

Kiegészítések az evolúcióhoz

(A 2024-es vizsgakövetelmény szerint)

Az evolúció folyamatos, finom változások sorozata, ahogyan azt már **Darwin** is gondolta, aki szerint: „a természetben nincs ugrás”. A nem adaptív evolúciós folyamatok azonban – szemben az adaptív változásokkal – hirtelen, ugrásszerű változásokat eredményeznek a populációk genetikai állományában, ezáltal gyorsítják a populációban zajló evolúciót, de irányát a véletlenszerű események révén kiszámíthatatlanná teszik.

A korábbi fajtól több jellegében lényegesen különböző új faj létrejötte nem képzelhető el egyetlen lépésben, mert egy bonyolult szerv egyetlen mutációval (a mutáció véletlen történés!) biztosan nem képes fejlett formában megjelenni. Kisebb **mutációk** sorozatával alakult ki a szem, minden mutáció valamit javított a működésén, a **természetes szelekció** pedig biztosította a valamivel jobb szemmel rendelkező egyedek szaporodási sikerét, génjeik elterjedését. A négy lábon járó állat mellső végtagjából nem lett hirtelen nagy teljesítményű szárny, először siklórepülésre alkalmas kezdetleges szerv jött létre, amely további mutációkkal vált szárnycsapásokra is alkalmassá.

Többszintű evolúció

Az evolúció (szelekció, adaptáció) különböző szinteken nyilvánul meg.

Gének szintjén: A természetes szelekció azon génváltozatoknak kedvez, melyek a túlélés és a szaporodás esélyét növelik.

Egyed szintjén: A genotípus és a környezet közösen határozzák meg a fenotípust, ami az egyedek különbözőségében nyilvánul meg. Az előnyös géneket hordozó egyedek gyakorisága nő, míg az előnytelenek gyakorisága csökken. (Darwin lényegében egyedi szinten értelmezte a szelekciót.)

Rokonszelekció, esetleg **csoportszelekció** zajlik populáción belül.

Populációk szelekciója is zajlik egy társuláson belül.

A szelekción kívül **együttműködés** is megfigyelhető az evolúció során. Az ősi nagy sejt és prokarióták együttélésével – edoszimbiózisával – jött létre a mitokondrium és a színtest. A többsejtű élőlények létrejöttükor az addigi sejtek közötti szelekcióhoz képest meghatározóvá válik az többsejtű egyedek közötti szelekció. (A többsejtű szervezetben pedig a sejtek együttműködése a döntő.)

A rovarállamokban (termeszeknél, méheknél) az egyedek együttműködése, munkamegosztása olyan mértékű, hogy az egyedek egyenként már nem életképesek.

(Az együttműködésre példát jelentenek a koevolúció bizonyos formái is.)

A **koevolúció két vagy több faj egymással kölcsönhatásban történő evolúciós változását** jelenti. Az egyik faj evolúciója hat a másik fajra, és a másik fajban bekövetkezett evolúciós változások visszahatnak az első fajra.

- Az emlősök védekeznek belső élősködőkkel szemben, ellenanyagokat hoznak létre ellenük. A paraziták közül viszont azok maradhatnak fenn, amelyeknek megváltoznak azok a sejtfelszíni receptoraik, amelyekhez a gazdaszervezet ellenanyagai kötődnek. Erre válaszul a gazda-

szervezet újabb ellenanyagot hoz létre és így tovább. Tehát a gazda immunrendszere és a paraziták sejtfelszíne a szelekció működésének köszönhetően egymással kölcsönhatásban fejlődik.

- Kölcsönös evolúciós változások figyelhetők meg a ragadozó-zsákmány kapcsolatokban is: a ragadozóknak a zsákmányszerzési, a prédáknak a védekezési tulajdonságai tökéletesednek.
- A növények a növényevők elleni védekezésül méreganyagot termelnek, a növényevőkben kialakulnak olyan enzimek, amelyek lebontják a mérget. A növény válaszul újabb méreganyagot hoz létre.
- A koevolúció egymással kölcsönösen előnyös kapcsolatban álló populációk esetén is megfigyelhető. A rovarmegporzású növények virágszerkezete, nektár- és illatanyag termelése, valamint a megporzást végző rovarok szájszerve, testfelépítése egymással kölcsönhatásban fejlődött.

Vertikális géntranszfer: A szaporodás során a szülők adják át génjeit az utódainak.

Horizontális géntranszfer: ilyenkor a génátadás nem szülő és utód között történik. Horizontális géntranszfer a baktériumtranszformáció és a baktériumkonjugáció is. Mindkét folyamat eredményeként új génekre, és ezzel új fehérjékre, tulajdonságokra tehet szert a baktériumsejt. A transzformáció során a környezetéből vesz fel DNS-darabokat a sejt a sejthártyáján található pórusokon keresztül, míg a konjugáció során plazmahíd létesül a fogadó és az átadó sejt között. Ezeknek a folyamatoknak a révén terjednek nagyon gyorsan az antibiotikumrezisztencia gének a baktériumok között. A rezisztenciagén olyan enzimet kódol, ami hatástalanítja az adott antibiotikumot, ezért a gént felvevő baktériumsejt ellenálló lesz az antibiotikummal szemben, és a horizontális géntranszferrel szerzett gént örökíti osztódásai során az utódsejtekre is.

A horizontális géntranszfer a leggyakoribb a vírusok és a gazdaszervezeteik között. Becslések szerint az emberi genom 8%-a származik retrovírusokból (RNS-vírusok, amelyek örökítőanyaga a DNS-re íródik át, ami beépül a gazdaszervezet genomjába).

Születési ráta: Időegység alatt (pl. egy év) egy egyedre jutó utódok száma $\frac{\text{összes újszülött}}{\text{összes egyed}}$

Halálozási ráta: Időegység alatt egy egyedre jutó halálozások száma $\frac{\text{elpusztult egyedek}}{\text{összes egyed}}$

Egy új területet meghódító populációnál kicsi a **populációsűrűség**, ha itt kicsi a más fajú populációkkal való versengés, akkor bőségesen állnak rendelkezésre erőforrások, nagy lesz a születési és kicsi a halálzási ráta, gyorsan növekszik a populáció (a környezet eltartóképességéig).

Ha a populáció sűrűsége nagyon megnövekszik, akkor csökken a születési ráta és megnövekszik a halálzási ráta, mert táplálékhiány lép fel, erősödik a populáción belüli versengés, csökken az egyedek szaporodási készsége, növekszik a betegségekre való érzékenység, a kórokozók, élősködők gyorsabban terjednek.

Hogyha a populáció egyedszáma a kihalási küszöb alá csökken, ami együtt jár az igen alacsony sűrűséggel is, akkor az egyedek nehezen találnak párt, csökken a születési ráta.

Kihalási küszöb: az a kritikus populációnagyság, ami alatt a populáció már nem szaporodóképes. (Ez fajonként eltérő nagyságú. Nagy ragadozóknál néhány tucat, kisebb emlősöknél több egyedet jelent.)

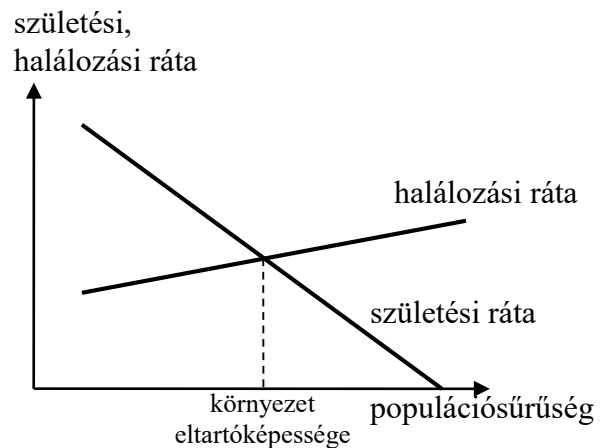
Az ilyen kis egyedszámú populációk génállománya a **genetikai sodródás** és a **beltenyésztés** miatt egyre romlik, csökken az egyedek életképessége és szaporodási képessége, ami egy bizonyos ponton túl a populáció kihalásához vezet.

Kis egyedszámnál véletlenül következtében (**genetikai sodródás** miatt) elveszhetnek hasznos, fontos allélok, ezért csökken a populáció élet- és szaporodóképessége.

Ha kis egyedszámú a populáció, gyakran fordul elő közeli rokon egyedek között párosodás (**beltenyésztés**). Ezzel nő a homozigóták aránya, csökken a genetikai változatosság. Gyakran az előnytelen tulajdonságot meghatározó recesszív gének is homozigótává válnak, az addig lappangó kedvezőtlen tulajdonság megjelenik a fenotípusban. Ez a populáció genetikai leromlását az élet- és szaporodóképesség csökkenését jelenti.

A kihalási küszöb feletti populációnagyság megőrzése a **természetvédelem** fontos feladata, hogy biztosítani lehessen a **fajmegőrzést**. Meg kell akadályozni a túlzott vadászatot, az élőhelyek csökkenését (építkezések, mezőgazdasági művelés túlzott terjeszkedése miatt). Figyelni kell a populáció élőhelyének feldarabolódására, mert hiába maradnak életben az egyedek, ha pl. autópálya kis egyedszámú populációkra szabdalja szét a csoportot. Ha a létre jövő kis populáció(k) egyedszáma a kihalási küszöb alatt van, a genetikai sodródás és a beltenyésztés visszafordíthatatlan genetikai leromlást, majd pusztulást eredményez.

Egy elméleti modell



Prebiológiai evolúció: A biológiai evolúciót fizikai és kémiai evolúció előzte meg.

A **fizikai evolúció** a Föld keletkezését jelenti.

A világegyetem 13,7 milliárd éve az úgynevezett **ősrobbanással** jött létre. Azóta az anyag folytonosan tágul. Közben különböző erők hatására helyi sűrűsödések keletkeznek benne. Helyi sűrűsödések a galaxisok (például a mi Tejútrendszerünk), a csillagok (például a Nap), a bolygók és a holdak. A Föld 4,5-5 milliárd éve jött létre por és meteoritrészecskék sűrűsödésével. A tömörülő részek gravitációs energiája hővé alakult. Ezért és az akkoriban lényegesen erősebb radioaktivitás miatt a Föld anyaga megolvadt.

Fokozatos lehűlés során az olvadék felületén 4 milliárd éve megjelent a **szilárd kéreg**. A kőzetlemezek mozgása, vulkánosság, hegységképződések, tengerelöntések, a hegyek – főként víz segítségével történő – lekopása, üledékek felhalmozódása azóta is változtatják a Föld arculatát. Ez a geológiai változékonyság az evolúció folyamatában is jelentős tényező. (Jelenleg évente néhány centiméteres sebességgel mozognak a kőzetlemezek.)

A Föld **öslégköre** a lehülő kőzetek gázleadásából keletkezett. Összetétele alapvetően eltért a mai légkörtől: CH_4 , NH_3 , H_2O , N_2 , kevés CO_2 . A hidrogén és hélium jelentős része – kis tömegük miatt – a világűrbe távozott. O_2 molekula nem volt a légkörben. Az öslégkör redukáló hatású volt (szemben a mai oxidáló hatású légkörrel). A hőmérséklet további csökkenésével a víz kicsapódott, és óriási esővel létrejött az ősóceán.

A **kémiai evolúció** a biológiailag jelentős szerves anyagok létrejöttének folyamatát jelenti.

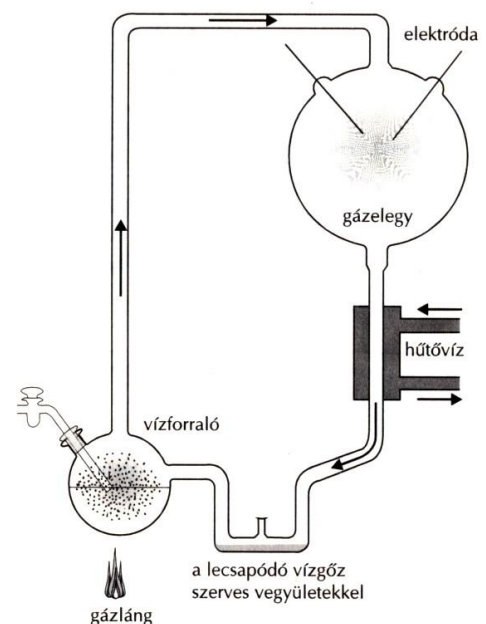
Az első szerves molekulák az öslégkör és az ősóceán anyagaiból alakultak ki. A reakciók lejátszódásához szükséges energiát a Nap ibolyántúli (UV) sugárzása, a gyakori zivatarok villámlása és a vulkáni tevékenység hőenergiája szolgáltatották. A keletkező molekulákat a mindennapos zivatarok bemoshatták az ősóceánba. (Ekkor nagyon erős volt az UV sugárzás, mivel nem volt O_2 , és így ózon réteg sem a légkörben.) A keletkezett szerves molekulák közül az erős UV sugarak miatt csak azok maradtak épen, melyek a 10 méternél mélyebb rétegekbe kerültek. Itt viszont egyre nőtt a mennyiségük, hiszen termelődésük folyamatos volt.

(Ezt a sok szerves anyagot tartalmazó közeget a kutatók „ősleves”-nek nevezik el.)

A fenti elképzeléseket támasztotta alá **Miller kísérlete**:

Stanley Miller amerikai biokémikus 1953-ban az ősi zivatarokat modellezte. Készülékében vizet melegített, és a víz fölötti légtérbe a vízgőzön kívül ammóniából, metánból és hidrogénből álló gázelegyet vezetett be. A villámlásokat utánozva elektromos kisüléseket hozott létre. A készülékbe beépített hűtő a vízgőzt folyamatosan cseppfolyós vízzé alakította vissza. Két hét múlva a vízben karbonsavakat és aminosavakat talált. A kísérletet mások is elvégezték, változtatva némileg a gázelegy összetételét és energiaforrásként UV sugarakat is használtak. Ezek során szénhidrátok és nukleinsavak építőelemeinek az előállítása is sikerült.

A Miller kísérlet jelentősége, hogy bizonyította, biológiailag fontos **szerves molekulák** redukáló légkörben megfelelő körülmények között **élőlények és enzimek nélkül is létrejöhetnek**.



Más kísérletek alapján azt valószínűsítik, hogy szilikátos kőzetek katalizáló hatására alakulhattak ki a makromolekulák. (Például agyagásvány felszínén 50 aminosavból álló polipeptidlánc keletkezett.) Azonban a **szerves anyagok kialakulása nem jelenti automatikusan az élő rendszerek kialakulását.**

Élet lehetősége a Naprendszerben

Az általunk ismert élet olyan bolygón jöhet léte, ahol a bolygó felszínének egy részén a víz állandóan folyékony állapotban van. A naptól való távolság mellett ezt módosítja az adott bolygó légkörének összetétele, például az Föld légkörének hőmérsékletét az üvegházhatás kb. 30 °C-kal megemeli.

Naprendszerünkben a Föld abban a zónában található, ahol kialakulhatott az élet. Hogyha túl közel van egy bolygó a Naphoz, ott magas a hőmérséklet az élet létrejöttéhez és fennmaradásához, a túl távoli bolygón pedig az alacsony hőmérséklet teszi lehetetlenné az élet kialakulását. A kozmikus környezet szempontjából meghatározó volt az is, hogy a Nap évmilliárdokon át közel egyenletesen sugárzott/sugároz energiát.

Fontosnak tartják azt is, hogy a bolygó megfelelően erős mágneses térrel rendelkezzen. A mágneses mező ugyanis az a láthatatlan pajzs, aminek híján a napszél kisöpörné az űrbe a légkör nagy részét. A Föld mágneses tere és légköre megfelelő adottság az élet fennmaradásához. (A Földön kívül még a Marson lehettek korábban az élet kialakulásához megfelelő feltételek.)

Abiogenézis: az élet keletkezése élettelen anyagokból spontán módon (élőlények nélkül).

Az élet a Földön kb. **3,5 milliárd éves**, ekkor **jelentek meg a prokarióták**. Kezdetben valószínűleg csak 10 méternél mélyebben élhettek a víz felszíne alatt, mert a Naptól érkező UV sugarak, amelyek a szerves molekulák kialakulásához energiát szolgáltattak sugárvédelem híján elpusztították volna saját produktumaikat.

Az első baktériumok heterotróf élőlények voltak. Az autotróf prokarióták melléktermékként oxigént kezdtek kibocsátani, kialakult a mainál még jóval kisebb oxigéntartalmú, de oxidáló légkör. Az oxidáló légkörben a beérkező UV sugárzás nagy részét elnyelik a kialakuló ózonmolekulák. Így nem csak az oxidáló légkör, hanem a kevesebb UV sugárzás miatt sincs lehetőség ma a Földön az élet abiogén keletkezésére.

Amikor az öslégkör oxigénszintje elérte a mai érték egytizedét, a légkör ózonernyője olyan vastag lett, hogy a szárazföldet is óvta az UV sugaraktól. Az élet meghódította a szárazföldet.

Az eukarióta sejtek 1,5 milliárd éve jelentek meg. A sejt belső membránrendszerei valószínűleg a sejtthártya betüremkedéseiről leváló részekből származtathatók. A leváló membránszakokból jöhetett létre a maghártya és az endoplazmatikus hálózat. Az endoszimbionta-elmélet szerint a mitokondriumok és a színtestek állandósult szimbiózis eredményeként alakultak ki.

Az eukarióta sejtek megjelenése után a fejlődés robbanásszerűen felgyorsult, megindult a növények és az állatok szétválása, és nem sokkal ezután már a többsejtű szervezetek is megjelentek.

Az ember evolúciója

A főemlősök rendjén belül kialakultak Amerikában az *újvilági majmok*, Ázsiában és Afrikában az *óvilági majmok*. Az *óvilági majmok* közt kialakultak az **emberszabásúak**. Az afrikai emberszabású majmok ma is élő képviselői a **gorillák** és a **csimpánzok**; az ázsiai emberszabású majmok közül napjainkban az **orangután** él. Az emberfélék legkorábbi maradványai kivétel nélkül Afrikából kerültek elő. Az ember és az afrikai emberszabású majmok hasonlóságának oka, hogy fejlődésük csak kb. 6 millió éve vált el egymástól.

Az emberszabású majmok és az ember vonásainak összehasonlítása

Ábrák alapján kell tudni magyarázni. (A honlapomon az [Evolúció](#) bemutatóban találsz ábrákat.)

- Az emberi újszülött tömege kétszer akkora, posztembrionális fejlődése lassabb, hosszabb a gyerekkor (hosszabb tanulási idő).
- Az arcponya aránya csökken, az agykoponya domborúbb, az agytérfogat nagyobb az embernél (agyterfogatok: csimpánz 400 cm³, gorilla 500 cm³, ember 1400 cm³).
- Az ember agya barázdáltabb, több neuron van a kéregben.
- Az emberszabásúaknál megfigyelhető a szem fölötti előreugró csontos redő az úgynevezett homlokeresz, az embernek nincs homlokeresze.
- Az emberszabásúak koponyáján az erőteljesebb izmok (pl. rágóizmok) megtapadására szolgáló csonttarajok láthatók.
- Az ember orra kiemelkedőbb, kisebb az állkapocs, kialakul az állcsúcs (a nyelvmozgató izmok tapadási helye) összefüggésben a tagolt beszéd képességével.
- Az emberszabásúaknál a szemfogak hosszúak, csak úgy lehet összecsukni a két fogsort, ha alul a felső szemfog számára, felül pedig az alsó szemfog számára *foghézag* alakul ki. Az embernél a szemfogak nem emelkednek ki a fogsorból, a metsző- és a szemfogak között nincs hézag.
- Az emberszabásúaknál párhuzamos a fogív, az embernél széttartó.
- Bár az emberszabású majmok igen gyakran felegyenesedve két lábon mozognak, ez azonban sokkal kevésbé hatékony, mint az ember járása, gerincoszlopuk ívelt. Az ember már teljesen felegyenesedett, kialakult a gerincoszlopunk kettős S alakú görbülete.
- Az emberszabásúaknál a gerincvelő kilépési helye az – öreglyuk – hátul van, az embernél a felegyenesedés következtében az öreglyuk a koponya alapjára tolódott.
- A felegyenesedés miatt az ember medencéje szélesebb.
- Fejlett kommunikációra, beszédre csak az ember képes, az agy bal oldalán található a kiterjedt a beszédközpont.

Egy töredékes koponyából levonható következtetések az emberelőd tulajdonságaira

- Öreglyuk a koponyaalapon: felegyenesedett testtartás
- A koponya görbületéből az űrtartalomra lehet következtetni.
- A koponya belső mintázatából az agy barázdáltságára lehet következtetni.
- A koponya belső mintázatából megállapítható a beszédközpont fejlettsége.
- Akár egyetlen fog: táplálkozás, kor, nem, testméret.
- Állcsúcs megléte: beszédkészség.

Minden ma élő ember egy fajba tartozik (Homo sapiens). A fajon belül a különböző helyi környezeti körülményekhez való alkalmazkodás eredményeként a testi jellemzőkben eltérő négy nagyrasz alakult ki. Az emberi nagyraszok képviselői testalkatukban, bőrszínükben eltérnek, de érzelmi fejlődésükben és értelmi képességeikben nem különböznek egymástól.

Az ember evolúciója során kialakult nagyraszok értékükben nem különböznek, a biológiai és kulturális örökség az emberiség közös kincse.

Emberi nagyraszok:

negrid (fekete), ausztralid (ausztráliai), europid (világos bőrű), mongolid (sárga bőrű)

A korai emberfélék és a Homo nemzetség evolúciójának főbb lépései

A trópusi Afrikában, a csimpánzokkal közös élőhelyen, a fán élő életmód emlékeként maradt meg a fogásra nagyon alkalmas kéz, a jó térbeli tájékozódás szükségessége hozta az előre tekintő szemet, a jó térlátást. A gyümölcsévvel függhet össze a jó színlátás (meg kell különböztetni az éretlen és az ehető gyümölcsöt).

Kb. 6 millió évvel ezelőtt őseink és a csimpánzok fejlődése elvált egymástól. Az éghajlat szárazabbá válása kényszeríthette őseinket a trópusi erdőből a szavannára, a fáról a földre, és talán az ellenség elleni védekezést segítette a kissé *felegyenesedett testtartás*. A felegyenesedés következménye lett aztán az, hogy *kéz szabaddá vált*, alkalmassá lett a hordozásra, gyűjtögetésre. A növényi táplálkozás előtérbe kerülésével csökkent a szemfogak mérete, az őrlőfogak pedig megnagyobbodtak. Átformálódott és növekedett az agykoponya, ami az értelmi képességek további növekedéséhez vezetett.

Ramapithecusok (pithecus = majom) voltak az ember és az emberszabású majmok közös ősei. 300 cm³-es agykoonya, négy lábon járás.

Afrikában jelentek meg 15 millió éve, majd Európában és Ázsiában is elterjedtek. (Rudabányán 10 millió éves leletet találtak.)

Az emberszabásúak és az emberfélék 6-7 millió éve váltak külön.

Australopithecusok (déli majmok) 5 millió évvel ezelőtől 1 millió évvel ezelőttig éltek Afrikában. 500 cm³-es agykoonyájuk volt, imbolyogva jártak kétlábon egyes fajai. Fogívük széttartó (emberéhez hasonlóan). Valószínűleg az ember felé vezető fejlődés egyik oldalága.

Homo habilis faj (ügyes ember) Afrikában élt 2 – 1,6 millió éve.

Egyedei két lábon jártak. 700 cm³-es agykoonyájuk volt.

Kezdetleges kőszközöket („kaviccszerszámokat”) használtak.

Közösen gyűjtögették az elhullott állatokat és növényeket. Csoportjaikon belül valószínűleg nagyfokú szociális szervezettség volt jellemző.

Az ember felé vezető fejlődés fő vonalába tartozott.

Homo erectus (felegyenesedett ember) [előember] 1,6 millió évtől – 300 000 évig élt.

Kelet-Afrikából Ázsiába és Európába is eljutott.

A jávai ember 0,8

a pekingi ember 0,6

a vértesszőlősi ember 0,3 millió éve élt.

1000 cm³-es agykoonya, beszédközponttal. A faj nevét a felegyenesedett testtartásról kapta.

Vadászott, gyűjtögetett, kőszközöket használt.

Fogaik mérete tovább csökkent, amihez hozzájárulhatott a kb. **600 000 évvel ezelőtt** megjelent **tűzhasználat** is.

A Neander-völgyi ősember 300 000 éve jött létre a Homo erectusok Afrikából kivándorolt csoportjából. Európában, Ázsiában és Afrikában élt. 30 000 éve halt ki.

1200-1500 cm³-es agytérfogata, a szemöldök fölött homlokeresze volt, nem volt az állcsúcsa.

Finom kőszközöket használtak. Nagy termetű állatokra is vadásztak.

Eltemették halottaikat.

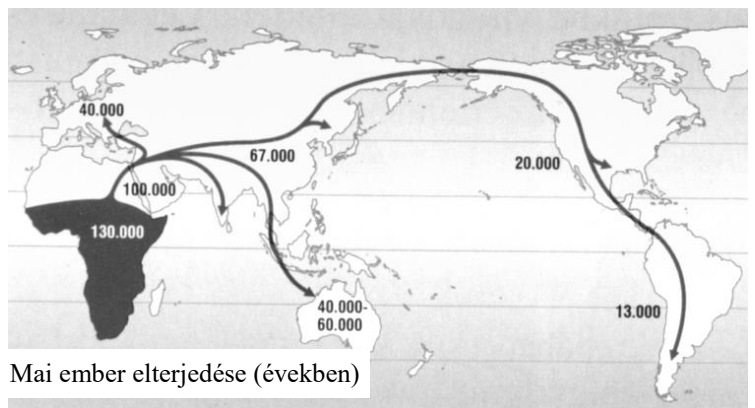
Hazai leleteik Subalyuk-barlangból (Bükk hegység) kerültek elő.

Homo sapiens (bölc ember) **mai ember**

Afrikában keletkezett 200 000 éve a Homo erectusok egy afrikai csoportjából.

(Európai típusát Cro magnon-i embernek nevezik)

A mai ember később innen az egész Földet benépesítette. A szétterjedés és az eltérő környezeti feltételekhez való alkalmazkodás eredményeként ala-kultak ki az emberfajták (nagy-rasszok).



Maival egyező, 1300-1500 cm³-es agykoonya. A szemöldökeresz eltűnt, kifejlődött az állcsúcs. Eszközhasználat, (közöttük csonttűk) és a kereskedelem megjelenése jellemző fajunkra. Magyarországi maradványai: Istállóskői barlang (Bükk hegység). Spanyolországi és franciaországi barlangrajzok is fennmaradtak magas szintű szellemi kultúrájának emlékeként.