



ממה עשויים מוחות שונים?

Kleber Neves^{1*}, Felipe daCunha¹, Suzana Herculano-Houzel²

¹התוכנית לתואר ראשון במדעי המורפולוגיה, המכון למדעי הביורפואה, האוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'נרו, ריו דה ז'נרו, ברזיל

²המחלקה לפסיכולוגיה והמחלקה למדעי הביורפואה, אוניברסיטת ונדרבילט, נאשוויל, טנסי, ארצות הברית

המוח הוא האיבר המורכב ביותר שהתפתח אי פעם. המוח שולט על תפקודים חשובים בגוף כגון לדאוג שהלב ימשיך לפעום ושהנשימה תהיה תקינה. הוא שולט על תנועת העיניים שלכם לאורך העמוד בזמן שאתם קוראים מאמר זה; הוא עוזר בהפיכת סימני הדיו שעל הנייר ליצירת מילים הגיוניות; הוא מְקַשֵּׁר את המילים האלה לרעיונות בזיכרון שלכם ויוצר רעיונות חדשים במהלך הלמידה. המוח הוא גם החלק בגופכם שהחליט לקרוא את המאמר הזה מלכתחילה. המוחות שונים מאוד בבעלי החיים השונים. יש מוחות גדולים וקטנים, חלקים ומקומטים, ומוחות שבהם חלקים מסוימים גדולים יותר מאחרים. כיצד מוחות אלה בנויים? כיצד קרה שהם הפכו להיות שונים כל כך זה מזה, ולמה זה בכלל חשוב?

לבעלי חיים יש היסטוריה אבולוציונית משותפת

לא רק לבני אדם יש מוחות, כמוכן. כמעט לכל בעלי החיים יש מערכת עצבים כלשהי (רק לספוגיים אין). המוחות של בעלי החיים שונים זה מזה מבחינות מסוימות, אבל דומים זה לזה מבחינות רבות אחרות. הדבר נובע מכך שלכל היצורים החיים על פני כדור הארץ יש היסטוריה משותפת: כל בעלי החיים התפתחו מאבות קדמונים משותפים כך שהם ירשו חלק מהמאפיינים שלהם מאותם אבות קדמונים. הדבר דומה לאח ואחות שדומים זה לזה כי יש להם אותם הורים,

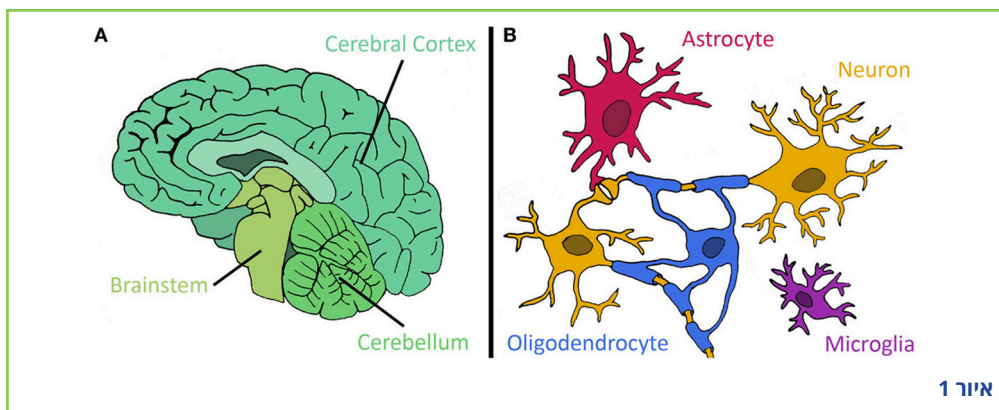
סוקרים צעירים

RIVERSIDE
ELEMENTARY
SCHOOL



גיל: 9-10

איור 1



איור 1

A. לכל המוחות יש שני צדדים שמחברים ביניהם, הנקראים ההמיספירה הימנית והשמאלית. באיור אתם רואים את פנים ההמיספירה הימנית של מוח אנושי. החלקים הצבועים העיקריים הם קליפת המוח, המוח הקטן וגזע המוח. בקליפת המוח, "האזור החושב" של המוח, מתרחשים תהליכים כגון דיבור; תכנון; רגשות ופתרון בעיות. קליפת המוח יכולה להיות חלקה או מלאה בקפלים (כמו שלנו, בתמונה), כתלות במין בעל החיים. המוח הקטן כשמו כן הוא - הוא נראה כמו מוח קטן, וגם בו יש קפלים. משימות המעבדות את המוח הקטן הן יציבה; שיווי משקל וביצוע תנועות זהירות ועדינות, כמו גם חשיבה והתמודדות עם רגשות. גזע המוח הוא האזור המחבר את המוח כולו לגוף, באמצעות עצבים אחדים וחוט השדרה, והוא זה שאחראי לתנועות אוטומטיות חשובות כגון נשימה; עיכול; קצב הלב ולחץ הדם. **B.** תאי עצב (צהוב) - מקבלים מידע, מעבדים אותו ושולחים אותו לתאי עצב אחרים. אקסונים ("הכבלים" בין תא עצב אחד לאחר) עוטפים בתאי אוליגודנדרוציטים (כחול) היוצרים מעטפת, בדומה לפלסטיק העוטף חוטי חשמל, אשר מבדדת אקסונים ומסייעת לאותות להיות מועברים מהר יותר מתא עצב אחד לתא העצב הבא. לאסטרוציטים (אדום) תפקידים רבים. תחילה חשבו מדענים שכל מה שהאסטרוציטים עושים הוא למלא את החלל שבין תאי העצב; לשמור שיהיו נפרדים ולהעניק להם מעין "שלד" חיצוני. אבל, כיום אנו יודעים שהאסטרוציטים עושים הרבה יותר: הם מזינים את תאי העצב; שולטים על יצירת הקשרים בין תאי העצב (הסינפסות) ועל תפקודם; שולטים על הריכוז של חומרים רבים בחלל שבין התאים ומתקנים נזקים. לבסוף, מיקרוגלייה (סגול) מזהים תאים וחלקיקים זרים שאינם שייכים למוח, ומשמידים אותם. בכך הם מגנים על המוח, בדומה למערכת החיסון שמגינה על שאר הגוף.

לבני דודים ראשונים שדומים זה לזה כי יש להם אותם סבא וסבתא וכדומה. לכל היצורים החיים יש סבא של סבא של סבא משותפים מהעבר הרחוק.

אנו יכולים להשתמש בנקודות הדמיון והשוני האלה בין בעלי חיים כדי לחלק את בעלי החיים לקבוצות. בין שתי ציפורים - למשל עיט ותופי - יש יותר משותף מאשר בין עיט לקוף. הם קרובי משפחה קרובים יותר. במשפחה, זה כמו לומר כי אח דומה יותר לאחותו מאשר לבני הדודים שלו. לאח ולאחות יש את אותם הורים, אבל ביניהם ובין בני הדודים שלהם יש רק את אותם סבא וסבתא - מהעבר הרחוק יותר. למרות זאת לכל היונקים יש פרווה והם מייצרים חלב כדי להאכיל את צאצאיהם. לכל הציפורים יש נוצות והן מטילות ביצים. נקודות הדמיון האלה בין קרובי משפחה קרובים מופיעות גם במוחות שלהם.

לכל מין יש הרגלים שונים: קוף קופץ מעץ לעץ עד שהוא מוצא פירות למאכל; עטלף עף סביב העצים באפלת הלילה, ולווייתן שוחה במרחבי האוקיינוס הפתוח. היות שהמוחות של בעלי החיים האלה עוזרים להם לבצע את המשימות האלה, הניחוש שלנו הוא שהמוחות שלהם שונים לגמרי. אבל, התברר כי כל החלקים העיקריים של המוח וכל הקישורים בתוך המוח די דומים בכל היונקים. דמיון זה במבנה המוח קיים בגלל ההיסטוריה האבולוציונית המשותפת לכל המוחות האלה.

אם נניח מוחות של יונקים שונים זה ליד זה, קל מאוד לראות את נקודות הדמיון. אף שהמוחות שונים (מאוד) בגודלם ובקיפולים שלהם, לכולם יש את אותם חלקים. לכל המוחות האלה יש את קליפת המוח, את המוח הקטן ואת גזע המוח (ראו איור 1B). נוסף על כך כל המוחות בנויים מאותו סוג של תאים: הם עשויים מתאי עצב, מתאי גלייה ומתאים שבונים את הנימים (כלי דם קטנים) המובילים דם אל המוח (איור 1A). תאי עצב מעבירים מידע לתאי עצב אחרים באמצעות ההסתעפויות שלהם, לאורך חיבורים הנקראים סינפסות. יש שלושה סוגים של תאי גלייה: מיקרוגלייה הם מערכת החיסון של המוח; אוליגודנדרוציטים עוטפים את ההסתעפויות של תאי העצב ומאפשרים למידע לנוע מהר יותר מתא עצב אחד לתא העצב הבא. אסטרוציטים עושים דברים רבים, ודואגים שהסדר יישמר - מעזרה לתאי העצב לייצר סינפסות ועד סיפוק חומרי הזנה עבורם.

האם יש רק כלל אחד לבניית מוחות?

אף שחלקי המוח זהים, אין זה אומר שמוחות שגודלם זהה בנויים מאותן כמויות של תאים מכל סוג. לא נכון גם לומר כי מוח גדול יותר עשוי תמיד מתאים רבים יותר לעומת מוח קטן יותר. אפשר להבין זאת בעזרת דוגמה. תארו לעצמכם שאתם מקבלים שני מוחות שמשקלם זהה, אבל הם שייכים למינים שונים. זה מה שאנו רואים באיור 2: מוח של קוף רזוס ומוח של קפיברה (קפיברה היא המכרסם הגדול ביותר הקיים, היא נראית כמו חזיר ים ענקי). משקלם של שני המוחות הוא כ־80 גרם. ייתכן שתאמרו שלשני המוחות יש את אותו מספר תאי עצב, וכך גם יאמרו מדענים רבים. עד לפני כ־10 שנים, רוב החוקרים ציפו שמוחות בגודל זהה יכילו את אותו מספר של תאי עצב. הם חשבו שיש בטבע רק "מתכון" אחד לבניית מוחות, ושכל המוחות נוצרים באותו אופן. משמעות הדבר היא שככל שהמוחות גדולים יותר, הם יכילו יותר תאי עצב.

כיום אנו יודעים ששום דבר מזה אינו נכון. בשנת 2005, אחת מאתנו (סוזנה) פיתחה שיטה חדשה המאפשרת לנו לספור כמה תאי עצב בונים מוח [1]. בשיטה זו ממיסים את המוח והופכים אותו ל"מרק" (תיבה 1), אחרי שלוקחים מוח נשמת לאחרונה ומטפלים בו בחומר כימי הנקרא פֶּרָה-פורמאלדהיד (PFA) כדי להפוך את התאים לעמידים יותר (אם לא יטפלו במוח ב-PFA הוא עלול להינזק רק ממגע בו). אם לא תשתמשו בשיטת ה"מרק", ובמקום זאת רק תיקחו חתיכת מוח וְתִסְפְּרוּ כמה תאים היא מכילה, אתם עלולים לספור תאים ממקום במוח שעשיר בתאי עצב, ואז תחשבו שכל המוח מכיל המון תאי עצב. אבל, מספר התאים אינו אחיד בכל חלקי המוח – חלקי מוח מסוימים מכילים יותר תאי עצב, ואחרים מכילים פחות. לכן אנו מכינים "מרק מוח" – כי אז, כל טיפת "מרק" מכילה פחות או יותר את אותו מספר תאים, ובתנאי שמערבבים את ה"מרק" היטב. מלבד זאת, היות שה"מרק" מכיל את כל התאים שמהם עשוי החלק המקורי של המוח, או אולי הוא מכיל את המוח כולו (אם לא הפרדתם קודם את החלקים שבו), הסתכלות מבעד למיקרוסקופ וספירת התאים בטיפה אחת קטנה של "מרק" נותנת מושג טוב מאוד על מספר התאים שהיו במוח כולו.

בואו ניקח שוב לידינו מוחות דמיוניים, הפעם שני מוחות של פְּרִימָטִים, האחד גודלו פי שניים מגודל האחר. כמה תאי עצב יהיו במוח הגדול יותר? ובכן, במקרה זה, בערך פי שניים ממספר תאי העצב שבמוח הקטן יותר. לוי כל המוחות היו בנויים באותו אופן, באותו מתכון אחיד, היינו רואים את אותה תופעה במכרסמים. כלומר, אם ניקח שני מוחות של מכרסמים, האחד גדול כמעט פי שניים מהאחר, נִצְפֶּה שבגודל יותר יהיו פי שניים תאי עצב מאשר בקטן יותר. אבל, אם תעשו זאת עם מוחות אמיתיים, תראו שמוח המכרסם הגדול יותר מכיל פחות תאי עצב מהמצופה – פחות מפי שניים תאי עצב במוח שגדול פי שניים. מכאן שהחוקים ליצירת מוחות במכרסמים ובפרימטים הם שונים. חשוב מכך, אם תשוו מוח די גדול של פרימט (כגון מוח של קוף) למוח של מכרסם שגודלו די דומה (כגון מוח של קפיברה), תגלו שבמוח של הקוף יש הרבה יותר תאי עצב מאשר במוח של המכרסם.

מכרסם (Rodent)

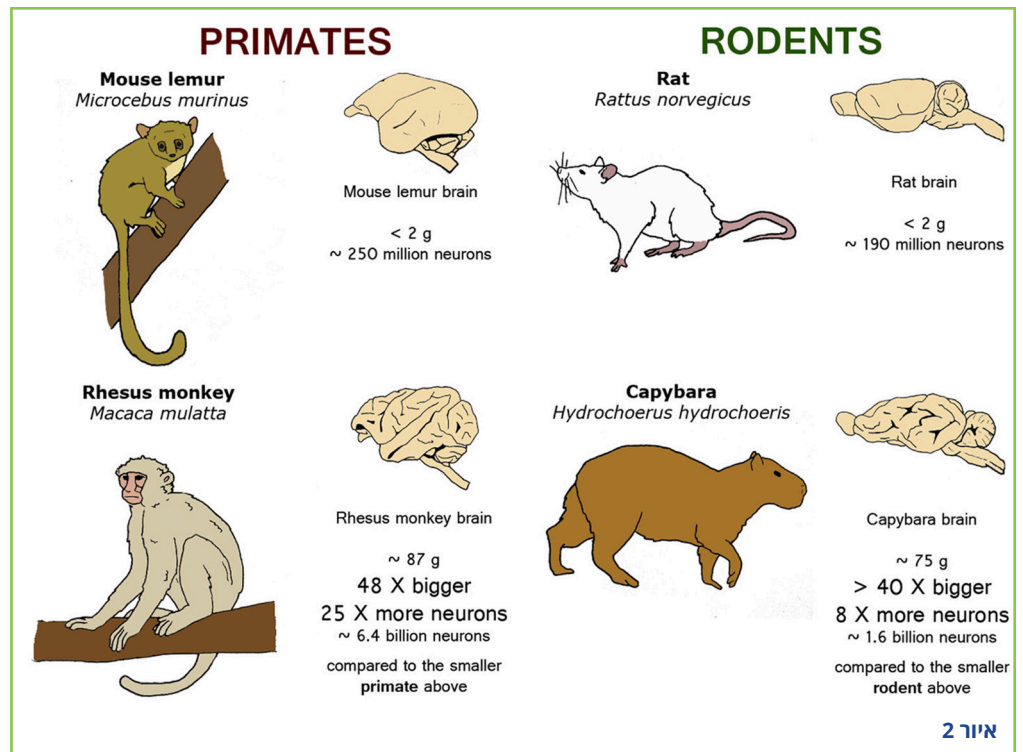
קבוצת יונקים קטנים, המכונים בשל השיניים הקדמיות הגדולות שלהם. עכברים וחולדות הם מכרסמים.

פרימטים (Primate)

קבוצת יונקים הכוללת את בני האדם, את כל קופי האדם ואת הקופים, החל מהלמורים הקטנים ועד לגורילות הגדולות ביותר.

איור 2

בטבע יש דרכים השונות ממין אחד לאחר להספיק תאי עצב למוחות של פרימט ושל מכרסם, ככל שהם משנים את גודלם. משמעות הדבר היא שכאשר מוח של מכרסם גדל, הוא אינו מוסיף תאי עצב רבים. לעומת זאת כאשר מוח של פרימט גדל, מספר תאי העצב שבו גדל פחות או יותר ביחס ישר למידת הגדילה של המוח. מוח של חולדה (מימין למעלה) שוקל פחות מ-2 גרם ויש בו כ-190 מיליון תאי עצב ואילו המוח של למור עכברי (משמאל למעלה) קטן מ-2 גרם ויש בו כ-250 מיליון תאי עצב; מוח של קפיברה (מימין למטה) שוקל כ-75 גרם ומכיל כ-1.6 מיליארד תאי עצב ואילו במוח של קוף רזוס (משמאל למטה) שוקל כ-87 גרם ומכיל כ-6.4 מיליארד תאי עצב.



איור 2

תיבה 1 כיצד להכין "מרק" מוח

הנה הרעיון: אנו רוצים לקחת מוח ולהרוס בו הכול, מלבד את גרעין התאים הבונים את המוח, כדי להכין מרק. היות שכל תא מוח מכיל רק גרעין אחד, אם נגלה את מספר הגרעינים נדע את מספר התאים שבונים את המוח.

שלב 1: הכניסו את המוח לפרה-פורמאלדהיד (PFA) למשך ימים אחדים. תהליך זה נקרא קבוע. PFA יגרום לקרומי הגרעינים להיות חזקים יותר, כדי שלא ייקרעו אחר כך.

שלב 2: הפרידו את חלק המוח שעליו אתם רוצים ללמוד. אחר כך, חתכו אותו לחתיכות קטנות.

שלב 3: הכניסו את המוח החתוך לתוך "כוס מכינת מרק". כלי זה עשוי משתי חתיכות של זכוכית שנבנו בקפידה כדי שכאשר אחת תהיה בתוך האחרת, החלל שבין הזכוכיות יהיה קטן ביותר (כדי לראות תמונות, חפשו באינטרנט glass tissue grinder).

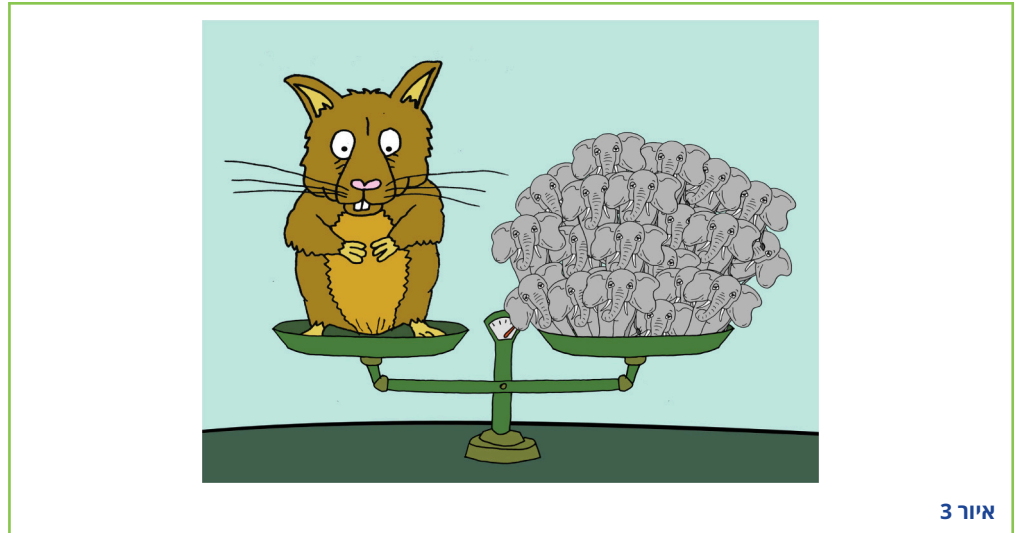
שלב 4: הוסיפו דטרגנט העוזר לשבור את הרקמה. השתמשו בדטרגנט מיוחד שלא יהרוס את קרום הגרעין (זיכרו, אנו רוצים שהגרעינים יישמרו כדי שנוכל לספור את הגרעינים שבמרק).

שלב 5: הניעו את הזכוכית הפנימית למעלה ולמטה ונענעו אותה כדי לשבור את רקמת המוח. תהליך זה נקרא הפרדה לחלקים. על-ידי שפשוף שני חלקי הזכוכית זה על זה, החיכוך שובר את חתיכות המוח לחלקיקים קטנים יותר ויותר, ולבסוף נשארים רק גרעיני התאים (שאותם אנו סופרים מבעד למיקרוסקופ). הדבר דומה להכנת מיץ: לוחצים על המוח כנגד הזכוכית, בדיוק כפי שפרי נלחץ כנגד החלק המסתובב במסחטת המיץ החשמלית, כדי למצות ממנו את המיץ.

משמעות היחסים השונים בין גודל המוח ובין מספר תאי העצב שבו במכרסמים ובפרימטים היא שמתכונים שונים ("כללים" שונים) מתקיימים בעת יצירת מוחות אלה בטבע. הכלל עבור הפרימטים אומר: "אם יש לכם פי 10 תאי עצב, תקבלו מוח שגדול יותר פי 45". משמעות

איור 3

לוי היה מכרסם שבמוחו מספר תאי עצב כמו בבני אדם - 86 מיליארד - מוחו היה שוקל 30 ק"ג. פירוש הדבר הוא שמכרסם היפותטי זה היה זקוק לגוף שמשקלו 80 טון כדי לשאת את המוח הכבד כל כך. כדי לקבל מושג על מראהו של המכרסם הענקי הזה, דמיינו שאתם שמים אותו על מאזניים. הוא היה שוקל כמו 20 פילים!



איור 3

הכללים השונים היא שמוחות של מכרסמים גדלים הרבה יותר מהר מאשר מוחות של פרימטים, בזמן שהם צוברים תאי עצב. מכאן, בלי לדעת שהכללים שונים אתם עלולים לנחש שמוח של פרימטים מכיל פחות תאי עצב ממה שהוא מכיל באמת. אבל, לאמיתו של דבר יש הרבה יותר תאי עצב במוח של פרימט לעומת מוח של מכרסם בגודל זהה. כדי לראות זאת במספרים אמיתיים עבור מוחות אמיתיים, אתם יכולים להתבונן בדוגמאות שבאיור 2.

בחינת כללים ושינוי שלהם

אם אתם מכירים את הכלל המתייחס לגודל המוח ולמספר תאי העצב שבו, אתם יכולים לחזות את מספר תאי העצב הנמצאים במוח בגודל נתון, בהתאם לאותו כלל. הכללים גם יראו מהם הגבולות הקיימים ביצירת מוחות. למשל, דוגמה ידועה: מוח כלשהו של פרימט השוקל 1.5 ק"ג, בדיוק כמו המוח שלנו, צריך להכיל 93 מיליארד תאי עצב, לפי כלל הפרימטים. ההערכה הטובה ביותר שלנו לגבי כמות תאי העצב שיש במוח שלנו היא 86 מיליארד תאי עצב בממוצע [2]. הערכים די קרובים. מכך אנו מבינים ש... יש לנו מוח של פרימט. במילים אחרות, לפחות בנוגע למספר תאי העצב במוח שלנו, המוחות שלנו אינם מיוחדים בהשוואה למוחות של קרובי המשפחה שלנו הקרובים ביותר, קופי האדם והקופים. יש לנו בדיוק את אותו מספר תאי עצב שצריך להיות לפרימט עם מוח בגודל זהה למוח שלנו. אבל, היות שאנו הפרימטים עם המוח הגדול ביותר, יש לנו תאי עצב רבים יותר לעומת כל פרימט אחר.

אבל איך היו נראים הדברים לוי היינו מכרסמים? מה היה קורה לוי במקום מוח של פרימט השוקל 1.5 ק"ג היה לנו מוח של מכרסם השוקל 1.5 ק"ג? אפשר לחשב כדי לגלות את התשובה: המוח היה מכיל רק 19 מיליארד תאי עצב, הרבה פחות מ-86 מיליארד תאי העצב שיש לנו, וסביר להניח שביצועי המוח היו פחותים באופן נכר. עכשיו, נהפוך את השאלה: מה היה גודלו של מוח של מכרסם לוי היו בו 86 מיליארד תאי עצב, כמו שלנו יש? ובכן, ממש גדול. המוח היה שוקל 30 ק"ג! מכרסם דמיוני זה היה זקוק לגוף ששוקל יותר מ-80 טון כדי לשאת מוח כזה גדול - כמו גודל של 20 פילים יחד, כפי שמוצג באיור 3! מכרסם ענקי כזה לעולם לא יוכל להתקיים: המוח שלו היה נמחץ תחת המשקל שלו עצמו (זיכרו שאין מבנה בתוך המוח שיכול לתמוך בו, כמו שלד קשיח). לא פלא שמכרסם ענקי כזה מעולם לא הופיע בהיסטוריה, מאז נוצרו חיים.

אוכלי חרקים (Insectivores)

קבוצת יונקים קטנים הניזונה מחרקים. למשל, כאלה הם הקיפודים והחולדים, כמו גם היונק הקטן ביותר בעולם – החדף הזעיר אשר שוקל 2 גרם.

טורפים (Carnivores)

אלה הם יונקים הידועים בכך שהם צדים וניזונים מבשר. כלבים וחתולים מתאימים לקבוצה זו, אבל גם אריות, דובים וצבועים.

חיות כיס (Marsupials)

אלה הם יונקים שיש להם כיס שבו הם נושאים את צאצאיהם. רובם מאוסטרליה. קנגורואים, אופוסומים וקואלות הם חיות כיס.

יונקים ימיים (Cetaceans)

כמעט כל היונקים הימיים חיים בים. לוויתנים, דולפינים ופוקניים נכללים בקבוצה זו.

בין סוגים אחרים של יונקים שנחקרו עד כה – עטלפים, **אוכלי חרקים**, **טורפים**, **חיות כיס** ו**יונקים ימיים** – יש הרבה מן המשותף, אבל ישנם גם הבדלים רבים. נראה שבטבע יש מתכונים (כללים) שונים ורבים ליצירת מוחות. יש שונות רבה במוחות, בדיוק כפי שסוגי בעלי חיים שונים נראים שונה מבחוץ. אבל פרימטים הם אלה שבקליפת המוח שלהם, החלק "החשוב" של המוח, נכנסים הכי הרבה תאי עצב בהשוואה למינים אחרים בעלי מוח בגודל דומה. אין פירוש הדבר שהכול שונה במוחות של הפרימטים. זיכרו שלכל בעלי החיים יש סבא של סבא של סבא משותפים, מלפני שנים רבות, וכמה מכללי יצירת מוח משותפים ביניהם. דוגמה מהירה אחת: הכלל הִמְקֶשֶׁר בין מספר תאי הגלייה (זוכרים אותם? ראו איור 1) לגודל המוח זהה עבור כל קבוצות היונקים. היות שזו תכונה המשותפת לכל היונקים, אנו סבורים שהיא ודאי חשובה מאוד לתפקודו התקין של המוח.

המידע על כללי יצירת המוח חשוב מסיבות רבות. המוח האנושי אינו הגדול מכל המוחות. למשל, ליונק היבשתי הגדול ביותר, הפיל, יש קליפת מוח השוקלת פי שניים מקליפת המוח של בן אדם. אולם היות שמוחות של בעלי חיים שונים בנויים בדרכים שונות, קליפת המוח האדירה של הפיל מכילה רק שליש ממספר תאי העצב שבקליפת המוח של בן אדם [3, 4]. הִלְקֶחַ כֵּן הוּא שֵׂיִתֵּן כִּי יֵשׁ חִשְׁבֹּת לְגוּדֵל, אֲבֵל זֶה רְחוּק מֵלְהִיּוֹת הַגּוֹרֵם הַחֹשֵׁב בִּיּוֹתֵר כִּאֲשֶׁר מְשׁוּיִם מוּחֹת. הִיּוֹת שֵׁ"מִתְכּוֹנִים" שׁוֹנִים מְשִׁמְשִׁים בְּטֵבַע לִיצִירַת מוּחֹת, הַשׁוּאָת מוּחֹת שֶׁל פְּרִימִטִּים לְמוּחֹת שֶׁל מְכַרְסָמִים הֵיא כְּמוֹ הַשׁוּאָת בֵּין תְּפוּחִים לְתַפּוּזִים. מֵלֵבֵד זֹאת, אֲנוֹ רּוֹצִים לְלַמּוֹד עַל הִיכּוּלוֹת שֶׁל בַּעַל חַיִּים כְּלִשְׁהוּ, מְסַפֵּר תְּאֵי הַעֲצָב הַחֹשֵׁב הַרְבֵּה יוֹתֵר מֵאֲשֶׁר גּוֹדֵלוֹ שֶׁל הַמוּחַ. הַסִּיבָה לִכֵּךְ הֵיא שְׁתֵּאֵי הַעֲצָב הֵם הַתֵּאִים הַמְעַבְדִּים אֶת כָּל הַמִּידַע שֶׁמִּגִּיעַ לְמוּחַ, וְהוֹפְכִים זֹאת לְפַעּוּלוֹת. מֵכֵּאן, עֵדִיף שִׁהִיּוֹ יוֹתֵר תְּאֵי עֲצָב, לְפַחוֹת בְּכָל הַנוֹגַע לִיכּוּלוֹת הַמוּחַ, כָּל עוֹד הַמוּחַ לֹא נִהִיָּה גָדוֹל מֵדִי!

מקורות

1. Herculano-Houzel, S., and Lent, R. 2005. Isotropic fractionator: a simple, rapid method for the quantification of total cell and neuron numbers in the brain. *J. Neurosci.* 25(10):2518–21. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4526-04.2005
2. Azevedo, F. A., Carvalho, L. R., Grinberg, L. T., Farfel, J. M., Ferretti, R. E., Leite, R. E., et al. 2009. Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *J. Comp. Neurol.* 513(5):532–41. doi: 10.1002/cne.21974
3. Herculano-Houzel, S., Manger, P. R., and Kaas, J. H. 2014. Brain scaling in mammalian evolution as a consequence of concerted and mosaic changes in numbers of neurons and average neuronal cell size. *Front. Neuroanat.* 8:77. doi: 10.3389/fnana.2014.00077
4. Herculano-Houzel, S., Avelino-de-Souza, K., Neves, K., Porfírio, J., Messeder, D., Mattos Feijó, L., et al. 2014. The elephant brain in numbers. *Front. Neuroanat.* 8:46. doi: 10.3389/fnana.2014.00046

פורסם אונליין: 10 באוקטובר 2019

נערך על ידי: Robert T. Knight, University of California, Berkeley, USA

ציטוט: Neves K, daCunha F and Herculano-Houzel S (2019) ממה עשויים מוחות שונים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2017.00021-he

תורגם והותאם:

Neves K, daCunha F and Herculano-Houzel S (2017) What Are Different Brains Made Of? Front. Young Minds 5:21. doi: 10.3389/frym.2017.00021

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2017 © Neves, daCunha and Herculano-Houzel 2019. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה). השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

10-9 גיל, RIVERSIDE ELEMENTARY SCHOOL

על בית הספר היסודי, ריברסייד: בית הספר היסודי ריברסייד הנמצא בפרינסטון, ניו ג'רסי, ארצות הברית, משרת ילדים מקדם גן ועד כיתה ה'. מגוון תלמידינו כולל ילדים מ-23 מדינות שונות, וכולנו אוהבים ללמוד על מוחות! יש לנו גם מעבדת מדעים; חצר עם צפרדעים ועם צבים קגירים (Terrapene); קבוצת מורים מסורים וצוות תומך, ומנהל נפלא התומך תמיד בהזדמנויות חדשות ללמידה. תלמידי כיתה ד נמצאים בכיתה של גברת לוי או של מר מק'גוברן, ומר איסטבורן הוא המורה שלהם במעבדת המדעים.

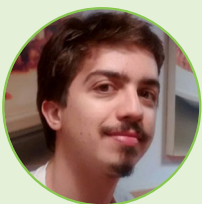
הכותבים

KLEBER NEVES

אני קלבר נבס, מועמד לתואר דוקטור באוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'נרו בברזיל. תחומי המחקר שלי הם מאבולוציה של המוח ויכולות קוגניטיביות – מה יש במוח שהופך את התנהגות בעלי החיים למורכבת יותר או פחות? ועד רשתות ומודלים מחשוביים – ביישומים הקשורים להתפתחות המוח ומערכות אחרות. אני גם אוהב ללמד וחושב על חינוך: מהאופן שבו בני אדם לומדים, ועד לאופן שיפור בתי הספר והאוניברסיטאות שלנו. כשאינני עובד ייתכן שאני קורא; כותב משחקי מחשב; כותב; מנגן בגיטרה ושר (לא טוב כל כך) או מציג על הבמה לפעמים. *kleber.na@gmail.com

FELIPE DACUNHA

אני פליפ בארוס דה קונצ'יה, מועמד לתואר דוקטור באוניברסיטת לת'ברידג'. תחום העניין העיקרי שלי הוא להבין באמצעות מדעי המוח ההשוואתיים במה שונים המוחות של מינים שונים, וכיצד הדבר משפיע על התנהגות בעל החיים. אחד מנושאי הדוקטורט שלי הוא להבין את ההבדלים באנטומיה של המוח בין מינים מונוגמיים לפוליגמיים. בזמני הפנוי אני אוהב לטייל ברגל ולחקור מקומות חדשים, ולפעמים אני מנסה לנגן במעין תוף מרים, כלי נגינה ברזילאי שבאמצעותו אפשר ליצור קבוצת צלילים.





SUZANA HERCULANO-HOUZEL

אני סוזנה הרקולנו-האוזל, ביולוגית ומדענית מוח שנולדה בברזיל ומלמדת באוניברסיטת ונדרבילט בארצות הברית. הנושא האהוב עליי הוא שונות: כיצד מוחות יכולים להיות שונים כל כך בין המינים השונים, וגם בין פרטים, אף ששמרו על נקודות דמיון מסוימות? כלומר, איך ייתכן שמוחות של ציפורים נראים שונה כל כך ממוחות של יונקים מבחינות מסוימות, ובכל זאת, מבחינות אחרות, הם נראים ומתפקדים באופן דומה? ויותר מכול, מהם ההבדלים הנובעים ממוחות הנוצרים באופנים שונים? אני גם סופרת מדעית. הדבר שאני הכי אוהבת במחקר המוח הוא שהוא מיושם בכל מקום שנביט, בכל רגע של חיי היומיום שלנו.

Hebrew version
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע"ר)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

