

 **Z Afryki do Europy**

Kornelia Polok i Roman Zieliński

Biologia molekularna, kierunek lekarski

2023/2024

Z Afryki do Europy: ewolucja człowieka

- Człowiek na drzewie życia**
- Człowiek jako gatunek biologiczny**
 - Cechy wspólne i unikalne
 - Zdolności kognitywne (poznawcze)
 - Genom
- Ewolucja człowieka**
 - Etap 1: dwunożność
 - Etap 2: narzędzia
 - Etap 3: łowcy i migranci
 - Etap 4: opanowanie obszarów o chłodnym klimacie
 - Etap 5: *Homo sapiens*
 - Etap 6: rewolucja neolityczna



1. Człowiek na drzewie życia

Człowiek (*Homo*): popularnie istota o najwyższym stopniu świadomości zamieszkująca Ziemię.

„Ziemia (Makosza) zaczęła się regenerować i urodziła ludzi, którzy wychodzili z jaru. Swaróg oczyszczał ich witką, a Żywia niejako z obowiązku tchnęła w nich życie. Pierwsze wyszły dwie kobiety, potem mężczyzna ... Pierwszej kobiecie brakowało biodra, mężczyźnie części głowy. Weles, najmądrzejszy z bogów, gliną uzupełnił kształty pojawiających się ludzi. Z tego względu ludzie są bardziej kruchliwi niż zwierzęta”.

Prof. dr hab. Lech Ostasz. 2017. Drzewo życia, Marzanna, Swaróg i inne mity słowiańskie.



Grodzisko słowiańskie Owidz.

W mitologii człowiek utożsamiany jest z istotą różną od zwierząt, chociaż w zależności od tradycji człowiek góruje nad światem przyrody lub jest jej częścią, a nawet wykazuje pewne ułomności.



1. Człowiek na drzewie życia

Etymologia europejskich nazw „anthropos”, „homo” i „man” wskazuje na trzy powszechne konceptualizacje.

- **Anthropos (grecki):** pierwotnie „βροτος” czyli śmiertelny w przeciwieństwie do „αμβροτος” – nieśmiertelny, od staroindyjskiego „martaḥ” (martwy).
- **Homo (łac.):** istota ziemna oparta na rdzeniu „ghm-on- (ziemia), łac. humus to ziemia, a więc zrodzony przez ziemię w przeciwieństwie do bogów, którzy są niebiańscy.
- **Man (ang.), manna (got.)** od men: myśleć, mądry, pamięć.



W językach słowiańskich „człowiek”: od „čelovĕk” w znaczeniu rodzina, ród domownicy. Unikalna koncepcja człowieka jako elementu zbiorowości. Potwierdza to znaczenie wspólnoty.

Wyraz „człowiek” znany jest tylko na obszarze słowiańskim i oznacza „rodzina”, „ród”, „domownicy”.

Niewiara, 2015



1. Człowiek na drzewie życia

Wszystkie organizmy żywe posiadają wspólne genetyczne dziedzictwo. Geny mówią o przeszłości i determinują przyszłość.



Animals
Plants
Fungi
Homo sapiens



Człowiek jest jedną z wielu gałęzi na drzewie życia.

Człowiek ma 30% wspólnych (homologicznych) genów z bakteriami, 50% z roślinami oraz 96% z szympanсами.

1. Człowiek na drzewie życia

Człowiek rozumny (*Homo sapiens* L.): gatunek ssaka z rodziny Hominidae (Wielkie małpy)

Systematyka

- **Domena:** Eukariota (Eukarionty)
- **Królestwo:** Animalia (Zwierzęta)
- **Typ:** Chordata (Strunowce)
- **Gromada:** Mammalia (Ssaki)
- **Rząd:** Primates (Naczelne)
- **Podrząd:** Haplorhini (Wyższe naczelne)
- **Infrarząd:** Simiiformes (Małpokształtne)
- **Rodzina:** Hominidae (Wielkie Małpy/ Człowiekowate)
- **Plemię:** Hominini
- **Rodzaj:** *Homo* (Człowiek)
- **Gatunek:** *Homo sapiens* (Człowiek rozumny)



Eukariota: żmijowiec, pszczoła.



Strunowce: gąsiorek



Ssaki: Kot



Wielkie małpy: Orangutan

1. Człowiek na drzewie życia

Szympans zwyczajny oraz szympans karłowaty to gatunki najbliżiej spokrewnione z rodzajem *Homo*.

Szympans zwyczajny, *Pan troglodytes*:

- uspołecznione, stada liczą 25-80 osobników, silna hierarchia, agresja;
- poluje na inne małpy;
- bogaty system komunikacji;
- posługują się narzędziami.

Szympans karłowaty, *Pan paniscus*:

- uspołecznione, luźna hierarchia;
- bogactwo zachowań seksualnych (pocałunki, ocieractwo genitalne),
- wydłużony okres aktywności seksualnej samic jak u człowieka.
- duża rola samic wokół których skupia się życie stada, pełnią rolę dominującą.



Sekwencja 30% genów ludzkich i szympansa jest identyczna; 2,7% genomu ludzkiego to duplikacje i delecje nie występujące u szympansów. Człowiek i szympans różnią się sekwencjami powtarzalnymi, w tym transpozonomi.



Z Afryki do Europy: ewolucja człowieka

1. Człowiek na drzewie życia

2. Człowiek jako gatunek biologiczny

- Cechy wspólne i unikalne
- Zdolności kognitywne (poznawcze)
- Genom

3. Ewolucja człowieka

- Etap 1: dwunożność
- Etap 2: narzędzia
- Etap 3: łowcy i migranci
- Etap 4: opanowanie obszarów o chłodnym klimacie
- Etap 5: *Homo sapiens*
- Etap 6: rewolucja neolityczna

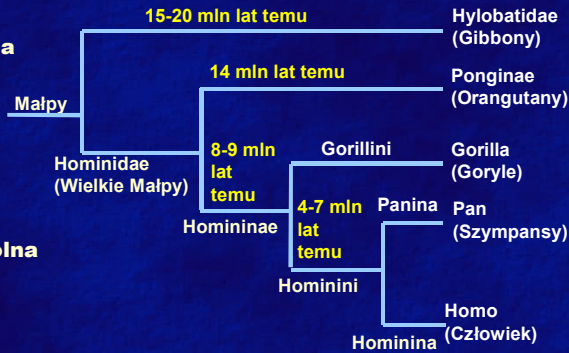


2. Człowiek jako gatunek biologiczny

Człowiek należy do zwierząt. Większość cech fizycznych i psychicznych człowiek odziedziczył po przodkach.

Człowiek jako gatunek biologiczny

- Budowa komórki typowa dla Eukariota, zwierząt.
- Człowiek jest diploidem, podobnie jak wiele roślin i zwierząt.
- Fizjologia wspólna ze zwierzętami.
- Budowa anatomiczna wspólna z ssakami, kręgowcami.
- Brak zewnętrznego ogona, przeciwstawny kciuk, dymorfizm płciowy wspólny z małpami.



Człowiek jako przedstawiciel rodziny Wielkich Małp ma najwięcej cech wspólnych z innymi członkami tej grupy systematycznej: orangutanami, gorylami i szympansami.

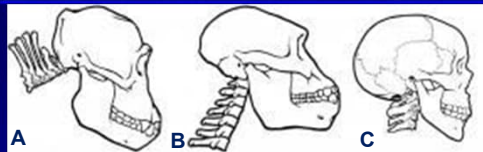


2. Człowiek jako gatunek biologiczny

W ciągu 6 mln lat wykształciły się cechy charakterystyczne dla gatunku *Homo sapiens*.

Cechy unikalne człowieka

- Silne kolana, lordoza kręgosłupa, długie nogi, wyprostowana postawa i dwunożny chód, pozycja czaszki.
- Duży mózg.
- Celowe wytwarzanie narzędzi.
- Długi okres opieki nad potomstwem.
- Zmiana sposobu życia z łowieckiego na osiadły, powstanie rolnictwa.
- Język, pismo, zdolność do abstrakcyjnego myślenia, samoświadomość.



- Czaszka szympansa łączy się z kręgosłupem w tylnej części, w efekcie głowa jest pod kątem.
- Pierwsi ludzie: czaszka przesunęła się do tyłu, łączy się z kręgosłupem w części dolnej co pozwoliło utrzymać wyprostowaną postawę.
- Człowiek współczesny: czaszka łączy się z kręgosłupem poprzez dolną część centralną, co pozwala utrzymywać ją idealnie prosto.

Dwunożny chód pojawił się około 5,8 mln lat temu.

Wyprostowana postawa ułatwiła dostęp do pożywienia, uwolniła ręce i pozwoliła szybko się przemieszczać w otwartych terenach. Efektem ubocznym są często spotykane problemy z kręgosłupem.



2. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

W trakcie 6 mln lat mózg człowieka powiększył się 3-krotnie. Tendencja wzrostowa przyspieszyła 1-0,8 mln lat temu.



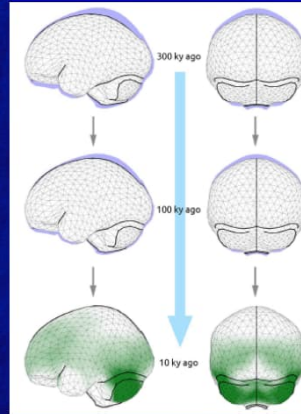
Porównanie mózgu saimiry, makaka, szympansa i człowieka.

Rozmiary mózgu rosły stopniowo:

- 6-2 mln – wolny, systematyczny wzrost;
- 2-0,8 mln – przyspieszenie tendencji wzrostowych na skutek opanowania różnych siedlisk i adaptacji do nich;
- 0,8-0,2 mln – gwałtowny rozwój mózgu, zmiana funkcjonalności, rozmieszczenia neuronów.

Mózg współczesnego człowieka wraz ze wszystkimi strukturami ukształtował się w okresie 35 000 -12 000 lat temu w okresie rewolucji neolitycznej.

NBeubaure et al., 2018.



Stopniowy wzrost rozmiarów mózgu człowieka w okresie 300 000-10 000 lat temu. Na niebiesko pokazano obszary, które zmieniły kształt, na zielono: wzrost powierzchni związany ze zmianą kształtu.



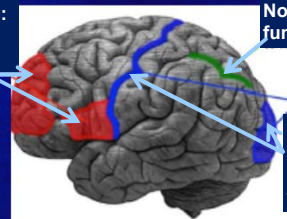
2. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

Wraz ze wzrostem rozmiarów mózgu pojawiły się nowe funkcjonalności, zmienił się rozkład neuronów.

Zmiany w mózgu obejmują:

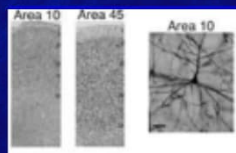
- wzrost rozmiaru całkowitego;
- nowe funkcjonalności w obszarze korowym płata cieniowego;
- wzrost rozmiarów kory przedczołowej – obszar 44/45 (kora ruchowa mowy);
- brak zmian w obszarze ruchowym i wzrokowym;
- zmiany w rozkładzie neuronów i komórek glejowych.

Kora przedczołowa: wzrost rozmiarów



Nowe funkcjonalności

Brak zmian: obszar ruchowy, wzrokowy



Gęstość neuronów zmniejszyła się wraz ze wzrostem mózgu, co przełożyło się na większe zdolności komunikacyjne.

Zróżnicowane komórki glejowe człowieka są istotne w funkcjach kognitywnych: uczeniu się i myśleniu, ale jednocześnie zwiększają podatność na neuropatologie.

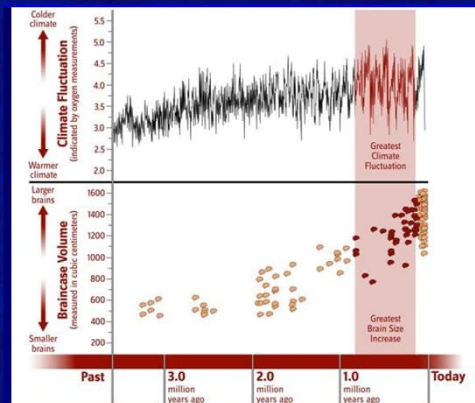
Verendeef i Sherwood 2017.



2. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

Zmiany w wielkości i strukturze mózgu ludzkiego są skorelowane ze zmianami klimatycznymi.

- W okresie 6-2 mln lat objętość mózgu wzrosła od 400 do 600 cm³ (o 50% w ciągu 4 mln lat). W tym czasie amplituda zmian klimatycznych (dotyczy tlenu) była stosunkowo niewielka (2,5-3,5).
- W okresie od 2 do 0,8 mln lat temu zwiększyła się amplituda zmian (2,5-4,5). W tym czasie nastąpił wzrost rozmiarów mózgu od 600 do 1100 cm³ (o 83% w ciągu 1,2 mln lat).
- W okresie 0,8 mln do 12 tys. lat temu mózg powiększył się od 1100 do 1600 cm³ (45% w ciągu 0,8 mln lat) oraz zmienił strukturę.



Wzrost rozmiarów mózgu (dół) na tle zmian klimatycznych (góra).

Populacje ludzkie musiały zaadaptować się do szybko zmieniających się warunków, co doprowadziło do gwałtownego rozwoju mózgu.

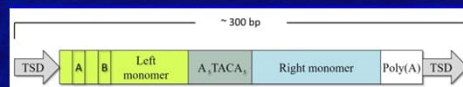
Smithsonian National Museum, 2020.



2. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

Gwałtowny rozwój mózgu ludzkiego zapoczątkowany 2 mln lat temu skorelowany jest z remobilizacją retrotranspozonów *Alu*.

- U człowieka występuje >5 razy więcej elementów *Alu* z mutacją (~5000) niż bez mutacji (~650), co świadczy o niedawnej aktywności.
- Najwyższa aktywność *Alu* miała miejsce 1,5 mln lat temu, co koreluje z szybkim rozwojem mózgu.
- U człowieka występuje 12 nowych elementów, u szympansa tylko 5.
- Gen mikrocefaliny – 1000 elementów *Alu* w intronach, 57% długości genu.



Transpozon *Alu*. Długość 300 bp. Monomery zawierają geny: gen 7SL RNA, promotor polimerazy III RNA. Wykorzystują endonukleazę L1 i odwrotną transkryptazę do remobilizacji.



Struktura przestrzenna mikrocefaliny. Kodowana przez gen MCPH1 na chr. 8. Odpowiada za rozwój mózgu w okresie płodowym. Pierwotne formy genu skorelowane z rozwojem języków tonalnych.

Remobilizacja transpozonów następuje pod wpływem stresu, np. zmian klimatycznych i prowadzi do szybkiej ewolucji poprzez indukowanie zmienności, wzrost częstości rekombinacji i zmianę ekspresji genów.

Britten 2010.

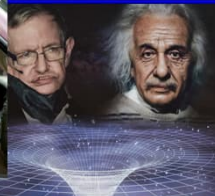


2. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

Procesy poznawcze (kognitywne): procesy tworzące i modyfikujące struktury poznawcze w systemie poznawczym (umysł).

Człowiek to zwierzę, które wyspecjalizowało się w myśleniu i zdobywaniu wiedzy doprowadzając do zmiany:

- zwyczajów żywieniowych przez gotowanie i rolnictwo;
- środowiska poprzez tworzenie budowli;
- sposobu przemieszczania się na znaczne odległości przy pomocy innych zwierząt i maszyn;
- sposobu wymiany dóbr między członkami stada;
- komunikacji przez rozwój języka i symboli, sztuki i nauki.



Kognitywistyka: zajmuje się analizą działania zmysłów, w jaki sposób system nerwowy przetwarza informacje u człowieka i u zwierząt.

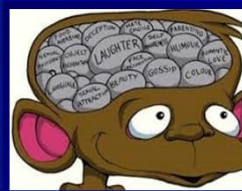


2. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

Psychologia ewolucyjna i biologia kognitywistyczna analizują ewolucję procesów poznawczych u zwierząt i człowieka.

Szkoły behawioralne

- Psychologia ewolucyjna, szkoła Św. Barbary: umysł człowieka składa się z kolekcji „modułów” typu „komputerowego”. Każdy z modułów ukształtowała selekcja naturalna w epoce kamiennej.
- Biologia kognitywistyczna: zdolności poznawcze są cechą biologiczną, która ewoluowała od prostych odruchów u prymitywnych organizmów do złożonych zachowań u zwierząt, w tym człowieka. Odruchy są efektem zmian genetycznych i selekcji w ciągu całego okresu rozwoju gatunku.



Mózg według psychologii ewolucyjnej. Każdy obszar związany jest z modułami, które są odpowiedzią na selekcję od epoki kamiennej.

Trait	Species Difference	Trait	Species Difference
Gaze Following	B > C	Tool Use	C > B
Food Sharing	B > C	Causal Reasoning	C > B
Cooperation	B > C	Spatial Memory	C > B
Social Play	B > C	Aggression	C > B



Według biologii kognitywnej cechy ludzkie są kombinacją cech u bonobo i szympansov. Wykształciły się znacznie wcześniej niż epoka kamieńna.

Według biologii kognitywistycznej zdolności poznawcze człowieka wynikają z ewolucji życia na Ziemi, natomiast według psychologii ewolucyjnej są one specyficzne dla ewolucji człowieka po powstaniu kultury materialnej.

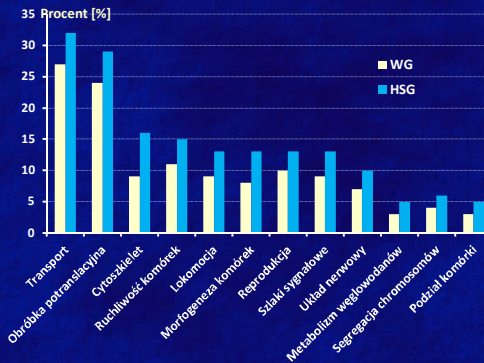


2. Człowiek jako gatunek biologiczny, genom

W genomie ludzkim zidentyfikowano 856 genów specyficznych dla człowieka, co stanowi zaledwie 3% wszystkich genów.

Geny specyficzne dla człowieka

- Geny specyficzne dla człowieka powstały w wyniku amplifikacji sekwencji, mutacji punktowych, zmian strukturalnych, duplikacji, delecji genu.
- Najwięcej genów specyficznych dla człowieka zlokalizowano na chromosomach 7 i X.
- Wśród genów specyficznych dla człowieka są geny szlaku sygnałowego w neuronach (NOS), geny odpowiedzialne za fagocytozę w makrofagach, geny związane z tworzeniem adipocytów.



Klasy genów, dla których stwierdzono istotnie wyższy udział wśród genów specyficznych dla człowieka (HSG) niż średni udział wśród wszystkich genów człowieka (WG)

Markery specyficzne dla gatunku to geny/sekwencje, które występują tylko u danego gatunku. Gatunki biologiczne mają 20-30% i więcej markerów specyficznych gatunkowo.

Bitar et al., 2019



2. Człowiek jako gatunek biologiczny, genom

Cechy specyficzne genomu ludzkiego dotyczą także sekwencji związanych z aktywnością transpozonów.

Cecha	Człowiek	Szympansy
Liczba chromosomów	46, chromosom 2 jest wynikiem fuzji chr. 2a i 2b	48
Pseudogeny	Kilkaset nowych pseudogenów w trakcie tworzenia	
Alu: rodziny	AluYa5, AluYb8	AluY, Aluc1
Delecje związane z Alu	492 delecje, średnia wielkość delecji - 400 kbp	663 delecje, średnia wielkość delecji - 771 kbp
SVA, częstość insercji	Dwa razy wyższa częstość insercji, rodzina SVAF1	Niska aktywność
HERV	140 unikalnych insercji	45 unikalnych insercji

Na poziomie molekularnym specyfika człowieka związana jest z regulacją ekspresji genów, proteomem i szlakami sygnałowymi.

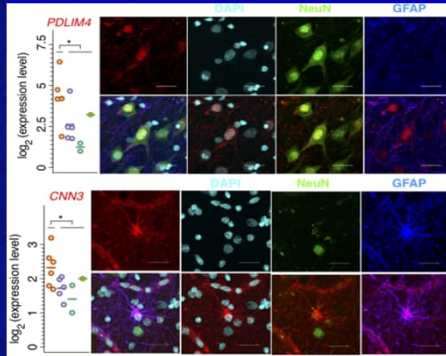


2. Człowiek jako gatunek biologiczny, genom

U mózgu człowieka stwierdzono specyficzny gatunkowo wzór ekspresji 1851 genów.

Ekspresja specyficzna dla człowieka

- 12% genów i 8% elementów regulatorowych wykazuje różną ekspresję w mózgu człowieka w porównaniu z szympansem.
- Ekspresję specyficzną dla człowieka wykazują np. geny:
 - **PDLIM4** – koduje białko uczestniczące w regulacji transportu synaptycznego;
 - **FOLR1** – koduje receptor folianów;
 - **CNN3** – koduje kalponinę;
 - **RGMA** – koduje białko aktywne w aksonach siatkówki.



Ekspresja PDLIM4 oraz CNN3 w hipokampie mierzona RT-qPCR (lewa) oraz FISH. Na wykresie kolor pomarańczowy: człowiek, granatowy: szympan, zielony: goryl. Fotografie przedstawiają białko, marker jądrowy (DAPI), marker neuronowy (NeurN), marker astrocytów (GFAP).

Gatunkowo specyficzna ekspresja genów ludzkich występuje w hipokampie, płacie czołowym oraz w mózdku.

Xu et al., 2018



Z Afryki do Europy: ewolucja człowieka

1. Człowiek na drzewie życia
2. Człowiek jako gatunek biologiczny
 - Cechy wspólne i unikalne
 - Zdolności kogntywne (poznawcze)
 - Genom
3. Ewolucja człowieka
 - Etap 1: dwunożność
 - Etap 2: narzędzia
 - Etap 3: łowcy i migranci
 - Etap 4: opanowanie obszarów o chłodnym klimacie
 - Etap 5: *Homo sapiens*
 - Etap 6: rewolucja neolityczna



3. Ewolucja człowieka

Wiedza o ewolucji człowieka opiera się głównie na danych archeologicznych, które są niepełne.

Analiza archaicznego DNA (aDNA)

- aDNA to analiza DNA jądrowego z pozostałości kopalnych.
- Techniki aDNA obejmują:
 - przyłączenie adapterów do DNA ludzkiego tak aby oddzielić go od zanieczyszczeń;
 - izolację DNA w sterylnych warunkach;
 - sekwencjonowanie;
 - obróbkę bioinformatyczną w celu oddzielenia prób od zanieczyszczeń DNA człowieka współczesnego.



Ślady stóp sprzed 3,7 mln lat. Laetoli (Tanzania). (National History Museum, 2020).



Zróżnicowanie czaszki: a. Neandertalczyk (430 tys. lat), b. Neandertalczyk (60-40 tys. lat), c. 350-280 tys. lat, d. *Homo sapiens*, 20 tys. lat. (Stringer i Galway-Witham, 2017).

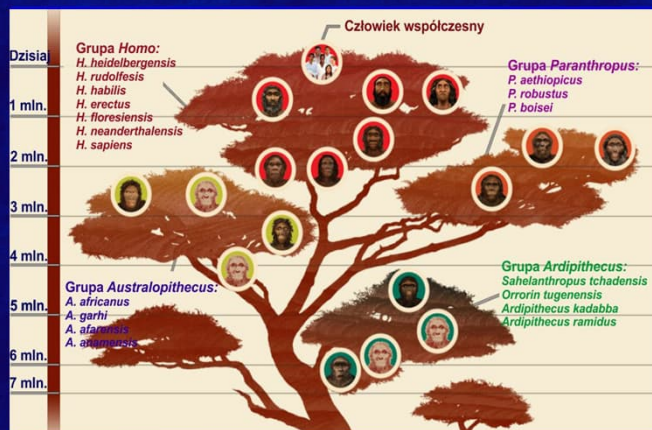
Rozwój analiz DNA, zwłaszcza archaicznego DNA w ostatnich 30 latach oraz lepsze techniki datowania dostarczyły informacji o zróżnicowaniu genetycznym wczesnych populacji ludzkich.



3. Ewolucja człowieka: etapy

15-20 mln lat temu rodzina Hominidae (Wielkie Małpy) oddzieliła się od Hylobatidae (gibbonów).

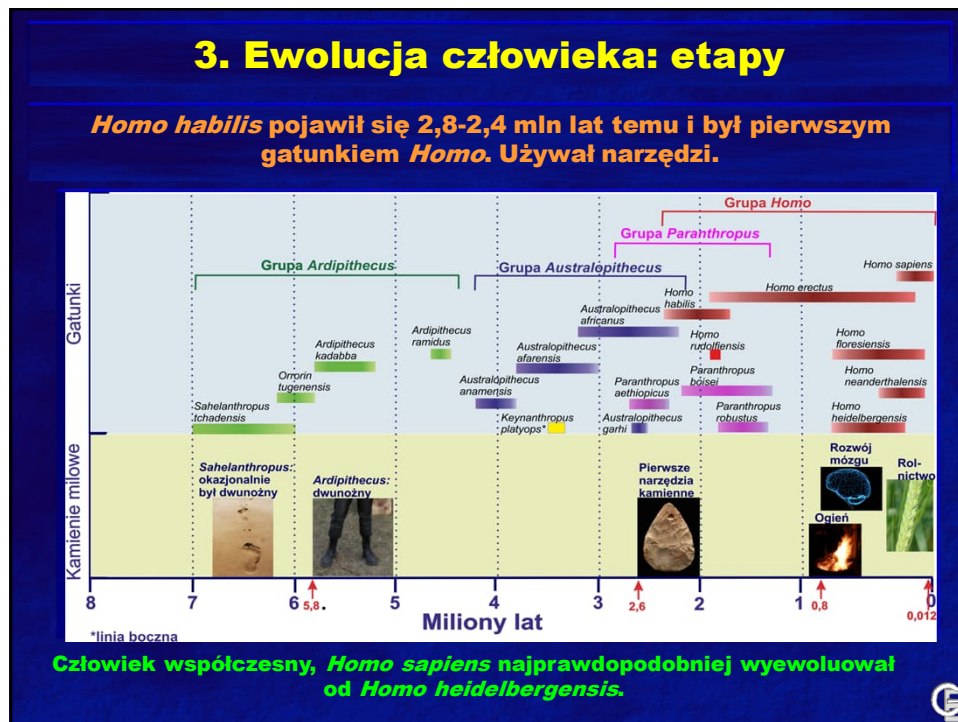
- *G. Ardipithecus*: Afryka, początki dwunożnego chodu.
- *G. Australopithecus*: wczesne hominidy, dwunożne, wspinające się na drzewa.
- *G. Paranthropus*: duże zęby, mocna szczęka, wszystkożerny.
- *G. Homo*: duży mózg, używa narzędzi.



Hominini (człowiek i szympan) oddzieliły się od Gorillini 8-9 mln lat temu, a Hominina (człowiek) od Panina (szympan) 4-7 mln lat temu.

Smithsonian National Museum, 2020





3. Ewolucja człowieka: etap 1

Etap 1: okazjonalna dwunożność pojawiła się u *Sahelanthropus tchadensis* i *Orrorin tugenensis* 5,8 mln lat temu.

***Sahelanthropus tchadensis*: (7-6 mln):**

- wyprostowana postawa;
- cechy „malpie”: mały mózg, wydatne łuki brwiowe, wydłużona czaszka;
- cechy „ludzkie”: małe kły, krótka środkowa część twarzy, kręgosłup łączy się z czaszką w części dolnej jak u ludzi.

***Orrorin tugenensis*: (6,2-5,8 mln):**

- najstarszy przedstawiciel linii rozwojowej człowieka,
- wielkość szympansa;
- wspinał się na drzewa, okazjonalnie by dwunożny;
- kły zredukowane jak u człowieka współczesnego.

Oba gatunki znane są od około 20 lat. Niewiele wiadomo o ich wyglądzie, pożywieniu, behawiorze. Należą do grupy *Ardipithecus*.

Smithsonian National Museum, 2020

3. Ewolucja człowieka: etap 1

Etap 1: regularna dwunożność i wyprostowana postawa pojawiły się w grupie *Australopithecus*, około 4,1 mln lat temu.



***Australopithecus anamensis* (4,2-3,8 mln):**

- wyprostowana postawa i dwunożny chód, stanie na „jednej nodze”;
- długie ramiona i nadgarstki wskazują na zdolność wspinania się na drzewa;
- wydłużona twarz i wąska czaszka;
- pierwszy gatunek żyjący na sawannie.



***Australopithecus afarensis* (3,81-2,95 mln):**

- najlepiej poznany gatunek, do którego należy „Lucy”, przetrwał 900 tys. lat;
- małpia twarz i czaszka, 500 cm³;
- długie, silne ramiona z zakrzywionymi palcami umożliwiające wspinanie się na drzewa.

***Australopithecus* dał początek linii *Homo* około 1-3 mln lat temu. Świadczy o tym obecność w genomie genu *SRGAP2* kodującego migrację neuronów.**

Smithsonian National Museum, 2020



3. Ewolucja człowieka: etap 2

Etap 2: sporadyczne użycie narzędzi z kości pojawiło się w linii *Paranthropus* (masywne australopiteki), 2,6-1,3 mln lat temu.



***Paranthropus aethiopicus* (2,7-2,3 mln):**

- masywne ciało; silnie wyciągnięta twarz, duże zęby policzkowe i szczeka;
- przystosowany do żucia twardego pokarmu;
- żył w lasach i sawannach.



***Paranthropus boisei* (2,3-1,2 mln):**

- podobnie jak u wszystkich parantropów czaszka przystosowana do żucia;
- żywił się głównie trawami;
- w ciągu 1 mln lat mózg powiększył się o 100 cm³.

Linia *Paranthropus* uważana jest za linię boczną, która nie prowadzi bezpośrednio do grupy *Homo*.

Smithsonian National Museum, 2020



3. Ewolucja człowieka: etap 2

Etap 2: regularne wykorzystywanie narzędzi kamiennych przez *Homo habilis*, 2,4 mln lat temu.



***Homo habilis* (2,4-1,4 mln):**

- rozbudowana żuchwa, twarzoczaszka wysunięta do przodu;
- długie ramiona, 1,3 m wysokości;
- mózg nieco większy niż u australopiteków, 550-680 cm³;
- używał narzędzi do obróbki zwierzyny (kultura olduwajska).

***Homo rudolfensis* (1,9-1,8 mln):**

- początkowo zaliczany do *H. habilis*, od 2012 jako odrębny gatunek;
- żuchwa mniej wysunięta do przodu niż u *H. habilis*, okrągła czaszka.

***Homo habilis* był prawdopodobnie padlinożercą. Dieta mięsna mogła przyczynić się do rozwoju mózgu.**

Smithsonian National Museum, 2020



3. Ewolucja człowieka: etap 3

Etap 3: *Homo erectus*, przodek myśliwych-zbieraczy oraz pierwsza migracja z Afryki do Azji i Europy około 1,8-1,5 mln lat temu.



***Homo erectus* (1,8-0,11 mln):**

- proporcje ciała typowe dla człowieka z długimi nogami i krótkimi ramionami;
- wydätne wały oczodołowe, masywne szczęki i zęby;
- opieka nad starszymi i słabszymi;
- gatunek zmienny, forma afrykańska określana jako *H. ergaster*.

***Homo erectus georgicus* (1,8 mln):**

- silny dymorfizm płciowy, samce były znacznie większe od samic;
- wzrost do 150 cm;
- pierwszy gatunek, który pojawił się w Europie 1,8 mln lat temu, prawdopodobnie wyemigrował zaraz po oddzieleniu się *H. erectus*.


Rozmiar mózgu wzrasta do 1000 cm³, narzędzia kamienne i drewniane, są specjalnie wytwarzane (kultura aszelska), posługuje się ogniem.

Smithsonian National Museum, 2020



3. Ewolucja człowieka: etap 4

Etap 4: Opanowanie obszarów o chłodnym klimacie, kontrola ognia, użycie włóczni, rutynowe polowania (0,8-0,2 mln lat temu)



Homo heidelbergensis (0,7-0,2 mln):

- duże łuki brwiowe i czaszka, płaska „ludzka” twarz, mózg 1200 cm³;
- pierwszy gatunek, który budował schroniska z drewna i skał;
- pierwszy gatunek, który żył w chłodnym klimacie (Azja - Chiny, Europa, Afryka).

Homo neanderthalensis (0,4-0,04 mln):

- najbliższy krewny człowieka, mózg porównywalny z ludzkim,
- produkował narzędzia, ubrania, żył w chatkach, kontrolował ogień, polował na duże zwierzęta;
- używał symboli, grzebał zmarłych, groby znaczył i ozdabiał.

Uważa się, że afrykańskie populacje *H. heidelbergensis* były bezpośrednimi przodkami *Homo sapiens*. Jednakże badania DNA klasyfikują go w linii neandertalczyków.

Smithsonian National Museum, 2020

3. Ewolucja człowieka: etap 4

Etap 4: *Homo denisova* żył od 0,160-0,015 mln lat temu na zróżnicowanych obszarach Azji i Nowej Gwinei.



Portret młodej kobiety zrekonstruowany na bazie DNA. (Maayan Harel)

Fragment kości ręki lub nogi.

Migracje *H. denisova* (zielone) na tle *H. heidelbergensis* (czerwone) i *H. neanderthalensis* (żółte).

***Homo denisova*:**

- dokładna pozycja taksonomiczna nie jest określona, w genomie jest 17% genów neandertalskich;
- posiadał allele, które u *H. sapiens* odpowiadają za ciemną barwę skóry, włosów i oczu;
- posiadał gen *EPAS1* związany z adaptacją do niskiego stężenia tlenu na dużych wysokościach.

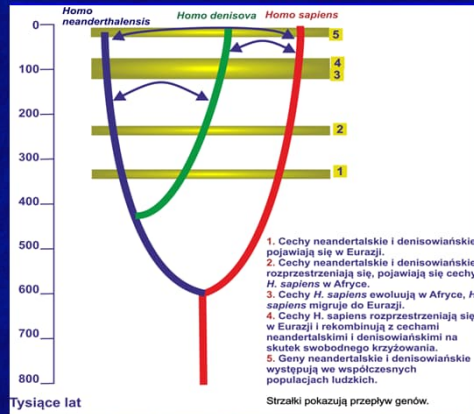
***H. denisova* prawdopodobnie tworzył trzy linie: południowo-wschodnio-azjatycką, syberyjską i nowogwinejską.**

3. Ewolucja człowieka: etap 5

Etap 5: człowiek współczesny, *Homo sapiens* wyewoluował w Afryce około 315 tys. lat temu.

Teorie pochodzenia *H. sapiens*:

- **RAO:** afrykańskie pochodzenie wszystkich populacji na podstawie mtDNA, okazjonalna introgresja genów innych hominidów, bariera reprodukcyjna między *H. sapiens* a innymi hominidami.
- **AM:** model asymilacji, *H. sapiens* i inne hominidy nie były gatunkami biologicznymi, swobodnie się krzyżowały, cechy współczesne są efektem przepływu genów i rekombinacji genów pochodzących od różnych hominidów.



Za modelem asymilacji i swobodnym krzyżowaniem przemawia >6% udział genów neandertalskich i denisowskich w genomie *H. sapiens*.



3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

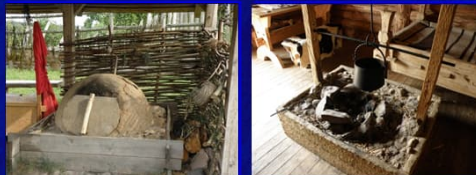
Etap 6: rewolucja neolityczna: przechodzenie od zbieractwa i łowiectwa do osiadłego trybu życia, 12-4 tys. lat temu.

Rewolucja neolityczna

- Rozpoczęła się w neolicie wraz ze zakończeniem okresu zlodowacenia i ociepleniem klimatu.
- Dieta pierwszych rolników była uboga w składniki odżywcze, dlatego umiejętność selekcji gwarantowała przeżycie.
- Rolnictwo rozprzestrzeniło się przez migrację populacji z Bliskiego Wschodu do Północnej Afryki, Azji i Europy.
- W Europie migracja odbywała się:
 - przez Europę Centralną, w tym łuk Karpat;
 - przez wybrzeże śródziemnomorskie.



Kreta: Festos (A) sprzed 6000 lat i Knossos (B) sprzed 4000 lat.



W osadach i domach centralne miejsce zajmował piec chlebowy.

Rewolucja neolityczna odbyła się przez ekspansję populacji ludzkich i była związana z udomowieniem gatunków roślin i zwierząt.

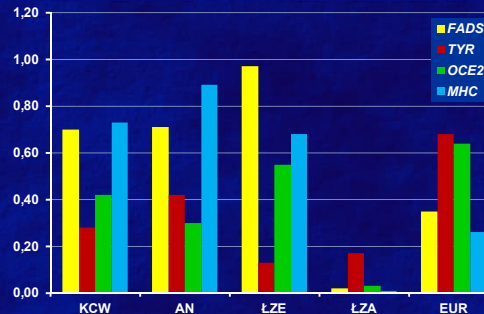


3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

Uważa się, że rewolucja neolityczna była związana z adaptacją populacji ludzkich do lokalnych warunków środowiskowych.

Kultura ceramiki wstęgowej

- Są to pierwsze rolnicze populacje w Europie, obejmują Europę Centralną, głównie Karpaty od Węgier do Słowacji. W Polsce to obszar Śląska (Dolny i Górny) i części Małopolski.
- Dane z mtDNA sugerują, że migracja odbywała się przez dyfuzję demów, populacje lokalne nie były zastępowane.
- Adaptacja dotyczyła selekcji alleli warunkujących jasną skórę, odporność na choroby, zmiany metabolizmu kwasów tłuszczowych, w tym insulinooporność.



Częstości wybranych alleli w genach *FADS* (metabolizm kwasów tłuszczowych), *TYR* (jasna skóra), *OCE2* (jasne oczy) i *MHC* (główny układ zgodności tkankowej) w populacjach kultury ceramiki wstęgowej z miejsc na terenie Niemiec (KCW), wyściowych populacji z Anatolii (AN), europejskich (ŁZE) i afrykańskich (ŁZA) populacji zbieracko-łowieckich z Mezolitu oraz we współczesnych populacjach europejskich (EUR).

Mutacje w genach *FADS*, *TYR*, *OCE2* i *MHC* zaszyły przed migracją populacji z Anatolii lub już istniały w populacjach lokalnych.

Childebayeva i inni, 2022.

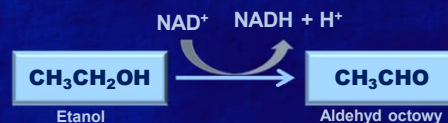


3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

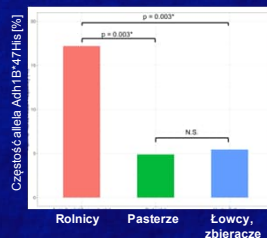
Ślady selekcji pozytywnej w genomie człowieka w odpowiedzi na dietę neolityczną są trudne do zidentyfikowania.

Przykłady selekcji pozytywnej w okresie Neolitu w odpowiedzi na zmianę diety.

- Tolerancja laktozy - selekcja zmutowanych alleli w genie regulatorowym *Lct*. W Europie pojawiła się 8-6 tys. lat temu.
- Selekcja w kierunku większej liczby kopii w genie *Amy1*. U człowieka jest średnio 6 kopii, u szympansov – dwie kopie. Większa liczba kopii jest przystosowaniem do trawienia skrobi ze zbóż.
- Selekcja allela *Adh1B*47His* w genie dehydrogenazy alkoholowej (*Adh1B*).



ADH katalizuje utlenianie etanolu do aldehydu octowego, który jest toksyczny dla organizmu.



Allel *ADH1B*47His* zwiększa tempo oksydacji etanolu, co prowadzi do szybkiego gromadzenia się aldehydu octowego we krwi. Allel silnie skorelowany z mniejszym ryzykiem alkoholizmu. Mutacja pojawiła się w okresie udomowienia ryżu w Azji. Czynnikiem selekcyjnym były sfermentowane napoje.

Selekcja alleli w loci *Lct*, *Amy1* i *Adh* w okresie Neolitu jest wyjątkiem. Prawdopodobnie proces zaczął się już w Paleolicie.

McQuillan et al., 2022.

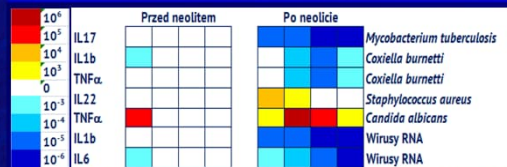


3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

W trakcie rewolucji neolitycznej doszło do selekcji alleli związanych z odpowiedzią immunologiczną.

Ewolucja produkcji cytokin w populacjach europejskich.

- Cytokiny indukują stan zapalny, fagocytozę, indukują limfocyty T (Th) pobudzające adaptacyjną odpowiedź immunologiczną.
- Produkcja cytokin w odpowiedzi na odzwierzęce patogeny wewnątrzkomórkowe (*M. tuberculosis*, *C. burnetti*) spadła w okresie postneolitycznym, co wskazuje na wzrost tolerancji na te patogeny.
- W okresie Neolitu spadła produkcja cytokin w odpowiedzi na wirusy RNA.



Zmiany w produkcji cytokin w odpowiedzi na różne patogeny w okresie przed-neolitycznym i post-neolitycznym.

- Tolerancja na obecność wirusów RNA jest mechanizmem obronnym przed zagrażającą życiu nadmierną reakcją organizmu.
- W okresie Neolitu wzrosła produkcja cytokin w odpowiedzi na patogeny zewnątrzkomórkowe, *S. aureus* i *C. albicans*.

W trakcie Neolitu człowiek wykształcił tolerancję na patogeny wewnątrzkomórkowe i odporność na patogeny zewnątrzkomórkowe.

Dominguez-Andres i inni, 2021.



3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

Czy neolityczny tryb życia był związany z wyższym ryzykiem epidemii chorób zakaźnych w porównaniu z Mezolitem?

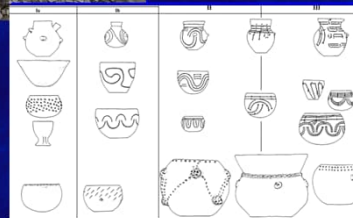
Czynniki, które mogły wpłynąć na większe ryzyko chorób zakaźnych w Neolicie

- Osiadły tryb życia.
- Zmiana diety: wykorzystanie udomowionych roślin i zwierząt.
- Bliski kontakt ze zwierzętami na skutek udomowienia.
- Zwiększenie rozmiarów populacji oraz większe skupiska ludności.
- Zmiana środowiska: antropogeniczne zmiany zespołów roślinnych w pobliżu siedlisk ludzkich.
- Skazanie wody w pobliżu ludzkich siedlisk.



Krzemionki Opatowskie, świętokrzyskie, największa neolityczna kopalnia, 5900 lat temu.

Gwoździec, Zakliczyn, Jura Krakowsko-Częstochowska, naczynia ze stanowiska neolitycznego, ludność zajmowała się rolnictwem, 7500 lat temu.



O epidemii w Neolicie mogą świadczyć zmiany socjo-ekonomiczne, masowe pochówki i zmiana sposobu pochówków, obecność DNA patogenów.

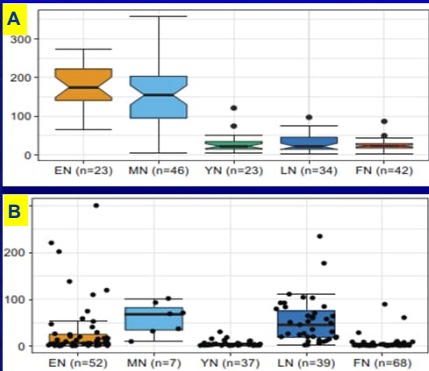


3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

Czy neolityczny tryb życia był związany z wyższym ryzykiem epidemii chorób zakaźnych w porównaniu z Mezolitem?

Zmiany domostw i pochówków w okresie 7500-4500 lat temu

- Epidemii może wskazywać:
 - zmniejszenie powierzchni domów ze 100 m² do 50 m²,
 - zmniejszenie liczby domów w osadach,
 - wzrost liczby cmentarzy.
- Epidemii nie potwierdza:
 - mniej pochówków na każdym cmentarzu;
 - zróżnicowanie pochówków związane z kulturą;
 - brak masowych pochówków.



A. Wielkość domów . B. Udział pochówków na cmentarzach w Neolicie. EN: wczesny Neolit, MN: średni Neolit, YN: młodszy Neolit, LN: późny Neolit, FN: końcowy Neolit.

Dane archeologiczne z obszaru współczesnych Niemiec nie potwierdzają, że zmiana pochówków była związana z epidemiami.

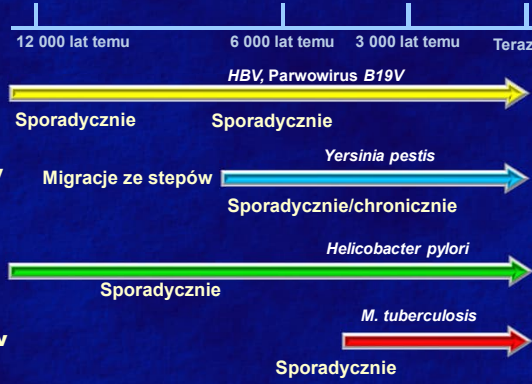
Fuchs et al., 2019

3. Ewolucja człowieka: etap 6, Neolit

Czy neolityczny tryb życia był związany z wyższym ryzykiem epidemii chorób zakaźnych w porównaniu z Mezolitem?

Patogeny wykryte w śladach kopalnych przy pomocy aDNA.

- Wirusy chorobotwórcze zidentyfikowano tylko w 1,3% szkieletów (20 na 1578 badanych).
- W Neolicie wykryto wirusa HBV i parwowirusa B19 V, których ślady wykryto także w Mezolicie.
- *Yersinia pestis* została zawleczona z migracjami ze stepów, brak śladów epidemii w Neolicie.
- *Helicobacter pylori* występował już w Mezolicie.



Występowanie patogenów w Neolicie w populacjach z obszaru współczesnych Niemiec na podstawie aDNA.

Patogeny wywołujące choroby zakaźne wykryto w nielicznych szkieletach. Występowały one sporadycznie i ich ślady nie potwierdzają epidemii.

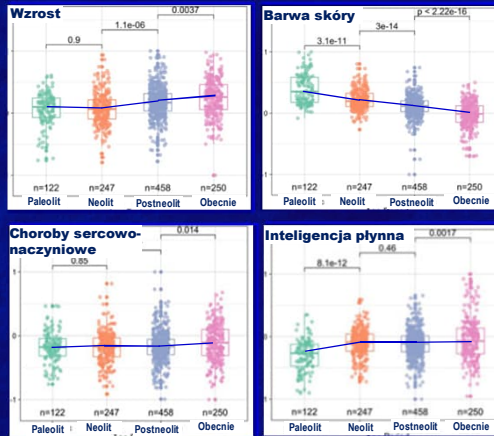
Fuchs et al., 2019

3. Ewolucja człowieka: dokąd zmierzamy?

Człowiek współczesny wykazuje znaczne zróżnicowanie fenotypowe, które wynika z działania czynników genetycznych i środowiskowych.

Zmiany cech w populacjach europejskich od Neolitu

- Wzrost nie zmienił się istotnie między Paleolitem, Neolitem, wzrósł nieznacznie po Neolicie.
- Populacje zbieracko-łowieckie miały ciemniejszą skórę. Jasna skóra pojawiła się około 8 tys. lat temu wraz z migracją z Anatolii.
- BMI nieznacznie spadł w Neolicie, ryzyko chorób sercowo-naczyniowych nie zmieniło się istotnie od Paleolitu.
- W neolicie istotnie wzrósł poziom inteligencji płynnej (ang. flow).



Zrozumienie ewolucji człowieka jest warunkiem zrozumienia jego fizjologii oraz efektywnego zapobiegania chorobom.

Kuipers i inni, 2022



3. Ewolucja człowieka: dokąd zmierzamy?

Etap 7: Dokąd zmierzamy?



Wybuch bomby atomowej w Hiroshimie, 1945



Zakupowe szaleństwo.



Śmieci w lesie.



Degradacja terenu wokół kopalni węgla brunatnego w Bełchatowie.



Masowe wycinanie lasów.



Betonowa pustynia, rondo w Katowicach.



Zagadnienia 1-2

1. Człowiek na drzewie życia, pochodzenie nazw

- Jaka jest etymologia nazw człowieka?
- Co oznacza nazwa „człowiek”?
- Czy znaczenie wyrazu „człowiek” jest takie samo jak znaczenie „homo” i „anthropos”?
- Która z nazw człowieka określa go jako istotę myślącą?
- Czy prawa rządzące biologią człowieka różnią się od praw dotyczących innych organizmów? Uzasadnij odpowiedź.
- Jaki procent genów stanowią geny unikalne dla człowieka?
- Proszę podać systematykę człowieka.
- Jakie gatunki zwierząt są najbliższymi spokrewnionymi z człowiekiem?
- Proszę porównać szympansa zwyczajnego i bonobo.
- Który z gatunków szympanсів jest bliższy człowiekowi? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Jaki procent genów jest wspólny dla człowieka i szympansa, a jaki procent genów ma identyczną sekwencję u obu gatunków?



2. Człowiek jako gatunek biologiczny, cechy wspólne

- Proszę wymienić cechy wspólne dla człowieka i innych organizmów?
- Proszę wymienić cechy unikalne dla człowieka jako gatunku?
- Jak zmieniło się ułożenie czaszki u człowieka w porównaniu z szympansem?
- Jaki był zysk z wyprostowanej postawy?
- Z czego wynikają schorzenia kręgosłupa u człowieka?



Zagadnienia 3

3. Człowiek jako gatunek biologiczny, mózg

- O ile powiększył się mózg człowieka w trakcie ewolucji?
- Jakie były etapy rozwoju mózgu u człowieka?
- Kiedy ostatecznie ukształtował się mózg człowieka współczesnego?
- Kiedy nastąpił gwałtowny rozwój mózgu i zmiana funkcjonalności?
- Jakie zmiany zaszły w mózgu człowieka obok powiększenia rozmiaru mózgu?
- Jak zmieniła się gęstość neuronów wraz z rozwojem mózgu?
- Jaką funkcję pełnią komórki glejowe?
- Jakie czynniki mogły mieć wpływ na rozwój mózgu u człowieka?
- W jakim okresie nastąpił największy przyrost wielkości mózgu?
- Jaki czynnik genetyczny przyczynił się do rozwoju mózgu?
- Jak wytłumaczyć rolę transpozonów w rozwoju mózgu ludzkiego?
- Jakie dowody wskazują na rolę transpozonów w rozwoju mózgu człowieka?
- Ile nowych elementów *Alu* występuje u człowieka w porównaniu z szympansem?
- Proszę omówić budowę elementu *Alu*.
- Jaką funkcję pełni mikrocefalina i w jaki sposób powiązana jest z transpozonami i ich rolą w rozwoju mózgu ludzkiego?



Zagadnienia 4-5

4. Człowiek jako gatunek biologiczny, procesy poznawcze

- Jak definiujemy procesy poznawcze?
- Co oznacza pojęcie kognitywistyka?
- Jakie zmiany człowiek wprowadza w środowisku?
- Jakie nauki zajmują się ewolucją procesów poznawczych?
- Czym różni się psychologia ewolucyjna od biologii kognitywistycznej?
- Jak działa umysł według szkoły „św. Barbary”?
- Jak kształtują się procesy poznawcze według biologii kognitywistycznej?



5. Ewolucja człowieka

- Jakie dane uwzględnia się w odtwarzaniu ewolucji człowieka?
- Na czym polega analiza archaicznego DNA?
- Kiedy grupa Hominidae oddzieliła się od pozostałych małp?
- Proszę podać daty rozdzielenia poszczególnych linii rozwojowych prowadzących do człowieka.
- Jakie grupy ewolucyjne wyróżnia się w linii rozwojowej człowieka? Proszę wymienić gatunki należące do każdej grupy.
- Kiedy pojawił się pierwszy gatunek z rodziny Homo?



Zagadnienia 6-7

6. Ewolucja człowieka, etap 1

- Jaka cecha najwcześniej pojawiła się w linii ewolucyjnej człowieka?
- Proszę scharakteryzować *Sahelanthropus tchadensis*.
- Proszę scharakteryzować *Orrorin tugenensis*.
- Czy pojawienie się dwunożności jest jednoznaczne z regularną dwunożnością? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Kiedy pojawiła się regularna dwunożność?
- Proszę scharakteryzować gatunek, do którego należała Lucy?
- Na jakiej podstawie możemy twierdzić, że *Australopithecus* dał początek linii *Homo*?



7. Ewolucja człowieka, etap 2

- Na czym polegała ewolucja człowieka po uzyskaniu dwunożności?
- Proszę scharakteryzować przedstawicieli grupy *Paranthropus*.
- Dlaczego przedstawiciele *Paranthropus* można określić mianem „masywne australopiteki”?
- Czy *Paranthropus* dał początek linii *Homo*? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Który gatunek jako pierwszy zaczął regularnie wykorzystywać narzędzia?
- Z którym gatunkiem związana jest kultura olduwajska?
- Proszę scharakteryzować *Homo habilis* i *H. rudolfensis*.
- Jaki element mógł przyczynić się do rozwoju mózgu *Homo habilis*?



Zagadnienia 8-9

8. Ewolucja człowieka, etap 3

- Który gatunek był protoplastą myśliwych zbieraczy?
- Który gatunek po raz pierwszy wyemigrował z Afryki?
- Z którym gatunkiem związana jest kultura aszelska i co ona oznacza?
- Proszę scharakteryzować *Homo erectus*?
- Który gatunek/podgatunek po raz pierwszy pojawił się w Europie? Proszę go scharakteryzować.



9. Ewolucja człowieka, etap 4

- Kiedy przodkowie człowieka opanowali tereny o chłodnym klimacie?
- Który gatunek może być prawdopodobnym protoplastą *Homo sapiens*? Proszę go scharakteryzować.
- Czy *H. neandertalensis* jest protoplastą *H. sapiens*? Proszę uzasadnić.
- Proszę scharakteryzować *H. neandertalensis*.
- Co oznacza „*Homo denisova*”? Proszę scharakteryzować ten gatunek.
- Jakie dowody wskazują na związek *H. denisova* z *H. sapiens*?



Zagadnienia 10

1. Ewolucja człowieka, etap 5

- Kiedy i gdzie po raz pierwszy pojawił się *Homo sapiens*?
- Jakie teorie tłumaczą pochodzenie współczesnych populacji *H. sapiens*?
- Jakie dowody przemawiają za pochodzeniem współczesnych populacji *Homo sapiens* w drodze asymilacji?
- Czy populacje *Homo sapiens*, *H. denisova*, *H. neandertalensis* swobodnie się krzyżowały? Proszę uzasadnić odpowiedź.



2. Ewolucja człowieka, etap 6

- Na czym polegała rewolucja neolityczna?
- W jaki sposób rewolucja neolityczna mogła wpłynąć na rozwój odporności na choroby zakaźne?
- Z jakimi procesami/zjawiskami była związana rewolucja neolityczna?



**Centre for Evolution, Genomics
and Biomathematics, e-Gene**



prof.romanzielinski@gmail.com

<https://www.matgen.pl>

**Centre for Evolution, Genomics
and Biomathematics, e-Gene**



polokkornelia@gmail.com

<https://www.matgen.pl>