

כיצד דימות תהודה מגנטי משמש ככלי לחקור את המוח?

Patricia Maria Hoyos^{1*}, Na Yeon Kim^{1,2}, Sabine Kastner^{1,2}

¹מכון פרינסטון למדעי המוח, אוניברסיטת פרינסטון, פרינסטון, ניו-ג'רזי, ארצות הברית
²המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת פרינסטון, פרינסטון, ניו-ג'רזי, ארצות הברית

סוקרים צעירים

DILWORTH
STEM
ACADEMY
גיל: 14-13



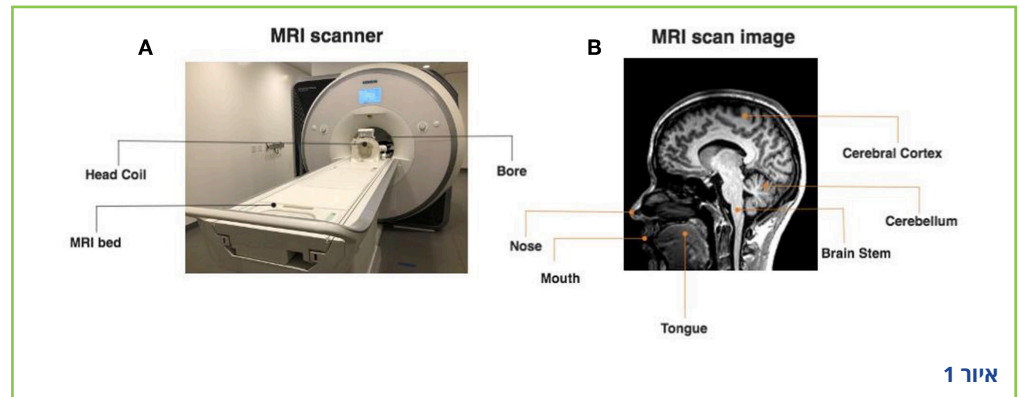
כדי לחקור את המוח מדענים יכולים להשתמש במכשיר שנקרא סורק MRI (קיצור של Magnetic Resonance Imaging, או דימות תהודה מגנטית בעברית). סורק MRI מצלם את המוח באופן בטוח, מה שמאפשר למדענים ללמוד על המבנה של המוח ועל תפקודו. MRI מסייע למדענים ללמוד אלה אזורים במוח פעילים כשאתם מבצעים פעילויות שונות, כמו למשל קריאת משפט כמו המשפט הזה! ראשית, המאמר הזה יסביר כיצד סורק MRI מצלם אזורים שונים במוח באופן בטוח ובאיכות גבוהה. לבסוף, נתאר כיצד נראה תהליך ההשתתפות במחקר שמערב סורק MRI ואת סוגי השאלות שמדענים עונים עליהן באמצעות סורק MRI ככלי מחקר.

חקר המבנה של המוח ותפקודו באמצעות סורק MRI

דמיינו שאתם בונים רובוט. כשאתם עושים זאת אתם חושבים על איך אתם רוצים שהרובוט יראה ועל האופן שבו אתם יכולים לבנות אותו כך שהוא יתפקד בצורה טובה. במילים אחרות, אתם צריכים לחשוב על המבנה של הרובוט (לדוגמה, גובהו, רוחבו ומשקלו) כמו גם התפקוד של חלקיו (מה אתם רוצים שהרובוט שלכם יעשה?).

איור 1

כיצד נראים סורק MRI והתמונות שהוא מצלם? (A) דוגמה של סורק MRI. לסורק יש מיטה שמשותפים שוכבים עליה. המשתתפים חובשים קסדה שנראית כמו קסדתו של דארט' ויידר ממלחמת הכוכבים. כשהמשתתף מוכן המיטה נכנסת למפתח העגול של מכשיר ה-MRI. (B) תמונה של המוח שצולמה על-ידי סורק MRI. התמונה מאפשרת למדענים לראות את החלק הפנימי של הראש בפירוט רב. לדוגמה, אתם יכולים לראות את המיקומים של הפה, הלשון, האף, גזע המוח, קליפת המוח והצרבלום.



איור 1

באופן דומה, מדעני מוח חוקרים את המבנה של המוח באמצעות צילום המוח. כפי שאתם יכולים לראות באיור 1, התמונה של **סורק MRI** מאפשרת זיהוי קל של הפה, הלשון והאף. היא גם מאפשרת למדעני מוח לזהות חלקים במוח כמו למשל גזע המוח, קליפת המוח והצרבלום, והרבה יותר. מאחר שהמוח הוא תלת-ממדי, תמונה אחת לא מספיקה כדי לתפוס את כולו. במקום זאת, סורק ה-MRI משתמש במגנט חזק כדי לצלם סדרת תמונות שלמעשה חותכת את המוח לחתיכות רבות שאפשר לשלב אותן כדי לקדם תמונה תלת-ממדית.

כמה פרטים יכולים להתקבל מנתוני MRI? חשבו על תמונה שמצולמת על-ידי מצלמה. אם אתם מסתכלים על התמונה ממש ממש מקרוב אתם יכולים לראות ריבועים קטנים שנקראים פיקסלים. כפי שאתם יכולים לראות באיור 2, תמונה עם יותר פיקסלים נראית ברורה יותר והיא בעלת פרטים רבים יותר. אולם סורק ה-MRI לא יכול להשתמש בפיקסלים דו-ממדיים כדי ליצור תמונה תלת-ממדית של המוח. במקום זאת, סורק MRI משתמש בגרסה תלת-ממדית של פיקסל שנקראת ווקסל (voxel). ווקסל הוא קובייה קטנטנה עם קצוות בגודל 1-3 מילימטרים. סורק ה-MRI מצלם תמונות של כל חתיכת מוח עם ווקסלים רבים לכל תמונה, מה שיוצר בסופו של דבר תמונה תלת-ממדית של המוח עם רזולוציה גבוהה.

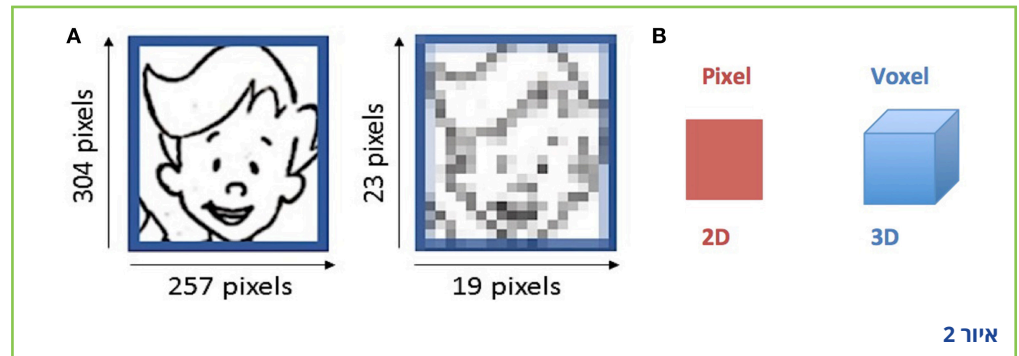
זיכרו שחדות התמונה תלויה גם בהאם מצלמים תמונה של משהו שזז או של משהו שנשאר במקום. לדוגמה, אם תצלמו תמונה של סנאי רץ היא תהיה מטושטשת ללא תלות בכמה פיקסלים יש בה. אם הסנאי נשאר במקום בזמן שאתם מצלמים את התמונה עם מספיק פיקסלים, אתם יכולים לקבל תמונה ברורה יותר של הסנאי. באופן דומה, אף על פי שסורק MRI יכול לצלם תמונות באיכות גבוהה, חשוב שהמשתתפים יישארו כמה שיותר סטטיים בזמן שסורק ה-MRI מייצר תמונות של המוח.

מדענים יכולים ללמוד הרבה על גודלם של אזורים שונים במוח ועל צורתם באמצעות התמונות התלת-ממדיות האלה בעלות הרזולוציה הגבוהה. לדוגמה, הם יכולים לחקור כיצד הצורות והגדלים האלה של אזורים שונים במוח משתנים כשהאדם מתבגר. רופאים יכולים להשתמש בסורקי MRI בבתי חולים ובקליניקות כדי לקבל תמונות ברורות של מוחם של המטופלים או של איברי גוף אחרים.

כעת, חזרה לבניית רובוט. ברגע שהחלטתם על המבנה שלו אתם צריכים לבדוק את התפקוד של הרובוט. באותו האופן, מדענים לעיתים קרובות רוצים לחקור כיצד אזורים שונים במוח

איור 2

כיצד פיקסלים משנים את איכות התמונה? (A) פיקסלים רבים יותר יוצרים תמונה ברורה יותר. ישנם הרבה יותר פיקסלים בתמונה שמשמאל מאשר בתמונה שממין. פיקסלים רבים יותר מייצרים תמונה ברורה יותר. (B) הווקסל הוא גרסה תלת-ממדית של פיקסל. סורק ה-MRI משתמש בווקסלים רבים כדי לקבל את התמונה הכי ברורה שאפשר לקבל.



פועלים יחד, באמצעות מדידת הפעילות במוחו של האדם. בהמשך נדון באופן שבו סורק MRI יכול לשמש לחקר תפקוד המוח באופן בטוח ואמין.

מה קורה כשחלק מסוים במוח נעשה פעיל?

אנו יודעים שאזורים שונים במוחות שלנו נעשים פעילים יותר כשאנו מבצעים פעולות שונות. לדוגמה, אזור באחורי המוח שנקרא האונה העורפית (ראו איור 3) מתמחה בראייה, והאזור הזה נעשה פעיל יותר כשרואים דברים שהם חשובים או בעלי משמעות עבורנו כמו למשל פרצופים של אנשים אחרים. מדענים גילו זאת באמצעות שימוש בסורק MRI כדי להשוות את הפעילות המוחית של משתתפים בזמן שהם רואים תמונה של חברים שלהם לעומת תמונה של מסך ריק. אזורים באונה העורפית מראים פעילות גדולה יותר כאשר המשתתף רואה תמונה של חבר, מאחר שהיא משמעותית יותר עבורו מאשר מסך ריק (ראו "צידי פנים": מדוע אנו רואים פנים בעצמים נטולי פנים" [1]).

מה מתרחש כשאזורים במוח נעשים פעילים יותר? תאי עצב, שנקראים **ניורונים**, מתקשרים זה עם זה יותר באזורים פעילים במוח. האזורים הפעילים במוח דורשים חמצן רב יותר כדי לאפשר לניורונים לתקשר. כיצד האזורים הפעילים במוח מקבלים אספקה של חמצן חדש? הדם נושא חמצן דרך כלי הדם אל תוך המוח. ישנו חלבון שנקרא **המוגלובין** אשר מחזיק חמצן ונושא אותו למקומות שדורשים יותר אנרגיה. כשהמוגלובין מחזיק את החמצן הוא נקרא המוגלובין מחומצן, וכאשר המוגלובין לא מחזיק חמצן הוא נקרא המוגלובין לא מחומצן. כשאזור במוח נעשה פעיל המוגלובין המחומצן מתחיל להחליף את המוגלובין הלא מחומצן.

כפי שאפשר לראות באיור 3, כשאזור מסוים במוח פעיל ישנה **תגובה המודינמית**. תגובה המודינמית מתרחשת כאשר כלי הדם באזורים פעילים במוח מתרחבים [2]. ההתרחבות הזו מאפשרת ליותר המוגלובין מחומצן לזרום לתוך אזורים פעילים ממש כמו שקש עבה יותר מאפשר ליותר מיץ לזרום דרכו, כך כלי דם רחבים יותר במוח מאפשרים ליותר המוגלובין מחומצן להיכנס לאזורים הפעילים במוח.

סורק ה-MRI משתמש במגנט חזק כדי למדוד את שנקרא BOLD (ראשי תיבות של Blood oxygenation level dependent). כפי שאתם יכולים לראות באיור 4, **אות ה-BOLD** קשור לתגובה המודינמית. המוגלובין מחומצן ולא מחומצן יש תכונות מגנטיות שונות, כך שהחלפה של המוגלובין לא מחומצן באזורים פעילים במוח משנה את הסביבה המגנטית

ניורונים (Neurons)

תאי עצב במוח שמתקשרים אחד עם השני. ניורונים באזורים פעילים במוח משתמשים בחמצן רב יותר כדי לתקשר.

המוגלובין (Hemoglobin)

חלבון שמסיע חמצן לאזורים שונים בגוף.

תגובה המודינמית (Hemodynamic response)

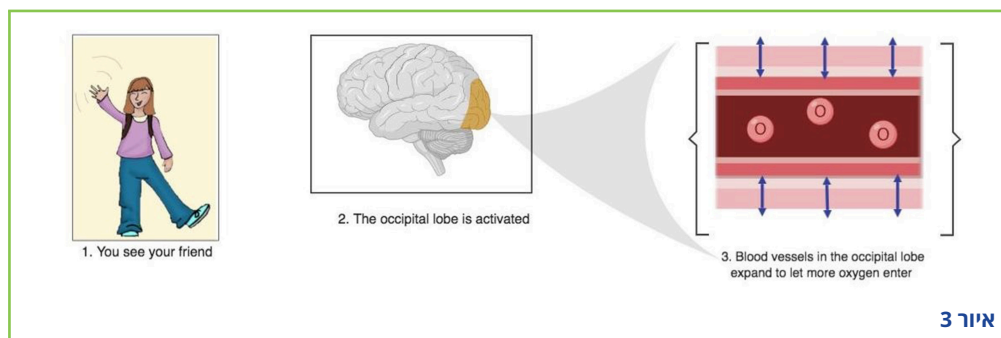
התרחבות כלי הדם אשר מאפשרת ליותר חמצן לזרום לתוך אזורים פעילים יותר במוח.

אות BOLD

אות ה-BOLD (קיצור של blood oxygenation level dependent) הוא אות שנרשם על-ידי סורק MRI. ככל שהאזור המוחי פעיל יותר כך רמת החמצן ואות ה-BOLD גדולים יותר.

איור 3

פעילות מוחית מובילה לתגובת hemodynamic response. כשאתם רואים חבר שלכם האזור האחורי המוח שלכם (האונה העורפית) שמתמחה בראייה נעשה פעיל יותר. האקטיבציה מובילה לתגובה המודינמית, שהיא תגובה שבה כלי הדם באזורים פעילים במוח מתרחבים. התגובה ההמודינמית מאפשרת ליותר חמצן להיכנס לאונה העורפית. באופן הזה, נזרונים באותו האזור במוח מתקשרים יותר ואתם יכולים לזהות בקלות את חברכם. האיור נוצר באמצעות BioRender.



של אותו האזור במוח. ההבדל בסביבה המגנטית גורם לאות גדול יותר מאזורים שיש בהם יותר המוגלובין מחומצן מהמוגלובין לא מחומצן. אם כן, סורק ה-MRI מודד את אות ה-BOLD ומספק למדענים מידע על האופן שבו המוח מתפקד. אם אתם רוצים ללמוד על הפיזיקה של סורק MRI ועל האופן שבו שינויים בסביבה המגנטית משפיעים על האות שנרשם על-ידי סורק MRI, קראו את "הפיזיקה של MRI וכיצד אנו משתמשים בה כדי לגלות את מסתרי המוח" [3].

כעת, חשבו על בניית רובוט. ברגע שבדקתם את התפקוד של הרובוט שלכם אתם עשויים לשנות את המבנה שלו כמה פעמים, כך שהוא יהיה חזק ומדויק יותר. ברגע שיש לכם את הגרסה הסופית של הרובוט שלכם אתם תבינו כיצד המבנה והתפקוד של חלקי הרובוט שלכם משפיעים על הביצועים שלו. באופן דומה, באמצעות תמונות המבנה של המוח ומדידות הפעילות המוחית מדענים יכולים לחקור כיצד המבנה והתפקוד של המוח קשורים להתנהגות שלנו.

איך זה להיות מתנדב במחקר MRI?

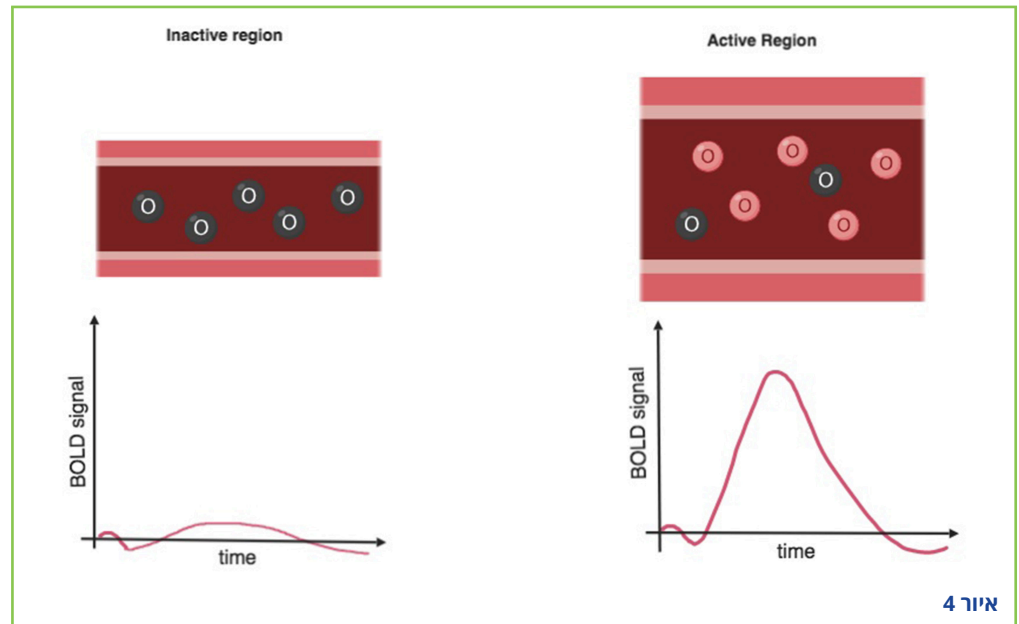
כשמתנדבים לניסוי MRI ישנם כמה דברים חשובים שכדאי לזכור. ראשית, סורק ה-MRI הוא מגנט חזק מאוד. מגנטים מושכים מתכות רבות ולכן אי אפשר להתקרב לסורק עם פריטים מתכתיים. כל פריט מתכת שאתם לובשים יכול להימשך על-ידי השדה המגנטי החזק והוא יעוף אל תוך סורק ה-MRI. בשל כך, מדענים משתמשים בחיישני מתכת כדי לוודא שהמשתתפים לא לובשים פריטי מתכת לפני שהם נכנסים לחדר ה-MRI. לכן, אם למשתתפים יש גשר בשיניים הם יורשו להשתתף רק אחרי שהגשר יוסר.

לאחר מכן אתם תשכבו ותחבשו קסדה עם מראה בחלק העליון שלה, אשר נראית דומה מאוד לקסדה של דארט' ויידר ממלחמת הכוכבים. הקסדה היא סליל שמתפקד כמו אנטנה באמצעות שליחת אותות מהמוח שלכם לסורק ה-MRI. ללא הסליל ה-MRI לא יכול לייצר את התמונה. דרך המראה אתם יכולים לראות את המסך שמורכב בחלק האחורי של סורק ה-MRI. מדענים עשויים להשתמש במסך כדי להראות לכם תמונות או קטעי וידיאו, כתלות במה שהמדען רוצה לבדוק.

הדבר השני שכדאי לזכור הוא שאתם צריכים להישאר כמה שיותר סטטיים. אם תזיזו את הראש שלכם תמונות ה-MRI יצאו מטושטשות. תנועה של הראש גם מקשה על המדענים לזהות באופן ברור את מיקום הפעילות המוחית. לבסוף, אף על פי שאתם לא תרגישו שום דבר במהלך הסריקה, אתם תשמעו את הרעשים שסורק ה-MRI מפיק. הוא יפיק רעשים שעשויים לגרום

איור 4

אות ה-BOLD (Blood oxygenation level dependent). כשאזור במוח נעשה פעיל מתרחשת תגובה המודינמית, שהיא מצב שבו כלי הדם מתרחבים ומאפשרים ליותר חמצן להיכנס. חלבון שנקרא המוגלובין נושא חמצן (המוגלובין מחומצן) מחליף המוגלובין ללא חמצן (המוגלובין לא מחומצן). באיור אתם יכולים לראות המוגלובין מחומצן (באדום) שמחליף המוגלובין לא מחומצן (בשחור) באזורים הפעילים בעלי כלי דם רחבים יותר. סורק ה-MRI רושם את אות BOLD גדול יותר באזורים פעילים במוח שמכילים יותר המוגלובין מחומצן. האיור נוצר באמצעות BioRender.



לכם להרגיש שאתם באמת במסע של דארת' ויידר ברחבי הגלקסיה. חלק מהרעשים גם ישמעו כמו צופר מכונית או כמו צלצול טלפון נייד. מאחר שהרעשים האלה חזקים המדענים ידאגו להגן על האוזניים שלכם וישומו לכם אטמי אוזניים לפני שתחבשו את הקסדה.

מסקנות

לסיכום, MRI היא שיטה בטוחה שיכולה לסייע למדענים ללמוד הרבה על המבנה של המוח ועל תפקודו, וכיצד השניים קשורים זה לזה. מדענים השתמשו ב-MRI כדי לענות על שאלות שונות רבות. לדוגמה, סורק ה-MRI שימש להבנת האופן שבו פעילות גופנית מגבירה את הפעילות המוחית באזורים מסוימים במוח (קראו עוד ב-"קומו מהספה! פעילות גופנית משפרת את בריאות המוח" [4]). האם אתם מתעניינים במה שמתרחש במוח כשאתם שומעים סרקזם? ישנו מחקר MRI (ראו עוד ב-"איך אנחנו מבינים סרקזם?" [5]). ישנם אפילו מחקרים על האופן שבו אנו מסוגלים לזהות מה שאנו רואים סביבנו (מצאו פרטים נוספים ב-"ידיעת הנְרָאָה" [6]). סורק ה-MRI סייע למדענים להבין את המוח בדרכים רבות, אולם עדיין יש הרבה מה ללמוד. כשאתם קוראים עוד על האופן שבו סורק MRI משמש במחקרי מוח חשבו על סוג השאלות שהייתם רוצים לענות עליהן באמצעות סורק MRI או באלה סוגים של מחקרי MRI הייתם רוצים להשתתף!

מקורות

1. Nevins, M., Maxcey, A., and Gauthier, I. 2017. A Face Scavenger Hunt: Why We See Faces in Objects without Faces. *Front. Young Minds* 5:67. doi: 10.3389/frym.2017.00067
2. Buckner, R. L. 1998. Event-related fMRI and the hemodynamic response. *Hum. Brain Mapp.* 6:373–7.

3. Broadhouse, K. 2019. The Physics of MRI and How We Use It to Reveal the Mysteries of the Mind. *Front. Young Minds* 7:23. doi: 10.3389/frym.2019.00023
4. Nagamatsu, L. 2017. Get Off the Couch! Exercise Your Way to a Healthy Brain. *Front. Young Minds* 5:20. doi: 10.3389/frym.2017.00020
5. Pexman, P. 2018. How Do We Understand Sarcasm? *Front. Young Minds* 6:56. doi: 10.3389/frym.2018.00056
6. Martin, C., Fidalgo, C., and Barense, M. 2017. Knowing What We See. *Front. Young Minds* 5:15. doi: 10.3389/frym.2017.00015

פורסם אונליין: 24 באוגוסט 2021

נערך על ידי: Gideon Paul Caplovitz, University of Nevada, Reno, United States

ציטוט: Hoyos PM, Kim NY and Kastner S (2021) כיצד דימות תהודה מגנטי משמש ככלי לחקור את המוח? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00086-he

תורגם והותאם:

Hoyos PM, Kim NY and Kastner S (2019) How Is Magnetic Resonance Imaging Used to Learn About the Brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

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

COPYRIGHT © 2019 © 2021 Hoyos, Kim and Kastner. 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 (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

DILWORTH STEM ACADEMY, גיל: 13-14

המאמר הזה נסקר על-ידי תלמידי כיתת ז של Megan Tillman יחד עם המנטורים שלהם, Hector Carissa Romero ו-Arciniega. הכיתה הזו מצאה ערך אמיתי בהבנת האופן שבו מדענים משתמשים בדימות תהודה מגנטית (MRI) כדי לחקור את המוח. התלמידים נהנו להיות מדענים במהלך תהליך הסקירה, ולא יכולים לחכות עד שהמאמר יתפרסם.

הכותבים

PATRICIA MARIA HOYOS

אני מדענית חוקרת באוניברסיטת פרינסטון. אני חוקרת כיצד המוח מתפתח אצל ילדים. כשילדים גדלים הם נחשפים לאתגרים חדשים, כמו למשל קריאה ולמידת שחייה. אני מתעניינת בלמידה ובאופן שבו המוח משתנה כשילדים פוגשים אתגרים קוגניטיביים חדשים כשהם גדלים. מחוץ למעבדה אני נהנית לרקוד, לצייר ולשחק עם הכלב שלי. *phoyos@princeton.edu



**NA YEON KIM**

אני חוקרת מוח קוגניטיבית באוניברסיטת פרינסטון. אני חוקרת כיצד אנו שמים לב לדברים מסוימים – כיצד המוחות שלנו מסייעים לנו למצוא חבר בתוך קהל, להרכיב פאזלים ולשים לב לדברים מעניינים בעולם? אני מתעניינת במיוחד באופן שבו יכולות משתנות כשילדים גדלים. מחוץ למעבדה אני נהנית לשחק טניס, לרוץ ולטייל למקומות חדשים.

**SABINE KASTNER**

אני מדענית ופרופסורית באוניברסיטת פרינסטון שחוקרת כיצד אנשים משתמשים במוחות שלהם כדי לשים לב לפעילויות מסוימות (למשל, כיצד יכול להיות שאתם לא שומעים שההורים שלכם קוראים לכם לבוא לאכול ארוחת ערב כשאתם משחקים במשחק וידיאו או קוראים ספר?). אני גם נהנית לבלות עם שני ילדיי, ואני אוהבת את להקת החיפושיות.

Hebrew version
provided by

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

