

## כיצד אנחנו מוצאים את דרכנו? תאי גריד במוח

May-Britt Moser\*

המרכז לבילולוגיה של זיכרון, מרכז מחקר רפואי-טכני, האוניברסיטה הנורווגית למדע ולטכנולוגיה, טרונדהיים, נורווגיה

### סוקרים צעירים

ORT DAFNA  
HIGH SCHOOL  
ISRAEL  
גיל: 14-15



ניווט בסביבה – הגעה ממקום אחד לאחר – הוא אחד הכישורים הבסיסיים והחיוניים ביותר בממלכת החי, לרבות עבור בני האדם. כדי לנווט בהצלחה, החיה צריכה ליצור 'מפה קוגניטיבית' פנימית של הסביבה החיצונית. היכולת הזו נתמכת על ידי מערכת ייעודית במוח, שכוללת כמה אזורים במוח ומגוון סוגי תאים, שלכל אחד מהם תפקיד ייחודי בניווט. במאמר זה, אתאר חלק מהרכיבים העיקריים של מערכת הניווט הפנימית, תוך התמקדות בתאי גריד (Grid cells) – קבוצה מדהימה ומפתיעה של תאי עָצָב שגילינו, אשר יוצרת מערכת קואורדינטות במוח. אסיים עם כמה המלצות כלליות עבורכם הקוראים הצעירים, שמבוססות על ניסיון החיים שלי.

פרופסור מיי-בריט מוזר זכתה בפרס נובל בפיזיולוגיה או רפואה לשנת 2014, במשותף עם פרופסור ג'ון אוקיף ופרופסור אדוורד מוזר, עבור גילוי תאים שמרכיבים את מערכת המיקום במוח.

כשאתם חושבים על ניווט, מהו הדבר הראשון שעולה בראשכם? האם זו מערכת הגיי.פי.אס בטלפון הנייד שלכם? מסע תת-ימי של צוללת לעבר יעדה? או אולי משימה קבוצתית בצופים שמטרתה לנווט חזרה אל המחנה בלילה? מה אם הייתי אומרת לכם שבמוחכם יש מערכת

ניווט מובנית, שאחראית על ייצוג המיקום שלכם בסביבה, ועל התמצאותכם כך שתוכלו להגיע ממקום אחד לאחר? בעוד שניווט בסביבה נדמה כחסר מאמץ ואוטומטי, מערכת הניווט במוחנו היא די מורכבת, וכוללת כמה אזורים במוח ומגוון סוגי תאים. בהמשך המאמר אקח אתכם למסע של חידות על ניווט, שיובילכם למערכת מיוחדת מאוד של תאי עֶצֶב במוח, הנקראים **תאי גְרִיד** – מערכת מיקום שגילינו ושעבורה זכינו בפרס נובל בשנת 2014.

## צעד ראשון: היכן אתם כעת?

כדי להתחיל לנווט בסביבה, הדבר הראשון שעליכם לדעת הוא היכן אתם ממוקמים כעת. האם תוכלו לחשוב על דרך שבה המוח מפענח היכן אתם ממוקמים ברגע זה? תוכלו להשתמש ברמז באמצעות דוגמה נגדית – זה לא דומה לאופן שבו מערכת הגי.פי.אס בטלפון הנייד שלכם קובעת את מיקומכם. כפי שאתם אולי יודעים, מערכת הגי.פי.אס משתמשת באותות שנשלחים מארבעה לוויינים שונים לפחות אשר חגים סביב כדור הארץ. באמצעות חישובים מתמטיים שמבוססים על פיזיקה מתקדמת, אותות הלוויינים האלה משמשים את הטלפון הנייד שלכם לקביעת מיקומכם ברמת דיוק גבוהה<sup>1</sup>. אך האם מוחנו מקבל אותות ממקור חיצוני כדי לקבוע את מיקומו? התשובה היא – לא. אם כן, מה מוחכם עושה בפועל כדי לקבוע היכן אתם נמצאים? נסו לחשוב על לפחות שני פתרונות אפשריים לחידה זו, לפני שתמשיכו בקריאת המאמר.

אם כן, מתברר שבמוח ישנם תאי עצב שמייצגים את מיקומכם, הנקראים **תאי מיקום**. בשנת 1971, בעת שחקרו פעילות חשמלית במוחות של חולדות [2], ובחנו אזור במוח שנקרא ההיפוקמפוס, החוקרים John O'Keefe ו-John Dostrovsky גילו שכאשר החיה נמצאת במקום מסוים בסביבה, תאי עצב מסוימים, שנקראים תאי מיקום, נעשים פעילים ומתחילים "לירות" אותות חשמליים בקצב גבוה (איור 1). כמו כן הם מצאו כי כאשר החולדה נמצאת במיקומים שונים, תאי מיקום אחרים פעילים. במילים אחרות, אם אתם עומדים במקום מסוים בחדרכם, ישנו תא מיקום מסוים בהיפוקמפוס שלכם שהוא פעיל במיוחד, ותא זה אומר לכם היכן אתם נמצאים עכשיו. הפעילות החשמלית של תאי המיקום כל כך מדויקת, שאם נרשום את פעילותם של מאה תאים כאלה במשך זמן מה, נוכל לחזות את מיקום החולדה ברמת דיוק של חמישה סנטימטרים! זה די מדהים מאחר שהתאים האלה נמצאים

### תאי גריד (Grid Cells)

תאי עצב באזור במוח שנקרא הקורטקס האנטוריני, אשר יוצרים 'מפת קואורדינטות' במוח, שמאפשרת ניווט והערכה מְטְרִית של המרחק והכיוון בסביבה.

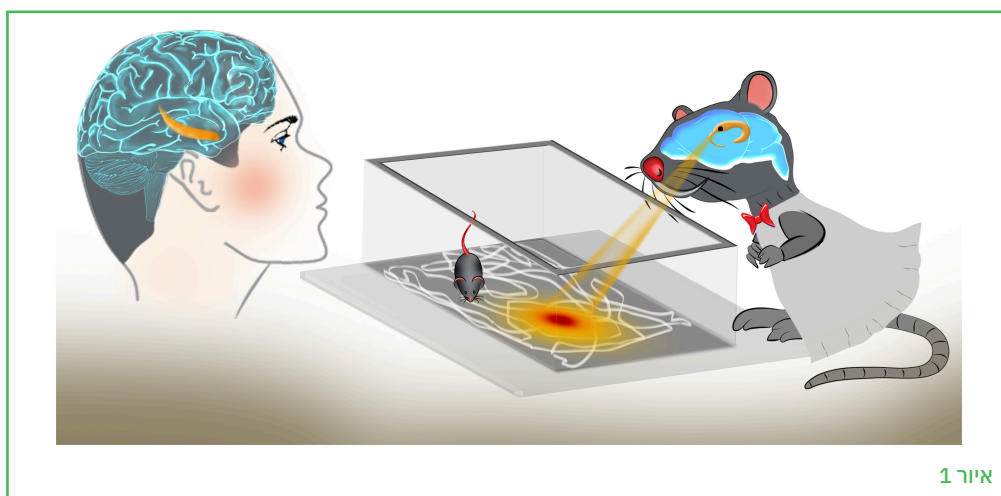
<sup>1</sup> אם אתם מעוניינים ללמוד עוד על מערכת ניווט גי.פי.אס, לחצו כאן.

### תאי מיקום (Place Cells)

תאי עצב באזור במוח שנקרא היפוקמפוס, שאומרים לחיה היכן היא ממוקמת במרחב. כל תא מיקום נהיה פעיל במיקום מסוים בסביבה. הוא מבחין בין סביבות בכך שהוא לא פעיל או פעיל במקום ששונה מאוד בסביבה החדשה ממה שהיה צפוי בסביבה האחרת [1].

### איור 1

תאי מיקום בהיפוקמפוס משתתפים בבניית 'מפה פנימית' של הסביבה. ההיפוקמפוס במוחות העכבר והאדם (אזור חום) הוא המקום שבו נמצאים תאי מיקום. הקווים הלבנים בתחתית הקופסה מייצגים את נתיב הריצה של החולדה במעבדה שמדמה את הסביבה. האזור האדום מייצג את המיקום שבו תא מיקום מסוים בהיפוקמפוס (נקודה שחורה בהיפוקמפוס של החולדה) נעשה פעיל במיוחד. זהו המיקום שהתא המסוים הזה מייצג. תאי מיקום שונים פעילים כאשר החולדה נמצאת במיקומים שונים; יחד, הם בונים מפה קוגניטיבית פנימית של הסביבה. האיור נלקח מכאן.



איור 1

עמוק בתוך המוח, רחוק מהחושים; אין להם עיניים או אוזניים, או כל איבר חישה אחר, אז מהיכן מגיע המידע על הסביבה אל תאי המיקום?

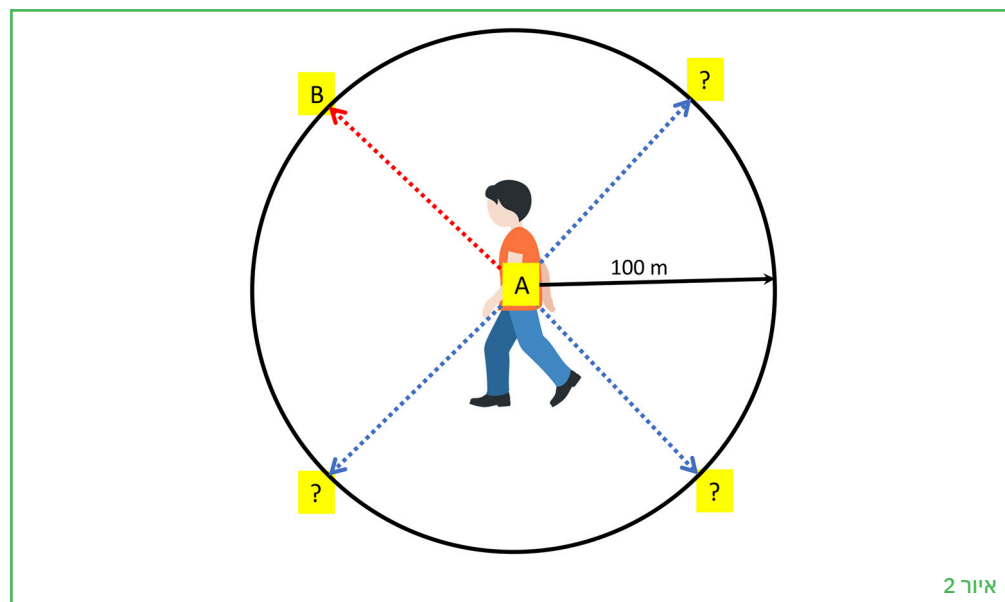
## צעד שני: כמה רחוק הלכתם, ולאן הגעתם?

בואו נניח שבאמצעות תא מיקום מסוים הבנתם כי אתם עומדים במקום מסוים. לאחר מכן הלכתם במשך זמן מה, ובעזרת תא מיקום אחר פענחתם את מיקומכם החדש. אך כיצד אתם יודעים מהו המרחק בין שני המקומות האלה, כלומר מהו המיקום היחסי של שני המקומות? ראשית, נסו לחשוב מה אתם צריכים לדעת כדי לחשב את המרחק בין שתי נקודות. אם הייתי אומרת לכם שהלכתי במשך שתי דקות, אז כדי לחשב איזה מרחק הלכתי הייתם צריכים לדעת את מהירות ההליכה שלי. המוח פותר את הבעיה הזו בסיועם של **תאי מהירות** [3], שמדווחים לכם מהי המהירות שבה אתם נעים. התאים האלה אינם ממקמים בהיפוקמפוס, אלא באזור אחר במוח שנקרא **הקורטקס האנטוריני** (ראו איור 3).

כעת, אם הייתם יודעים את המיקום ההתחלתי שלי, את מהירות הליכתי ואת המרחק שהלכתי – האם יכולתם לומר היכן אני נמצאת כעת, או שנדרש מידע נוסף? לדוגמה, לו ידעתם שנקודת ההתחלה ונקודת הסיום הן במרחק של מאה מטרים, האם יכולתם לומר היכן אני נמצאת על גבי מעגל שמקיף את נקודת ההתחלה שלי, והרדיוס שלו הוא מאה מטרים? (איור 2). התשובה היא לא. המידע הנוסף שנדרש הוא הכיוון. נוסף על תאי מיקום ותאי מהירות, המוח מכיל גם **תאי כיוון ראש** שנמצאים בכמה אזורים במוח [4]. כשתאים אלה פעילים, הם מיידעים את החיה לגבי הכיוון שבו היא נעה. באמצעות ידיעת המיקום ההתחלתי שלכם, מהירות הליכתכם, זמן ההליכה והכיוון שאליו אתם הולכים, תוכלו לדעת בדיוק היכן אתם נמצאים יחסית למקום שבו התחלתם (איור 2).

### איור 2

מה נדרש לצורך ניווט מוצלח בסביבה? כדי לנווט בהצלחה בסביבה, אתם צריכים לדעת את המיקום ההתחלתי שלכם (A), את מיקום המטרה שלכם (B), את כיוון הליכתכם ואת מהירותה. בהינתן שאתם יודעים כי התחלתם ללכת ממיקום מסוים (באמצעות תאי מיקום), ושהלכתם במשך שתי דקות במהירות של 50 מטרים לדקה (באמצעות תאי מהירות), אתם יודעים שעברתם מרחק כולל של 100 מטרים. אך האם תוכלו לקבוע היכן בדיוק אתם נמצאים על גבי מעגל ברדיוס של 100 מטרים סביבכם? לא! (קווים מקווקוים בכחול). לשם כך, אתם זקוקים לתאי כיוון ראש שיספקו לכם מידע על הכיוון שבו אתם מתקדמים (קו מקווקו באדום).



איור 2

## תאי כיוון ראש (Head Direction Cells)

תאי עצב שנמצאים בכמה אזורים במוח, ומיידיעים את החיה באיזה כיוון היא נעה. כל תא כיוון ראש "יורה" אותות חשמליים רק כשראשה של החיה פונה לכיוון מסוים במרחב (לדוגמה, צפון-מערב). זו מפה שאינה עוקבת אחר הקטבים המגנטיים. תא שפעיל כשהראש מכוון לצפון בסביבה אחת, עשוי "לירות" לדרום בסביבה אחרת. תנועת כל התאים בסביבה מסוימת זהה בכיוונה. כל התאים עוקבים זה אחר זה: אם תא אחד זז ב-180° בסביבה אחת, כל שאר התאים ינהגו באותו אופן.

<sup>2</sup> צפו בקטע הווידאו הזה.

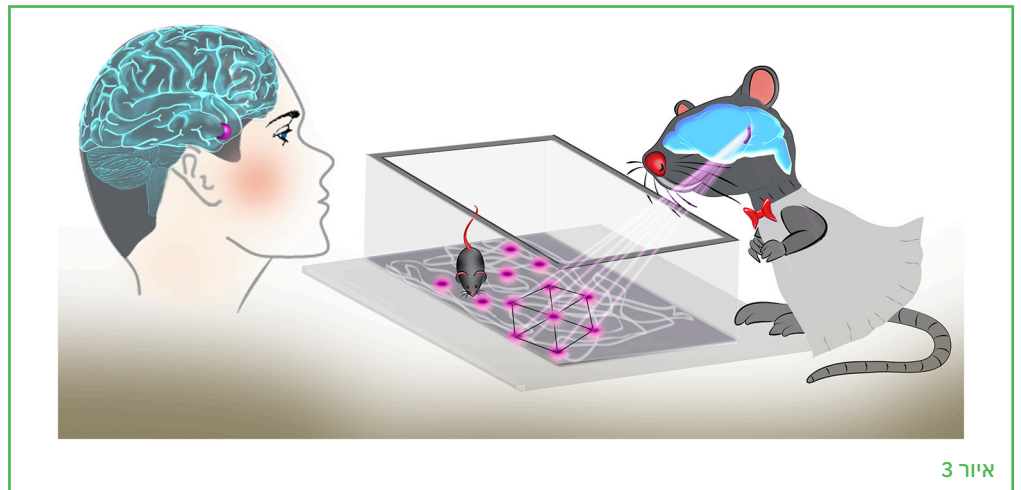
## איור 3

תאי גריד בקורטקס האנטורני פועלים במקומות רבים, ויוצרים מערכת קואורדינטות סימטרית במוח. תאי גריד ממוקמים באזור במוח שנקרא הקורטקס האנטורני (בסגול). הקווים הלבנים בתחתית הקופסה מייצגים את מסלול הריצה של החולדה בסביבה. אותו תא גריד נעשה פעיל חשמלית במיקומים רבים לאורך מסלול החולדה (מיוצגים על ידי הנקודות הסגולות ברצפת הקופסה). המיקומים האלה, שבהם התאים "יורים", מאורגנים בצורת משושה סימטרי ביותר.

## צעד שלישי: האם ישנן דרכים אחרות למצוא את מיקומכם ולהגיע מנקודה A לנקודה B? תאי גריד

כאן אנו מגיעים לחידה קשה, אך מתגמלת. כדי לנווט ממיקום A למיקום B, ראינו שמספיק לדעת את המיקום ההתחלתי, את המהירות, את הזמן ואת כיוון התנועה. אך להפתעתם של חוקרי מוח רבים, מתברר כי המוח משתמש בתכסיס נוסף ומדהים כדי לפתור את בעיית הניווט. רמז: זה קשור למערכת קואורדינטות של מפה. מערכת זו של המוח נקראת מערכת תאי גריד.

מערכת תאי הגריד ממוקמת במרכז המוח, מעט מתחת לקו האוזניים, באזור הקורטקס האנטורני שנמצא בעומק המוח (איור 3, אזור סגול), וממוקם קרוב להיפוקמפוס. שלא כמו תאי מיקום בהיפוקמפוס שנעשים פעילים כשהחיה עוברת דרך מקום מסוים, תא גריד נעשה פעיל במיקומים רבים בסביבה. הכי מפתיע היה לגלות שהמיקומים האלה מייצרים תבנית דמוית-גביש סימטרית ומדויקת מאוד, המאופיינת על ידי משולשים שווים-צלעות שמחברים את המרכזים של מיקומים שכנים. המיקומים האלה, שנקראים קואורדינטות, יוצרים מבנה גריד (grid) = רשת קואורדינטות במפה בצורת משושה, ולכן החלטנו לקרוא להם "תאי גריד"<sup>2</sup>. חשוב להדגיש שתבניות הקואורדינטות בצורת משושה של תאי הגריד מיוצרות באופן פנימי במוח, ואינן קיימות בעולם שבחוץ.



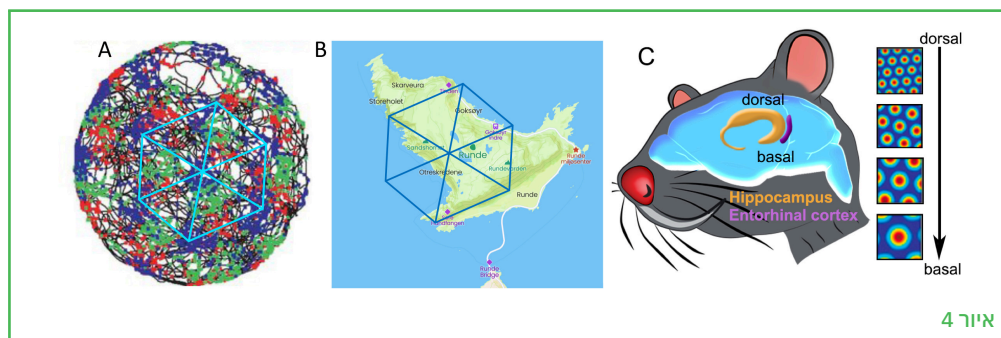
איור 3

כל תא גריד יוצר תבנית קואורדינטות ייחודית, אשר מוסטת ביחס לקואורדינטות שנוצרות על ידי תאי גריד סמוכים. באופן הזה, כל הסביבה "מתמלאת" בתבניות גריד (איור 4A). באמצעות תא גריד אחד לא תוכלו לדעת היכן החיה נמצאת, מאחר שכל תא גריד פעיל במיקומים רבים, שיוצרים גריד. אולם, בשל ההסטה במיקומים בין תאי גריד שונים, ובשל הסקאלות השונות של הגרידים (איור 4C), ניתן להגדיר את מיקומה הנוכחי של החיה ברמת דיוק גבוהה, באמצעות חפיפה בין גרידים של כמה תאים<sup>3</sup>. תבניות הגריד האלה משמשות כמפת קואורדינטות פנימית במוח, ויכולות לשמש גם למדידת המרחק בין נקודות שונות במרחב – דרישה חיונית לניווט (איור 4B).

<sup>3</sup> תוכלו להתרשם מתבניות תאי הגריד החופפות ומהאופן שבו הן חושפות את מיקום החיה בקטע הווידאו הזה.

## איור 4

קואורדינטות של תאי גריד ממפות את הסביבה, ומייצגות אותה בסקאלות שונות. (A) מבנה גריד של שלושה תאי גריד סמוכים (בירוק, בכחול ובאדום) שנרשמו במקביל כשהחולדה רצה בסביבה מעגלית. מבנה הגריד של התא הכחול מוצג באמצעות המשושה הכחול הבהיר. לשלושת התאים האלה אותו מבנה וכיוון הגריד, אך הם מוסטים זה מזה במרחב. (B) מבנה גריד יכול לשמש כמערכת קואורדינטות עבור 'מפה קוגניטיבית' של הסביבה. (C) תאי גריד שממוקמים בחלק העליון (גבי) של הקורטקס האנטוריני (בסגול) מייצגים את הסביבה באמת מידה עדינה (גריד צפוף מימין למעלה), בעוד שתאי גריד עמוקים יותר (קדמיים) יוצרים "סרגל" גס יותר (גריד מרווח מימין למטה).



איור 4

## תאי גריד מְזַמְנִים הפתעות נוספות

מצאנו שהמבנה הייחודי של תאי הגריד ממשיך להתקיים אפילו כשהחיה נעה בחושך [5]. מצאנו גם שכדי לכייל את הגריד לסביבה המסוימת שהחיה נמצאת בה (למשל, האם זה חדר קטן או גדול?), החיה משתמשת במידע חושי, במיוחד במידע חזותי, כמו רמזים שמופיעים על הקירות ומיקום הקירות בחדר. בהתאמה לרעיון הזה, תבניות הגריד מסתובבות כאשר הרמזים על הקירות מסובבים, והגרידים עשויים להתרחב או להתכווץ, בהתאמה, כשאחד הקירות מוזז כדי להגדיל את החדר או להקטינו. באופן מעניין, תאי גריד בעומקים שונים לאורך הקורטקס האנטוריני מייצגים את אותה הסביבה בסקאלות שונות [5]. תאי גריד שממוקמים בחלק העליון (החלק הגבי) של הקורטקס האנטוריני "יורים" במיקומים פיזיים קרובים, שמרוחקים זה מזה בכ-25 סנטימטרים (איור 4C, מימין למעלה) – ובכך מייצגים את הסביבה עם "סרגל" עדין, בעוד שתאי גריד עמוקים יותר (בחלק הקדמי) יוצרים "סרגל" גס יותר, מאחר שהם "יורים" במרחקים גדולים יותר זה מזה – של עד 3 מטרים (איור 4C). כך או אחרת, תאי גריד בסקאלות שונות, כולם שומרים על תבנית גריד סימטרית דומה.

הרשו לי לספר לכם על הפתעה נוספת שקשורה לתאי גריד. מתברר שלא רק המוח "המציא" תאי גריד לצורך ניווט מוצלח ויעיל. במחקר עכשווי מרתק שנערך בחברת בינה מלאכותית שנקראת DeepMind בלונדון, בריטניה, חוקרים סיפקו למערכת לומדת מידע על כיוון ראש ומהירות. המכונה הייתה אמורה ללמוד לנווט בסביבה חדשה ומאתגרת. אחרי הלמידה, המכונה הגיעה לביצועים טובים יותר מאלה של בני אדם במציאת דרכה, כלומר בניווט. באופן מפתיע, המכונה גם יצרה באופן ספונטני יחידות מלאכותיות בעלות תבניות גריד, דומות מאוד לתבניות תאי הגריד שמצאנו במוח [6]. המשמעות של כך עבורנו היא שאפילו אם תבנית תאי הגריד היא משהו ש"פשוט קרה" במהלך האבולוציה, מסתמן שהיא שימושית ביותר לניווט. אנו יודעים שהמוח יעיל מאוד, ואם ישנה תופעה, כמו תאי גריד, שנוצרת כמעט במקרה, היא עשויה להפוך מועילה לתפקוד החיה. תוכלו לחשוב על זה כך: נניח שקיבלתם כלי עבודה, כמו מברג, ולא ידעתם עבור מה הוא משמש. בחלוף הזמן, ככל הנראה תנסו להשתמש בו במצבים שונים, ובסופו של דבר תמצאו דרכים לעשותו שימושי ומועיל עבורכם. אותו הדבר נכון גם לגבי המוח; הוא חוקר דרכים להשתמש בכל ה'כלים' שברשותו, ומגלה את הדרכים שבהן כלים אלה יהיו המועילים ביותר להישרדות החיה.

יחד, תאי גריד מייצגים מפות קואורדינטות פנימיות שמאפשרות לחיה לנווט ממיקום אחד לאחר. הם פועלים בתיאום עם תאי מיקום ועם סוגי תאים אחרים, כמו תאי כיוון ראש ותאי

מהירות. מערכת הניווט הזו במוח גם מאגדת מידע מהחושים שלנו כדי לכייל את המפות הפנימיות שלנו עם הסביבה, והיא זו שמאפשרת לנו לבצע מטלות ניווט מורכבות באופן חלק וחסר מאמץ. למרות שלמדנו הרבה על המערכת המוחית המרתקת הזו, נותרו היבטים רבים שאינם ידועים. לדוגמה: כיצד תשומת לב לרמזים בסביבה או בזיכרון משפיעה על מערכת הניווט? כיצד הנפח של גוף החיה נלקח בחשבון כשהחיה מנווטת במרחב? ומה קורה במערכת הניווט של מוח חולה, כמו למשל במחלת אלצהיימר, כאשר תאים בקורטקס האנטוריני מתים ויכולת הניווט נפגעת? שאלה מרתקות נוספת היא כיצד המרחק והכיוון בין חיה לבין אובייקט במרחב מקודדים בקורטקס האנטוריני, ואם התאים מקודדים גם עבור אובייקטים בתנועה, כמו כדור במשחק כדורגל [6]. אלה שאלות חשובות ומאתגרות שיכולות להיות חלק ממסע מדעי מרתק עבור אלה מכם שיבחרו להיות מדעני מוח.

## המלצות למוחות צעירים

כילדים ומתבגרים, אתם ודאי מודעים לכך שקשה מאוד לחזות כיצד ייראו החיים כשתהיו מבוגרים. אני מאמינה שחשוב לשמר את סקרנותכם לגבי דברים ותופעות גם עכשיו וגם בתור מבוגרים, ולמצוא משהו שיש לכם תשוקה אליו, שגורם לכם לחוות התלהבות וחיוניות. אני חושבת שהכול סובב סביב תשוקה – זה יכול להיות למתמטיקה או לפיזיקה, לריקוד, לכתבה, או לכל דבר אחר. אתם צריכים תמיד לעקוב אחרי הדחף הפנימי שלכם, ולבנות את חייכם סביב החוזקות והתשוקות שלכם. אז חייכם יהיו הרבה יותר טובים.

אנשים רבים יאמרו לכם מה צריכה להיות הקריירה שלכם, ומדוע; מאחר שאז תרוויחו כסף או תשיגו מוניטין טוב, או שתוכלו לקבל פרס נובל... אך, אל תבחרו בדרך הזו. לכו בדרך שאתם מרגישים שהיא נכונה עבורכם. היא יכולה להיות כל דבר שמעשיר אתכם, שאתם אוהבים, שתוכלו להתמחות בו. עבור עצמי, אני יכולה להעיד שאני סקרנית מאוד לגבי דברים, ושחשוב לי ביותר להבין דברים. כשאני מבינה משהו שלא הבנתי קודם לכן, זה מסב לי הנאה רבה. זהו כוכב הצפון – המצפן שלי.

לבסוף, כאישה שזכתה בפרס נובל, חשוב לי להדגיש שכשאתם מוצאים את התשוקה שלכם, לא אמור לשנות אם אתם גבר או אישה. תמיד חשבת על עצמי בתור בן אדם, וכשנעשיתי מדענית – בתור מדענית. לא חשבת כל כך על העובדה שאני אישה. אני חושבת על עצמי בתור מדענית שהייתה בת מזל, שעבדה קשה מאוד ושהיו לה שותפים נהדרים לדרך. זה, בסופו של דבר, הוביל אותי לזכות בפרס נובל. אך למרות שהמגדר הוא נתון חסר משמעות בכל מה שנוגע לתשוקה, כולנו צריכים להיות מודעים לכך שישנן סביבות מסוימות שבהן אנשים מנסים לדחוק נשים או לעכבן. בסביבות האלה, כולנו – גברים ונשים כאחד – צריכים לתמוך בעוצמה בנשים ובאוכלוסיות מוחלשות אחרות.

## תודות

אני רוצה להודות לנועה שגב, בוגרת תוכנית האנרגיה על שם ננסי וסטיבן גרנד, טכניון ישראל, חיפה, ישראל, על עריכת הראיון שהיווה את הבסיס למאמר זה, ועל כתיבה משותפת של המאמר. תודה לפרופסור יורם בורק על הערותיו.

## מקורות

1. Alme, C. B., Miao, C., Jezek, K., Treves, A., Moser, E. I., and Moser, M. B. 2014. Orthogonality of place maps in the hippocampus: eleven maps for eleven room. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 111:18428–35. doi: 10.1073/pnas.1421056111
2. O'Keefe, J., and Dostrovsky, J. 1971. The hippocampus as a spatial map: preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Res.* 34:171–5. doi: 10.1016/0006-8993(71)90358-1
3. Kropff, E., Carmichael, J. E., Moser, M. B., and Moser, E. 2015. Speed cells in the medial entorhinal cortex. *Nature* 523:419–24. doi: 10.1038/nature14622
4. Taube, J. S., Muller, R. U., and Ranck, J. B. 1990. Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. I. Description and quantitative analysis. *J. Neurosci.* 10:420–35.
5. Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M. B., and Moser, E. I. 2005. Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature* 436:801–6. doi: 10.1038/nature03721
6. Banino, A., Barry, C., Uria, B., Blundell, C., Lillicrap, T., Mirowski, P., et al. 2018. Vector-based navigation using grid-like representations in artificial agents. *Nature* 557:429–33. doi: 10.1038/s41586-018-0102-6

פורסם אונליין: 23 בדצמבר 2022

נערך על ידי: Idan Segev

מנחה מדעי: Idan Segev

ציטוט: Moser M (2022) כיצד אנחנו מוצאים את דרכנו? תאי גריד במוח. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.678725-he

תורגם והתאם מ: Moser M (2021) How Do We Find Our Way? Grid Cells in the Brain. *Front. Young Minds* 9:678725. doi: 10.3389/frym.2021.678725

הצהרת ניגוד אינטרסים: הממבנת מצהירה כי המחקר נערך בהיעדר כל קשר מסחרי או כלכלי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT © 2021 © Moser 2022.** 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.



## סוקרים צעירים

### 15-14 גיל, ORT DAFNA HIGH SCHOOL ISRAEL

כיתה ט, עתודה למנהיגות מדעית טכנולוגית, חטיבת ביניים אורט דפנה, קריית ביאליק. תלמידי כיתה זו לומדים במסגרת תוכנית מיוחדת המתמקדת בפיזיקה, ביולוגיה, מתמטיקה ומדעי המחשב.

## הכותבת

### MAY-BRITT MOSER

אני פרופסורית לחקר המוח, ראש המרכז לחישוביות עצבית ומנהלת שותפה של מכון Kavli למערכות מדעי המוח באוניברסיטה הנורווגית למדע ולטכנולוגיה בטרונדהיים. קיבלתי פרס נובל בפיזיולוגיה או רפואה לשנת 2014, עם עמיתי שעבדו איתי לאורך שנים, Edvard Moser ו-John O'Keefe. נולדתי בעיירה קטנה שנקראת Fosnavåg בנורווגיה. הלכתי לאוניברסיטת אוסלו, שם למדתי מתמטיקה, פיזיקה וכימיה. השלמתי תואר בפסיכולוגיה ב-1990 ודוקטורט בניורופיזיולוגיה ב-1995, בהדרכתו של Per Andersen. שתי הבנות שלי ושל Edvard Moser נולדו ב-1991 וב-1995. גם במהלך הדוקטורט שלי ועד שחזרתי לנורווגיה בסתיו 1996, כאשר Edvard Moser ואני קיבלנו תקנים כפרופסורים עמיתים בפסיכולוגיה ביולוגית במחלקה לפסיכולוגיה באוניברסיטה הנורווגית למדע ולטכנולוגיה (NTNU) בטרונדהיים, עבדנו במעבדתו של Richard Morris במרכז למדעי המוח, אוניברסיטת אדינבורו. בקיץ 1996 הייתי פוסט-דוקטורנטית אורחת במעבדתו של John O'Keefe בקולג' האוניברסיטאי של לונדון במשך חודש אחד. בשנת 2000 קודמתי לדרגת פרופסורית מלאה למדעי המוח, ובאותו הזמן עברנו לפקולטה לרפואה ב-NTNU. אני חברה בחברה הנורווגית המלכותית למדעים, באקדמיה הנורווגית למדעים ובאקדמיה הנורווגית למדעי הטכנולוגיה; אני חברה זרה נבחרת של האקדמיה הלאומית למדעים (ארצות הברית) וחברה בינלאומית נבחרת של החברה הפילוסופית האמריקאית (ארצות הברית). קיבלתי כמה אותות כבוד ופרסים, לרבות Liliane Bettencourt pour les Sciences du Vivant ב-2006, חברה נבחרת של ארגון הביולוגיה המולקולרית האירופי (EMBO) ב-2012, פרס Louis-Jeantet ה-26 לרפואה (קרן Louis-Jeantet) ב-2011, פרס Andre Jahre ב-2011, פרס Perl/UNC Neuroscience ה-13 (אוניברסיטת צפון קרוליינה) בשנת 2013, פרס המנהיגה הנשית הטובה ביותר מהחברה לעסקים של טרונדהיים (פרס Madame Beyer) ב-2013, פרס Louisa Gross Horwitz ה-47 לביולוגיה או ביוכימיה (אוניברסיטת קולומביה) ב-2013, פרס Karl Spencer Lashley ה-59 (החברה הפילוסופית האמריקאית) ב-2014, פרס Koerber European Science ה-30 (קרן Koerber) ב-2014 והפרס השנתי ה-102 על שם Fridtjof Nansen למחקר מצוין במדע וברפואה בשנת 2013, האקדמיה הנורווגית למדע. בשנת 2018 נבחרתי כחברה באיגוד למדעי הפסיכולוגיה עבור תרומות מתמשכות ויוצאות דופן למדע הפסיכולוגיה, ובאותה שנה גם כחברה ב-Grand Cross of the Royal Norwegian Order of St. Olav (H.M. Harald of Norway) – המסדר הנורווגי הגבוה ביותר, וקיבלתי את מדליית Gunerius gold medal 28th of February שמוענקת על ידי החברה הנורווגית המלכותית למדעים. \*[may-britt.moser@ntnu.no](mailto:may-britt.moser@ntnu.no)



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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK