100 מיליארד נוירונים מחפשים מתכנת

פרופ' עידן שגב

בתום תחרות בת שלוש שנים בין 26 קבוצות מדענים בחר האיחוד האירופי להשקיע מיליארד יורו במחקר חסר תקדים בהיקפו, המציע גישה חדשה לחקר המוח שכוללת סימולציה ממוחשבת מלאה של המוח האנושי. פרופ' עידן שגב, ממובילי הפרויקט, מספר על ההבטחות והאתגרים הטמונים במחקר

ב־28 בינואר 2013 עצרו אלפי מדענים ברחבי העולם את נשימתם בציפייה להכרזה הרשמית של האיחוד האירופי על תוצאות תחרות Future & Emerging Technologies Flagship Initiatives לקידום פריצות דרך מדעיות־טכנולוגיות. בשלוש השנים שקדמו למועד הזה התמודדו לא פחות מ־26 הצעות למיזמי מחקר על מענק בסך מיליארד יורו ועל הזכייה במעמד של תחום המחקר החשוב ביותר באירופה בעשור הקרוב.

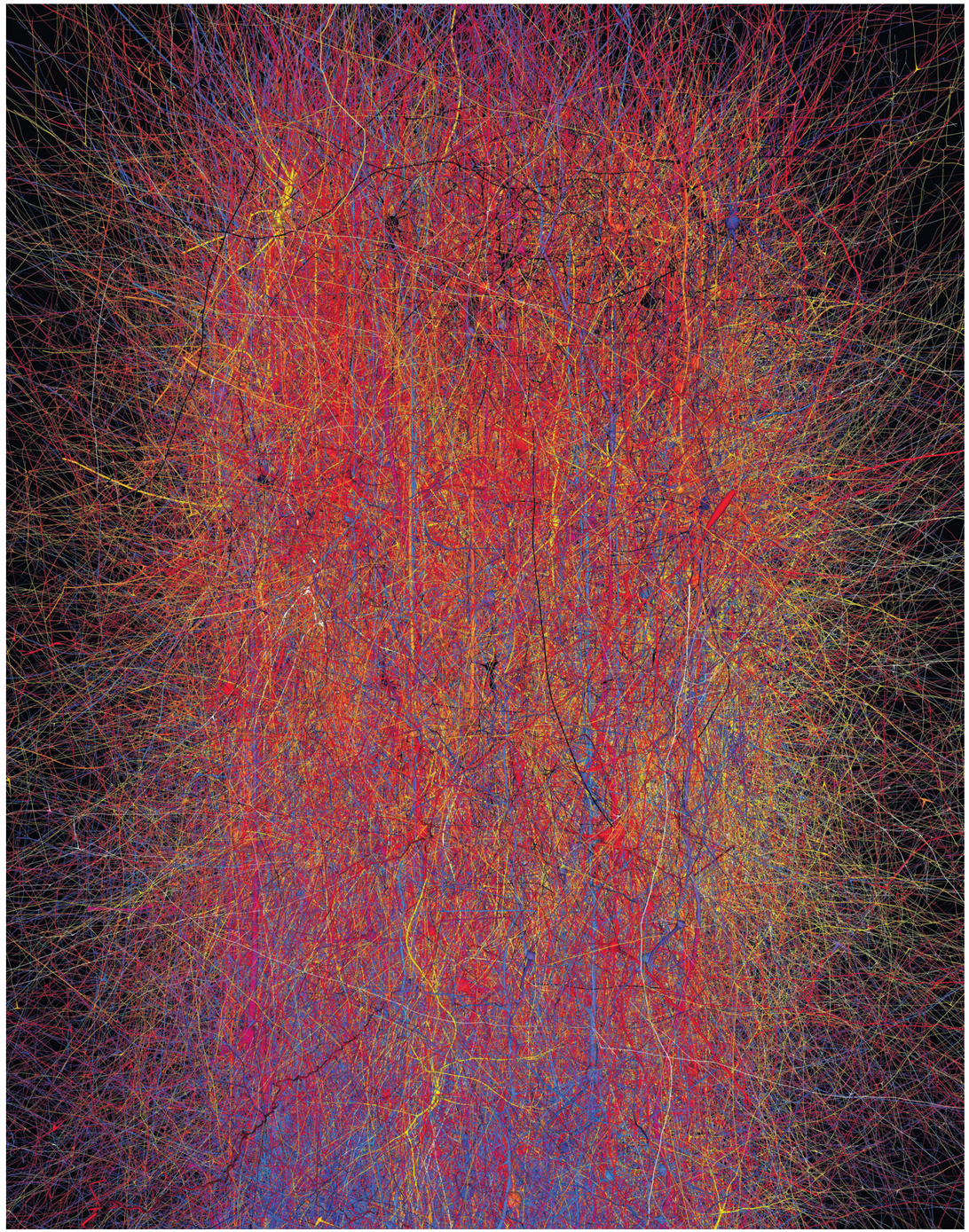
בערבו של אותו היום הכריזה הנציבות האירופית בדרמטיות, כי שני פרויקטים זכו במענק ובכבוד: פרויקט הגרפן (Graphene) הננוטכנולוגי, המתמקד בפיתוח שיטות ליצירת משטחים ננומטריים מוליכים, גמישים וחזקים במיוחד, מחומר הגרפן, עבור יישומים אלקטרוניים, ופרויקט המוח האנושי (Human Brain Project), המתמקד בפיתוח גישה חדשה ורב־תחומית לחקר המוח, בבניית דור מחשבים חדש בהשראת המוח, וכן ביצירת מודל ממוחשב מלא של המוח האנושי.

על מה ההתרגשות? תקציב מחקר שכזה, מיליארד יורו לפרויקט מחקרי, הינו סכום חסר תקדים. כעת מוטלת עלינו, הנמנים עם הצוות המוביל של פרויקט המוח האנושי, המשימה לממש את ההבטחה שעידן חדש אכן החל בחקר המוח.

אירופה נאלצת להוציא כיום סכומים אדירים – כ־80 מיליארד יורו לשנה – על טיפול במחלות מוח. בתוך כך, העלות הגבוהה של פיתוח תרופות למחלות נוירולוגיות ופסיכיאטריות והיעדר הישגים משמעותיים בטיפול במחלות אלה מרפים את ידיהן של חברות התרופות, ורבות מהן עוזבות את התחום. זה הרקע להכרזה כי חוד החנית המדעי בעשור הקרוב באירופה הוא מדעי המוח, וכי אנחנו – קבוצות חוקרים מאוניברסיטאות שונות ברחבי העולם – במרכז העשייה המרתקת הזאת.

פרויקט המוח האנושי יהיה המחקר המרוכז הגדול ביותר שנערך אי־פעם בתחום זה. הוא משול בחשיבותו המחקרית לפרויקט הגנום האנושי. הפרויקט מציע גישה חדשה, רחבה ומאחדת־תחומים, שמטרתה לפצח את החידה הגדולה: כיצד מרכיביו הפיזיקליים והכימיים של המוח יוצרים, מחד גיסא, את יופיו – הלימוד והרגש, היצירה והמחשבה, ומאידך גיסא – את כל תחלואיו – מחלת הפרקינסון, הסכיזופרניה, הדיכאון ועוד.

כיצד יש לפצח את התעלומות הניצבות מאחורי נפלאות המוח ומחלותיו? לתשובה שאנחנו מציעים פנים רבות. פן מרכזי של הפרויקט, שעד לא מזמן היה נחלת המדע הבדיוני בלבד, הוא בניית סימולציית מחשב מלאה של כל מאה מיליארדי תאי העצב המרכיבים את המוח האנושי, וכל טריליוני החיבורים בין התאים האלה, ברזולוציה של האות החשמלי הבסיסי ביותר שמייצרים תאי העצב – ה"ספייק" – אשר מִשכו כאלפית השנייה. לפי תפיסתנו, למודל זה תהיה חשיבות מכרעת בהבנת המוח ובטיפול במחלות עצביות.



EPFL/Blue Brain Project :הדמיה

הדמיית מחשב ריאליסטית של כ־10,000 תאי עצב וכ־100 מיליון הקשרים המחברים ביניהם בעמודה קורטיקלית במוח היונק. הצבע האדום מיצג את הספייקים החשמליים ש"נורו" ברשת

השורשים הישראליים

את הפרויקט יזם פרופ׳ הנרי מרקרם, מדען דרום־אפריקאי־ישרא־לי, שעשה את עבודת הדוקטורט שלו בחקר המוח במכון ויצמן ולפני כעשור עבר למכון הטכנולוגי של לוזאן שבשווייץ. בשלב הראשון הצ־טרפו לפרויקט, בנוסף אלי, פרופ׳ ידין דודאי ממכון ויצמן וד״ר מירה מרכוס מאוניברסיטת תל־אביב, ומאוחר יותר ישראלים נוספים.

פרויקט המוח האנושי מעוגן בחזונו ארוך השנים של מרקרם. הוא מציע גישה חדשה לחלוטין לחקר המוח, המבקשת להשלים את העבודה היחידנית והמבודדת של מדענים באמצעות פרויקט קולקטיבי, המבוסס על בניית מסד נתונים מסודר ונגיש לכול. מסד הנתונים אמור לכלול את כל המידע שהצטבר לאורך השנים על המוח, ולשתף קבוצות חוקרים גדולות תחת קורת גג מחקרית אחת.

לפי תפיסתו של מרקרם, לא מספיק לרכז את נתוני המחקרים. יש צורך לבנות, בנוסף, מודל מתמטי לכל אחד מהתהליכים הקשורים בנתונים הללו – הפעילות הכימית (הסינפטית) והפעילות החשמלית (הספייק החשמלי) של תאי העצבים – ולאחד את כל הידע בסימולציית מחשב כוללנית של הרשת העצבית ואף של המוח כולו.

בלוזאן יזם מרקרם, יחד עם שותפיו המקוריים מישראל וממדינות נוספות באירופה, פרויקט מחקר בשם ״המוח הכחול״, שלימים היווה את התשתית לפרויקט המוח האנושי. במהלך השנים התגבשה סביב מרקרם ופרויקט המוח הכחול קבוצה של עשרות חוקרים, שהאמינו בחזונו ובתעוזתו לעסוק בגדולות.

פרויקט המוח הכחול אכן היה שאפתני, אם כי בהשוואה לפרויקט המוח האנושי הנוכחי, הוא נראה צנוע יחסית. תחילה התמקדנו לא במוח כולו, אלא באזור קטן בקליפת המוח. קליפת המוח המפותלת הזאת, הממוקמת מתחת לגולגולותיהם של יונקים, הינה רקמה שנוצרה בשלב מאוחר יחסית באבולוציה, והיא מאפשרת ליונקים, ואנחנו בתוכם, לממש יכולות קוגניטיביות גבוהות, כמו תכנון, קבלת החלטות, שליטה על תנועה וכו׳. אצל בני אדם היא גם אחראית על היבטים יצירתיים ויכולות תקשורת באמצעות השפה.

הרשת העצבית שעליה עבדנו הייתה קליפת המוח של חולדה, שכן יש דמיון רב בין תאי העצב של חולדות ושל בני אדם, וכן בפעילות החשמלית שלהם. למעשה, מרבית התרופות למחלות נוירולוגיות פותחו על חולדות ועכברים.

לקראת סימולציה מלאה

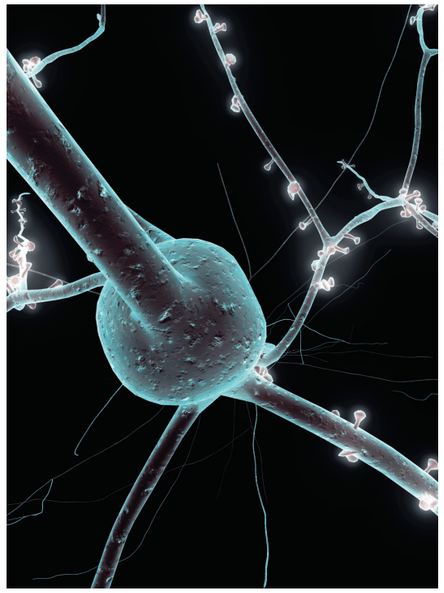
בפרויקט המוח הכחול הנחנו את התשתיות לפרויקט המוח האנושי: לראשונה, יצרנו סימולציית מחשב ריאליסטית של הפעילות העצבית, החשמלית והכימית בקליפת המוח של יונק. התמקדנו ב״עמודה קורטיקלית״, שהיא היחידה הבסיסית, מעין קובייה לגו, שממנה מורכבת קליפת המוח. נפח יחידת היסוד הזאת הוא כשני מילימטרים מעוקבים. היא מורכבת מעשרות־אלפי תאי עצב שביניהם כ־100 מיליון קשרים (סינפסות), ואורכם הכולל של הסיבים העצביים בעמודה אחת מגיע לכארבעה קילומטרים. בקליפת המוח של האדם יש כמה מאות־אלפים של עמודות כאלה, הנמצאות באזורי המוח האחראים על ראייה, שמיעה, תנועה, תחושה וכד׳. כל אחת מהעמודות היא יחידת חישוב מוחית אוניברסלית. למשל, באזור המוח הראייתי של החתול עמודה אחת ״ממונה״ על חישוב זווית מסוימת (נניח, בת 45 מעלות) בעולם, ועמודה אחרת באזור זה ממונה על זווית שונה (נניח, 60 מעלות). לפיכך, העמודה הקורטיקלית מהווה אתגר מחקרי מעניין וחשוב.

במסגרת פרויקט המוח הכחול רצינו לתאר את הפעילות החשמלית והכימית של כל עשרות סוגי תאי העצבים שבעמודה קורטיקלית באמצעות משוואות מתמטיות. פתרון המשוואות היה אמור לדמות ככל האפשר לפעילות החשמלית והכימית הנצפית ברשת הקורטיקלית הביולוגית. כיום יש בידינו מודל מחשב שכזה, המכיל את רוב הידע על העמודה הקורטיקלית של חולדה, ופעולתו במחשב אכן מדמה בקירוב את הפעילות הנרשמת ברקמה הביולוגית הממשית. המשוואות המתמטיות עוברות שיפור ועידון בהתאם לתצפיות חדשות שמתקבלות במחקרים אמפיריים על רקמות מוח.

אנו מקווים שהמודל הסופי, שיקיף מוח אנושי שלם, ישקף באופן מהימן ומדויק את ההתנהגות החשמלית ברקמה הביולוגית. כיום ניתן לומר שהצלחנו להראות, שהפנטזיה למדל באופן ריאליסטי רשתות גדולות – מאות־אלפי תאים ומאות־מיליוני קשרים סינפטיים – היא בת־ביצוע. ההצלחה הראשונית הזאת שכנעה את האיחוד האירופי להמשיך ולהרחיב את גרעין המחקר של פרויקט המוח הכחול, ולמנף אותו לפרויקט המוח האנושי.

למדל את המחלות

המרכיב החשוב ביותר ביצירת סימולציה מתמטית ממוחשבת של התהליכים העצביים נוגע להבנה ולטיפול במחלות עצביות. המחלות האלה, בין אם מדובר בדיכאון, באפילפסיה או בבעיות שינה, מתבטאות בפעילות חשמלית וכימית לקויה באזורים מסוימים במוח. מרכיבים רבים ברשת העצבית עשויים להתקלקל ולפעול באופן שגוי. כך, למשל, תאי העצב עשויים לאבד את ״זהותם״ החשמלית הנורמלית ולפעול בקצב לא נכון – באופן אינטנסיבי מדי או באופן לא תדיר. שילוב של תופעות רבות מעין אלה, שבהן סוגים שונים של פעילות מוחית יצאו רק מעט מאיזון, עלול לגרום לביטוי דרמטי של מחלה.



EPFL/Blue Brain Project

מודל מחשב של תא עצב מקליפת המוח של יונק

איננו מבינים כיום באופן שלם ולו מחלה עצבית אחת. איננו מבינים מהם המרכיבים המשתבשים במחלות העצביות, ואיננו מבינים כיצד מרכיבים אלה גורמים בפעולתם הקולקטיבית לביטוי המחלות האלה

פרויקט המוח האנושי יהיה המחקר המרוכז הגדול ביותר שנערך אי־פעם בתחום זה. הוא משול בחשיבותו המחקרית לפרויקט הגנום האנושי

איננו מבינים כיום באופן שלם ולו מחלה עצבית אחת. איננו מבינים מהם המרכיבים המשתבשים במחלות העצביות, ואיננו מבינים כיצד מרכיבים אלה גורמים בפעולתם הקולקטיבית לביטוי המחלות האלה. כדי להתגבר על האתגר האדיר הזה, בכוונתנו ליצור מודלים ממוחשבים של מחלה מוחית, על כל תסמיניה. הרשת העצבית הממוחשבת תדמה לפעילות העצבית של הרשת העצבית הלקויה. הבנייה והייצוג המתמטי המפורט של הרשת העצבית המעורבת והאחראית למחלה במחשב, יאפשרו לנו להבין את פניה ומרכיביה הרבים של המחלה. מכיוון שבמחשב אנחנו שולטים על מרכיבי הרשת שבנינו, נוכל לבחון כיצד ניתן ״לתקן״ את המחלה במודל הממוחשב, ובאמצעות כך לפתח גישות ותרופות חדשות לטיפול במוח האנושי החולה. הסימביוזה החדשה הזאת בין המחשב המדמה את המוח הבריא והחולה לבין המוח עצמו, אם תצליח, תביא לפריצת דרך, כך אנחנו מקווים, בטיפול במחלות והפרעות שמקורן במוח, ואולי אף לשכלול יכולותיו.

מטרת פרויקט המוח האנושי היא, בראש ובראשונה, להבין את המנגנונים שבבסיס מחלות עצביות, אך בדרך זו נוכל לשפוך אור גם על מנגנוני המוח הבריא. חלק מהמדענים המשתתפים בפרויקט מצפים, מעבר לחקר הפעילות העצבית החריגה, להגיע לתובנות שנוגעות דווקא להיבטים ״נורמליים״ של הפעילות המוחית. כך, למשל, החוקר סטניסלס דהן, העומד בראש צוות הקוגניציה של פרויקט המוח האנושי, מתעניין בקשר שבין שפה למוח. לטענתו, אם נוכל ליצור מודל ממוחשב המאפשר לזהות את ייחודה של הרשת העצבית הרלוונטית לשפה בקרב בני אדם, בהשוואה לאותו אזור במוחם של קופים, נוכל אולי להבין מה מאפשר להומו סאפיינס ליצור ייצוגים סמליים, כמו שפה. הבנה שכזו תוביל אותנו מרמת תא העצב דרך הרשת העצבית עד לתוצר המדהים המייחד אותנו, השפה האנושית.

עם זאת, פרויקט המוח האנושי אינו צפוי לספק לנו הבנה שתייתר את הפסיכולוגים, הסוציולוגים והפילוסופים. ייתכן ש״הבעיה הפסיכופיזית״ היא בעצמה עוד המצאה של מוחנו המורכב, אך ייתכן גם שלעד ניוותר עם פער בלתי מוסבר בין התיאור המכניסטי של המוח לבין תחושותינו הסובייקטיביות. בכל מקרה, גם כאשר נבין את הבסיס העצבי של כל פעולות המוח, נמשיך לכתוב שירה, ליהנות מתיאטרון ולאהוב.

מאגר ידע משותף למוח

פרויקט המוח האנושי צפוי להתמודד עם אחת הבעיות הקשות של חקר המוח, והיא העובדה המצערת שהנתונים האנטומיים, החשמליים, הכימיים והגנטיים שנאספו במחקרים של המעבדות השונות בעולם, אינם שמורים ברובם באופן מסודר, ואלה השמורים, אינם זמינים לחוקרים בעולם כולו. חוקרי מוח לא השכילו לבנות לאורך השנים מסגרת מאורגנת לאיסוף נתונים על המוח, מרמת הגֶן לרמת התא, הרשת ואזור המוח השלם, ועד לרמת התנהגות החיה והמחלות המוחיות.

משימת הארגון הזאת היא משימה דרמטית, הכרחית וקשה, והיא מהווה נדבך עיקרי בפרויקט המוח האנושי.

כאמור, כבר במסגרת פרויקט המוח הכחול התחלנו לארגן נתונים ברמת העמודה הקורטיקלית, אך מסד הנתונים שיצרנו היה רק הצעד הראשון בדרך ליצירת פלטפורמת העבודה המשותפת שמרקרם דמיין לפני שנים רבות. במרכז פרויקט המוח האנושי יעמוד מסד נתונים שיהווה הרחבה דרמטית של מסד הנתונים הראשוני מבית היוצר של פרויקט המוח הכחול. הוא לא יוגבל לקליפת המוח, אלא יכלול את כל הנתונים והמידע המתקבלים מהאיבר החושב, ויחבר חוקרים ורופאים מרחבי העולם. האתגר שלנו כעת הוא לעודד מדענים לשתף פעולה ולהפוך את מסד הנתונים לאושיה מרכזית בעולם חקר המוח כולו. זאת תהיה הספרייה המרכזית של חוקרי ורופאי המוח, וכולם יתרמו ויקבלו ממנה תרומות בעת ובעונה אחת.

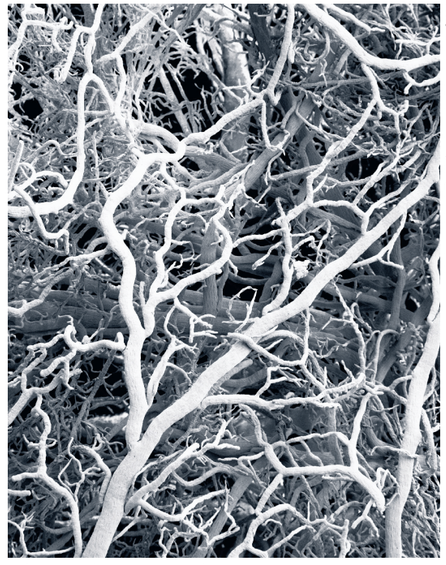
מסד הנתונים הגדול יאפשר לחוקרים להפנות שאלות מדעיות שישפכו אור על עבודתם. כך, למשל, אם חוקרת או חוקר יהיו מעוניינים לברר, האם מספר תאי העצב ברקמה החולה שעליה הם עובדים קטן ממספר תאי העצב ברקמה בריאה, או אם יש בה יותר או פחות קשרים בין־תאיים, מסוג זה או אחר, בהשוואה לרקמה בריאה ממוצעת, הם יוכלו לבדוק זאת באמצעות הפניית שאלה למסד הנתונים, כפי שאנו מחפשים מידע בגוגל.

במסגרת המאמץ להקמת מסד הנתונים יוקם גם מסד נתונים נוסף שחשיבותו רבה, והוא ייוחד למחלות נוירולוגיות ונוירו־פסיכיאטריות.

כיום, אין לבתי־החולים מרכז מסודר האוגר נתונים על המחלה, על האבחון שלה, על התרופות שקיבל החולה, על תוצאות הטיפול. במידה רבה, הידע הזה טמון עדיין במוחם של הרופאים ושמור להם בלבד. לכן בכוונת הפרויקט לארגן את כל הידע הרפואי העצום הזה במחשב, כדי שיהיה נגיש לכלל הרופאים. מסד נתונים כזה יאפשר להם לקבל ולחלוק מידע, לשאול שאלות ולקבל תשובות המבוססות על ניסיונם המצטבר של אלפי רופאים ברחבי העולם.

זוהי, כמובן, משימה תובענית המעלה שאלות רבות. מהו הפורמט הנכון ל"שמירת" המחלות – מהרמה הגנטית העומדת בבסיס המחלה, לרמה התאית והרשתית, ועד לרמת הביטוי ההתנהגותי של המחלה? ואיך בונים מסד נתונים חכם שיאפשר לרופא לקבל "תשובה חכמה", כגון איזה טיפול הוכיח את עצמו בצורה הטובה ביותר מבחינה סטטיסטית?

בעולם הדיגיטלי – עולם "ענן האינפורמטיקה" שבו אנו מצויים, עולם המוצץ בנתונים – המשימה "לשמור" מחלות באופן דיגיטלי היא אפשרית ואף הכרחית, אם ברצוננו לספק קפיצות מדרגה בטיפול רפואי מבוסס־מחשבים. ביסוס מסד נתונים חובק עולם על בסיס פרויקט המוח האנושי יאפשר לנו להתקדם לקראת רפואה מותאמת אישית.



צילום: Universidad Politécnica de Madrid

כלי דם במוח חולדה שצולמו
במיקרוסקופ אלקטרונים סורק

> מכיוון שבמחשב אנחנו שולטים על מרכיבי הרשת העצבית שבנינו, נוכל לבחון כיצד ניתן "לתקן" את המחלה במודל הממוחשב, וכך נוכל לפתח גישות ותרופות חדשות לטיפול במוח האנושי החולה

> בפרויקט המוח האנושי ניצור מסד נתונים גדול, ובו כל המידע ממחקרי המוח. מסד הנתונים יחבר חוקרים ורופאים מרחבי העולם ויאפשר להם להפנות שאלות מדעיות שישפכו אור על עבודתם

מחשבים בהשראת המוח

המוח שלנו הוא מכונת חישוב משוכללת, הלומדת ומשתנה בעקבות התנסותנו בעולם. מחשב־העל האנושי, בעל מאה מיליארד ה"מעבדים", הלוא הם תאי העצב, צורך כ־20 ואט בלבד, הספק דומה לזה של נורה חלשה. מכאן, שיכולות עיבוד המידע והתקשורת של המוח עולות ביעילותן על כל הפיתוחים הטכנולוגיים של האדם עד כה. במסגרת מיזם המוח האנושי תלמד קבוצת חוקרים גדולה, שמרוכזת ברובה בגרמניה, כיצד לבנות דור חדש של מחשבים ממוזערים ויעילים מבחינה אנרגטית, הלומדים בעקבות פעולתם – כל זאת בהשראת המוח. כיוון שהמוח הינו ההוכחה בה"א הידיעה לכך שמערכת פיזיקלית יכולה לממש מיליארדי חישובים בשנייה, לעשות זאת ביעילות רבה ולהתנהג היטב בעולם משתנה, שואפים חברי הפרויקט ללמוד מהמוח את ה"פטנטים" שלו, על מנת לייצר טכנולוגיית חישוב מקבילה, חסכונית ולומדת.

למעשה, זהו המחשב שיאפשר לנו לערוך סימולציה מלאה של המוח שלנו; אם ניכשל בזאת – ניכשל ביכולת לבנות מודל ממוחשב שלם של מוח האדם. אך גם אם ניכשל, כבר כיום ביכולתנו למדל חלקי מוח גדולים, וכבר כיום ביכולתנו להבין מחלות מוחיות בדרך חדשה.

הקבוצה הגרמנית תפתח מרכיבי חומרה, שיהוו רפליקות פיזיות של מרכיבים בסיסיים במוח, כמו תאי העצב והחיבורים ביניהם. החומרה הזאת תהיה גמישה כתאי עצב אורגניים במוח, ולכן תשמור על תכונת הפלסטיות המאפיינת את מוחנו, וביום מן הימים תשמש לבניית מחשב רובוט לומד ומתנהג, על בסיס פעילות המוח האנושי.

דעת הביקורת

פרויקט בסדר גודל כזה, על אלפי מדעניו, מעורר בהכרח ויכוחים ומחלוקות בקרב הקהילה המדעית. גם פרויקט הגנום האנושי עורר בזמנו – ואפילו בימים אלה – מהומות ומהלומות, וכך גם מאיץ החלקיקים הגדול בשווייץ.

כלפי פרויקט המוח האנושי עלו, ועדיין עולות, תהיות מסוגים שונים, החל בטענה שזהו בזבוז כסף, דרך חוסר אמון ביכולת הפרויקט להגשים את מטרותיו, וכלה בטענות עמוקות יותר באשר לעצם כיוונו המדעי של הפרויקט.

בכל הנוגע לכסף, על עניין אחד, לפחות, נהיה פטורים מוויכוח, והוא אופן חלוקת המענק, שכן הנציבות האירופית היא הגוף האחראי על חלוקה מבוקרת של התקציבים ופתיחת הפרויקט להשתתפות של קבוצות מחקר חיצוניות באמצעות מכרזים. כמו בכל הגשת תקציב למחקר, ההחלטה מתקבלת על־ידי צוות שופטים בינלאומי שאיננו חלק מהפרויקט.

אבל יש המבקרים את עצם קיומם של מגה־פרויקטים שכאלה. בבסיס הטענה שלהם עומדת ההנחה, שריכוז מוחות רבים וטובים סביב מטרה אחת מצמצם את חופש המחשבה של המדען החוקר ומאלץ אותו לחשוב כמו אחרים. ולא רק זאת, טוענים השוללים, ריכוז משאבים בפרויקט אחד גדול בא על חשבון עידוד מגוון של גישות מחקריות אלטרנטיביות, שדווקא אחת מהן עשויה להוביל לפריצת דרך. על־פי טענה זאת, ההישגים המדעיים הגדולים יבואו, כמו במקרים רבים בעבר, מהאיינשטיין הבודד היושב בחדרו, במעבדתו. רק שם, אומרים המבקרים, המדען חופשי להתפרע מחשבתית.

כתשובה אזכיר, שלא ניתן היה להנחית אדם על הירח או לזהות את חלקיק ההיגס בלי עבודת צוות מאומצת של אלפי חוקרים במסגרת פרויקט ממוקד אחד. עוד ניתן לטעון, שפרויקט המוח האנושי מרכז מדענים מדיסציפלינות מחקר שונות שבעבר לא נפגשו. כחוקר מוח, המפגשים שלי עם אנשי חומרה ותוכנה מתוחכמת, אנשי אתיקה ופילוסופיה, אנשי קוגניציה מהמובילים בעולם, רופאים ומפתחי גישות חישוב חדשות הם בגדר אתגר אינטלקטואלי וביטוי להרחבת גבולות האפשרי. מפגשים מעין אלה משרים תחושה ברורה שהעתיד כבר כאן, ושאנחנו מייצרים אותו במו־מוחנו.

מבקרים אחרים טוענים כי בניית מודל מחשב מפורט המחקה את המוח, אינה הדרך הנכונה להבנתו. לפי טענה זו, הדרך הנכונה היא לפתח, קודם־כול, גישות תיאורטיות מתמטיות כלליות להבנת תהליכים מורכבים, ממש כפי שהפיזיקה עשתה (ובהצלחה) כשטיפלה בתופעות טבע כמו חשמל וגלים או התנהגות חלקיקי יסוד. במילים אחרות, הטענה כאן היא שהתשובה לשאלה כיצד המוח עובד תבוא בעקבות תובנות תיאורטיות – דהיינו, מלמעלה למטה, מהתיאוריה לנתונים התצפיתיים, ולא מלמטה למעלה, מהפרטים להבנה הכוללת. פרויקט המוח האנושי הוא דוגמה מובהקת לגישה המתחילה מלמטה למעלה, שכן זהו פרויקט של הנדוס־לאחור של המוח האנושי. על רקע מחלוקת זו פרשו תיאורטיקנים רבים מהפרויקט.

המבקרים אינם יוצאים נגד עצם חשיבות איסוף הנתונים על המוח בניסויים השונים. המחלוקת היא על הצורך באיחוד הנתונים הללו בסימולציית מחשב מפורטת. באשר למסד הנתונים הגדול, יש הטוענים כי לא ניתן להפריד את הנתונים המחקריים מההקשרים שבהם הם נוצרו, כלומר, הטכנולוגיות שייצרו אותם ושאר התנאים שבהם הם הופקו.

אני מסכים שללא גישות תיאורטיות רחבות־מבט לעולם לא נוכל לומר שהבנו את המוח. כך, למשל, לא נבין איך הרשתית בעין עובדת, אם לא נדע תחילה מהי הפונקציה החישובית של הרשתית, ואם לא נפתח מודל מתמטי מופשט המסביר באופן עקרוני כיצד עשויה רשת של

תאי עצב ברשתית לממש חישוב שכזה. מצד שני, אולי אם "נפרק" את הרשתית למרכיביה ונבנה אותה מחדש במחשב, פרט אחר פרט, חיבור אחר חיבור, עצם התהליך הזה יוביל אותנו לרעיון חדש באשר לדרך שבה הרשתית מחשבת כיוון תנועה? אולי השילוב הזה בין הגישות – מלמעלה למטה ומלמטה למעלה – הוא המספר הזוכה?

חשוב להוסיף שבפרויקט המוח האנושי פועלת קבוצת תיאורטיקנים – מתמטיקאים ופיזיקאים – החושבת מ"גבוה" על ההיבטים העקרוניים שעשויים להסביר היווצרות דינמיקה עצבית של מחלות, של תהליכי למידה וזיכרון, של שפה ושל תפיסה. אלה הם אנשי הקשר המרכזיים בין התא לתופעה.

חשיפה לציבור

הנגיעה המדעית במוח בכלל, ופרויקט המוח האנושי בפרט, מעוררים רתיעה וחשש בקרב הציבור. האם נוכל לקרוא מחשבות ולעשות מניפולציות על המוח? האם נוכל לשמור זיכרונות כמו על דיסק־און־קי, או לשתול זיכרונות כמו בסרטי מדע בדיוני? ומה יקרה אם הרובוט הממוחשב שנבנה ביום מן הימים, יתחיל להרגיש ולפתח רצון עצמאי? אלו הן שאלות שעל חלקן ניתן לענות כבר היום, ועל אחרות מוטל עלינו, כחברה, לחשוב.

הצורך לשתף את החברה בכללותה, לספר לה את סיפור המוח האנושי בצורה נגישה ואמינה, מהווה מרכיב בסיסי בפרויקט המוח האנושי. אחת הדרכים להנגיש את המוח לציבור היא באמצעות המוזיאונים למדע. בכוונתנו להקים במוזיאונים ברחבי אירופה את "פינת המוח האנושי", שבה הקהל יוכל להיחשף לתוצאות הפרויקט. בראש המאמץ הזה עומדת האדריכלית הישראלית מאיה הלוי, מנהלת המוזיאון למדע בירושלים.

החומרים להצגת הפרויקט ולהסברתו יוכנו במרכז בלוזאן, משם הם יישלחו דיגיטלית לכל המוזיאונים באירופה, ולאחר מכן למקומות אחרים בעולם. כל מוזיאון יבחר את הדרך והשפה המתאימות לו, על מנת להציג את הממצאים ולאפשר דיון ומחשבה עליהם. שאלות המבקרים במוזיאונים יועברו למרכז הפרויקט ולמרכזי מחקר אחרים, שם יגיב עליהן צוות מומחים. כך תיווצר תקשורת דו־כיוונית בונה בין קהל המתעניינים לבין החוקרים את המוח האנושי.

זאת, כמובן, רק דרך אחת מבין רבות לספר את הסיפור המדעי של הפרויקט ולהתלבט במשותף לגבי השלכות המחקר על החברה. אחרי הכול, מטרת הפרויקט היא להבין את מוחנו ולשכלל את הטיפול בו – לטובת ציבור הצרכנים, כלומר, כולנו. לציבור הזה שמורה המילה האחרונה באשר לכיוון אליו פנינו מועדות במאה ה־21, המאה של המוח.

אנו ניצבים בתחילתו של פרויקט גדול ודרמטי שייפרש לאורך העשור הקרוב – תוצר של מוחות קודחים רבים החוש־בים שניתן להבין את המוח, להרחיב את גבולותיו ולרפא את מחלותיו באמצעות הגישה המדעית הרב־תחומית המוצעת. אירופה החליטה להמר הן על הבטוח, כשבחרה את פרויקט הגרפן שכבר החל להוכיח את הפוטנציאל הגלום בו, והן על פרויקט המעורר חששות בצד הבטחות גדולות, כשבחרה בפרויקט המוח האנו־שי.

זהו ניסיון חדש ואמיץ של האדם להבין את עצמו (קרי, מוחו) בעזרת טכנולוגיות ושיטות תיאורטיות, ובמקביל לפתח טכנולוגיות חדשות בהשראת אותו המוח עצמו. מה מדהים יותר מאשר מערכת פיזיקלית כמו המוח שלנו, שמפתחת מדע, אמנות, פילוסופיה, חווה קשת רחבה של רגשות ומשנה את העולם אל מול עינינו בקצב מואץ? גם הפרויקט הזה ישנה את העתיד. אירופה החליטה לחגוג את המוח, ואנחנו איתה. x

| בריחת מוחות |

חוקר מרקרם

לפני כעשור שנים, לאחר שלפרופ' הנרי מרקרם, אבי פרויקט המוח האנושי, התברר כי בישראל לא יוכל לממש את חזונו, הוא עבר למכון הטכנולוגי של לוזאן שבשווייץ, שם הובטח לו מימון להקמת מרכז לחקר המוח ומחשב־על, שיאפשר בניית מודל מתמטי של פעולת רשתות עצבים גדולות.

זוהי עוד דוגמה לבריחת מוחות מהסוג שאנחנו מרבים לשמוע עליו בשנים האחרונות. אילו השכילה ישראל להפנות משאבים למחקר ופיתוח באקדמיה, סביר להניח שמרקרם היה נשאר איתנו. הוא קשור מאוד למחקר הישראלי ורצה לחיות כאן, אבל מימוש חזונו חייב הקמת קבוצה של עשרות חוקרים והשקעה בטכנולוגיות בשווי עשרות מיליוני דולרים, ואילו ישראל אינה ערוכה ואינה יודעת להתמודד עם פרויקט בסדר גודל כזה. המדע בישראל אינו מוכן, גם מבחינה פסיכולוגית, לקחת סיכונים בהיקף שכזה, ומעדיף להשקיע באתגרים קטנים וממוקדים. למרבה הצער, הדבר אינו עולה בקנה אחד עם המגמה הכלל־עולמית. המחקר בעולם פונה לכיוונים חדשים, ועלינו להפנים זאת ולעלות על עגלת הקדמה.