

# האבולוציה של המוח ומערכת העצבים

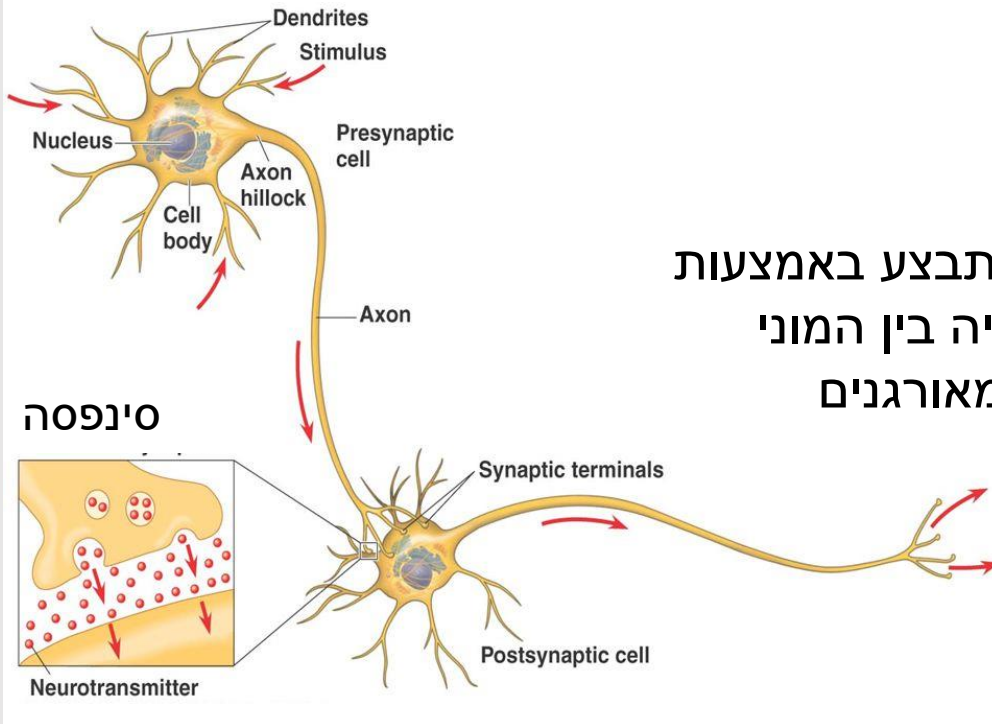
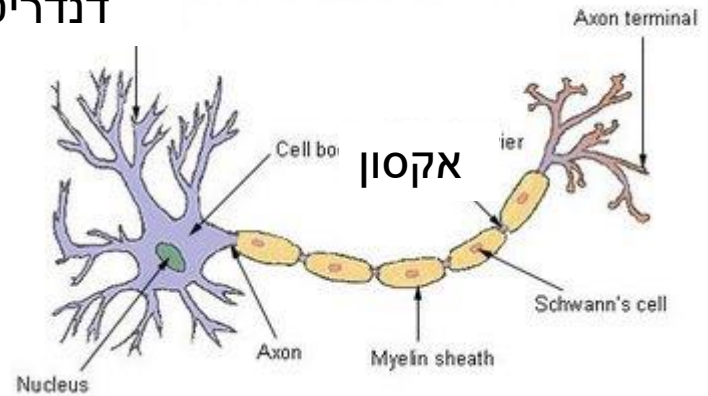
# כמה דברים על מערכת העצבים

# נוירונים – אבני הבניין של מערכת העצבים

- דנדריטים – קולטים מידע
- אקסון – מעביר מידע
- סינפסה – מקום המפגש

דנדריטים

Structure of a Typical Neuron

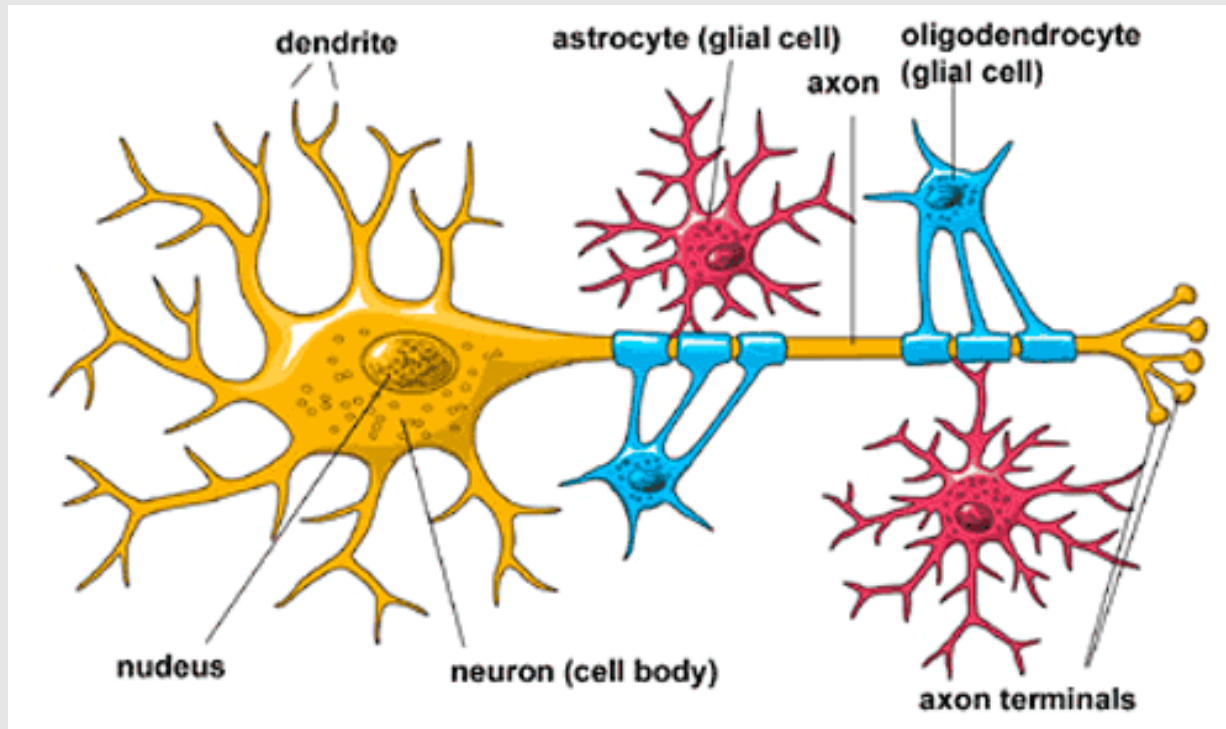


החישוב מתבצע באמצעות אינטראקציה בין המוני נוירונים המאורגנים ברשתות



# לבד מנוירונים יש במערכת העצבים גם תאי גליה

- תפקידיהם לתת תמיכה, לסייע בחילוף חומרים, ולסייע בבניית ציפוי המיילין



# במה האנושי 86 מיליארד נוירונים (ומספר דומה של תאי גליה) והוא מאורגן לאיברים ולתת איברים

## Whole brain

1508.91 ± 299.14 g

170.68 ± 13.86 B cells

86.06 ± 8.12 B neurons  
84.61 ± 9.83 B non-neur  
0.99 non-neur/neurons

## Cerebral cortex (GM+WM)

1232.93 ± 233.68 g

77.18 ± 7.72 B cells

16.34 ± 2.17 B neurons  
60.84 ± 7.02 B non-neur  
3.76 non-neur/neurons

## Rest of brain

117.66 ± 45.42 g

8.42 ± 1.50 B cells

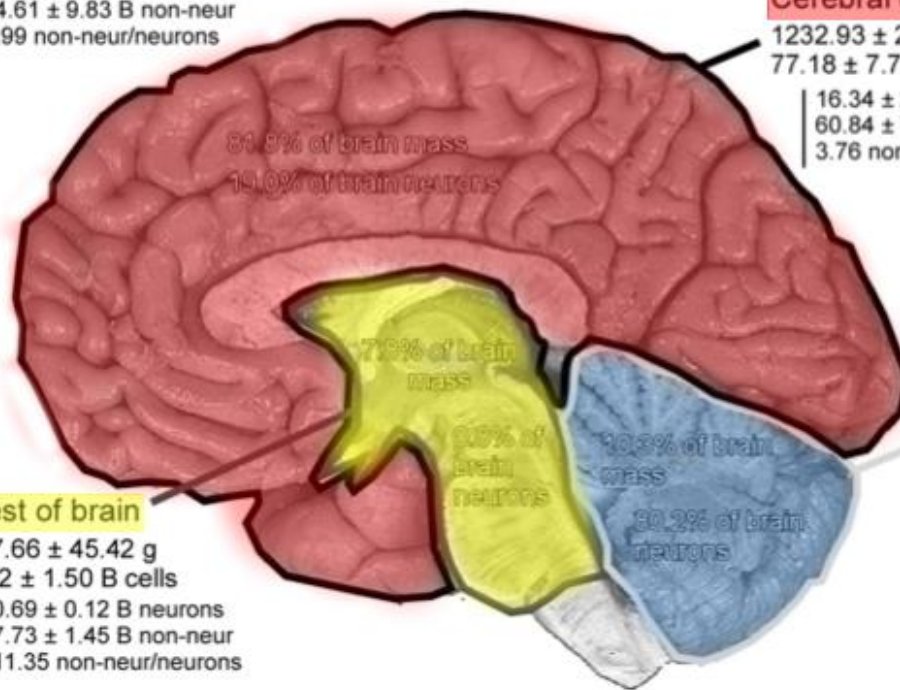
0.69 ± 0.12 B neurons  
7.73 ± 1.45 B non-neur  
11.35 non-neur/neurons

## Cerebellum

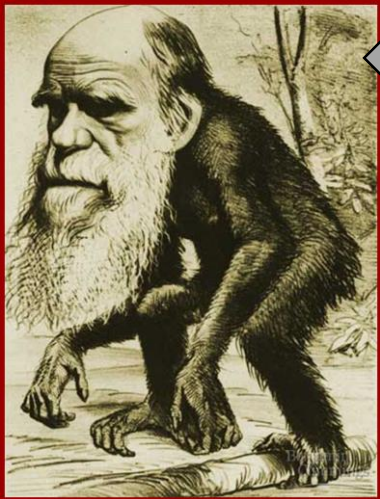
154.02 ± 19.29 g

85.08 ± 6.92 B cells

69.03 ± 6.65 B neurons  
16.04 ± 2.17 B non-neur  
0.23 non-neur/neurons



# כמה דברים על אבולוציה



# קשה להבין את ההתנהגות האנושית ואת תפקוד המוח האנושי מבלי להבין כיצד המוח התפתח במהלך האבולוציה

- אבולוציה היא התהליך של שינוי המאפיינים המועברים בתורשה של אוכלוסיות ביולוגיות לאורך הדורות.

- תהליך זה מסביר את היווצרותו של המגוון העצום של אוכלוסיות ביולוגיות.

- העקרונות המרכזיים של התהליך כוללים:

- זיכרון (DNA)

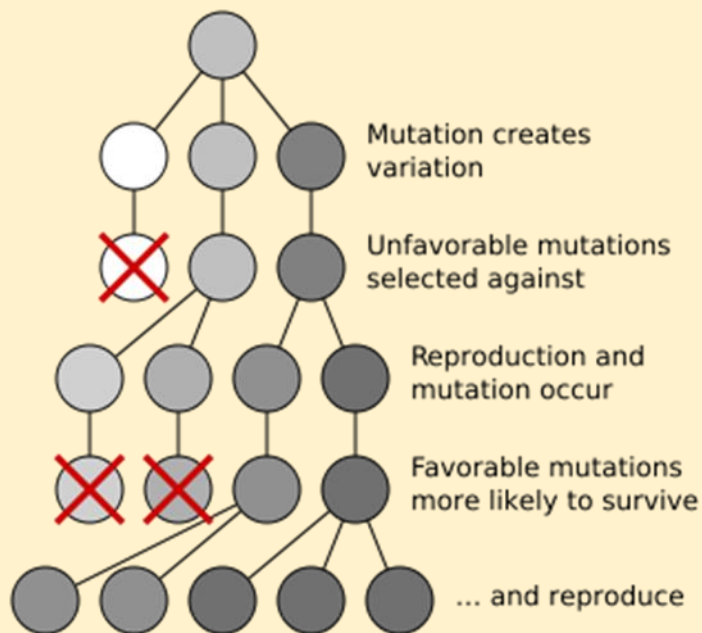
- העברה בין דורית

- מוטציות שגורמות להעברה שאינה מושלמת

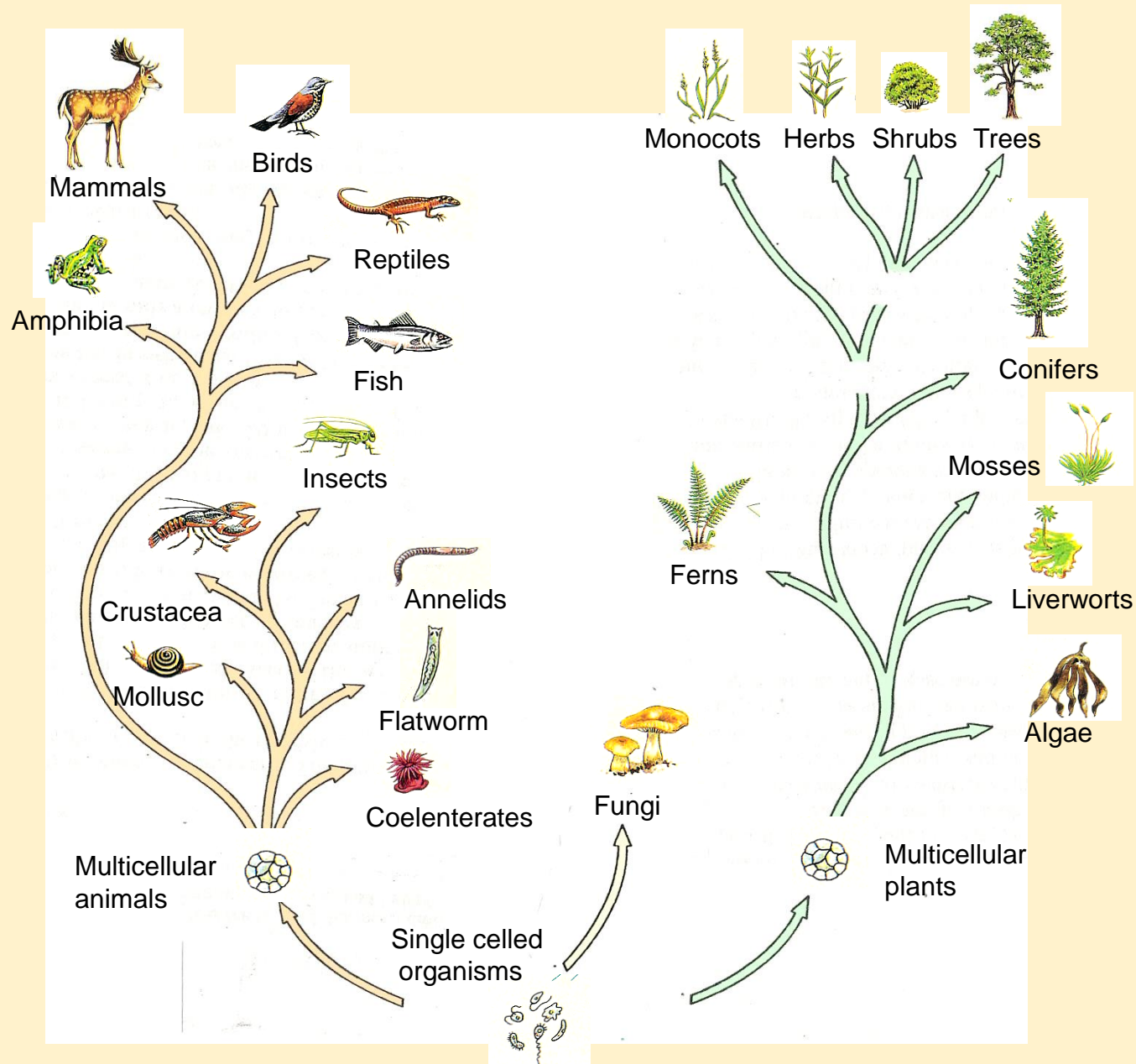
- שונות במאפיינים בתוך האוכלוסייה

- אילוצים סביבתיים וברירה

- התפצלות והתמחות



<https://www.youtube.com/watch?v=M3bROOvWMcM>



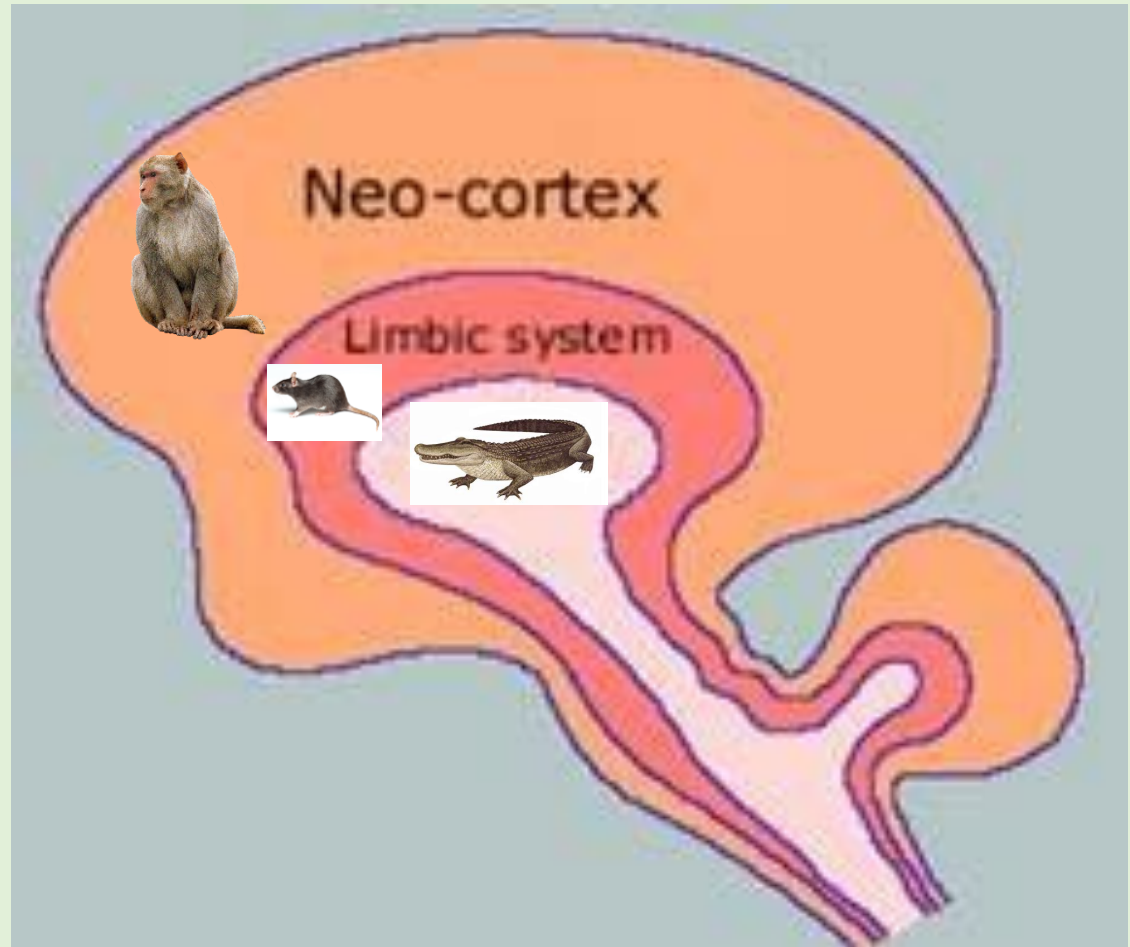


# אבולוציה של מערכת העצבים במינים השונים

# הסיפור הפשוט

# במהלך האבולוציה התווספו (או גדלו, השתכללו) מבנים במח

- **המח הזוחלי** אחראי על תפקודים חיוניים, שליטה מוטורית וסנסורית
- **המח היונקי** אחראי כבר לאמוציות, וזיכרון מורכב
- **המח הפירימאטי** מאפשר תכנון, פתרון בעיות ותקשורת מורכבת



# הסיפור היותר מורכב

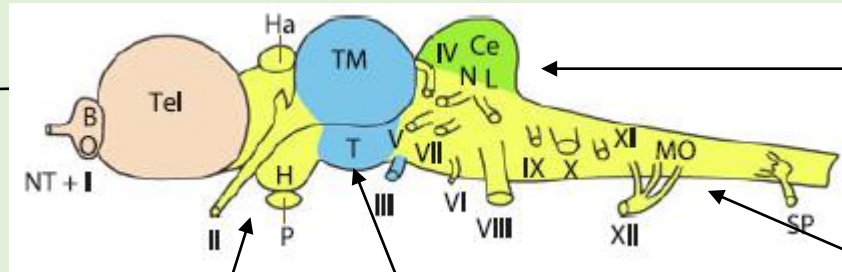
## אבולוציה של מערכת העצבים

- כדור הארץ קיים כ 4.5 מיליארד שנים
- צורות חיים ראשונות מופיעות לפני כ 3.5 מיליארד שנים
- כבר לחיידקים ( 2.7-2.9 מיליארד) יש תפקודים סנסוריים, תנועתיים וזיכרון.
- מדוזות וכו' (580MYA) –רשת של כמה אלפי נוירונים
- חיות דו צדדית (550-600MYA) – חוט עצבי עם גנגליונים כשהגדול בחלק הקדמי ("מח"), מכמה מאות עד כמה אלפי נוירונים
- פרוקי רגליים (540MYA) - יש כבר גנגליונים ומח. מערכת עצבים של מאות אלפי נוירונים (מיליון בג'וקים)



# לכל החולייתנים מבנה בסיסי דומה של המוח

טלאנצפלוון  
בבני אדם: קורטקס,  
גרעינים בזליים,  
היפוקמפוס



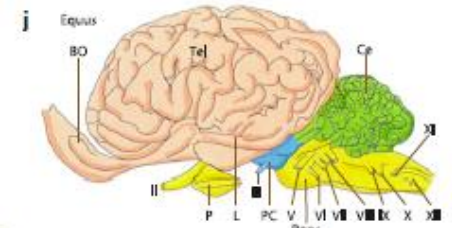
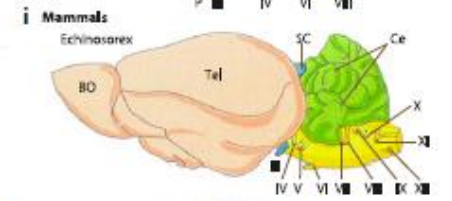
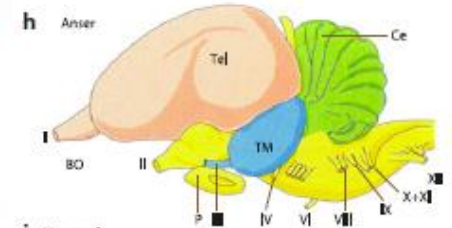
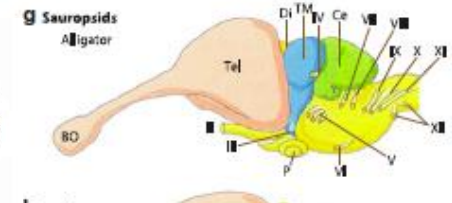
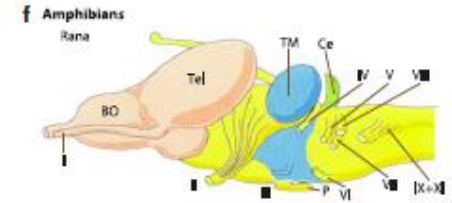
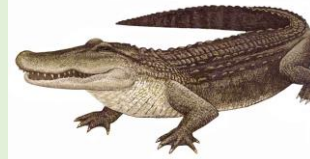
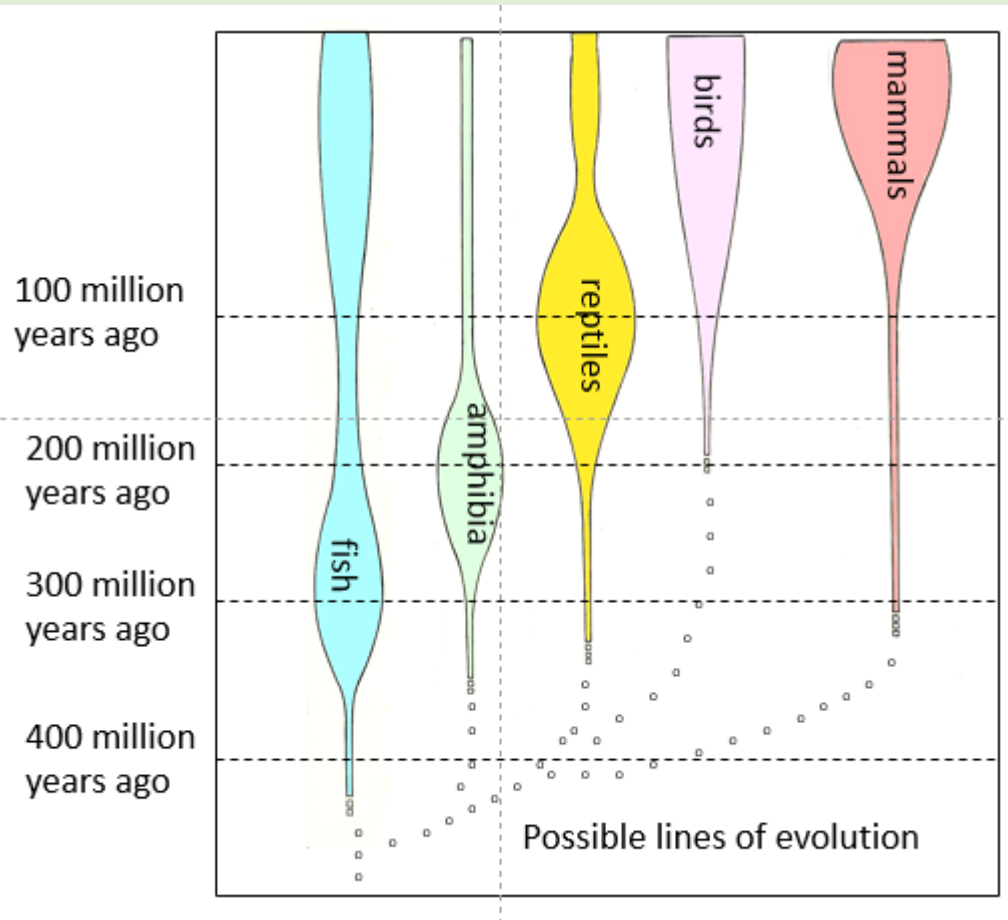
צרבולום

גזע מוח

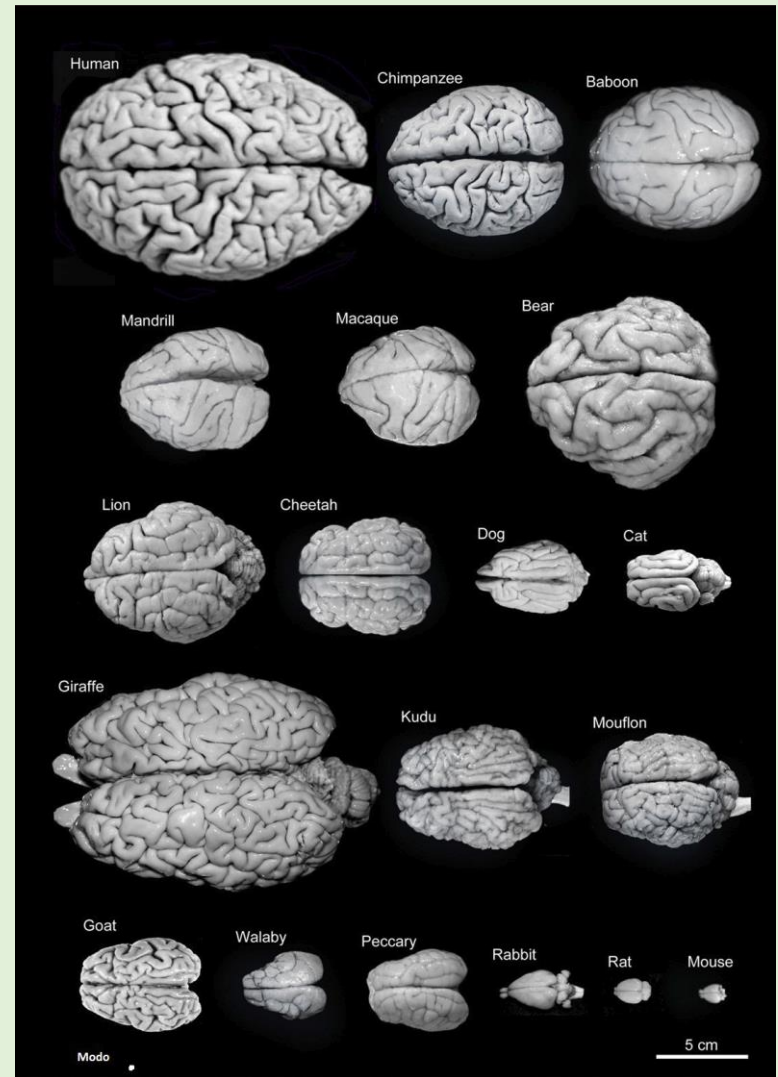
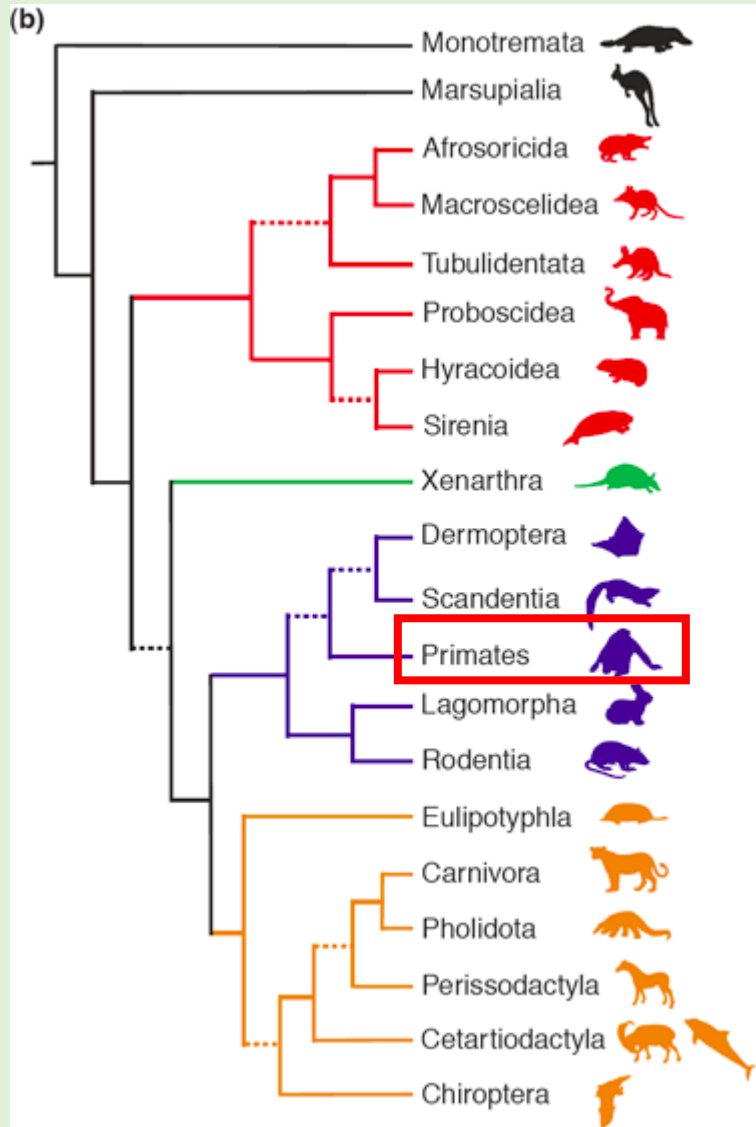
היפותלמוס

מוח תיכון: טגמנטום  
וטגמנטום מזאנצפלי

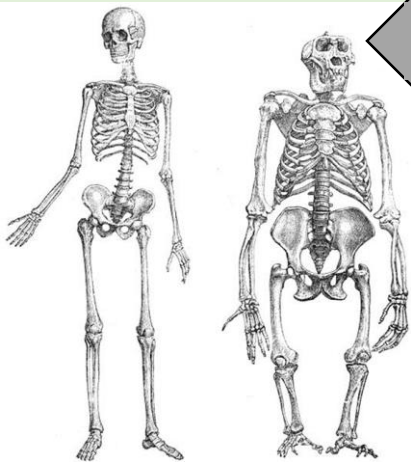
# המהלך האבולוציה של החולייתנים, יש שינויים במבנים אלו, בגודלם ובגודלם היחסי



# שינויים אלו נמשכים גם בקרב היונקים







# בני האדם שייכים לסוג היונקים הנקראים פרימאטים האבולוציה של הפרימאטים מתאפיינת בגידול מהיר בגודל הקורטקס (במיוחד חלקו הקדמי) והצרבלום

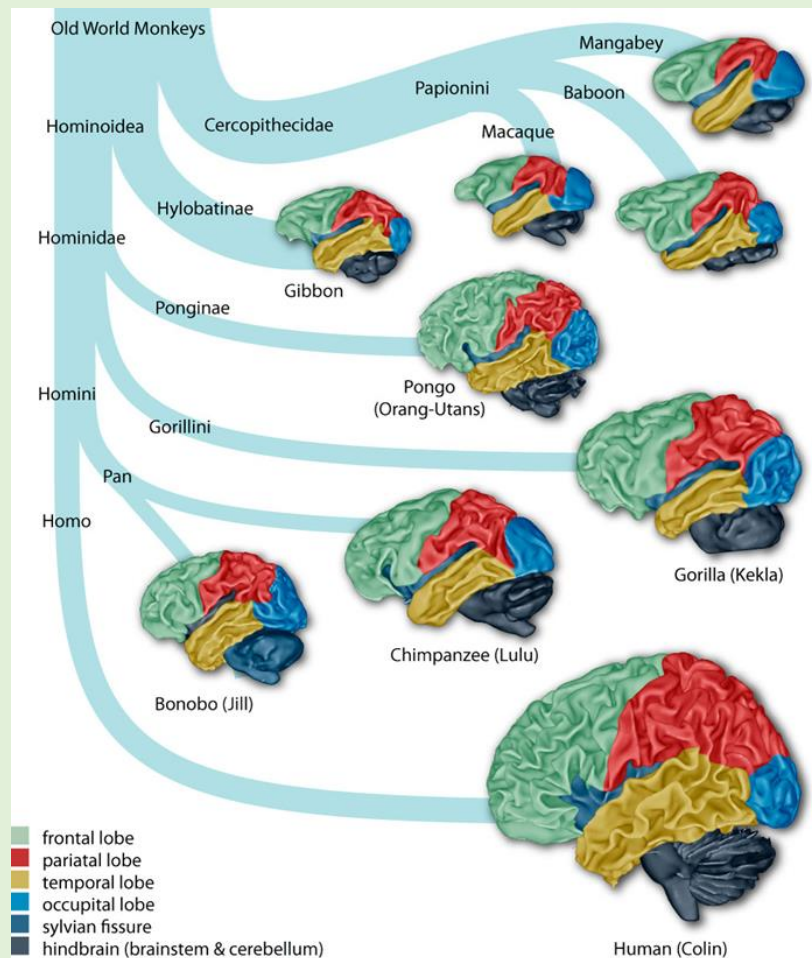
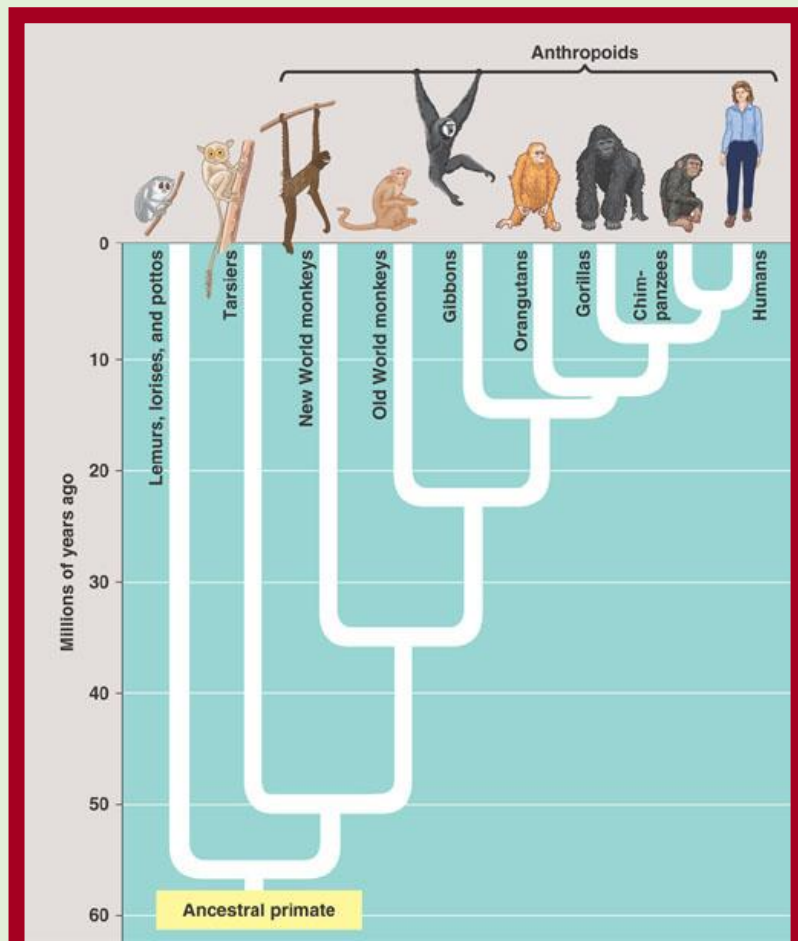
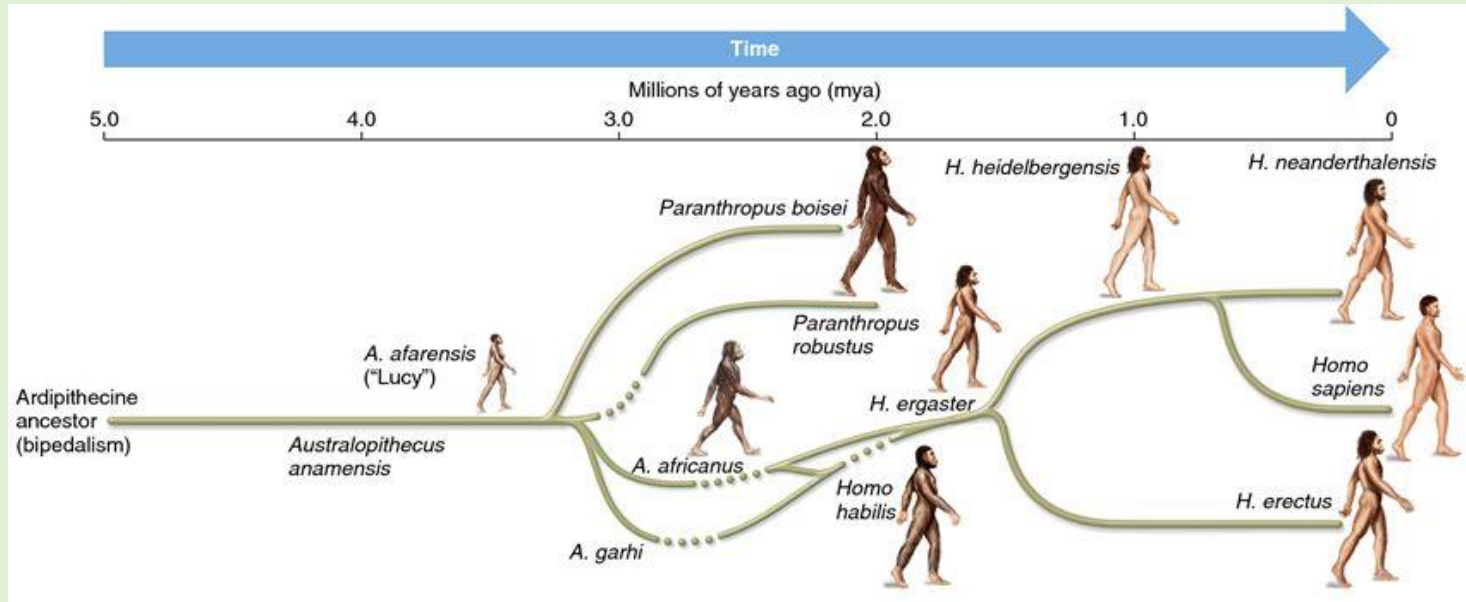


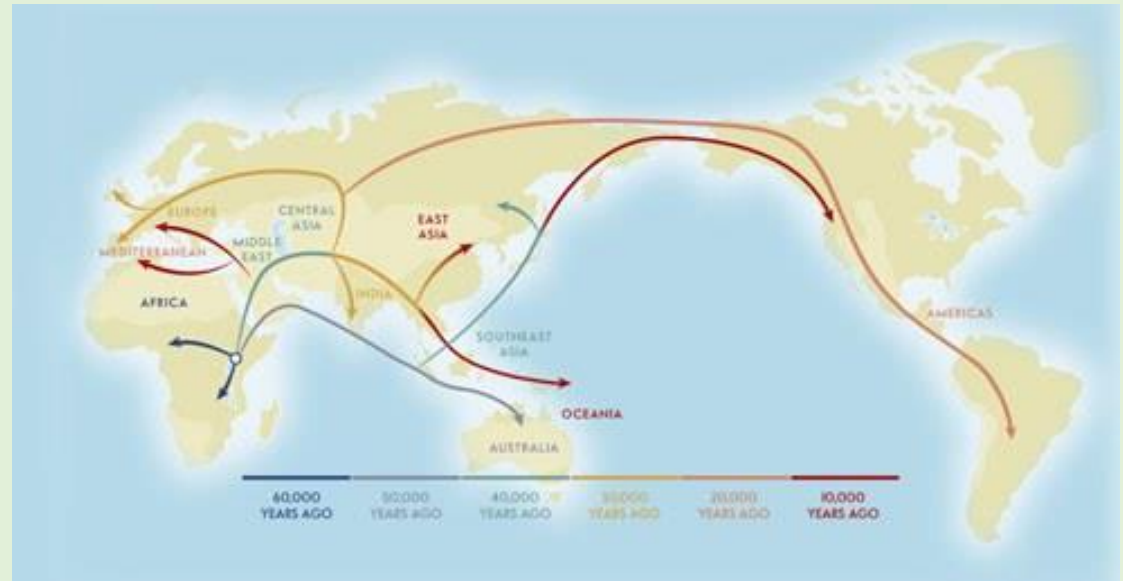
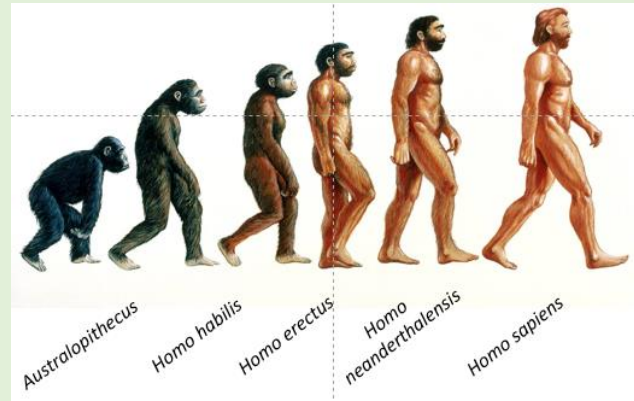
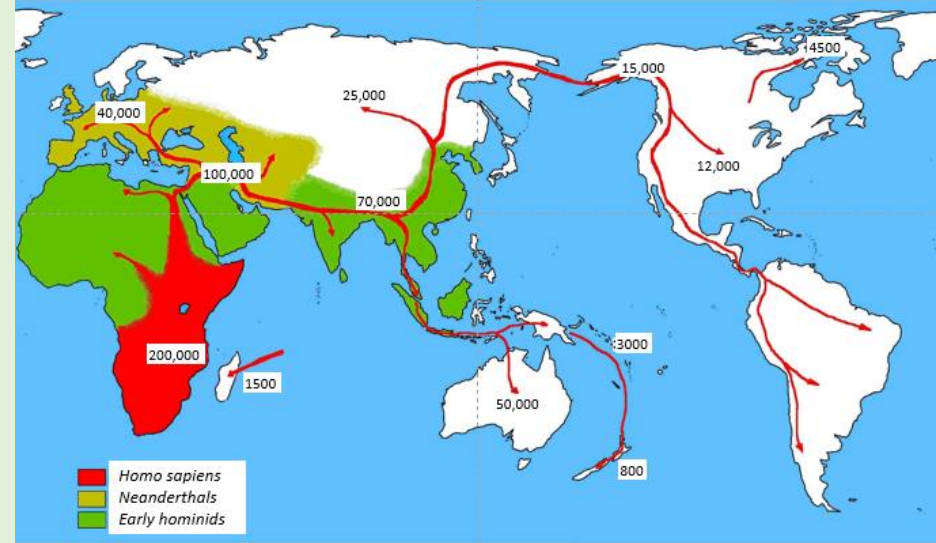
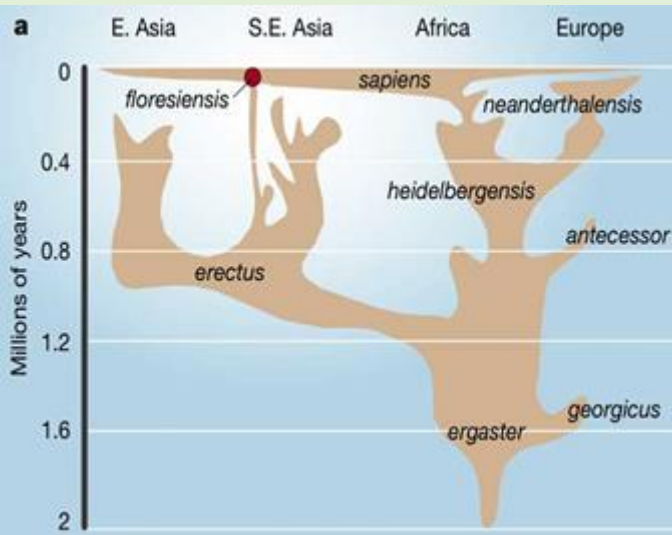
Fig. HE: Visualization of evolution of brains in primates based on the inner surface. The lobes, the sylvian fissure and the hindbrain (brainstem and cerebellum) are colorized for better orientation.

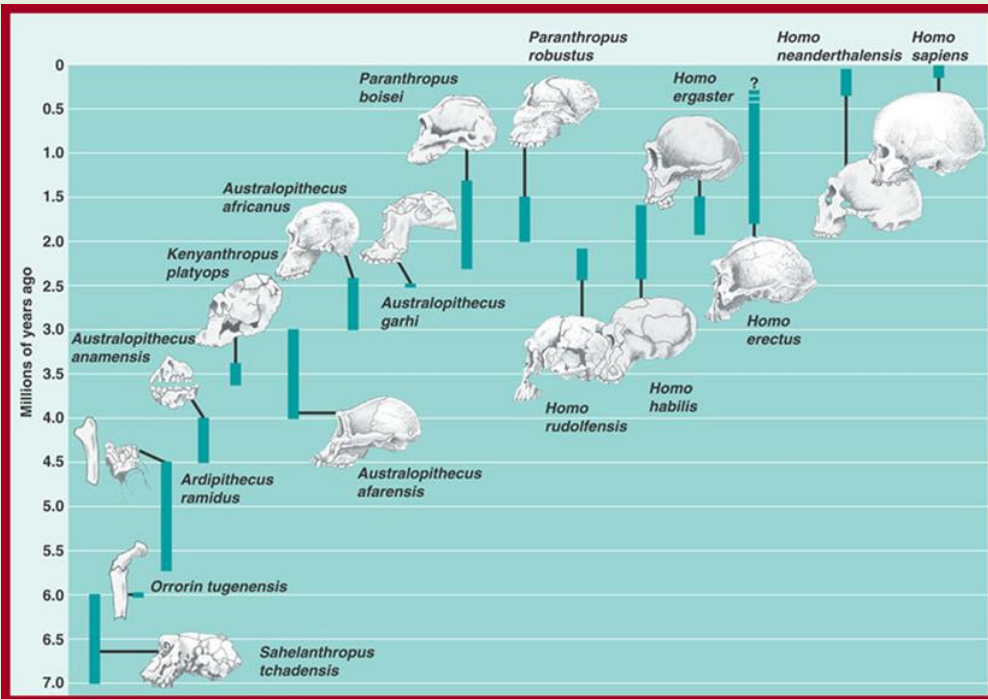
# בני האדם שאנו מכירים היום הם רק מין אחד מקרב קבוצה שלמה של מיני אדם: (הומו)



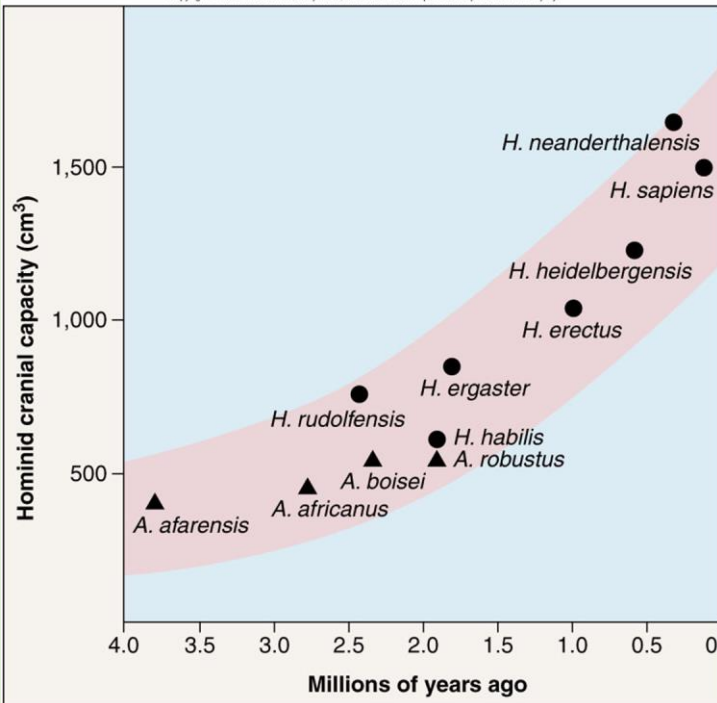
גנים של זני הומו שנכחדו עדיין קיימים בקרב בני האדם:  
כל בני האדם מחוץ לאפריקה נושאים גנים ניאנדרטליים

# כל בני האדם מוצאם באפריקה





Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- המח ממשיך להשתנות במהלך האבולוציה של מיני ההומו.

- שינוי זה מתאפיין בעלייה מואצת בגודל המח (והגוף) במיליון וחצי השנים האחרונות

- גדילה זו מחייבת אספקה קבועה של כמות עצומה של אנרגיה

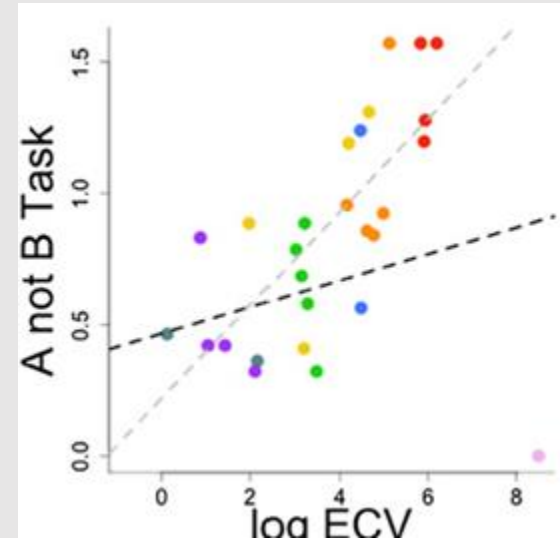
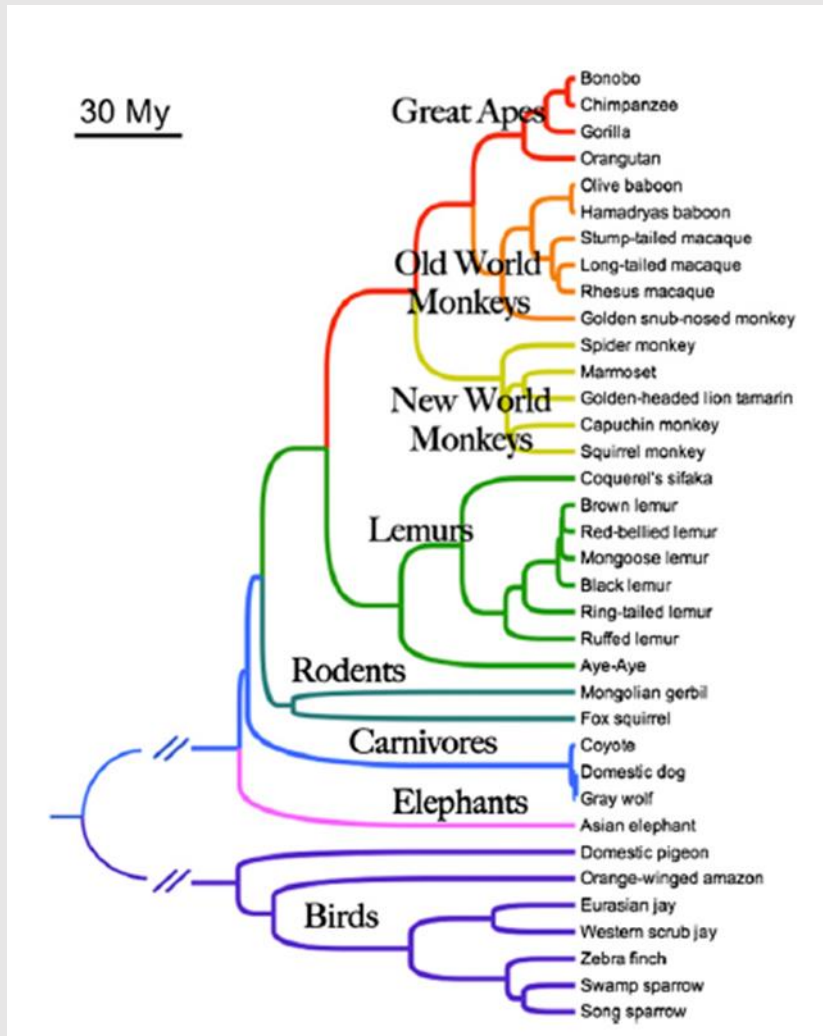
- אחת ההיפוטיזות לשינוי שאיפשר זאת היא השימוש באש והבישול שהגדילו את היעילות האנרגטית של המזון

- להומו ספיינס (אנחנו) אין את המח הכי גדול בקרב מיני ההומו (לניאנדרטלים יש)

# כמה עקרונות כלליים של אבולוציית מערכת העצבים

# עליה במספר הנוירונים במהלך האבולוציה

מספר הנוירונים (שמתואם בדרך כלל עם גודל המח) קובע את היכולת הקוגניטיבית



- מספר מוטציות חשובות התרחשו בדרך:
- ניתוק הקשר בין גודל הנוירונים לגודל הגוף
- בלעדיו המח שלנו היה שוקל 36 ק"ג!
- ניתוק זה קיים אצל העופות: מספר הנוירונים במח של תוכי דומה לזה של שימפנזה
- גידול הגולגולת

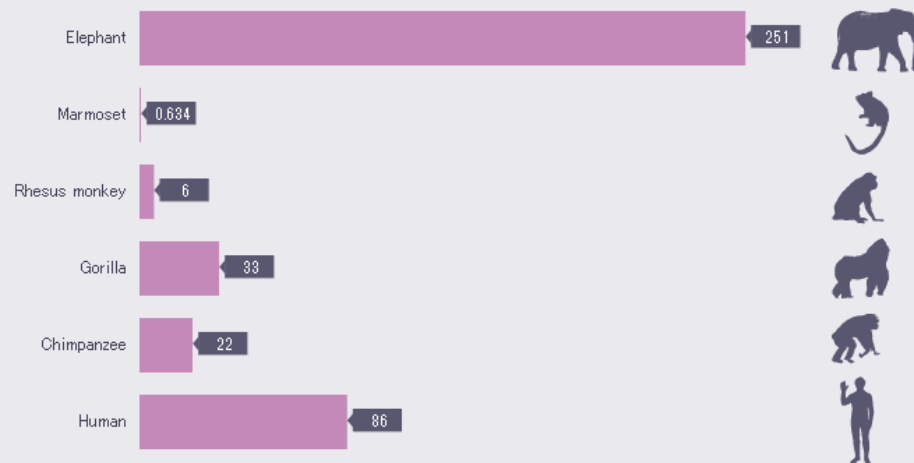
# מספר נוירונים אינו הגורם היחיד הקובע את יעילותו של המח

- המח הגדול ביותר ועם הכי הרבה נוירונים הוא של פילים (4.5 ק"ג) ולוויתנים טורפים (עד 9 ק"ג לעומת 1.4 בבני אדם)
- המח עם הכי הרבה נוירונים בקורטקס, עם הקורטקס הפרה-פרונטלי הכי גדול, ובעל הקורטקס הכי מקומט הוא של הלוויתנים הטורפים.

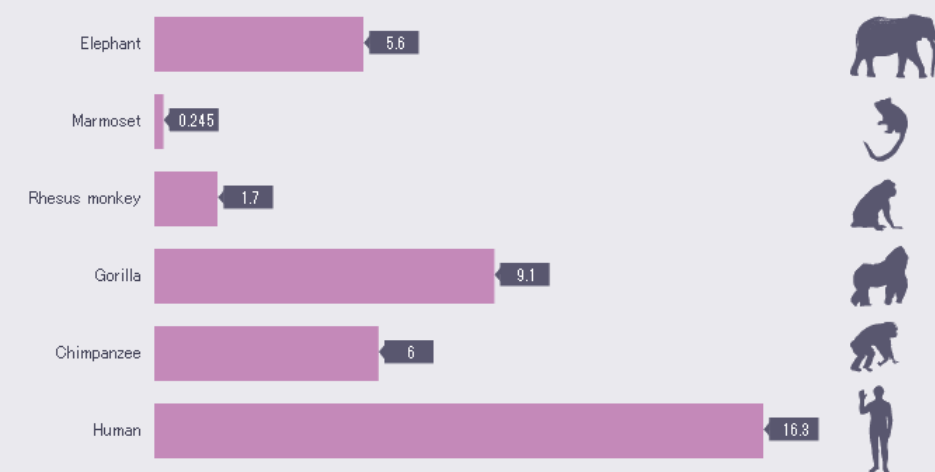
## נוירונים בכלל המח

## נוירונים בקורטקס

Brain neurons (billions)



Cerebral cortex neurons (billions)





# המחיר של גדילת המוח: צורך במבנים חברתיים, טכנולוגיה ותרבות

- כל מיליארד נזירונים דורשים 6 קלוריות ליום.
- המח האנושי צורך כ 500 קלוריות ליום, כרבע מכלל צריכת הקלוריות.
- טכנולוגיות שמייעלות ניצול אנרגיה ממזון: שליטה באש.
- טכנולוגיות שמאפשרות השגת מזון וחדירה לאזורים קשים למחיה לצורך זה: הכנת בגדים וכלי נשק
- טכנולוגיות מחייבות תקשורת כדי להעביר את המיומנות בין דורות ובין חברי הקבוצה – תרבות
- מבנים חברתיים: alloparenting, הסדרי חלוקת משאבים – מבטיחים אספקה סדירה של קלוריות

Suzana Herculano-Houzel, 1972-