evolúció kezdete, az élet kialakulása

Az **első életformák** legrégebbi fosszilis **geológiai maradványai a sztromatolitok, kb. 3,4 milliárd évesek**. A sztromatolitok réteges, párnaszerű üledékes kőzetek, amelyek egyes **ősi kékbaktériumok** sejtszerű körüli mészkiválás eredményeképpen jöttek létre.



Ezek **Földünk legrégebbi ismert élőlényei**, bár valószínűleg ezt megelőzően, akár már **3,8 milliárd** éve, 10-13 m magas vízszlop alatt – ahová a roncsoló UV sugárzás nem jutott le - **megjelenhetett az élet a Földön**.



Tehát kb. **3,5 milliárd évnél korábban, de kb. 4 milliárd évnél később** létrejöttek a ma ismert élővilág **legelső képviselői**. Ezek ősi formáját **utolsó egyetemes közös ősnek** (Last Universal Common Ancestor, **LUCA**) nevezik. A feltételezett LUCA a törzsfaj legalján foglal helyet, minden ma ismert élőlény tőle származtatható.

Az **első sejtek anaerob, heterotróf, prokarióta ősbaktériumok** lehettek, általuk **felhasznált szerves vegyületek abiotikusan** keletkeztek az ősi Földön.



**Ősbaktériumok ma is élnek a Földön szélsőséges körülmények között.**

- A **termofilek** viszonylag magas hőmérsékletű, 80 °C-nál melegebb helyeken, gejzírekben, óceán fenekén található hőforrásokban is képesek élni és szaporodni.



- A **halofilek** rendkívül sós vizekben találhatóak meg (Holt-tenger).
- A **metanogének** a **kérődzők bendőjében**, mocsarakban, lápokban **anaerob környezetben** végzik feladatukat.

Az **ősbaktériumok** evolúciós jelentőségét az adja, hogy a fehérjeszintézisük hasonlósága, ill. a genetikai anyaguk átírási módja alapján legújabban az **eukarióták ősi ágának tekintik**.

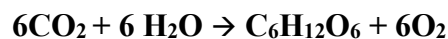


Az ősbaktériumok törzsfajlódestandilag tehát sok tekintetben **közelebb állnak az eukariótákhoz, mint a valódi baktériumokhoz** (lásd fenti ábra).

Az őselevesben a szerves anyagok mennyisége a heterotróf táplálkozás miatt egyre fogyott.

Az **első válság** akkor következett be, amikor a **környezetből elfogytak** az energiaszolgáltató **szerves vegyületek**. Emiatt **azok a sejtek jutottak előnyhöz, amelyek a légkör CO<sub>2</sub>-ját, mint szénforrást hasznosítani tudták (autotróf szervezetek)**. A környezetben **CO<sub>2</sub> nagy mennyiségben volt jelen**, de a hasznosításához energiára volt szükség. A sejtek a CO<sub>2</sub> hasznosításához az **energiát fényből nyerték (fotoszintézis)**.

Az **oxigéntermelő fotoszintézis megjelenése kb. 3,5 milliárd évvel ezelőtre tehető** és **ősi kékbaktériumokhoz** köthető (maradványaik a sztramatolitok).



Mivel az élet O<sub>2</sub> mentes, anaerob környezetben alakult ki, és a termelődő **oxigén** nagyon reaktív, ezért **mérgező hatású volt az első anaerob élőlényekre (O<sub>2</sub> válság)**.

Az oxigén jelentősebb – 0,1 % - megjelenését követően – kb. 2,5 milliárd éve - az anaerob sejtek az alábbi lehetőségek közül választhattak:

- **olyan anaerob környezetbe bújtak, ahol nem volt oxigén (pl. mélytengerek),**
- **kifejlesztettek egy enzimes védekező mechanizmust az O<sub>2</sub> károsító hatásával szemben és kialakultak az aerob baktériumok.**

Az **O<sub>2</sub>-nek pozitív hatásai is voltak** az élet földi fejlődésére:

- Az O<sub>2</sub>-es légkör felső határán kialakult az **ózonréteg**, amely részben elnyelte a Nap roncsoló UV sugarainak egy jelentős részét.
- Az O<sub>2</sub> lehetővé teszi az **szerves molekulák CO<sub>2</sub>-á és H<sub>2</sub>O-é történő sokkal teljesebb elégetését**, aminek eredményeként sokkal több energia szabadul fel. Kialakult a **biológiai oxidáció (légzés)**.

A prokarióták mintegy 2 milliárd éven keresztül egyedül uralták a Földet. **1,5-2 milliárd évvel ezelőtt** az ősi prokarióták egy csoportjából **kialakultak az eukarióták**. Az eukarióta sejtek létrejöttét az **endoszimbióta elmélettel** magyarázzák.

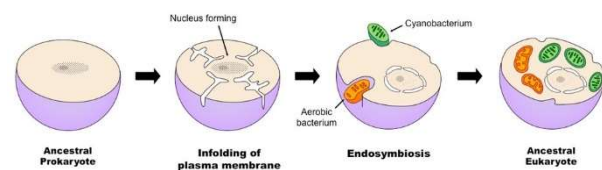
**Eszerint** az ősi prokarióták egy csoportjában **sejthártya befűződött** és a **DNS-t kettős membránnal vette körül, létrejött a valódi sejtmag**, kialakultak az ún. **eukarióta, valódi sejtmagvas** sejtek.

Az oxigén gyarapodásával az eukarióta sejtek őse **szimbiózist alakított ki egy aerob heterotróf baktériummal**; így **alakult ki az eukarióták mitokondriuma**. Az ősi eukarióta sejt bekebelezte a baktériumot, nem emésztette meg, tartós szimbiózisra lépett vele.

A **színtestek** kialakulása ugyanakkor egy **aerob fototróf kékbaktérium** bekebelezésére vezethető vissza.

Az **endoszimbiózis** elképzelést számos bizonyíték támasztja alá:

- a mitokondriumok, színtestek mind a **méretüket**, mind az **alakjukat** tekintve nagyon **hasonlók a ma élő baktériumokhoz**,
- saját **DNS-el rendelkeznek**, amely szerkezetét tekintve hasonló a prokariótákéhoz (gyűrű alakú, hisztonokat nem tartalmaz),
- **önálló osztódásra képesek**,
- saját **fehérjeszintetizáló képességgel** rendelkeznek, mely szintén a prokarióta apparátushoz – riboszómák - hasonló,
- a mitokondriumokat és a színtesteket **kettős membrán** határolja, amelynek
  - a belső membránja az eredeti prokarióta sejt saját membránja,
  - azonban a sejtszervecskék külső membránja a bekebelezés során jöhetett létre a sejtthártyából.



## A Föld Naprendszeren belüli elhelyezkedése, kozmikus környezete, a bolygó adottságai és a földi élet lehetősége

### Létezik-e a Földön kívül élet?

Jelenlegi elképzelés szerint az Univerzumban 100 milliárd galaxis van, s bennük egyenként átlagosan 100 milliárd csillag. Mivel minden csillag körül minimum 1 bolygó kering, ezért alsó hangon 100 milliárd x 100 milliárd bolygó létezik az világegyetemben. **Tehát nem kérdés, hogy van-e Földön kívüli élet.**

A Földön kívüli élet kutatásával az **asztrobiológia** tudománya foglalkozik. Az asztrobiológia egyik alapproblémája, hogy egyáltalán mi az „élet”, és miket tekinthetünk élőlényeknek. A probléma igen összetett, a Földön kívüli élet kutatásakor a következő szempontokat kell mérlegelni.



**Egyik esetben** abból indulnak ki, hogy máshol az élet hasonló feltételek között jött létre, mint a Földön, tehát a **földi élet jellemzőit kutatják**.

- Ennek megfelelően **az élet** – ahogyan az földi körülmények között is látható – biztosan **erősen befolyásolja a környezetét**. Évmilliók alatt mikroszkopikus tevékenységek is geológiai méretű nyomokat hagyhatnak pl. az elpusztult egykori tengeri mikroszervezetek testvázaiból lett mészkőhegységek. Tehát ha „életet” keresünk, egyszerűen olyan jelek után kell kutatni az égitestek között, melyeknek standard fizikai magyarázata nincs.
- A galaxisunkban található **életformák szén-alapúak kell, hogy legyenek**, mint a Földön.
- **Folyékony víz jelenléte** is elengedhetetlen, hiszen a víz minden földi élet alapja.

- Negyedik szempont a központi **égítessel, a csillaggal kapcsolatos**.
  - Egy, a mi Napunknál nagyobb csillag életideje kisebb, így nem lenne elég idő az élet kifejlődésére.
  - A **csillag**, ami körül az életnek teret adó bolygó kering, **legyen Nap-típusú**, több milliárd éves.
  - Míg egy kisebb csillag annyira kevés hőt sugározna, hogy csak a csillaghoz közeli pályán keringhetne a bolygó, annak is a pálya alakjából adódóan egyik oldala rendkívül forró, másik oldala pedig fagyott lenne.
  - A **csillagnak legyen bolygórendszere**, vagyis a lakhatósági zónában keringő bolygón kívül **legyenek üstökösök és kisbolygók** is a rendszerben, mivel ezek az égitestek képesek **vizet szállítani a bolygóra**.

Tehát **minden csillaghoz rendelhető egy méret és egy távolság**, aminek megfelelően a keringő bolygó optimális körülményekkel rendelkezne az élet kialakulásához. E sávot **élet-zónának** is nevezik.

- A következő feltételek a bolygókkal kapcsolatosak.
  - A bolygó legyen megfelelő méretű, sűrűségű, anyagú és **rendelkezzen** részben **szilárd felszínnel**, valamint **legyen rajta folyékony víz**.
  - A bolygónak legyen **mágneses tere, tömege, mely légkört képes megtartani**.
  - Legyen megfelelő a forgási sebessége, mely kialakítja a légáramlatokat, tengeráramlatokat az egyenletesebb klíma érdekében.
  - Legyen a bolygónak **megfelelő hőmérsékletű, összetételű, áteresztésű, sűrűségű, nyomású légköre** és rendelkezzen ózonpajzzsal is.

A másik esetben a földi élettől eltérő életformák meghatározása **egy nagyon nehéz feladat**, mivel jelenleg **csupán egyetlen modell áll a rendelkezésünkre**, és ez a földi élet. A kutatóknak nincs könnyű dolguk, hiszen nem ismert, hogy pontosan mit is kell keresni.

Felhasznált irodalom: Nagy Andrea Az élet kialakulásának kozmikus feltételei



## A főemlősök és az ember evolúciója

**Kb. 60-70 millió** évvel ezelőtt, a mai mókuscickányokhoz leginkább hasonlító ősi **rovarevő emlősökből** indult el a főemlősök evolúciója.

Megjelennek a főemlősökre jellemző tulajdonságok:

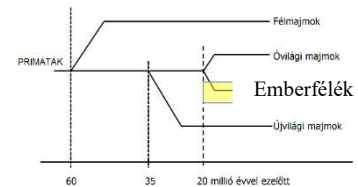
- **csökken a fogak száma**, differenciálódnak az őrlő-, szem-, metszőfogak.
- Kialakult a fogásra alkalmas **szembefordítható hüvelykujj**.
- A **szemek előre kerültek** lehetővé téve a térlátást.



A fenti változások lehetővé tették a fákon élő életmódot.

Főemlősök csoportjai:

- félmajmok
- valódi majmok
  - **szélesorrú** (széles orrsővény, orrnyílás oldalt) – **újvilági – majmok**
  - **keskenyorrú** – **óvilági – majmok**
    - cercófok
    - **emberszerűek**
      - gibbonfélék
      - **emberfélék** (hominidák család)
        - az **emberszabású majmok** (orángután, gorilla, csimpánz, bonobo)
        - az **emberek**.



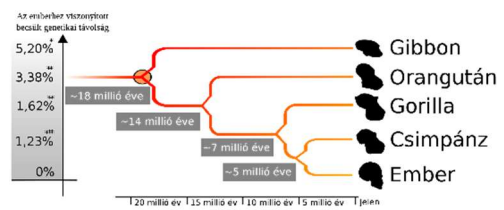
Az **emberfélék** (hominidák) - az **emberszabású majmok** és az **ember - közös őse** a kb. 15 millió éve kialakult afrikai elterjedésű **Ramapithecus** nemzetség tagjai voltak. Ramapithecus leletek előkerültek Európából és Ázsiából egyaránt, európai képviselőik a **Dryopithecusok** voltak.



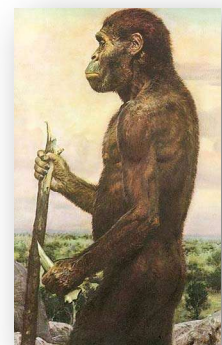
Magyarországi (Rudabánya) Dryopithecusok leletek kb. **10-12 millió** évesek. A **Rudapithecus hungaricus** agytérfogata **300-340 cm<sup>3</sup>** körüli, intelligenciája a mai páviánok szintjét érthette el.

### A korai emberfélék evolúciója

- Az orangután ősei kb. 14 millió évvel ezelőtt,
- a gorillák ősei kb. 7-8 millió évvel ezelőtt;
- a csimpánzok ősei kb. 5-6 millió évvel ezelőtt válhattak el az ember fejlődésétől.



Kb. **5-6 millió** évvel ezelőtti szétválási folyamat során Afrikában kialakultak az **Australopithecusok** (déli majom), amelynek egyik **korai fejlődési ágából** vált ki az ember fejlődése. Az Australopithecus leletek igen különböző korúak, **5-2 millió** év közöttiek. Ebben az időszakban Afrika klímája szárazabb és hűvösebb lett, a zárt erdősegeket ligetes szavannák váltották fel, ami az ott élő emberelődök életmódjára jelentős hatást gyakorolt. A fánlakó életmódról áttértek a talajon tartózkodó életmódra, ahol a magas fűben előnyt jelentett a kétlábonyjárás, aminek köszönhetően a helyváltoztatás feladata alól **felszabadult kezek** lehetővé tették a **szerszámhasználatot**, később pedig a **munkavégzést**.



Az Australopithecusok **átmenetet mutatnak** az emberszabású majmok és az ember között.

**Emberszabásúnak** tartott tulajdonság a nagy arc- és kis agykoponya, amely a hallójárat nyílása felett a legszélesebb.

**Emberre** jellemző a

- felegyenesedett járás (kiszélesedett medence, kettős S-alakú gerincoszlop),
- eszközhasználat (kőszerszámok),
- foghézag nélküli szemfogak.

Az Australopithecusok kb. 1 millió éve kihaltak. Ezt megelőzően kb. 4-5 Australopithecus faj is élt. A késői Australopithecusok zsákutcát jelentettek.

A korai Australopithecusokból jöttek létre a **Homo** nemzetség fajai.

Az emberiség bölcsője **Kelet-Afrikában** van. 2,5 millió – 150 000 évvel ezelőtt több, azóta kihalt Homo faj élt itt.

- **Homo habilis**
- **Homo erectus**
- **Homo heidelbergensis**

**Homo habilis** (ügyes ember)

- **Korai Australopithecusokból alakult ki.**
- A Homo habilis típusának első lelete **1,8 millió éves.**

Főbb jellemzők.

- Az agykoponya **700 cm<sup>3</sup>** körüli volt.
- **Stabil két lábon járás volt jellemző, lába már fogásra alkalmatlan.**
- **Megjelent az eszközkészítés,** legrégebbi pattintott kőeszközök 2,5 millió évesek.
- A szápadlás, állkapocs szerkezete alapján megjelenhettek a **beszéd** elemei.

A **valódi emberek** csoportjában 4 fejlődési vonal ismert:

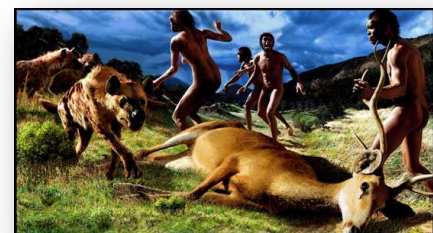
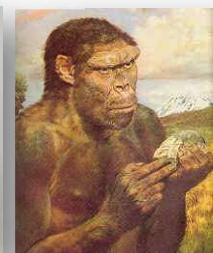
- **Előemberek** (Homo erectus)
- **Heidelbergi ember**
- **Ősemberek** (Neander-völgyiek)
- **Mai emberek** (Homo sapiens)

A valódi emberek fejlődésének legfontosabb jellemzői:

- Az **eszközkészítés.**
- **Tűz** (kb. 1 millió éve), **barlangok használata.**
- **Nyelv fejlődése.**
- Társas kapcsolatok fejlődése (pl. **vadászat**).

**Homo erectus** (felegyenesedett ember)

- A Homo habilisből jött létre, a legidősebb kelet-afrikai lelet **1,5 millió éves.**
- Egyenes combcsontjuk, gerincük alakja alapján testtartásuk **felegyenesedett** volt.



- Húsevő vadászok voltak.
- Használták a tüzet, kőeszközöket készítettek,
- hordákban éltek, barlangokban laktak, kannibálok voltak.

Több csoportjuk, több hullámban kivándorolt Afrikából, ismertek fosszilis képviselőik Európában és Ázsiában.

A **jávai előember** 800 000 éves, agykoponyájuk térfogata **800 cm<sup>3</sup>** körüli.

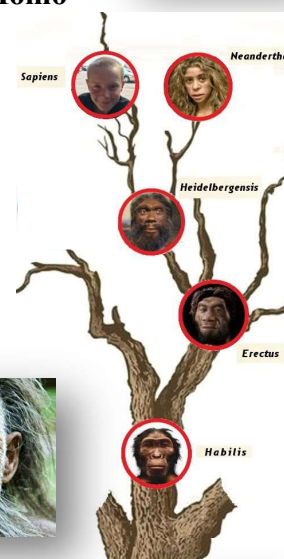
A **pekingi előember** 600 000 éves, agytérfogata **1100 cm<sup>3</sup>**.

A **vértesszőlősi előember** 300 000 éves, agytérfogata **1200 cm<sup>3</sup>**.

A Homo erectusok egyik fejlődési ágából alakult ki a **Homo heidelbergensis**, melyből Afrikában a **Homo sapiens**, Európában a **Homo neanderthaliensis** alakult ki (közvetlen közös ős).

A **Homo heidelbergensis** fejlődési vonala tehát kettévált. Az egyik kihalt fejlődési ágat a **Neander-völgyi ősember** képviselte.

- Kb. 200 000 éve alakultak ki (jelentek meg) Európában.
- Magasságuk **158 cm** körüli volt, lábaik feltűnően rövidek voltak. Zömök testalkatuk a jégkorszaki klímához történő alkalmazkodást tükrözi.
- Felső testük előrehajolt, a gerincoszlopuk egyenes volt.
- Agykoponyájuk **1500 cm<sup>3</sup>** körüli.
- Homlokuk lapos, homlokereszük erős.
- Állcsúcsuk még nincs.
- Hordában éltek, barlangokban laktak.
- Vadásztak, pattintott kőszerszámokat készítettek.
- Nagyobb vadaknak csapdákat állítottak, húsukat megsütötték.
- Használták a tüzet, nem volt ritka a kannibalizmus.
- Halottaikat eltemették.
- Hazai leletek: Szeleta-barlang, Istállóskői-barlang, Subalyuk barlang.
- Kb. 30 000 évvel ezelőtt eltűntek.

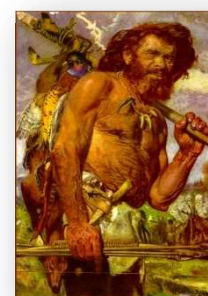


Ma valószínűnek tűnik, hogy a **korai Homo sapiens** kb. a 300 ezer éve valahol É-Afrikában alakulhatott ki, melyből kb. 100 000 éve jött létre a **mai modern** embertípus.

### Homo sapiens

A másik fejlődési ág fosszilis képviselje a **cro-magnoni** ember,

- Európában kb. 40 ezer éve jelent meg,
- agytérfogata **1400 cm<sup>3</sup>**,
- nincs homlokeresze,
- kialakult az **állcsúcs** (tagolt beszéd),
- csonteszközöket, művészi alkotásokat készített, (Willendorfi Vénusz, barlangrajzok),
- több típusa jött létre, melyek a nagyrasszok őseinek tekinthetők.



A Homo sapiens kialakulására kétféle elmélet ismert.

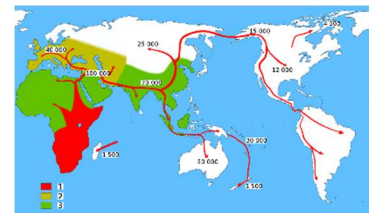
### 1. **Többközpontú** elmélet

A többközpontú (multiregionális) elmélet szerint az **afrikai, közel-keleti és távol-keleti Homo erectus populációkból közel egyidőben, helyben fejlődött ki a Homo sapiens** és ezekből a helyi Homo sapiens populációkból fejlődtek ki az egyes **mai emberfajták**, a **nagyraszok**. Az elmélet szerint a Neander-völgyi emberek lennének az Európában élt Homo sapiens populációk közvetlen elődei. Populációgenetikusok azonban a csekély genetikai különbség alapján vitatják ezt az elképzelést, mivel hosszú időn keresztül jelentős génáramlást feltételez az egymástól nagy távolságra levő populációk között ahhoz, hogy az evolúciós változások „eredménye” mindenhol „ugyanaz” a modern ember legyen. Molekuláris biológiai (mitokondriális DNS és Y-kromoszóma) vizsgálatokkal azonban végleg megcáfolták ezt az elméletet.

Forrás: Wikipédia

### 2. **Egyközpontú** elmélet

Feltételezhető - az egyes emberfajták közötti nagymértékű genetikai hasonlóság alapján -, hogy a **Homo sapiens kizárólag Afrikában alakult ki** kb. 300 000 ezer évvel ezelőtt. Több hullámban **kivándorolva a Föld többi részére, kisebb létszámú csoportjai kiszorították az addig ott élő kései Homo erectus populációkat. A megtelepedő csoportok alkalmazkodva az adott terület környezeti viszonyaihoz létrehozták a ma is létező nagyraszokat** (negrid, europid, mongolid, veddo ausztralid).



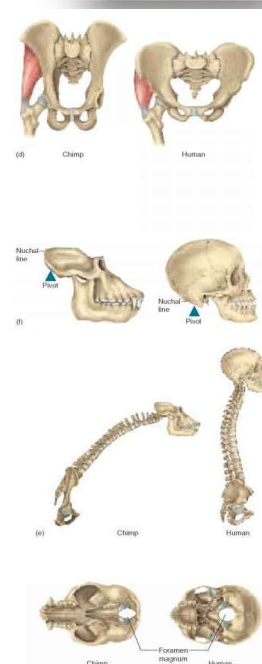
Erre a sorsra jutott a Neander-völgyi ember is, amely a Homo heidelbergensisből a jégkorszaki Európában kifejlődött embertípus volt. Másik elképzelés szerint – genetikai vizsgálatok alapján - a jégkorszaki Európában megjelenő cro-magnoni ember összeolvadt a Neander-völgyiekkel.

A leszármazási viszonyok, ill. a 99,7 %-os genetikai hasonlóság alapján megállapítható, hogy a **ma élő összes ember egy fajba (Homo sapiens) tartozik. Az ember evolúciója során kialakult nagyraszok tehát értékükben nem különböznek; a biológiai és kulturális örökség az emberiség közös kincse.**



**Emberré válás biológiai következményei:**

- két lábon járás,
- medence és combcsont szöge megváltozott,
- medence öv kiszélesedett,
- gerincoszlop gyenge S alakban hajlott,
- lábfejboltozat kialakulása a rugalmas járást tette lehetővé,
- mély háti izom megerősödött, mely a törzs előrehajlását akadályozza,
- ívelt nagyujj vastos, egyvonalban a többivel, elrugaszkodást a talajtól biztosította,
- a fej a test tetejére került, az öreglyuk a koponya aljára,
- a koponyán a csonttarajok megszűntek,
- agykoponya nő, arckoponya csökken, arányuk megváltozott,
- az agyvelő-gerincvelő súlyaránya az agyvelő javára tolódik el,
- eszközkészítés kb. 2,5 millió éve (pattintott kőeszközök),
- tűzhasználata 1 millió éve alakult ki.



## Az ember és az emberszabású majmok összehasonlítása

Szempont	Ember	Emberszabású majmok
agykoponya	1400 cm <sup>3</sup>	4-500 cm <sup>3</sup>
arckoponya	kisebb	nagyobb
őreglyuk helye	koponya alajján	hátsul
homlok	magas, egyenes	hátrahajló
homlokeresz	nincs	erőtéljes
fogak száma	32	32
szemfogak	kisebkek	erőtéljesek
fogsor	hézagmentes	metsző- és szemfogak között hézag
fogív	széttartó (parabola alak)	párhuzamos (U-alak)
állcsücs	van (tagolt beszéd)	nincs
gerincoszlop	kettős S-alak (2 lábón járás)	ívelt
medencecsont alakja	kiszélesedett	keskeny
mellkas	hát-hasi irányban lapított	oldalirányban lapított
végtagok hossza, erőtéljessége	kéz rövidebb, láb hosszabb, erőtéljesebb	mellső végtag hosszabb
hüvelykujj	talpon nem fordítható szembe	mellső és hátsó végtagon is szembefordítható
ujjak végén	lapos körmök	lapos körmök
vércsoportok	A, B, AB, 0	ugyanaz, csak más arányban
kromoszómaszám	23 pár	24 pár
érzelmek kifejezése	mimikai izmokkal	mimikai izmokkal
	szerszámkészítés	szerszámhasználat
terhesség ideje	9 hónap	9 hónap
posztembrionális fejlődés	lassabb → hosszabb gyerekkor → hosszabb tanulási idő → szocializáció	gyorsabb

## Skeletal Adaptations for Bipedalism





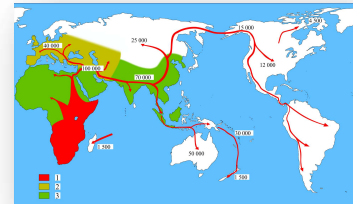
## Az emberi nagyraszok

Az emberi evolúció történetében volt olyan időszak – kb. 5-1 millió éve -, amikor több, az emberré válásban szerepet játszó faj – Australopithecusok, előemberek Homo habilis, Homo erectusok – élt egyszerre a Földön. Azonban ma már csak egyetlen emberi faj létezik, a Homo sapiens sapiens, a Homo sapiens faj egyetlen alfaja, Földön élő összes ember ide tartozik.

Ugyanakkor elmondható, hogy a Földön, az egyes földrajzi területeknek megfelelően, a környezethez való alkalmazkodás eredményeképpen, az emberi fajnak több csoportja jött létre. Ezeket az eltérő éghajlaton, eltérő ökológiai környezetben kialakult, eltérő kulturális hagyományokkal rendelkező csoportokat **nagyraszoknak** nevezzük.

Az emberiség nagyraszokba sorolásának különféle rendszerei léteznek. Az európai rendszer szerint négy nagyrasz létezik.

- negrid
- europid
- mongoloid
- veddo- ausztralid



A nagyraszokat további alcsoportokra, ún. rasszokra szokták osztani antropológiai szempontok alapján.

Genetikai szempontból a nagyraszok közötti és az azokon belüli különbség nagyon csekély, a legnagyobb különbség 0,176%, ez alig 11%-a az ember és a csimpánz genetikai állománya közötti 1,6%-os relatív különbségnek. Az ember evolúciója során kialakult nagyraszok értékükben nem különböznek; a biológiai és kulturális örökség az emberiség közös kincse.

Az emberi kultúra történeti fejlődése során sajnálatosan kialakult a **rasszizmus** pejoratív (lekicsinylő, sértő) fogalma, mely egy olyan gondolkodásmódot jelent, ami az egyes embercsoportok között külsődleges jegyek, kulturális eltérések alapján értékbeli különbséget állít fel.

Az egyes nagyraszok közötti legszembetűnőbb különbség a bőrszínben mutatkozik meg.



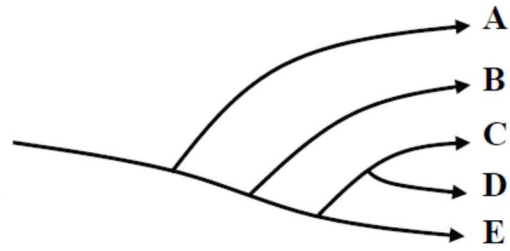
## VII. Majmok a (törzs)fán

10 pont

Az ábrán látható törzsfá néhány főemlős leszármazási kapcsolatait mutatja.

1. Mit jelképeznek a törzsfá elágazási pontjai?

.....  
 .....

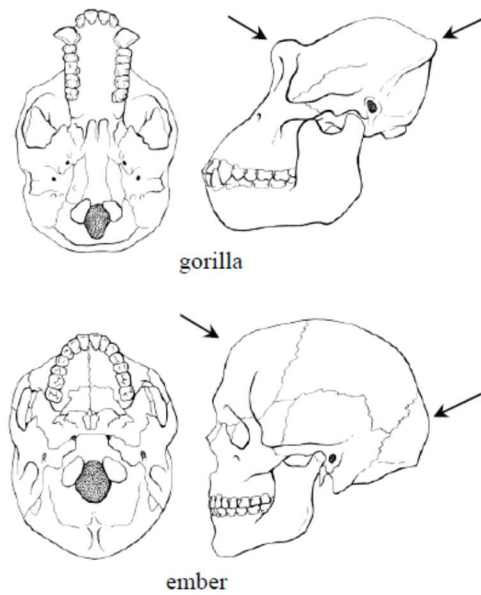
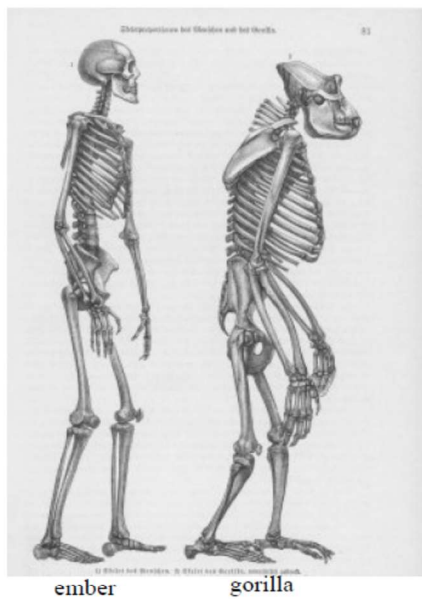


2. A következő betűkombinációk közül melyik képvisel olyan együttest, ami nem tekinthető fejlődéstörténeti rendszerben elfogadható rendszertani csoportnak?

- A) A *B*, *C*, *D* és *E* fajok együttese az *A* faj nélkül.
- B) Az *A*, *B*, *C* és *D* fajok együttese az *E* faj nélkül.
- C) A *C* és *D* fajok együttese az *A*, *B* és *E* fajok nélkül.
- D) Az *A*, *B*, *C*, *D* és *E* fajok együttese.
- E) Az *E* faj önmagában.



A klasszikus rendszertani vizsgálatok során anatómiai bélyegek, hasonlóságok alapján vontak le következtetéseket az evolúciós kapcsolatokra vonatkozóan. Ilyenek a gerinces fajok esetében a vázrendszer jellegzetességei. A következő ábrák a gorilla és az ember vázrendszerét mutatják be. Figyelje meg a különbségeket!



A teljes csontvázat bemutató ábra a gorillát természetellenes helyzetben, teljesen felegyenesedve mutatja be annak ellenére, hogy ez a testtartás az emberre jellemző. Erre utal az is, hogy az ember vázrendszerének csontjai is ehhez a járásmódoz alkalmazkodtak.

3. Nevezze meg az ember egy olyan csonttani jellemzőjét, ami a felegyenesedett testtartással hozható összefüggésbe!

.....

A koponyák vonalrajzán a nyilak két olyan kiemelkedést jelölnek, amelyek a gorilla esetében sokkal erőteljesebbek, mint az embernél.

4. Mely csontokon vannak ezek a kiemelkedések?

- A) A homlokcsonton és a falcsonton.
- B) A homlokcsonton és a halántékcsonton.
- C) A falcsonton és a nyakszirtecsonton.
- D) A homlokcsonton és a nyakszirtecsonton.
- E) A halántékcsonton és a nyakszirtecsonton.

Napjainkban a leszármazási kapcsolatok becslése során az anatómiai összevetések helyett elsősorban különböző óriásmolekulák (biopolimerek) szerkezetét vizsgálják.

5. Milyen elven alapulnak az ebből nyert törzsfák? (2 pont)

- A) Csak nukleinsav-molekulák (DNS vagy RNS) alkalmasak a következtetésekre.
- B) Közvetlen bizonyítékokat szolgáltatnak az evolúciós történetről.
- C) A polimer-molekulák monomerjeinek sorrendjéből vonnak le következtetéseket.
- D) A monomerek szerkezetéből vonnak le következtetéseket.
- E) Minél hasonlóbb egymáshoz két különböző fajtól származó polimer-molekula, annál közelebbi rokonságot tételeznek föl a két faj között.

A következő táblázatban a törzsfán szereplő főemlősfajok egy megfelelően kiválasztott polimer-molekulájára irányuló vizsgálatok eredményei szerepelnek. A cellákban szereplő számok azt mutatják, hogy a megfelelő statisztikai elemzés mekkora különbséget mutatott ki a sor elején és az oszlop tetején feltüntetett fajokból nyert molekulák között.

	<b>Bonobo</b>	<b>Csimpánz</b>	<b>Gorilla</b>	<b>Orangután</b>
<b>Ember (Homo sapiens)</b>	0,017	0,016	0,019	0,031
<b>Bonobo (Pan paniscus)</b>		0,009	0,020	0,032
<b>Csimpánz (Pan troglodytes)</b>	0,009		0,019	0,032
<b>Gorilla (Gorilla gorilla)</b>	0,020	0,019		0,033
<b>Orangután (Pongo pygmaeus)</b>	0,032	0,032	0,033	



bonobo



csimpánz



gorilla



orangután

A különbözőségi értékek alapján következtesse ki, hogy az egyes fajok a törzsfá melyik ágának (azaz betűjelzéseinek) felelnek meg!

6. Két fajról nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy melyik betűjelzéshez tartoznak. Melyik ez a kettő?

- A) Az ember és a csimpánz.
- B) A bonobo és az ember.
- C) A gorilla és az orangután.
- D) A bonobo és a csimpánz.
- E) Az ember és az orangután.

7. Melyik faj tartozik a törzsfá A jelű ágához?

- A) A gorilla.
- B) Az ember.
- C) A csimpánz.
- D) Az orangután.
- E) A bonobo.

8. Melyik faj tartozik a törzsfá E jelű ágához?

- A) A gorilla.
- B) Az ember.
- C) A csimpánz.
- D) Az orangután.
- E) A bonobo.

9. A feladat alapján rendelkezésre álló információk alapján állapítsa meg, hogy a törzsfán szereplő öt faj hány nemzetség képviselője!

- A) Egy.
- B) Kettő.
- C) Három.
- D) Négy.
- E) Öt.

## **Megoldás**

### **VII. Majmok a (törzs)fán**

**10 pont**

*A feladat a követelményrendszer 1.1., 4.3.1. 6.3.1. és 6.3.2. pontjai alapján készült.*

*A távolsági adatok forrása: <http://www.gate.net/~rwms/primegendist.html>*

*Az ábrák forrásai:*

*<http://www.vintagefineartprints.com/print-89937-1871661/human-skeleton-compared-with-gorilla-giclee-print/>, ill. <http://www.inrp.fr/Access/biotic/evolut/homme/html/cranes.htm>*

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Feltételezett közös ősoket. / Fajképződési (speciációs) eseményeket.   | 1 pont   |
| 2. B  | 1 pont   |
| 3. A gerincoszlop kettős S-alakú görbülete. / Az öreglyuk koponyaalap felé tolódása. / A medence alakja. <i>Más helyes megoldás is elfogadható.</i> | 1 pont   |
| 4. D  | 1 pont   |
| 5. C, E   | 1+1 pont |
| 6. D  | 1 pont   |
| 7. D  | 1 pont   |
| 8. B  | 1 pont   |
| 9. D  | 1 pont   |

*(A táblázatban szereplő latin nevek első tagjai négy különböző nemzetségre utalnak.)*