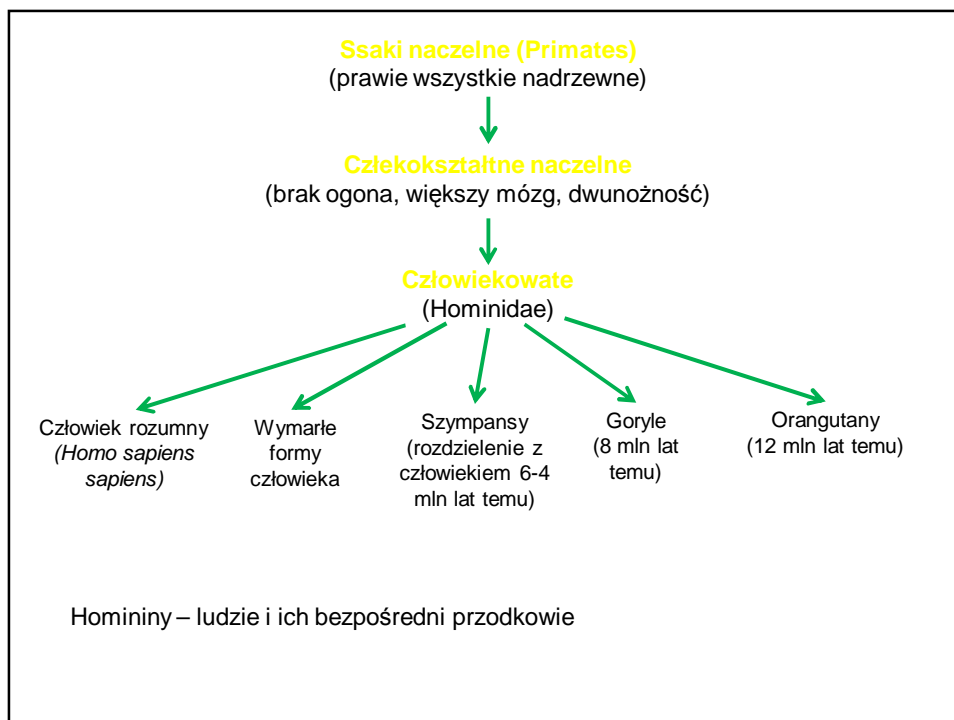


Ewolucja *Homo sapiens sapiens*



Ssaki naczelne:

Małpki – nadrzewne, do śmigania po gałęziach potrzebne:

- Dobra orientacja przestrzenna,
- Dobry wzrok,
- Dobry mózg (płaty wzrokowe),
- Przewaga ośrodków wzrokowych nad węchowymi,
- Obejmowanie gałęzi palcami, a nie pazurami, zanik pazurów,
- Ustawienie oczu z przodu czaszki, wzmocnienie oczodołów, widzenie stereoskopowe, wymuszenie obrotu głowy, wzrost ruchliwości szyi,
- Skracanie pyska,

Małpy:

- Dalsze skracanie pyska, redukcja liczby zębów przedtrzonowych,
- Dwunożność – 5,5 mln lat temu.

Mutacje u naczelných

1. w genie głównego białka mięśni szczęk – **MYH16**, mogła być bezpośrednim powodem zaprzestania rozwoju kości twarzy, co spowodowało powiększanie rozmiarów mózgowiczaszki, a tym samym było początkiem intensywnej ewolucji *Homo* (2,4 mln lat temu).

2. w genie czynnika transkrypcyjnego **FOXP2**, mającym funkcjonalny wpływ na kontrolę mięśni krtani, języka i ust, a w konsekwencji na powstanie mowy u ludzi.

Rearanżacje

Porównawcze analizy prążków G w chromosomach ujawniły, że 18 z 23 par chromosomów człowieka jest identycznych z chromosomami wspólnych hominidowych przodków.

Chromosomy 6, 13, 19, 21, 22 i X u człowieka, szympansa, goryla i orangutana posiadają identyczne wzory prążkowe.

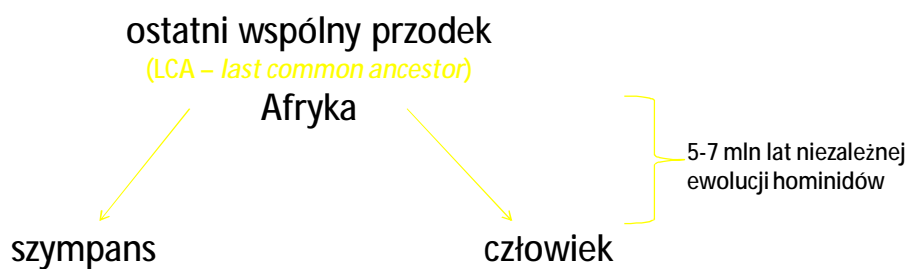
Chromosomy 3, 11, 14, 15, 18, 20 i Y są identyczne u człowieka, goryla i szympansa.

Chromosomy 1, 2, 5, 7 i 16 są podobne u człowieka i szympansa.

Chromosomy 4 i 17 są różne u wszystkich czterech gatunków.

Różnice pomiędzy chromosomami człowieka a szympansa:

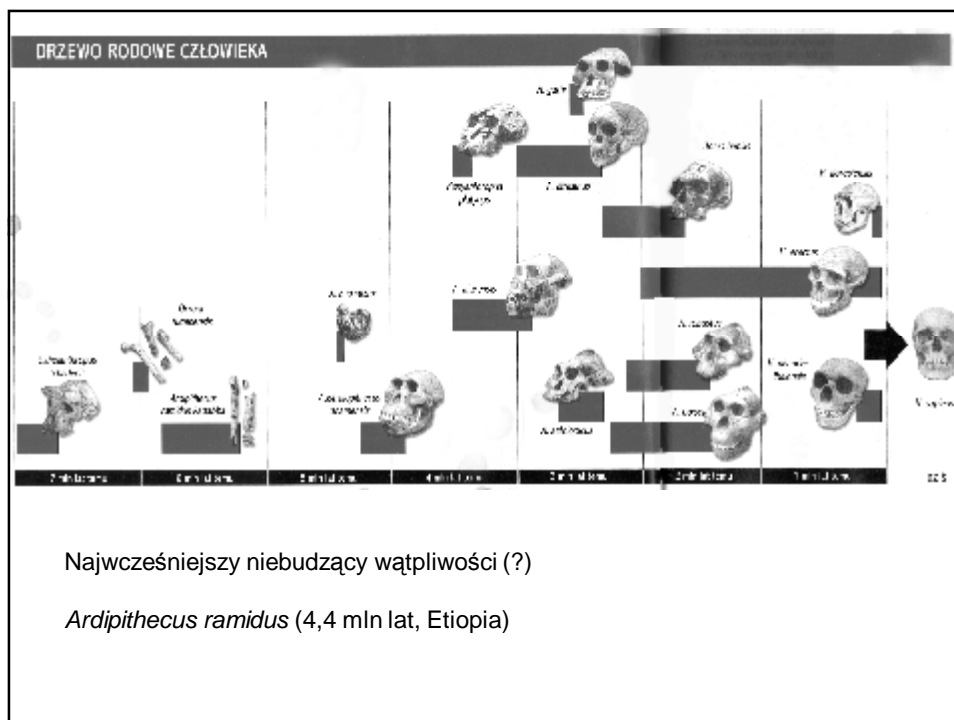
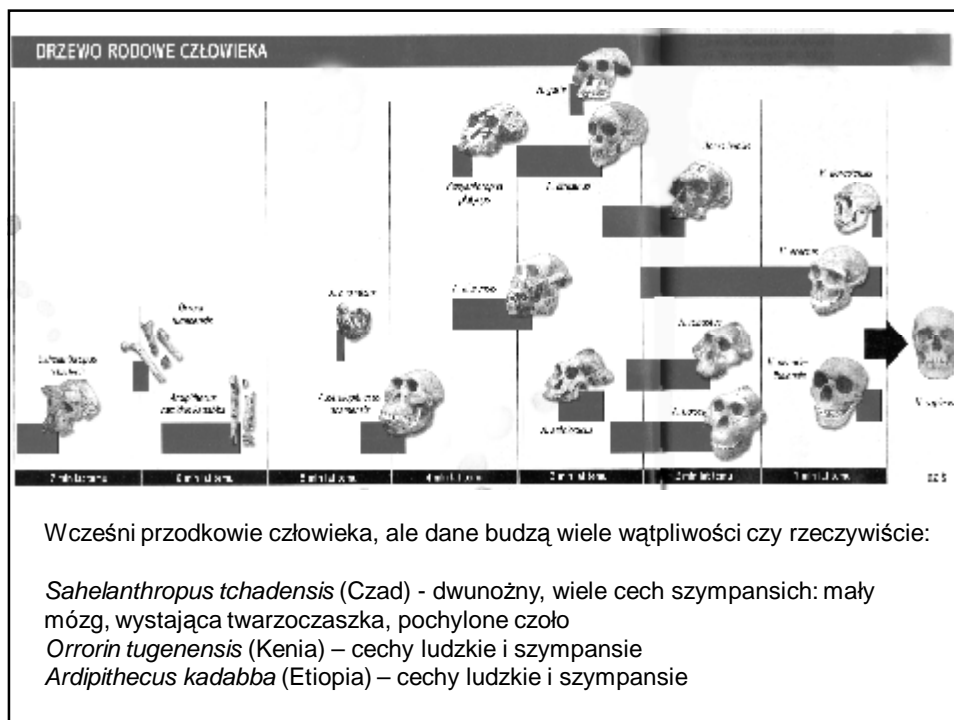
- Pericentryczne inwersje na chromosomach – 1, 4, 5, 9, 12, 15 i 16
- Telomerowa fuzja – chromosom 2 u człowieka powstał w wyniku fuzji chromosomu 12 i 13 szympansa.

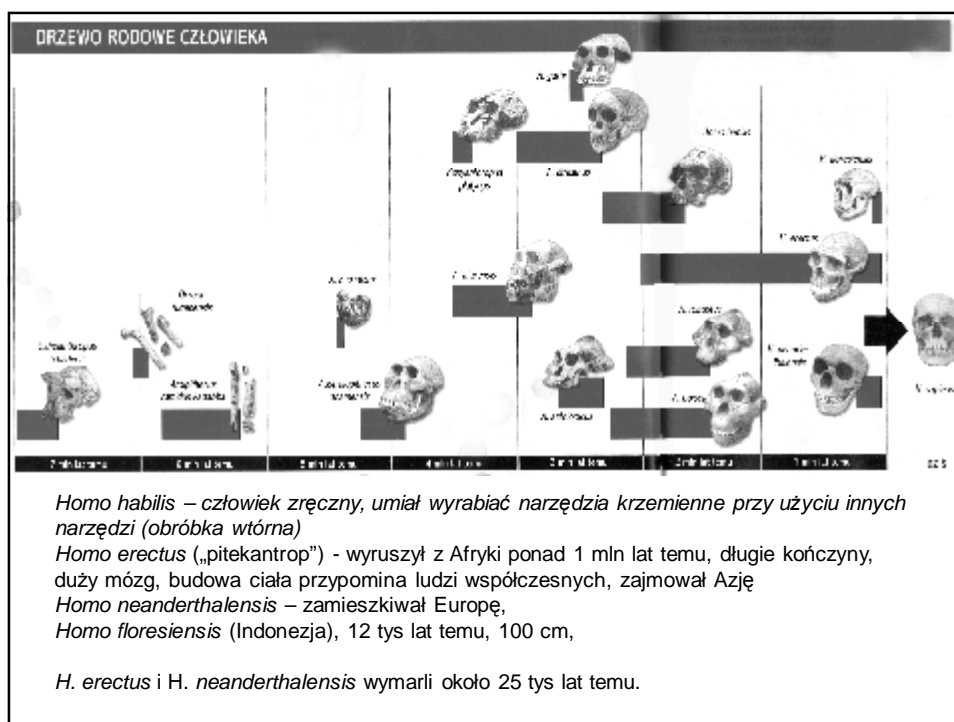
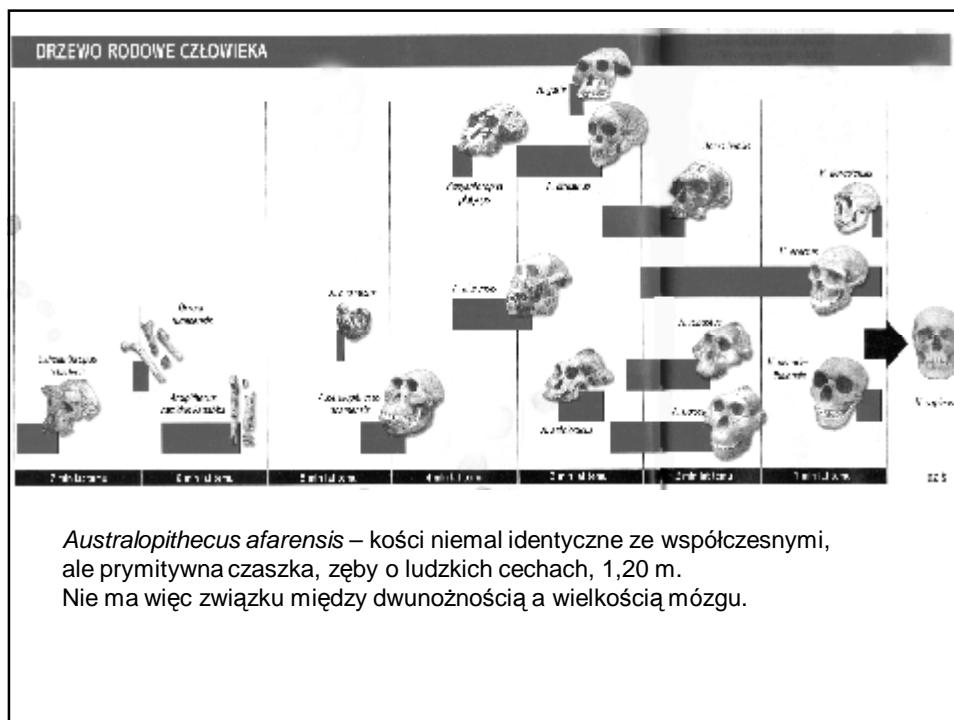


100 000 lat temu można było wyróżnić morfologicznie zróżnicowane grupy homininów:

- w Afryce i Środkowym Wschodzie – *H. sapiens*,
- w Azji – *H. erectus*,
- w Europie – *H. neanderthalensis*.

30 000 lat temu różnorodność zanika i pozostaje tylko jeden gatunek *H. sapiens sapiens*.





Hipotezy dotyczące ewolucji *Homo sapiens*
Powstałe w połowie lat 80-tych.

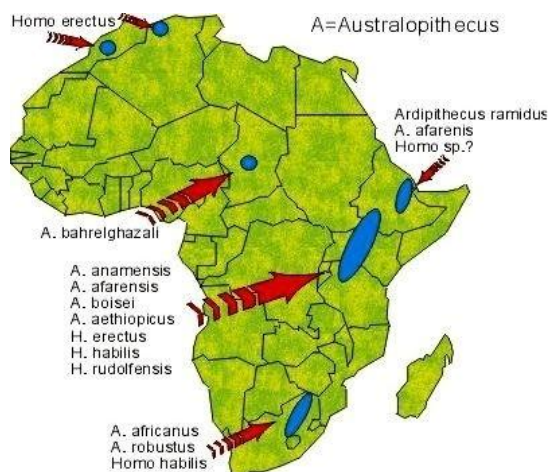
Hipoteza „Out of Africa”

zakłada, że człowiek współczesny (nowoczesny anatomicznie) *H. sapiens* nie był jedynym gatunkiem, który skolonizował Azję i Australię.

1,7 miliona lat temu Afrykę opuścił *H. erectus*.

H. Sapiens „narodził” się w Afryce 200-150 tys. lat temu, a około 60 tys. lat temu opuścił Afrykę, opanowując wszystkie kontynenty w ciągu 80 tys. lat i wypierając/zastępując lokalne „wcześniejsze” hominidy.

Teoria ‘out of Africa’ inaczej zwana też **modelem wypierania populacji przodków** przez bardziej zaawansowanych ewolucyjnie potomków (*the replacement model*) lub **teorią niedawnego pochodzenia ludzi z Afryki** (*the recent African genesis of humans*)



Miejsca znalezienia kopalnych szczątków naczelnnych (Wilson i Cann, 1992).



Pierwsza fala emigracji:
100 tys lat temu – w obrębie Afryki

Druga fala emigracji:

Tu wyróżnia się 2 rundy migracji *H. sapiens*:

- południową - w kierunku Oceanii 40 000 – 60 000 lat temu ,
- północną :
 - *** przez Środkowy Wschód, Arabię, Persję do centralnej Azji, w kierunku Chin i Japonii (60 000 lat temu).
 - *** w kierunku Syberii (35 000 – 30 000).
 - *** do Ameryki Północnej przez cieśninę Beringa (30 000 – 15 000).

Koncepcja „pożegnania z Afryka” zakłada, że dzisiejsze populacje ludzi to efekt specjacji w pojedynczej populacji, która z czasem zastąpiła lub wyparła wszystkie inne istniejące w tym czasie populacje.

Konsekwencją tego zdarzenia jest niski stopień różnorodności genetycznej wśród ludzi.

Powstawanie regionalnej („rasowej”) zmienności było procesem ciągłym, który miał miejsce po rozproszeniu populacji, stąd brak ciągłości pomiędzy cechami *H. sapiens* a *H. erectus*.

Za poparciem tej hipotezy przemawiają **dowody molekularne**.

Szacowania na podstawie zmienności w mtDNA człowieka wskazują, że współczesny *H. sapiens sapiens* jest potomkiem niewielkiej populacji liczącej zaledwie 10 000 osobników.

Na podstawie badań mtDNA zidentyfikowano cztery główne grupy ludzi:

3 populacje pochodzenia afrykańskiego, o największej zmienności genetycznej potwierdzających teorię afrykańskiego pochodzenia ludzi

1 populacja składająca się z podgrupy:
 - afrykańskiej,
 - euroazjatyckiej, australijskiej i amerykańskiej.
 Pochodzenie tej zróżnicowanej grupy jest zgodne z hipotezą 'out of Africa', zakładającej, że Australijczycy, Azjaci, Europejczycy oraz ludzie Nowego Świata mają wspólny afrykański rodowód.

Analiza mtDNA

- genetyczne różnice między populacjami są mniejsze niż różnice wewnątrz danej populacji.

85% wszystkich zanalizowanych zmian w 14 populacjach, reprezentujących ludność wszystkich kontynentów to zmiany wewnątrzpopulacyjne, tylko 5-7% to różnice międzypopulacyjne, stąd też nie ma wystarczających genetycznych podstaw do podziału ludzi na tzw. „rasy”.

- badania mtDNA przeprowadzone w 2002 roku wskazują, że przez co najmniej 600 000 lat występowało krzyżowanie się populacji ludzi żyjących w Azji, Europie i Afryce.

Wyniki tych analiz potwierdzają, że model wypierania populacji przodków przez bardziej zaawansowanych ewolucyjnie potomków (*the replacement model*) jest nieprawidłowy.

Potwierdzona została kilkukrotna migracja ludzi z Afryki, ale najnowsze modele zakładają ekspansję populacji na drodze krzyżowania, a nie wypierania przodków.

Teoria „multiregionalna”

Jest to hipoteza alternatywna, zwana też policentryczną, która głosi, że wszystkie występujące dziś populacje ludzi powstały z pewnych populacji pierwotniejszych *H. erectus*, które opuściły Afrykę około 1-2 milionów lat temu i przez jakiś czas oba gatunki egzystowały razem.

Model opierał się na założeniach:

- Pewien poziom przepływu genów między geograficznie oddzielonymi populacjami zapobiegł specjacji po rozproszeniu się populacji.
- Regionalna zmienność populacji jest wynikiem naturalnej selekcji w populacjach.
- Pojawienie się *H. sapiens* nie było ograniczone do jednego rejonu, lecz nastąpiło w wielu miejscach, w których żył *H. erectus*.

Minusy teorii „pożegnania z Afryką”

Brak kopalnych szczątków *H. sapiens* w Afryce,

W 2003 w *Nature* opisano nowe znalezisko z Etiopii, znaleziono 3 czaszki niemal nowoczesnych ludzi datowane na 160 tys lat, określono że szczątki należą do podgatunku *Homo sapiens idaltu*, jest to ogniwo łączące archaicznych ludzi z *H. sapiens sapiens*, Byłoby to potwierdzenie że kolebką *H. sapiens* jest Afryka.

Dmanisi, Gruzja – odkopano szczątki ludzkie i narzędzia kamienne datowane na około 1,75 mln lat, ale być może szczątki nie należały do *H. erectus*, ale do późniejszego gatunku hominida, blisko z nim spokrewnionego, prawdopodobnie *H. habilis*.
H. habilis jest domniemanym przodkiem *H. erectus*: 135 cm wzrostu, mała czaszka.

Trudno ustalić czy *H. habilis* można zaliczać do pierwszych Homo, czy ostatnich australopiteków.

Czy Neandertalczyk mógł być przodkiem *H. sapiens*?

1. Zwolennicy teorii multiregionalnej":
twierdzą, że pomiędzy neandertalczykiem, a człowiekiem współczesnym ogniwem pośrednim był *H. s. idaltu*.
2. Zwolennicy teorii „out of Africa”:
na podstawie badań DNA wnioskuje się, że człowiek neandertalski nie wniósł istotnego wkładu do puli genowej *H. sapiens*.
Wykonano badania z udziałem mtDNA z 2 (!) szczątków wczesnych nowoczesnych ludzi z Europy oraz z 4 neandertalskich, sekwencje mtDNA znacznie się różniły, ale mieściły się w zakresie zmienności genetycznej współczesnych Europejczyków.
Nie wyklucza się, że obie populacje (neandertalska i wczesnych nowoczesnych) krzyżowały się

Natomiast *H. s. idaltu* nie mógł być ogniwem pośrednim, bo szczątki znaleziono w Afryce, a neandertalczycy żyli w Europie.

Hipoteza „wulkanicznej zimy”

Hipoteza nawiązuje do teorii niedawnego „wyjścia” ludzi z Afryki (*the recent African genesis of humans*) i wyjaśnia paradoks afrykańskiego pochodzenia przy równoczesnym dużym zróżnicowaniu fenotypowym ludzi, które teoretycznie nie powinno istnieć ze względu na jednolitość fenotypową afrykańskich populacji przodków.

„Wulkaniczna zima” - wynik erupcji wulkanu Toba na Sumatrze. Nastąpił gwałtowny wyrzut pyłów do stratosfery na wysokość 17 km, co spowodowało obniżenie transmisji promieniowania słonecznego, oziębienie klimatu na całej ziemi, długotrwałe, kilkuletnie opady mgły kwasu siarkowego, pokrycie powierzchni ziemi 6-metrową warstwą pyłu wulkanicznego, deforestacje, a w konsekwencji zachwianie łańcuchów pokarmowych i stopniowe wymieranie gatunków, w tym *Homo sp.*

Zakłada się, że „wulkaniczna zima” zredukowała liczebność rodzaju *Homo* do tego stopnia, że znaczący w czasie rozwoju populacji stał się efekt założyciela, dryf genetyczny i lokalne adaptacje .

Wybuch wulkanu Toba spowodował nagłe wyróżnicowanie współczesnych populacji zaledwie w ciągu 70 000 lat zamiast stopniowo na przestrzeni kilku milionów lat.

„Wulkaniczna zima” wywołała trwający około 1 000 lat efekt wąskiego gardła w populacjach Homo zasiedlających wszystkie kontynenty.

Teoria ta tłumaczy afrykańskie pochodzenie Homo, będące wynikiem schronienia się znacznej części populacji w Afryce, czego rezultatem jest obecny wysoki poziom różnorodności genetycznej wśród Afrykanów.

Prawdopodobnie *Homo sapiens* jest gatunkiem, który powstał stosunkowo niedawno z populacji, która około 200 000 lat temu została poddana gwałtownej redukcji liczebności, przeszła przez wąskie gardło.

Ewolucja człowieka i jego ekspansja miały ścisły związek z klimatem

- q Przypadała na czas kiedy ustępował łagodny klimat.
- q 1,5 mln lat temu zaczęło się ochłodzenie.
- q 1 mln lat temu – I zlodowacenie na półkuli północnej.
- q Kolejno co 100 tys. lat zaczynały się epoki lodowcowe.
- q Człowiek pierwotny wędrował na północ i wracał razem z lądolodem.
- q Ostatnia epoka lodowcowa, w okresach ocieplenia
 - Europejscy emigranci wywodzą się prawdopodobnie z bliskowschodnich populacji, które 75-35 tys. lat temu rozprzestrzeniły się na północ (w tym do południowej Polski)
 - 31-34 tys. lat temu – neandertalczyki przystosowali się do chłodu
 - Do Europy napłynęła nowa fala migracyjna – ludy rasy kromanionńskiej (Cro-Magnon) *Homo sapiens fossilis*, nie różniący się już istotnie od *H. sapiens*, występujący od 43 tys. lat - 10 tys. Lat temu (również w Polsce)

Następnie ocieplenie się klimatu spowodowało, że żyzna tereny Sahary i Bliskiego Wschodu stały się pustyniami i ludzie zaczęli migrować na północ

Hipoteza „2R”

W 1970 roku Susumu Ohno zaproponował teorie, że w linii prowadzącej do powstania kręgowców nastąpiła jedna lub więcej rund duplikacji całego genomu, prowadzących do wzrostu złożoności tych organizmów.

Doszło do powstania ogniwa pośredniego w postaci tetraploida, po którym nastąpił powrót do stanu disomii.

Sugeruje się, że były 2 rundy duplikacji stąd nazwa hipotezy – 2R.

Najprawdopodobniej zdarzenia te miały miejsce bezpośrednio przed i po dywergencji linii prowadzącej do kręgowców z linii bezkręgowców.

Za potwierdzeniem tej teorii przemawia **zasada „jeden do czterech”**, która zakłada, że powinny być 4 geny ortologiczne w genomie kręgowca na określony 1 gen bezkręgowca.

Tetralogi (poczwórne ortologi) zostały stwierdzone na wszystkich 23 chromosomach człowieka.

Przykładem jest kwadryplikacja zgrupowania genów Hox, keratyny, kolagenu i kinazy tyrozynowej.

W genomie kręgowców znajdują się 4 kolinearne zgrupowania a w genomie bezkręgowców tylko jedno.