

איך המוח יודע איפה אנחנו?

Dori Derdikman*

הפקולטה לרפואה ע"ש רפפורט בטכניון, חיפה, ישראל

סוקרות צעירות



במוח שלנו, וגם במוח של יונקים אחרים כמו קופים ועכברים, קיים אזור בשם ה"היפוקמפוס", שמאפשר לנו למצוא את דרכנו ולא ללכת לאיבוד. לפעמים קורה שאנחנו רוצים לנסוע למקום אחד ומגיעים למקום אחר. איך זה קורה? מהו אותו "מקום"? האם יש לנו חוש "מקום" כשם שיש לנו חוש ראייה, שמיעה, או ריח? נדבר על "תאי מקום" ועל סוגים נוספים של תאי מוח שאנחנו חוקרים במעבדה, שמרכיבים מפה פנימית המתפקדת כ"וויד" טבעי הנמצא במוח של כל אחד מאיתנו ועוזר לנו להגיע ממקום למקום.

המוח רב עם עצמו

שבוע שעבר נכנסתי עם רותי אשתי לאוטו והבטחתי לה טרמפ לעבודה (איור 1). אחרי שנכנסנו לאוטו התחלתי לנסוע ושוחחנו בדרך. העבודה של רותי בחיפה, בהדר, והעבודה שלי ליד הים בבת גלים. אנחנו גרים על הכרמל, כך שהתחלתי לנסוע במורד ההר, בכביש הרגיל. אחרי כמה דקות הבחנו שמבלי משים, האוטו "לקח" אותנו בטעות לעבודה שלי, במקום לעבודה של רותי. כמובן שמיד תיקנו את הטעות, אבל הסיבוב עלה בכחצי שעה נסיעה נוספת בפקקים. מה קרה שם בדיוק? איך קרה שרציתי להגיע למקום אחד (העבודה של רותי) והגעתי למקום אחר (העבודה שלי), בלי לשים לב?

איור 1

איור – שירה דרדיקמן



איור 1

מסתבר שבמוח שלנו יש חלקים שונים שאחראים על השאלה "לאן ללכת?" ולפעמים קורה, שהאזורים הללו נותנים תשובות שונות לשאלה. בעוד שאזור מוח אחד אומר לי, כשאני נכנס לאוטו, "סע כרגיל, כבכול בוקר, להיכן שאתה תמיד נוסע", איזור אחר אומר "רגע רגע רגע, היום צריך לחרוג מההרגל, ולנווט למקום חדש". הבעיה היא, שלפעמים אותו אזור במוח שאחראי על ההרגל משתלט עלינו, וגורם לנו לנסוע למקום שלא התכוונו כלל לנסוע אליו מלכתחילה.

חתן פרס נובל בכלכלה, הישראלי פרופ' דניאל כהנמן, טען שקיימות במוח שתי מערכות, בשם *מערכת 1 ומערכת 2*. מערכת 1 עובדת מהר ובאופן אוטומטי, בעוד שמערכת 2 עובדת לאט יותר, ודורשת ריכוז כדי לפעול, אבל מאפשרת לנו לבצע משימות מורכבות יותר. מערכת 2 יותר קשורה לפעולה המודעת שלנו, בעוד שאנחנו פחות שמים לב למה שמערכת 1 עושה, כי היא נוטה להמשיך לפעול גם כשאנחנו לא שמים לב אליה. במקרה שתיארתי למעלה, הייתי צריך להסיע את רותי, מה שגרם לי לחרוג מההרגל שלי. כדי להגיע ליעד הנכון, הייתי צריך לגרום למערכת 2 להתעסק בניווט - אבל מערכת 2 היתה עסוקה בלדבר עם רותי, ולכן מערכת 1 השתלטה על הניווט, וכך מצאנו את עצמנו בדרך לעבודה שלי במקום לעבודה של רותי, מתוך הרגל.

המפה הפנימית בתוך המוח שלנו

במעבדה שלי אני חוקר את הניווט במערכת 2. זוהי מערכת גמישה, שמאפשרת לנו להסתדר במקומות שלא היינו בהם קודם. דמיינו שיש לנו מפה קטנה שמאוחסנת בתוך המוח שלנו. מה זו המפה הזאת? מה היא מאפשרת לנו? מסתבר, שבמוח האנושי יש חלק שקוראים לו *היפוקמפוס* (איור 2), שאנחנו מאמינים שהוא חלק ממערכת 2, ובו נמצאים אותם חלקים של המוח שאחראים על הניווט שלנו במקומות שאנחנו מכירים פחות. אותו **היפוקמפוס** קיים גם באנשים, גם בקופים וגם בעכברים. כולם צריכים להגיע ממקום למקום, ולכן זה לא מפתיע שיש אזור במוח שאחראי על זה. העובדה שההיפוקמפוס קיים גם אצל יונקים אחרים, כמו עכברים, תומכת בכך שלאב הקדמון שלנו, של העכברים ושל שאר היונקים, שחי לפני מיליוני שנים, גם היה היפוקמפוס.

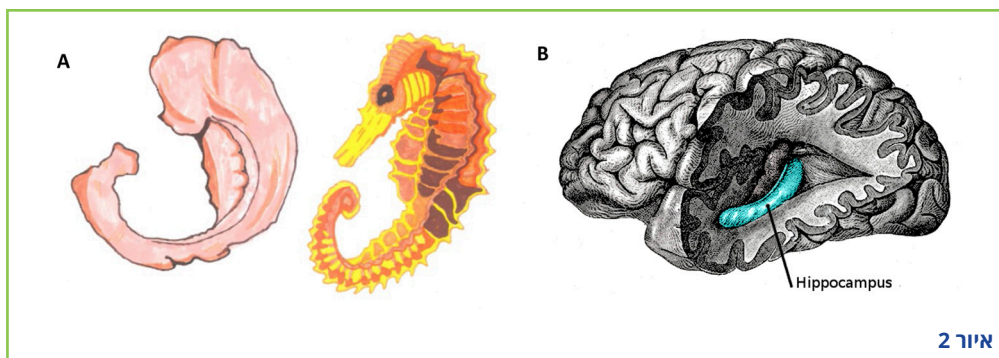
במעבדה שלי בטכניון אני חוקר את ההיפוקמפוס של עכברים. אצל עכברים, כמו אצל האדם, ההיפוקמפוס יש תפקיד בחישובים האחראים לניווט. עכברים אמנם לא צריכים, כמוני, לנווט

היפוקמפוס (HIPPOCAMPUS)

אזור של המוח שמכיל תאי מוח שקשורים לזיכרון ולזיהוי של מקומות.

איור 2

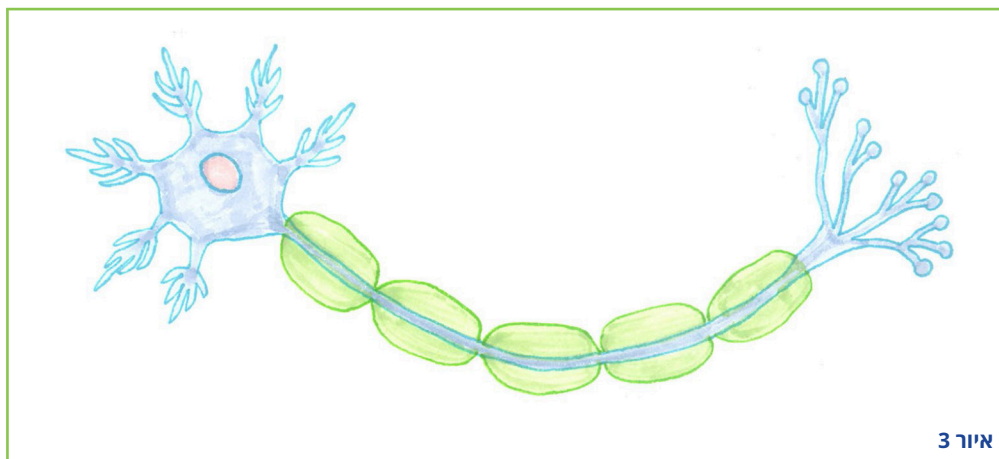
(A) היפוקמפוס פירושו "סוס ים" ביוונית, כי האזור הזה במוח דומה בצורתו לסוס ים (איור: שירה דרדיקמן) (B) מיקום ההיפוקמפוס במוח (מקור: ויקיפדיה)



איור 2

איור 3

תא מוח. תא מוח אחד יכול להיות מאוד צר, ברוחב של מאית המילימטר, אבל ארוך, כדי להעביר מידע ממקום למקום במוח באמצעות זרמים חשמליים (איור: שירה דרדיקמן)



איור 3

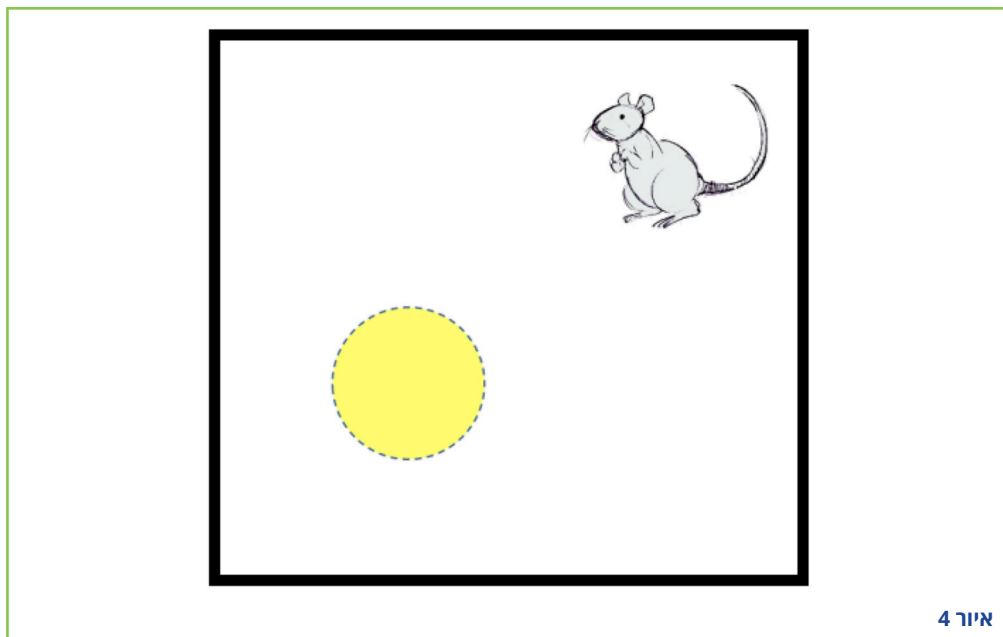
מהבית לעבודה. הם כן צריכים לדעת לנווט מהמאורה שלהם אל המטבח שלנו, כדי למצוא את פירורי הגבינה על הרצפה, ואחר כך לחזור בשלום אל המאורה שלהם (בלי להיתקל בחתול בדרך). ההיפוקמפוס מכיל מאות מיליוני תאי מוח (או תאי עצב), שהם תאים האחראים להעברת מסרים ממקום אחד במוח למקום אחר במוח באמצעות זרמים חשמליים. לכן הם מאורכים מאוד, ונראים קצת כמו כבלי תקשורת זעירים (איור 3). במעבדה אנחנו מקליטים פעילות חשמלית מתאי המוח האלה.

תאי מקום ותאים אחרים

פריצת דרך גדולה בחקר ההיפוקמפוס קרתה לפני כמעט 50 שנה, בשנת 1971 כשפרופסור ג'ון אוקיף מלונדון, גילה יחד עם סטודנט ישראלי שלו (ד"ר יונתן דוסטובסקי) תאי מוח מאוד מיוחדים בהיפוקמפוס של חולדה. ג'ון אוקיף גילה שאותם תאים, הנמצאים בהיפוקמפוס של החולדה, מגיבים (כלומר שולחים אות חשמלי לתאים אחרים) כאשר החולדה נמצאת במקום מסוים. לעומת זאת, כשהחולדה נמצאת במקום אחר, התאים הללו שקטים, ואינם פעילים חשמלית. כלומר, כאשר הם הקליטו את הפעילות של אותם תאים בהיפוקמפוס, הם יכלו, על סמך הפעילות החשמלית באותם תאים, לדעת איפה החולדה נמצאת באותו רגע (איור 4). ג'ון אוקיף הציע שהתאים הללו מהווים מעין מפה פנימית בתוך המוח של החולדה (או האדם, או הקוף) שעוזרים לה להתמצא ולמצוא את דרכה. מפה זו הינה מעין "ווז" פנימי הקיים אצל כל היונקים, ושעוזר להם למצוא את דרכם.

איור 4

תא מקום הוא תא מוח בהיפוקמפוס ש"מתעורר" ומתחיל לשלוח זרמים חשמליים כל פעם שהחיה עוברת דרך מקום מסוים בקופסה. למשל במקרה זה התא "מתעורר" כשהחולדה עוברת דרך האיזור המסומן ע"י העיגול הצהוב. תא מקום אחר "יתעורר" במקום אחר בקופסה. תאים כאלה נפוצים בהיפוקמפוס.



תא מקום (PLACE CELL)

תא מוח בהיפוקמפוס שנעשה פעיל כשהחיה עוברת דרך מקום מסוים.

בהתחלה מדענים היו מאוד ספקניים לגבי הממצא של אוקיף כיוון שהרעיון של **תא מקום** נשמע מאוד מוזר. איך יכול להיות שיש תאי מוח שמתחילים לפעול כשאנחנו נמצאים במקום מסוים? עד הגילוי של אוקיף, האמינו שתאי המוח בבעלי חיים עסוקים בעיקר בשני דברים: בחישה ובתנועה. חישה – הכוונה לחמשת החושים (ראייה, שמיעה, מישוש, ריח וטעם). כלומר ידעו שיש תאי מוח שמגיבים למה שאנחנו רואים, או שומעים, או ממששים, או טועמים. תנועה – הכוונה לתאי מוח שמפעילים את השרירים שלנו וגורמים לנו לזוז. ידעו שיש תאי מוח ששולחים אותות חשמליים לשרירים שלנו, ומפקחים על התנועה שלנו. אבל "מקום" זה משהו הרבה פחות מוגדר. מה הכוונה שהתאים מגיבים ל"מקום" מסוים? איך ניתן להגדיר מקום? זו איננה שאלה פשוטה כלל וכלל. למרות זאת, כמעט 50 שנה מאוחר יותר, כבר נעשו כל כך הרבה ניסויים שתמכו בממצא הזה, שקשה לערער עליו. בשנת 2014, ג'ון אוקיף קיבל את ההכרה לה היה ראוי על הגילוי החשוב, כשזכה בפרס נובל לרפואה על גילוי תאי המקום.

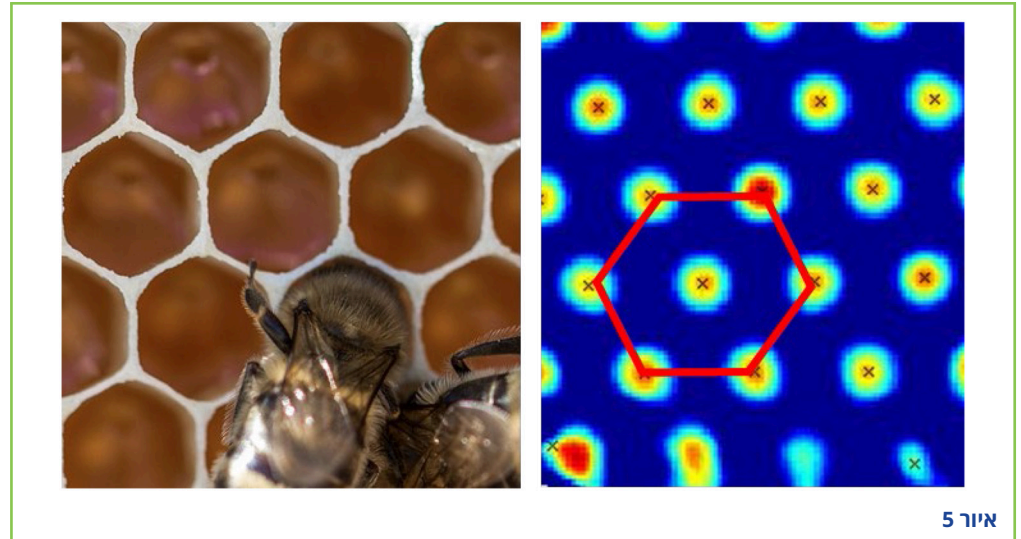
מאז הגילוי של תאי המקום בשנות ה-70 של המאה הקודמת, התגלו סוגים רבים נוספים של תאים, הקשורים למערכת הניווט בתוך המוח שלנו. סוג מרכזי נוסף של תאים כאלה, הנקרא **תאי גריד** (או תאי שריג) התגלה בשנת 2005 במעבדה בנורבגיה, ע"י זוג המדענים פרופ' אדוורד ומיי-בריט מוזר (Moser) (יחד עם הסטודנטים שלהם). גם הגילוי שלהם זיכה אותם בפרס נובל. הם גילו שליד ההיפוקמפוס יש תאי מוח המייצרים שריג בצורת משושים. זה קצת כאילו המוח ממפה את העולם באמצעות נייר משבצות, אלא שבמקום המשבצות, יש משושים. המשושים הללו מאוד מזכירים מקומות אחרים בטבע שיש בהם משושים, כמו בכורת של דבורים, או בבריכת המשושים ברמת הגולן (איור 5). הגילוי הזה כל כך ריגש אותי שנסעתי בשנת 2006 למעבדה שלהם בנורבגיה, ועבדתי איתם כמה שנים בחקר תאי גריד, שזה עתה התגלו.

תא גריד (GRID CELL)

תא מוח באזור ליד ההיפוקמפוס שנעשה פעיל כל פעם שהחיה עוברת דרך מקומות שיוצרים יחד תבנית של משושים.

איור 5

פעילות של תא גריד מזכירה צורה של כוורת. מימין: בתוך קופסא מרובעת, תא גריד מתחיל לפעול ולשלוח זרמים חשמליים כל פעם שהחיה עוברת דרך אחד מהמקומות המסומנים ב-x. המקומות הפעילים בתוך הקופסה מסודרים בצורת של משושים כמו תאים של כוורת דבורים (משמאל; Image by David; Hablützel from Pixabay). הסימון באדום מימין מראה דוגמא למושג אחד.



איור 5

מבט לעתיד

מה צופן העתיד? עכשיו, כשהתגלו סוגים שונים של תאים המרכיבים יחד את המפה הפנימית בתוך המוח, אחת המטרות המרכזיות של המחקר במעבדה שלי ובמעבדות אחרות היא לגלות איך התאים הללו פועלים, ואיך הם מצליחים לזהות מהו "מקום". במעבדה שלי אנחנו מגלים איך מקומות מסוימים יותר חשובים מאחרים, ואיך המוח מחליט מה חשוב ומה לא. כמו כן אנחנו חוקרים את המסלול במוח שמוביל את המידע מהחושים (כמו ראייה ומישוש) אל המפה הפנימית. מחקר המוח התקדם מאוד מבחינה טכנולוגית ב-50 השנים האחרונות. בעוד שאוקייף היה מסוגל להקליט פעילות חשמלית מתאי מוח בודדים בלבד, היום ניתן להקליט מאות וגם אלפי תאי מוח בו-זמנית. זה מוביל אותנו לעידן חדש של עודף בנתונים (Big Data) שבו אנו יכולים להקליט מיליוני אותות מהמוח, כשהחוכמה הגדולה היא לפענח את כל האותות הללו ולהצליח לענות על השאלה היסודית, שאיתה התחלנו - איך המוח יודע איפה אנחנו נמצאים?

תודות

תודה לשירה דרדיקמן על האיוורים. תודה לאיתמר דרדיקמן, לרותי דרדיקמן-עירון ולסוקרות הצעירות, שקראו את הטקסט, ערכו אותו, והעירו עליו הערות.

פורסם אונליין: 09 ביולי 2020

נערך על ידי: Idan Segev, Hebrew University of Jerusalem, Israel

ציטוט: Derdikman D (2020) איך המוח יודע איפה אנחנו? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.00059-he

תורגם והותאם:

Derdikman D (2020) How Does the Brain Know Where We Are? Front. Young Minds 8:59. doi: 10.3389/frym.2020.00059

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

COPYRIGHT © 2020 © 2020 Derdikman. 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 למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרות צעירות

AYALA, גיל: 8

אני אוהבת לרקוד בסגנונות שונים – בלט, היפ הופ, מודרני וג'אז. אני נהנית ליצור, לקרוא, לכתוב ואפילו לפתור בעיות מתמטיות. יש לי חתולים, אני אוהבת את כל החיות, כולל נמלים. אני אוהבת לנגן בפסנתר ומאוד חשוב לי לבלות עם החברים שלי.



REUT, גיל: 8

תחומי העניין של רעות כוללים ספורט ומדע. היא מתאמנת בקראטה בשנתיים האחרונות ומתלהבת מריקודי היפ הופ.



הכותב

DORI DERDIKMAN

פרופ' דורי דרדיקמן הוא חוקר מוח בפקולטה לרפואה ע"ש רפפורט בטכניון. המעבדה שלו חוקרת התנהגות למידה וזיכרון במוח, בעיקר בהקשר של זיכרון מרחבי של מקומות. במעבדה היום יש שבעה סטודנטים לתארים מתקדמים (מאסטר ודוקטורט) שחוקרים זוויות שונות של הנושא. *derdik@technion.ac.il



Hebrew version
provided by

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

