

מחקר המוח חושב בגדול

Idan Segev¹, Felix Schürmann²

¹המרכז לחישוביות עצבית, האוניברסיטה העברית בירושלים, ירושלים, ישראל
²המכון למוח ותודעה, המכון הפדרלי לטכנולוגיה בלזון, לוזן, שווייץ

סוקרים צעירים

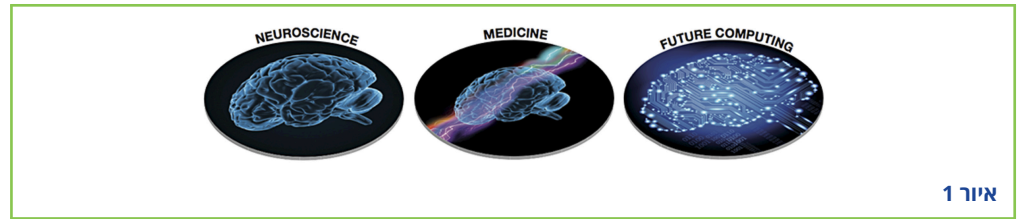
ABBY
גיל: 11



כשאתם קוראים את המילים האלה, מאות מיליונים של תאי עצב פועלים חשמלית וכימית במוח שלכם. פעילות זו מאפשרת לכם לזהות מילים, לחוות את העולם, ללמוד, ליהנות, ליצור דברים חדשים ולהיות סקרניים לגבי העולם שסביבכם. המוח שלנו, זה של ההומו ספיינס, הוא ללא ספק הרקמה הביולוגית המרתקת ביותר שהופיעה על פני כדור הארץ לפני כ-200,000 שנה. המוח כל כך סקרן ושאפתן עד שהוא חותר להבין את עצמו ולרפא את רכיביו העדינים כשהוא נעשה חולה. אולם למרות התפתחויות חשובות בחקר המוח בתקופה האחרונה, איננו יודעים עדיין איך לחבר יחד את החלקים השונים של הפאזל כדי לפתור את חידת המוח. זו הסיבה שבגללה החלו לאחרונה ברחבי העולם כמה מחקרים שאפתניים במיוחד המציעים גישה חדשה להבנת המוח. אנו שותפים באחד הפרויקטים האלה – פרויקט המוח האנושי [1]. מטרתו הראשית היא לאסוף ולארגן באופן מסודר את כל מה שאנו יודעים על המוח, לפתח שיטות ניסיוניות ותיאורטיות משוכללות כדי לבחון את המוח ולהכניס את כל מה שלמדנו לתוך מודל ממוחשב של המוח. כל זה אפשרי מפני שהמוח שלנו הוא זה שתכנן בעצמו מחשבים חזקים, את האינטרנט וכלים מתמטיים וחישוביים מתוחכמים שבקרוב יאפשרו ליצור בתוך המחשב מודל של תופעה כל כך מורכבת כמו המוח האנושי. הפרויקט הזה יספק הבנה חדשה ועמוקה יותר של המוח שלנו, יעזור לנו לפתח תרופות טובות יותר למחלות מוחיות וגם, בסופו של דבר, ילמד אותנו איך לבנות מחשבים שלומדים בצורה

איור 1

שלוש המטרות העיקריות של פרויקט המוח האנושי. (משמאל) איסוף כל המידע שיש על המוח לתוך מחשב. (באמצע) פיתוח תרופות חדשות למחלות מוחיות שמבוססות על העתקים והדמיות ממוחשבים של תהליכים מוחיים. (מימין) למידה מהמוח איך לפתח דור חדש של מחשבים שיהיו יעילים אנרגטית, לומדים וחזקים.



חכמה יותר (איור 1). ראוי לציין שהמוח שלנו הוא יעיל להפליא מבחינה אנרגטית, ומספיקות לו רק כמה ארוחות כל יום (ולפעמים אולי גם כמה ממתקים) כדי לתפקד – הרבה פחות אנרגיה אפילו ממה שצורך מחשב ביתי פשוט. נספר לכם כעת את סיפורו של פרויקט המוח האנושי.

המפץ הגדול של מוח האדם

היקום התחיל עם המפץ הגדול, לפני כ-13,700 מיליון (כ-3.7 מיליארד) שנה. רק לאחרונה, לפני בערך 200,000 שנה, התרחש "מפץ גדול" נוסף – ההומו ספיינס הופיע על פני כדור הארץ. יש לו דמיון רב לזנים אחרים כמו למשל קוף השימפנזה, ודמיון גדול עוד יותר למינים הומונוידיים (חברי משפחת האדם המודרני) אחרים כמו למשל הניאנדרתלים שחיו עמנו עד לפני כ-30,000 שנה. אבל, אנו ייחודים מאוד במובן אחד מסוים, והוא שהמוח שלנו התפתח להיות יצירתי בצורה יוצאת דופן. אנו מעבירים בינינו מידע בעזרת שפה מתוחכמת מילולית וכתובה, אנו מייצרים מדע ואומנות, אנו הוגים רעיונות חדשים ובסופו של דבר בונים תוצרים חדשים (צעצועים, מטוסים, טלפונים ניידים, מחשבים) כמו שאף יצור אחר לא עשה מעולם. מה שהופך את מוח האדם להיות כל כך יצירתי, עם המרכיבים הבסיסיים שלו – תאי עצב והקשרים ביניהם ("סינפסות"), והרשת העצבית שהם יוצרים באזורים שונים במוח (ראו איור 2), נותר עדיין בגדר תעלומה.

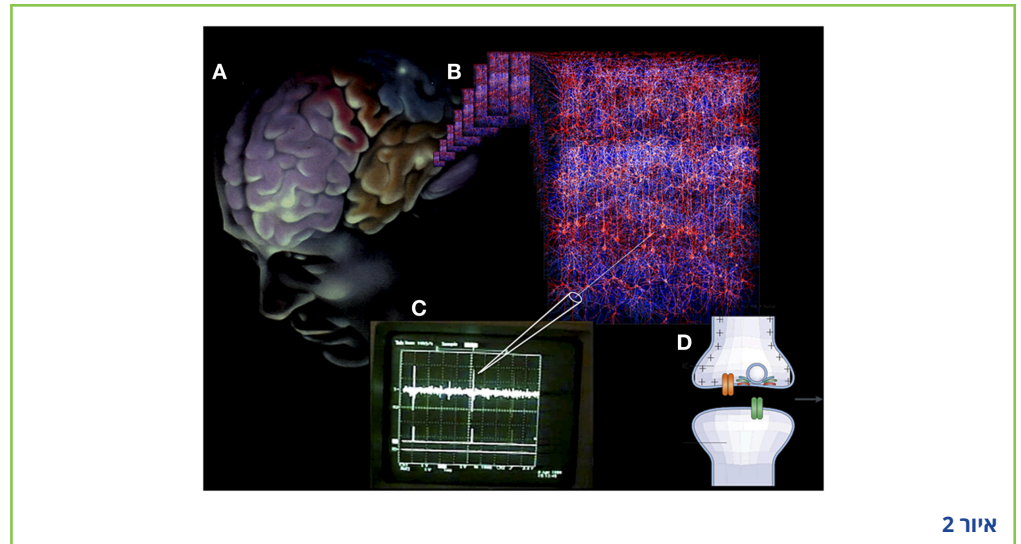
פרויקט המוח האנושי

ב-28 בינואר 2013, אלפי מדענים מכל קצוות העולם עצרו את נשימתם. הוועידה האירופאית עמדה להכריז על הזוכה מבין 26 הצעות מחקר מתחרות, במענק של מיליארד יורו לתקופה של 10 שנים. באותו הערב הוכרזו שני זוכים – Graphene (שמובל על-ידי אוניברסיטאות בשוודיה) ופרויקט המוח האנושי (HBP) הממוקם בשווייץ. שני "פרויקטי הדגל" האירופאיים האלה כוללים מאות מעבדות ואלפי חוקרים, סטודנטים וטכנאים. שני הפרויקטים הזוכים הבטיחו לחולל מהפכה בעולם הננו-חומרים (Graphene) ובהבנת המוח (פרויקט המוח האנושי).

הרעיון היסודי שעליו מבוסס פרויקט המוח האנושי התגבש לפני כעשור במוחו של פרופ' Henry Markram ועמיתיו, בפרויקט שנקרא "פרויקט המוח הכחול" (BBP) [2]. הרעיון היה כפול: (1) שהבנת המוח דורשת גישה מסודרת לאיסוף כל המידע הזמין על המוח ואיגודו לתוך מאגר מידע אחד שיכול, למשל, את סוגי התאים השונים (כמו סוגים שונים של עצים ביער); התבניות השונות של פעילויות חשמליות שמורכבות מאותות בסיסיים, ה"ספייקים",

איור 2

מרכיבי המוח. **A.** המוח עם אזוריו השונים וקליפת המוח שמתחת לגולגולת. **B.** מעגל טיפוס בצורת עמודה בקליפת המוח של יונק (עומק של 2 מ"מ מתחת לגולגולת, עם כמאה אלף תאי עצב וכ-4 ק"מ חוטים למ"מ מעוקב. **C.** ה"spike", יחידת מידע ("bit") חשמלית טיפוסית שזל תא מייצר. **D.** הסינפסה, מרכיב כימי שמחבר תא עצב אחד לשני.



איור 2

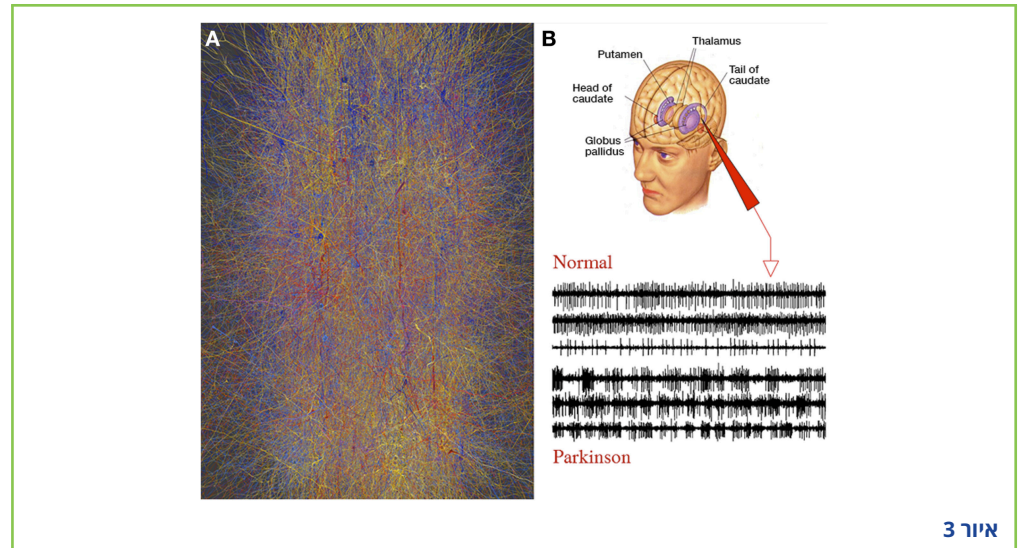
שתאי עצב מייצרים (איור 2) והקשרים שתאי העצב יוצרים במוח בינם לבין עצמם (סינפסות) כדי לייצר מעגלים תפקודיים. (2) שזל המידע הָמִינ על המוח חייב להיות מְקֻבָּץ לתוך מחשב ומוצג בצורת הדמייה מתמטית. זאת כדי לוודא שזל החתיכות אשר מרכיבות את רקמת המוח המשמשת מוֹדֵל יִתְקַשֵּׁר בצורה הנכונה וייצרו פעילות קבוצתית דומה לזו שנצפית במוח האמיתי. ההעתק הדיגיטלי הממוחשב הזה של רקמת מוח אמיתית אמור לעזור לנו להבין איך פועלת הרקמה הביולוגית שמרכיבה את המוח. כבר יש בידינו דוגמאות רבות שבהן, בעזרת מודל מפורט וריאליסטי שנבנה במחשב, אפשר לערוך ניסויים ולהשלים מידע שנותר חסר מניסויים בשטח, למשל, בגלל סיבות מוסריות בניסויים בבעלי חיים. במילים אחרות, העותק הממוחשב של המוח יאפשר לנו לבצע ניסויים וירטואליים שהם לעיתים קשים או בלתי אפשריים לביצוע ברקמה הביולוגית האמיתית.

איור 3A מראה דוגמאות מהצלחת פרויקט המוח הכחול. הוא מציג חתיכה קטנה ממוחו של עכבר צעיר, שנקראת "העמודה הקורטיקלית", אשר ממוקמת בקליפת המוח ממש מתחת לגולגולת (איור 2). זוהי יחידה מְבִנִית ייחודית שחוזרת על עצמה במוח של יונקים (עכבר, חולדה, חתול, קוף ואדם), המכילה בין 30,000-100,000 תאי עצב במ"מ מעוקב, כ-100 מיליון קשרים וכ-4 ק"מ של "חוטים". איור 3A מראה את המבנה האנטומי של העמודה הזו, ואילו איור 3B מראה את הפעילות החשמלית ה"ספייקית" (שמקודדת בצבעים באיור 3A) של הרקמה הזו, אשר הדמייתה לקוחה ממחשב העל "Blue Gene" של IBM אשר ממוקם בלזון, שוויץ [3].

מהצלחתו הראשונית של פרויקט המוח הכחול התפתח החזון הרחב בהרבה של פרויקט המוח האנושי. לפרויקט החדש יש שלושה דגשים מחקריים. ראשית, אנו רוצים להביא את הבנת המוח לרמה חדשה – קודם כל על מוח העכבר ואז על מוח האדם. לצורך כך, נפתח שיטות חדשות למיזוג נתונים ממעבדות מחקר ומבתי חולים. אחר כך, נרחיב מודלים והדמיות שכבר נעשו בפרויקט המוח הכחול עבור עמודה קורטיקלית אחת לאזורי מוח גדולים בהרבה, ולבסוף למוח כולו. למימוש מטרה זו נזדקק לדרך חדשה כדי ליצור שיתוף פעולה בין מאות מדענים. אנו נבנה פלטפורמה שתהיה נגישה עבור מדענים דרך האינטרנט – משהו כמו הכלאה בין

איור 3

העמודה הקורטיקלית, היחידה המבנית של קליפת המוח של יונקים והמוקד של פרויקט המוח הכחול. **A.** מודל ממוחשב של העמודה הקורטיקלית שנבנה כחלק מפרויקט המוח הכחול. כאשר הם מופעלים על-ידי גירוי חשמלי, תאי עצב ברשת מתחילים לירות ספייקים (מקודדים באדום). **B.** כל פעילות מובחנת של ספייקים ברשת מסוימת במוח מייצגת מצב מוחי נתון ("שינה", "אהבה", "זיהוי פנים", "הזזת יד" ועוד). כאשר המוח חולה, פעילות הספייקים התקינה (הרשומה העליונה בפינה הימנית התחתונה) משתנה לפעילות בלתי רגילה (הרשומה התחתונה מצד ימין בפינה הימנית התחתונה). המקרה שמוצג כאן הוא של מחלה מוחית הקרויה "פרקינסון".



איור 3

גוגל ארץ, פייסבוק וחזיון מזג אוויר – שבה הם יכולים לקרוא את החדשות והנתונים האחרונים ולפרסם אותם, כמו גם לעבוד יחד על בסיס נתונים משותף כדי לִבְנוֹת מודלים של אזורי מוח שונים ולנתח אותם. תפעול של פלטפורמה כל כך מתקדמת ידרוש שימוש במחשבים החזקים ביותר של ההווה והעתיד, וזאת בכי ליצור הדמיות נאמנות עבור מודלים של רקמות מוח גדולות אשר מכילים מיליונים רבים של תאי עצב של עכבר, ומיליארדי תאי עצב של מוח אנושי. זה מסובך בהרבה ממה שעשינו עד כה עם המחשבים שלנו.

שנית, אנו רוצים לשנות את הדרך שבה אנו עורכים מחקר על מחלות נפשיות; זהו ההיבט הרפואי בפרויקט המוח האנושי. המוח הוא מכונה נפלאה, יצירתית ורגשית, אבל הוא שברירי במיוחד (אם כי לא רק) בגיל מבוגר, כשמחלות הרסניות כמו אלצהיימר, פרקינסון, דיכאון והפרעות שינה נוטות להופיע. הטיעון המרכזי של פרויקט המוח האנושי הוא שאם אנו רוצים לתקן את המוח אז בהכרח אנו צריכים מודל ממוחשב מדויק של האזורים אשר אחראים על מחלה מסוימת. כלומר, אם מודל ממוחשב יכול לייצר פעילות שמחקה את המחלה המוחית (למשל, במהלך פרקינסון, ראו איור 3B), נוכל לגלות מה יצר את הפעילות הבלתי תקינה הזו במודל הממוחשב ואז, כיוון שִבְנִינוּ בעצמנו את מודל הרשת צעד אחר צעד, אנו אמורים להיות מסוגלים להבין מה השתבש שאחראי על היווצרות פעילות ה"כמו-מחלה" ברשת המחשב. אינטראקציה מדעית כזו עם ההעתק הדיגיטלי של המחלה המוחית יספקו דרכים מסודרות לתקן את "המחשב החולה" ויאפשרו לאתר את הרכיבים שאחראים להיווצרות המחלה (למשל, נְשָׁל בתפקוד של סינפסות/ קשרים מסוימים, או סוגים מסוימים של תאי עצב אשר "יורים" אותות חשמליים באופן בלתי תקין).

שלישית, אנו ננסה ללמוד מהמוח עצמו ולקבל ממנו השראה כיצד לפתח את הדור הבא של מחשבי העל. אחרי הכול, המוח הוא הדוגמה המרשימה ביותר לעובדה שמכונה פיזית אשר בנויה ממספר עצום של מיקרו-שבבים (תאי עצב), יכולה לבצע חישובים מופלאים תוך צריכת אנרגיה נמוכה מאוד. בדרך זו המוח ילמד אותנו איך לִבְנוֹת מחשבים אשר בתורם יעזרו לנו להבין את המוח.

בין כל הפעילויות האלה עולה בפרויקט המוח האנושי השאלה איך "לספר את הסיפור" של ממצאינו המדעיים למוחות צעירים כמו שלכם ולקהל הרחב כולו? פרויקט המוח האנושי נתמך על-ידי כל הציבור ומטרתו לעזור למוחות של כולנו, בעת הצורך. כל מי שסקרן אמור לקבל תשובות נבונות לשאלותיו הקשורות בפרויקט. עבור מטרה זו אנו מתכננים לפתוח "פינה מוחית" בהרבה מוזיאונים למדע ברחבי העולם, לשם נשלח מידע על התוצאות העכשוויות והחשובות שהתקבלו בפרויקט המוח האנושי. אנו נפתח בלוגים ופורומים כדי לתקשר איתכם ולדון בשאלותיכם, מוסריות ואחרות. במובנים רבים, אנו נהפוך אתכם לחלק מפרויקט המוח האנושי, ונסתמך על המוח הייחודי של כל אחד ואחת מכם.

אלה "זמני-מוח" מרגשים, שבהם הגמישות והסקרנות של מוח האדם הגיעו לנקודה שבה המוח עצמו פיתח כלים תיאורטיים (מתמטיים) וטכנולוגיים (מחשבים; סריקות מוחיות ומכשירים חשמליים, אופטיים וגנטיים) שקידמו אותנו להבנת המוח בדרכים חדשות, עמוקות ומדהימות. על כולנו, אם כן, להיות מוכנים ולקחת חלק בקפיצה האנושית הבאה, כשהמוח ימצא דרכים משוכללות להבין, וגם לתקן, את עצמו.

מקורות

1. Official Web Site for the Human Brain Project. <https://www.humanbrainproject.eu>.
2. Markram, H. 2006. The blue brain project. *Nat. Rev. Neurosci.* 7:153–60. doi: 10.1038/nrn1848
3. Druckmann, S., Hill, S., Schürmann, F., Markram, H., and Segev, I. 2012. A hierarchical structure of cortical interneuron electrical diversity revealed by automated statistical analysis. *Cereb. Cortex.* 23:2994–3006. doi: 10.1093/cercor/bhs290

פורסם אונליין: 21 בדצמבר 2018

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

ציטוט: Segev I and Schürmann F (2018) מחקר המוח חושב בגדול. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2013.00008-he

תורגם והותאם:

Sagev I and Schürmann F (2013) Brain projects think big. *Front. Young Minds.* 1:8. doi: 10.3389/frym.2013.00008

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

COPYRIGHT © Segev and Schürmann 2013. 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

ABBY, גיל: 11

אני גרה כיום בישראל, אבל גרתי קודם בניו יורק ואהבתי לגור שם. אני אוהבת לטפס על קירות, לרקוד, לראות טלוויזיה ולצלול, ואני אוהבת גם ללמוד דברים חדשים על איך העולם שלנו פועל. אה, ואני גם אוהבת ספרים שהם מזורים-אבל-נכונים. כדאי גם לכם לקרוא אותם.



הכותבים

IDAN SEGEV

פרופסור לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית בירושלים, שם השלים תואר ראשון במתמטיקה ובביולוגיה (1973) ודוקטורט בביורביולוגיה תיאורטית וניסוינית (1982). מחקריו מתפרסמים בעיתונים המדעיים הנחשבים ביותר ובהם Science, Nature ו-PNAS, והוא קיבל כמה פרסים כולל "מרצה מצטיין" בקורסים בינלאומיים על המוח. בשנים האחרונות, קבוצתו עובדת בשיתוף פעולה עם כמה קבוצות ניסויניות ברחבי העולם בניסיון למדל חתיכה שלמה של קליפת המוח של יונקים. המטרה היא לגלות בסופו של דבר כיצד שינויים מקומיים קטנים ברשת העצבית בקליפת המוח משפיעים על תפקודים התנהגותיים מסוימים, ועשויים לעיתים לגרום למחלות של המוח ובמקרים אחרים לגרום לתפקוד תקין של מוחות "אינדיבידואליים". הקורס המתוקשב האחרון שהוא נתן במסגרת Coursera נצפה על-ידי יותר מ-50,000 סטודנטים ברחבי העולם. עידן שגב הוא בעל עניין רב בקשר שבין מוח לאומנות.



FELIX SCHÜRMAN

מדוע כל כך קל למחשבוני שלי להכפיל שני מספרים, אבל המוח שלי משתעמם מאותה הפעולה? למדתי פיזיקה כדי להבין כיצד מוחות דגולים רבים המציאו כל כך הרבה תשובות טובות לשאלות כאלה. שאלות שקשורות במוח ובמחשבים דורשות עדיין מחשבה נוספת מצד מדענים. זו הסיבה שבזכותה אני נהנה לעבוד בפרויקט המוח האנושי!



Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

