



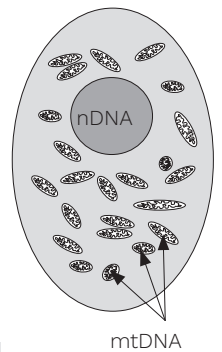
Schimpansen är en art som är nära släkt med oss människor.  
Foto: Kollage av bilder från Pixabay

# Människans närmaste släkt

2022 fick Svante Pääbo Nobelpris för sin forskning om utdöda människoarters arvs massa. Metoderna som utvecklades för att studera gammalt DNA öppnade upp ett nytt vetenskapsfält, paleogenomik.

De första studierna av DNA från utdöda människor gjordes på mitokondrie-DNA (mtDNA). Människans referensgenom\* för mtDNA består av 16 569 bp (baspar), medan kärnans DNA (förkortas nDNA) innehåller ca 6 000 000 000 bp, om man räknar in alla 46 kromosomer som finns i kärnan. Det är lättare att få fram mtDNA än nDNA ur gamla benbitar, eftersom det finns många mitokondrier i celler (men bara en cellkärna, se bild till höger). Så det var så man började forskningen.

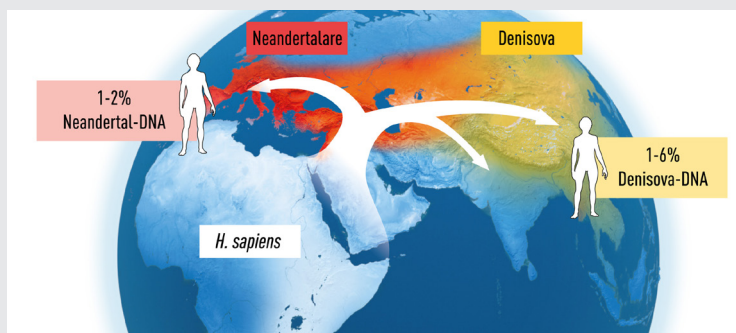
I övningen ska du undersöka vad mtDNA säger om släktskapet mellan nutida människor och utdöda människoarter. Läs först ur pressmeddelandet till Nobelpriset:



Celler kan innehålla många mitokondrier.

## Från pressmeddelandet till Nobelpriset

”Pääbos upptäckter har gett oss en ny förståelse för vår evolutionära historia. Vid tiden för *Homo sapiens* migration ut ur Afrika levde åtminstone två nu utdöda homininer i Eurasien. Neandertalare levde huvudsakligen i västra Eurasien, medan denisova levde i de östra delarna av kontinenten. Under expansionen utanför Afrika korsades *Homo sapiens* med neandertalare och under vandringen vidare österut, även med denisova.”



© The Nobel Committee for Physiology or Medicine. Ill. Mattias Karién

Pääbos upptäckter har lärt oss hur världen var befolkad vid den tidpunkt då grupper av *Homo sapiens* lämnade Afrika och spred sig över världen. Neandertalare levde i väster och denisova i öster på den Eurasiatiska kontinenten. När *Homo sapiens* spred sig över kontinenten skedde möten som än idag kan spåras i vårt DNA.

\* Ett **referensgenom** tas oftast fram utifrån flera olika individer. Det ger ett ”medelvärde” för vilken DNA-sekvens som är vanligast för en art.

## Syfte och övergripande uppgift

Du kommer att öva problemlösning med genetiska data. Du får tillgång till fyra sekvenser av mtDNA. Genom att använda ett bioinformatiskt verktyg, *Multiple sequence alignment*, ska du ta reda på vilken av de fyra mtDNA-sekvenserna som hör till vilken av dessa arter:

- Schimpans (*Pan troglodytes*)
- Neandertalare (*Homo sapiens neanderthalensis*) \*
- Nutida människor (referensgenomet för *Homo sapiens* mtDNA)
- Denisovamänniska (*Homo sapiens ssp. Denisova*) \*

\* Utdöda människoarter som uppkallats efter platserna där man gjorde tidiga fynd av fossil: I *Neanderdalen* i Tyskland gjordes fynd redan på 1800-talet. I *Denisova*-grottan i Sibirien har man bland annat hittat ett fingerben från en ung kvinna.

## Lite kort om bioinformatik och upplägg för övningen

Bioinformatik handlar om att med stöd av datorprogram samla, sortera och analysera biologiska data, som exempelvis DNA-sekvenser. I övningen används ett verktyg som kallas *Multiple Sequence Alignment* via programmet ClustalW som finns tillgängligt online. Instruktioner för hur man gör finns på nästa sida.

Programmet jämför alla sekvenser man matar in parvis och gör en matchning eller inpassning (*alignment*) mellan alla sekvenser. Om två sekvenser liknar varandra mycket får det ett högt så kallat *Score*-värde. På nästa sida visas exempel på hur ett resultat kan se ut, och vad man kan läsa ut av det.

Efter alignment kan man ta fram ett släkträd. I ClustalW görs det på ett enkelt sätt direkt utifrån de parvisa matchningarna och deras *Score*-värden. Det finns andra, bättre sätt att bygga släkträd, men vi nöjer oss med detta enkla sätt i den här övningen.

Uppgiften är att klura ut vilken art som passar in på de olika grenarna i släkträdet. Följ övningens deluppgifter och ta hjälp av ledtrådar vid behov (se sista sidan).

## Uppgift 1

Följ metoden som visas på nästa sida för *Multiple Sequence Alignment* i programmet ClustalW. Använd informationen i resultatfönstret och svara på frågorna:

- För nutida människor finns ett så kallat referensgenom för mtDNA som har en bestämd längd. Vilken sekvens tillhör mest troligt en nutida människa?
- Vilken sekvens är mest lik nutida människan i det resultat du fått fram?
- Vilken sekvens borde tillhöra schimpansen? Motivera hur du tänker!

# Multiple Sequence Alignment

## Metod

1. Hämta DNA-sekvenser i filen *4\_mtDNAsekvenser*.
2. Markera allt (se tips på kortkommandon till höger).
3. Öppna webbsidan ClustalW:  
<https://www.genome.jp/tools-bin/clustalw>
4. På raden "Enter your sequences..." markera "DNA".
5. Klistra in kopierade sekvenser i den vita rutan.
6. Klicka på *Execute Multiple Alignment*. Vänta.
7. Resultatet är en lång textside.

### Kortkommandon

För PC/Windows, tryck CTRL + bokstav.  
För Mac/macOS, tryck CMD + bokstav.

- CTRL/CMD + A = Markera allt
- CTRL/CMD + C = Kopiera
- CTRL/CMD + X = Klipp Ut
- CTRL/CMD + V = Klistra In
- CTRL/CMD + F = Sök

General Setting Parameters:  
Output Format: CLUSTAL  
Pairwise Alignment:  FAST/APPROXIMATE  SLOW/ACCURATE  
Enter your sequences (with labels) below (copy & paste):  PROTEIN  DNA  
Support Formats: FASTA (Pearson), NBRF/PIR, EMBL/Swiss Prot, GDE, CLUSTAL, and GCG/MSF  
TCCGGCCATAAACAACCTTGGGGTAGCTAAAGTGAAGTATCCGACATCTGGTCTAC  
TTCAAGGGCCCA  
TAAGGCTAAATAGCCACACAGTTCCTCCCTAAATAGACATCACGATG  
Or give the file name containing your query  
[Välj fil] Ingen fil vald  
Execute Multiple Alignment [Reset]

Exemplet nedanför hjälper dig att lösa uppgifterna.

### CLUSTALW Result

[clustalw.aln][clustalw.dnd][readme]  
Select tree menu [Exec]

```

CLUSTAL 2.1 Multiple Sequence Alignments
Sequence type explicitly set to DNA
Sequence format is Pearson
Sequence 1: FJ490764.1 416 bp
Sequence 2: KJ157767.1 868 bp
Sequence 3: HM006842.1 1775 bp
Start of Pairwise alignments
Aligning...

Sequences (1:2) Aligned. Score: 67.5481
Sequences (1:3) Aligned. Score: 61.5385
Sequences (2:3) Aligned. Score: 68.6636
Guide tree file created: [clustalw.dnd]

There are 2 groups
Start of Multiple Alignment

Aligning...
Group 1: Sequences: 2      Score:13280
Group 2: Sequences: 3      Score:5840
Alignment Score 8117

CLUSTAL-Alignment file created [clustalw.aln]
                
```

### Exempel på ett resultatfönster

Sekvensernas namn och längd (t ex 416 kvävebaspar), förkortat bp för baspar).

1:2 betyder att sekvens 1 och 2 har jämförts och fått en poäng (**Score**). Ju högre värde desto mer lika varandra är sekvenserna.

Längre ned finns sekvenserna med 60 bokstäver (kvävebaspar) per rad. Sekvenserna är matchade (**alignment**) och ligger under varandra.

```

KJ157767.1    TAAGAGGAAAAATCCGTTGACTTTAAAAATCGTGAGGGTTCAAGTCCCTCTATCCCCAAAA
HM006842.1    TAAAAGGAAAAATCCGTCGACTTTAAAAATCGTGAGGGTTCAAGTCCCTCTATCCCCAAAA
FJ490764.1    -----GGTTCAAGTCCCTCTATCCCCAAAA
                *****

KJ157767.1    AGCCCATTTGACTCCTTAACATACTATTATCTTATCTTTTTTTCGTTAGTAGTTC
HM006842.1    AGACTATTTAACTCCCAACTATT-----TATCCGACCCCTTCC--TTAGCGGTTT
FJ490764.1    AGCCCATCAACTCCT----TATT-----ATCTTATCCTTTTTTTCGTTAGTAGTTC
                ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** *

KJ157767.1    -AAATTCGTTATCTTTCTTATTACCCTACTCTTTTACAACGGATC-----CTAGAGA
HM006842.1    CAAATTCCTTATCTTTCTATTCACTCTATTCTTTAGAAATGGATTTTTTTCTAAGCG
FJ490764.1    AAAATTCGTTATCTTTCTTATTACCCTACT-----AACGGATC-----CGAGAGC
                ***** ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** * ** *
                
```

Stjärnor (\*) markerar positioner som är lika för alla sekvenser. Ju fler \* i en alignment, desto mer lika varandra är sekvenserna.

## Uppgift 2

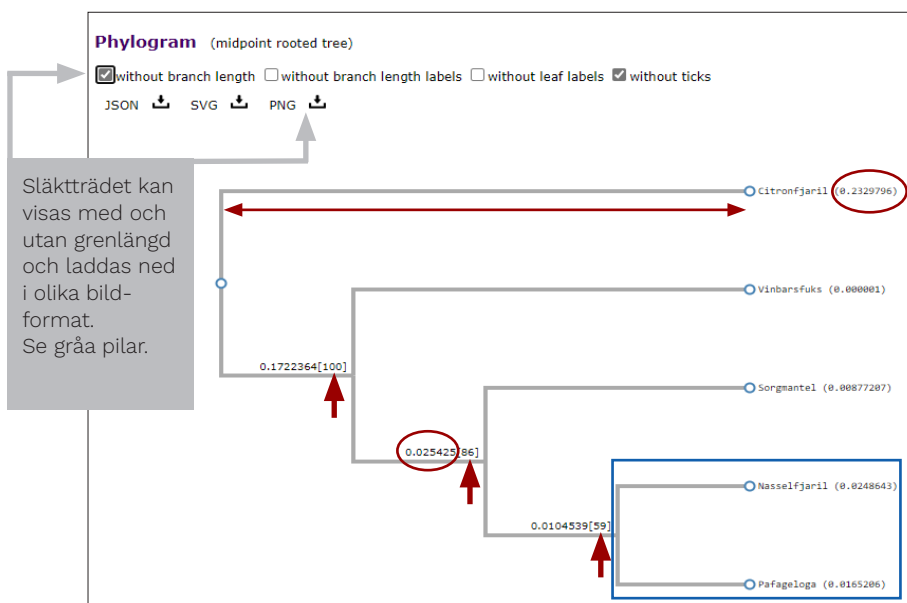
Använd den alignment du gjort för att ta fram ett släkträd. Använd släkträdet för att svara på uppgifterna här nedanför.

### Metod

1. Överst på sidan finns "Select tree menu". klicka på "Exec".
2. En ny flik öppnas i webbläsaren. Vänta.
3. När resultatet är klart kan du scrolla ner för att se släkträdet under rubriken *Phylogram*. Ett exempel på ett släkträd visas här nedanför. Där ges en enkel förklaring till hur trädet ska läsas och också till vad siffrorna betyder.
  - a. Rita en skiss av trädet du får fram i det tomma utrymmet här nedanför. Skriv ut siffrorna 1–4 vid spetsen på grenarna.
  - b. Skriv in nutida människan vid rätt nummer för sekvensen (se uppgift 1 a).
  - c. Skriv in schimpans vid rätt gren i släkträdet (se uppgift 1 c).



### Exempel på släkträd (gjort för fem vanliga vårfjärilar)



Grenlängd (se röda ringar och dubbelpil). Större siffra betyder fler mutationer sedan närmaste förgrening i släkträdet.

Datorprogrammet bygger olika träd från det data vi matat in. Bootstrappvärden inom [ ] vid de röda pilarna talar om i hur många av 100 träd som den grenen finns med. Ett slags "stabilitetsmått" för en viss gren/förgrening. Maxvärdet är [100]. Värdena ska helst vara över 70.

Den blå rutan visar två arter som är närmare släkt med varandra än vad de är med de andra arterna i trädet. De delar en närmaste gemensam förfader som de inte delar med någon annan i släkträdet.

## Uppgift 3

Följande sekvens är känd från ett tidigare fynd av mtDNA hos en neandertalare:

```
CTAGCCCCAAACCCACTCCACCTTACTACCAAACAACCTTAGCCAAA
```

För att avslöja vilken av sekvenserna 1–4 som tillhör neandertalaren **gör så här**:

1. Kopiera sekvensen här ovanför.
2. Gå till resultatfönstret i ClustalW (den första fliken i webbläsaren).
3. Öppna webbläsarens sökfunktion (se tidigare tips på snabbkommandon). Du får upp en sökruta.
4. Klistra in sekvensen i sökrutan (eller skriv in den manuellt).
5. Se efter om sekvensen matchar någon av sekvenserna 1–4. Om du får en matchning visas den med en färgmarkering på webbsidan (i vissa webbläsare syns också i resultatfönstret 1/1 om du får en träff, annars 0/0).
  - a. Vilken sekvens tillhör neandertalaren?
  - b. Skriv in neandertalaren vid rätt gren i släkträdet från förra uppgiften.

## Uppgift 4

Komplettera släkträdet med denisovamänniskan vid rätt gren i släkträdet.

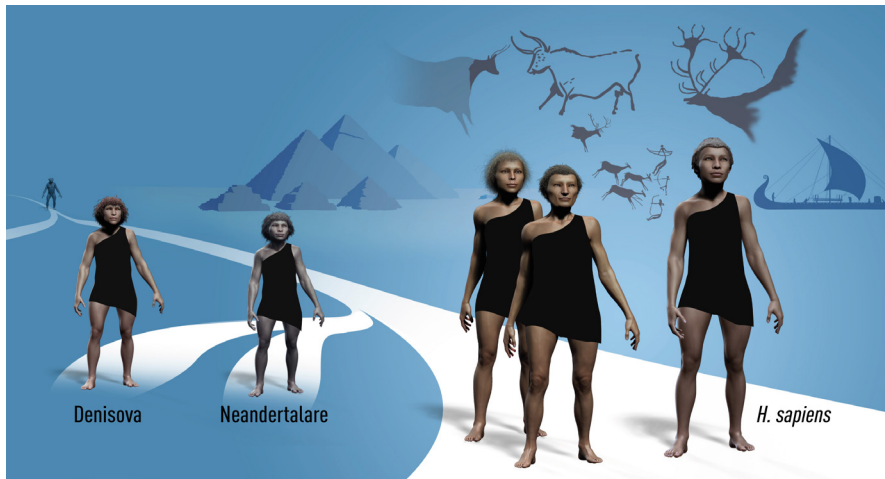
## Uppgift 5

- a. Vilken är den moderna människans närmaste släkting enligt släkträdet?
- b. Ringa in och markera med ett "A" vilken förgrening i trädet som visar att schimpansen och alla människoarter har en gemensam föregångare.
- c. Ringa in och markera med ett "B" den gemensamma föregångaren för alla människoarter som ingår i uppgiften.

## Uppgift 6

Släkträdets som du fått fram bygger på mtDNA på ca 16 500 bp jämfört med kärnans nDNA på ca 2 x 3 000 000 000 bp (vi är diploida och har två kopior av varje kromosom). Mitokondrier följer med ägget, spermier bidrar i regel bara med nDNA. Därför ärvs mtDNA bara via mamman. Svante Pääbo började med att kartlägga mtDNA men fortsatte sedan med nDNA.

I pressmeddelandet för Svante Pääbos Nobelpris avslutade man med en bild där ett släkträd kan anas som vita "vägar" som en del av illustrationen:



Pääbos banbrytande arbete har skapat en grund för att förklara vad som gör oss unikt mänskliga.

- I förra uppgiften markerade du den gemensamma förfadern för människoarterna i uppgiften med ett "B". Markera samma sak med ett "B" i illustrationen här ovanför.
- Hur kan man rita in en "väg" för schimpansen i illustrationen?
- Varför står vår egen art längre fram i bilden än denisova och neandertalare?
- Jämför hur närmaste släktingen till denisovamänniskan visas i illustrationen med hur det ser ut i ditt släkträd. Ge förslag på tänkbara förklaringar till det du ser när du jämför.

# Ledtrådar

## Uppgift 1

- I bakgrundstexten på sida 1 finns fakta om längden på mtDNA för nutida människor (och högst upp på resultatsidan i ClustalW finns information om sekvensernas längder). Den sekvens som stämmer överens motsvarar nutida människa.
- Jämför värden på *score* för parvisa jämförelser där sekvensen för nutida människor ingår (du måste alltså först lösa uppgift 1 a). Högst värde för de två sekvenser som liknar varandra mest.
- Du kan anta att schimpansens sekvens borde ge låga värden på *score* för alla parvisa jämförelser (jämför värden på *score* och se om det finns någon sekvens som ofta ger låga värden).

## Uppgift 2

- Skissen behöver inte vara exakt med alla siffror. Det viktiga är att du får till ett liknande mönster med förgreningar och att du sätter siffrorna på rätt gren.
- Ta hjälp av ditt svar i uppgift 1 a.
- Ta hjälp av ditt svar i uppgift 1 c.

## Uppgift 3

Använd gärna kortkommandon för att kopiera och klistra in (se tips på kortkommandon på sida 3).

När du får en träff så ser du numret på sekvensen längst till vänster på sidan. Det ska vara en träff på sekvens 1, 2, 3, eller 4.

## Uppgift 4

Här räcker uteslutningsmetoden, det borde bara vara en tom gren kvar som motsvarar denisovamänniskan.

## Uppgift 5

Närmaste släktingar hittar man genom att följa en arts gren bakåt i tiden ned mot närmaste förgreningspunkt. Gå dit och följ sedan den andra grenen ut i spetsen och läs av vilken som är den närmaste släktingen.

## Uppgift 6

Läs faktadelen på övre delen av sidan en gång till. Illustrationen från pressmedlandet syftade till att summera den senaste forskningen som Svante Pääbo och kollegor har kommit fram till.