

גְרִייה מוחית יכולה לסייע לנו להבין מוזיקה ושפה

Maansi Desai^{1,2}, Rachel Sorrells³, Matthew K. Leonard², Edward F. Chang²,
Liberty S. Hamilton^{1,2,4*}

¹המחלקה למדעי התקשורת והלקויות, קולג' מודי לתקשורת, אוניברסיטת טקסס באוסטין, אוסטין, טקסס, ארצות הברית
²המחלקה לכירורגיה ניוירולוגית, אוניברסיטת קליפורניה, סן פרנסיסקו, קליפורניה, ארצות הברית
³המחלקה למדעי המוח, קולג' למדעי הטבע, אוניברסיטת טקסס באוסטין, אוסטין, טקסס, ארצות הברית
⁴המחלקה לניוירולוגיה, בית ספר רפואי דל, אוניברסיטת טקסס באוסטין, אוסטין, טקסס, ארצות הברית

סוקרים צעירים

JULIA

גיל: 13



SYB

גיל: 14



שפה ומוזיקה הן דרכים חשובות שבאמצעותן אנו מתקשרים זה עם זה. דיבור בקול רם ונגינה בגיטרה עשויים להיראות די שונים, אולם האם ידעתם שהם משתמשים בהרבה אזורים משותפים במוח? האם אתם יודעים שחוקרים מסוגלים לחקור את תפקודי השפה והמוזיקה במוח במהלך ניתוח מוח? במאמר הזה, אתם למדו על תהליך שנקרא מיפוי גרייה קורטיקלית חשמלית (electrocortical stimulation mapping, או ESM בקיצור), שהוא הליך שמשמש להבנת אלו אזורים במוח חשובים לדיבור ולנגינה בכלי, בזמן ניתוח מוח.

מהי גרייה חשמלית קורטיקלית?

במוחות שלנו יש מיליוני תאים, שנקראים **ניורונים**, אשר "מדברים" זה עם זה באמצעות שליחת אותות חשמליים. מאחר שניורונים יכולים "לדבר" זה עם זה, אנו יכולים לעשות הרבה דברים כמו למשל לרוץ, לאכול, לדבר, או אפילו לנגן בכלי מוזיקלי!

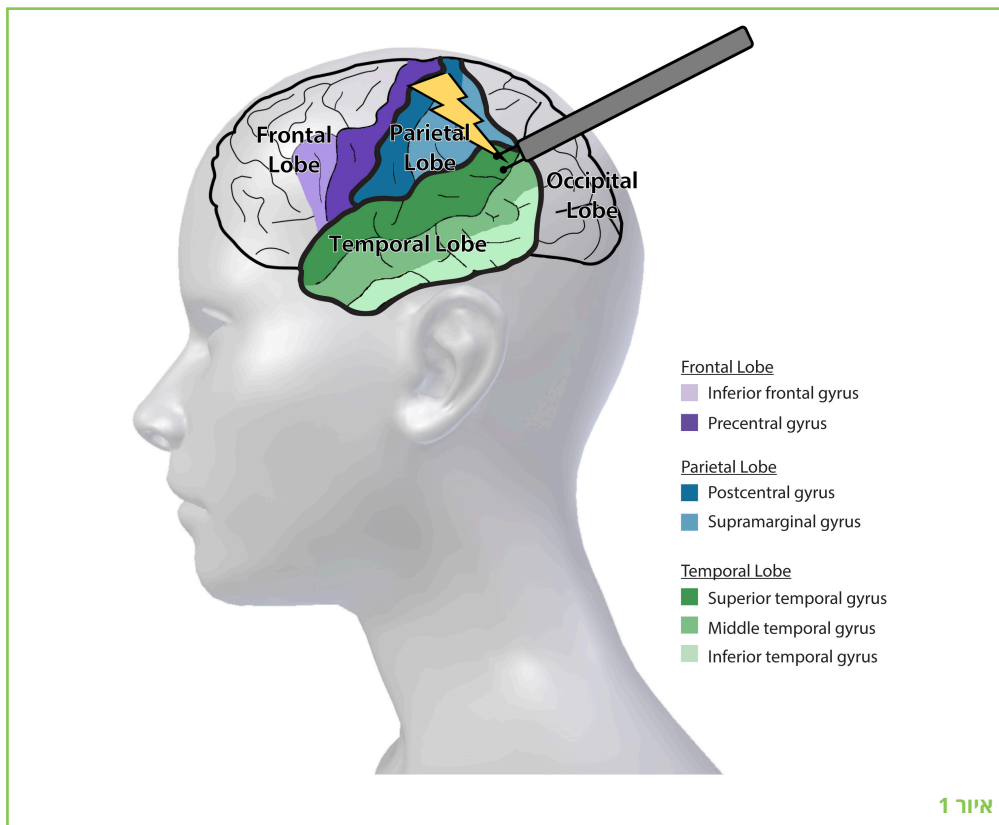
נירון

(Neuron)

התאים שמרכיבים את המוח שלנו ומאפשרים לגוף שלנו לבצע מטלות שונות.

איור 1

המוח שלנו מורכב מאזורים שונים שמסייעים לנו לבצע מטלות שונות. האזורים המודגשים גורו באמצעות ESM. האזורים הסגולים היו באזור במוח שנקרא האונה המצחית, והם חשובים לדיבור ולמוזיקה. האזורים הכחולים נמצאים באונה הקודקודית, ולאזורים האלה יש תפקיד גם בדיבור וגם במוזיקה. האזורים הירוקים הם חלק מהאונה הרקתית, והם חשובים לדיבור. המכשיר האפור דמוי השרביט הוא מגרה ESM, אשר שולח את החשמל (שמיוצג בצורת ברק צהוב) לתוך אחד האזורים הצבועים במוח, כדי לבחון את תפקודם.



איור 1

אפילפסיה (Epilepsy)

לקות מוחית שבה תאים במוח (ניורונים) פעילים מדי, וגורמים לאדם לחוות התקפים.

גידול (Tumor)

מסה אבנורמלית במוח שיכולה לגרום למגוון תסמינים, כולל התקפים.

פיתולים (Gyri/Gyrus)

הבליטות על פני השטח של המוח.

מיפוי גרייה קורטיקלית חשמלית (ESM - Electrocortical Stimulation Mapping)

הליך שבו אזורים שונים במוח מגורים באמצעות חשמל, כדי להפריע לתפקודים שונים במוח כמו דיבור או תנועה. ESM מאפשר לרופאים לקבוע אם אזורים מסוימים במוח חשובים לתפקודים שונים.

אולם מה קורה כאשר הניורונים האלה לא פועלים כראוי? אצל אנשים עם **אפילפסיה**, הניורונים עשויים להיות פעילים מדי, מה שגורם להתקפים. או, אצל אנשים עם **גידולים** במוח, חלק מהתאים עשויים לגדול באופן אבנורמלי, ולעיתים גם זה יכול לגרום להתקפים. לחלק מהמטופלים עם גידולים במוח או אפילפסיה יכולים להיות תסמינים שאי אפשר לרפא לחלוטין באמצעות תרופות, כך שהם עשויים להזדקק לניתוח כדי להסיר את הגידול או את האזורים במוח שגורמים להתקפים. אם הגידול או האפילפסיה של המטופלים נמצאים באזור השפה במוח, חשוב לוודא שהמטופלים יהיו מסוגלים לדבר ולהבין דיבור גם אחרי הניתוח. מסיבה זו, מנתחים רוצים לוודא שאינם מסירים את האזורים החשובים האלה במוח.

המוח מחולק לארבע אֵנוֹת עיקריות, או אזורים, שנקראות האונה המצחית, הקודקודית, הרקתית והעורפית. אזורים קטנים יותר באונות הקודקודית, המצחית והרקתית שנקראים **פיתול** הרקה העליון, הפיתול הקדם-מצחי, הפיתול הבתר-מרכזי והפיתול המצחי התחתון (איור 1), נמצאו כחשובים עבור שְׁפָה [1]. לכל אחד מאזורי המוח האלה יש תפקיד בהקשבה ובהבנה, בדיבור, בתנועה ובתחושה. כדי להימנע מגרימת נזק לאזורי המוח האלה במהלך ניתוח, מנתחים משתמשים בשיטה שנקראת **מיפוי גרייה קורטיקלית חשמלית (ESM)**, שהיא כלי למיפוי המוח. ESM יכולה לסייע למנתחים להבין אלו אזורים במוח חשובים לדיבור. כדי לעשות זאת, המנתחים משתמשים במכשיר דמוי-שרביט שנקרא מְגֵרָה (stimulator), בעל שתי אלקטרודות קטנות, כדי לשלוח כמויות זעירות של חשמל לאזורים שונים במוח. החשמל הזה משנה באופן זמני את הדרך שבה ניורונים מְתַקְשְׁרִים זה עם זה. על ידי גרייה של המוח, אפשר לגרום למטופלים לעשות טעויות בזמן שהם מדברים, או לגרום למטופלים להפסיק לגמרי את הדיבור.

עבור מטופלים שהם מוזיקאים, חשוב גם שניתוח המוח לא יפגע ביכולתם להמשיך לנגן. כמו עם דיבור, המנתח יכול להשתמש ב-ESM כדי לנרות אזורים שונים במוח ולראות אם הגירוי גורם למטופלים להפסיק להיות מסוגלים לנגן על כלי. די מדהים לראות אדם שמנגן על גיטרה במהלך ניתוח מוח! על ידי זיהוי האזורים במוח שחשובים לנגינה, המנתחים יכולים להיות זהירים ולא להזיק לאזורים האלה במהלך הניתוח. באיור 1, כל האזורים הצבועים במוח מופיעים כאשר אנשים מדברים, וחלק מהאזורים באונות הרקתית, הקודקודית והמצחית גם נראים מעורבים בנגינה.

עבור מרבית האנשים, דיבור ומוזיקה חשובים לתקשורת, בין אם לדיבור מילולי ובין אם לביטוי עצמי באופן בלתי מילולי, בדרך אומנותית. הבנת האזורים המסוימים במוח שאחראים על שני סוגי התקשורת האלה חשובה לא רק במהלך ניתוח מוח – היא גם יכולה לסייע למדענים לבנות כלים טובים יותר לשיפור התקשורת, במיוחד אצל אנשים שסבלו משבץ, או שהם משותקים ואיבדו את יכולתם לדבר או לזוז.

מה מטופלים עושים במהלך ESM?

ESM הוא הליך ייחודי מאחר שהוא צריך להיות מבוצע כשהמטופל ער, במהלך ניתוח מוח. כיצד זה קורה באופן נורמלי? ראשית, מטופלים מקבלים תרופות כדי שלא ירגישו כאב. לאחר מכן, המנתחים יבקשו מהמטופלים לבצע מגוון מטלות שכוללות דיבור, הקשבה, או תנועה. לדוגמה, במטלה של חזרה בדיבור, מטופלים ישמעו משהו כמו "תגידו חתלתול", והמטופלים יחזרו על המילה "חתלתול". בזמן שהמטופלים מבצעים את המטלה הזו, המנתחים ישתמשו במגרה ESM [2] באזורים שונים במוח. כאשר המגרה נוגע באזור קריטי לדיבור במוח, הוא יכול להפריע ליכולתם של המטופלים לדבר.

באופן מדהים, ישנם הרבה סוגי טעויות ש-ESM יכול לגרום למטופלים לעשות. אחד מסוגי הטעויות נקרא מעצר, מאחר שהמטופלים אינם יכולים להגיד שום דבר. טעות נוספת היא כאשר מטופלים אומרים "חתלכול" במקום "חתלתול". זה נקרא החלפה, וסוג הטעות הזו נקרא **טעות פונולוגית** מאחר שהמטופלים החליפו את צליל ה"ת" (או **פונמה**) ב"כ" במילה "חתלתול". כאשר מטופלים מבצעים טעויות כשהם מנסים לדבר במהלך ESM, הרופאים רושמים אלו אזורים במוח גורמים לאלו סוגי טעויות, ומוודאים שאזורי המוח שקריטיים לתקשורת לא יוסרו במהלך הניתוח.

אם כן, מה לגבי מוזיקה?

האם אותם אזורים במוח שולטים על דיבור ועל נגינה על כלי?

שני מטופלים (שהם גם מוזיקאים) אשר זקוקים לניתוח מוח רצו לוודא שהאזורים במוחם שאפשרו להם לנגן לא יושפעו מהניתוחים שלהם [3].

המטופלים נבדקו גם לשפה וגם למוזיקה. באמצעות ESM היינו מסוגלים לחקור אם אותם אזורים במוח ממלאים תפקיד גם בדיבור וגם בנגינה, או אם ישנם אזורים שונים במוח לכל אחד מתחומים אלה. כדי לבחון שפה, שני המטופלים התבקשו לספור לאט מ-1 עד 30, או עד

טעות פונולוגית (Phonological Error)

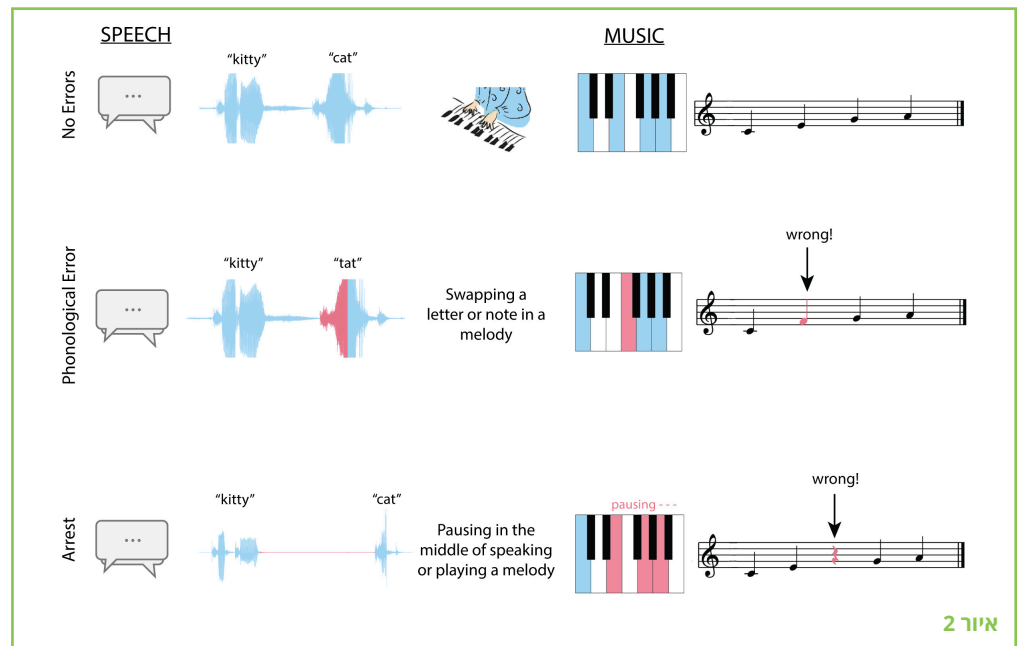
טעות בדיבור שמתרחשת במהלך ESM, שבה המטופלים מחליפים פונמות כשהם מנסים לומר מילה נתונה (למשל אומרים "טאן" במקום "כאן").

פונמות (Phonemes)

צלילים בודדים שמבטאים כשמנסים להגות אותיות וליצור מילים.

איור 2

חלק מהטעויות שאנשים מבצעים כשהם מדברים או מנגנים על כלי במהלך ESM. סוגי הטעויות האלה מאפשרים לנו לראות אלו אזורים במוח אחראים על תפקודי שפה ומוזיקה. כאן, יש לנו דוגמה של אמירת "חתלתול" באנגלית (kitty cat) ונגינת רצף של תווים על מקלדת פסנתר. הקווים המשובטים מתחת למילים "kitty cat" הם תמונות של גלי הקול. הצבע הכחול מראה שאזורים במילה או בקטע המוזיקלי דוברים או נוגנים נכון. המקומות שבהם גלי צבועים באדום, מראים שבוצעה טעות.



איור 2

שאמרו להם להפסיק. הם גם התבקשו לחזור על מילים. בזמן שהם דיברו, המנתחים השתמשו ב-ESM כדי לגרות אזורים קטנים בתוך האזורים הצבועים במוח (איור 1), במטרה לראות אם המטופלים יבצעו טעויות. כל אחד מאתרי הגרייה האלה נבחן בין פעם אחת ל-18 פעמים. עבור החלק המוזיקלי, המטופל הראשון התבקש לנגן סולמות מוזיקליים ומנגינה שהוא הכיר. המטופל השני פרט אקורדים על גיטרה. בזמן שהמטופלים ביצעו את המטלות המוזיקליות האלה, המנתחים גירו את אותם האזורים המוחיים שנבחנו במטלת השפה. גם עבור שפה וגם עבור מוזיקה, חוקרים הסתכלו על אלו סוגי טעויות (איור 2) המטופלים ביצעו במהלך הגרייה, ואלו אזורים במוח היו מעורבים בכל אחת מהן.

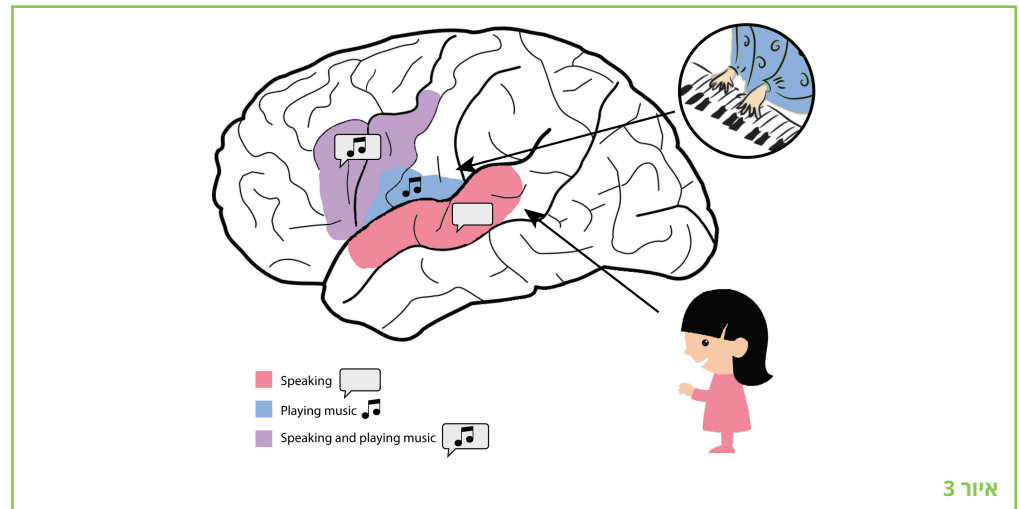
תוצאות המחקר הזה הראו לנו שגרייה של הפיתול המצחי התחתון (האזור הסגול באיור 1) גרמה למטופלים להפסיק (מעצר), גם בדיבור וגם במוזיקה! מדענים האמינו קודם לכן שהאזור הזה במוח אחראי על תכנון תנועה של הלסת, השפתיים והלשון, כדי שנוכל לדבר. אולם אנו מצאנו שאזור המוח הזה שולט גם על תנועות ידיים. בעוד שהיו אזורים מסוימים במוח שגרמו לטעויות רק בדיבור (פיתול הרקה העליון, האזור הורוד באיור 3), או בכנייה בלבד (אזור כחול באיור 3), היו אזורים מסוימים במוח שגרמו לטעויות בשניהם. נראה שהתוצאות האלה מצביעות על כך שלפיתול המצחי התחתון יש תפקידים רבים ביחס לאופן שבו אנו מתקשרים, והוא לא משמש רק לדיבור. מאחר שרק שני מטופלים נחקרו, חשוב לערוך מחקרי ESM נוספים על מטופלים אחרים שהם גם מוזיקאים, כדי שנוכל לראות אם התוצאות האלה דומות בקבוצות גדולות יותר של אנשים.

מה למדנו על המוח מדיבור ומוזיקה?

מוזיקה ושפה מסייעות לנו לתקשר. במשך עשרות שנים, מדענים הבחינו כיצד מוזיקה ושפה קשורות במוח, אולם הם גם מצאו הבדלים מסוימים [4]. במאמר הזה, דנו באופן שבו ESM משנה את הפעילות המוחית באזורים במוח שהם חשובים למוזיקה בלבד, או לדיבור בלבד,

איור 3

חלק מהאזורים במוח מעבדים בעיקר דיבור, וחלק מהאזורים מעבדים בעיקר מוזיקה. ישנם גם אזורים שעושים את שניהם. אתם יכולים לראות שמרבית האזורים בחלק המרכזי והאחורי של הפיתול המצחי התחתון והפיתול הקדם-מצחי, בסגול, אחראים על הקשבה ודיבור. החלק הקטן בכחול, שנמצא בעיקר בחלק התחתון של הפיתול הבר-מרכזי, מעורב רק בנגינה. האזור האדום של הפיתול הרקטי העליון נדמה כמעורב רק בדיבור, ולא בנגינה. קרדיט לתמונה: <https://pixabay.com/illustrations/women-s-music-instrument-piano-1648811/>



איור 3

ואזורים במוח שממלאים תפקיד בשניהם. באמצעות המחקר הזה, ESM סייעה לנו ללמוד שאזורי המוח האלה מעט יותר מורכבים ממה שחשבנו בעבר. נדמה שלחלק מהאזורים במוח כמו למשל הפיתול המצחי תחתון, יש כמה תפקודים כמו למשל סיוע ביכולות לדבר ולנגן על כלי. באופן כללי, ישנו חוסר הסכמה בנוגע להיכן ממוקם "אזור המוזיקה" במוח, בהשוואה ל"אזור הדיבור והשפה", אולם סוגי השאלות האלה הופכים את מדעי המוח למעניינים. מטרתו האולטימטיבית של המחקר הזה ומחקרים עתידיים היא לסייע למדענים ולאנשים שאינם מדענים להבין לעומק נושאים כמו שפה ומוזיקה, כך שבני אדם יוכלו לתקשר טוב יותר זה עם זה!

תרומת הכותבות

MD, RS ו-LH תרמו את הרעיון ואת סקירת הספרות עבור כתב היד הזה. MD, ML ו-EC כתבו את המאמר המקורי שאליו מופנית עבודה זו. MD ו-LH עיצבו ויצרו את כל התמונות. כל המחברים תרמו לסקירה, לקריאה ולאישור הגרסה המוגשת של כתב היד.

תודות

המחברים רוצים להודות למטופלים במרכז UCSF לאפילפסיה, אשר השתתפו במטלות המחקר הזה ואפשרו את העבודה הזו.

מאמר המקור

Leonard, M. K., Desai, M., Hungate, D., Cai, R., Singhal, N. S., Knowlton, R. C., et al. 2018. Direct cortical stimulation of inferior frontal cortex disrupts both speech and music production in highly trained musicians. *Cogn. Neuropsychol.* 36:158–66. doi: 10.1080/02643294.2018.1472559

מקורות

1. Leonard, M. K., Cai, R., Babiak, M. C., Ren, A., and Chang, E. F. 2016. The peri-Sylvian cortical network underlying single word repetition revealed by electrocortical stimulation and direct neural recordings. *Brain Lang.* 193:58–72. doi: 10.1016/j.bandl.2016.06.001
2. Ojemann, G., Ojemann, J., Lettich, E., and Berger, M. 1989. Cortical language localization in left, dominant hemisphere: an electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. *J. Neurosurg.* 71:316–26. doi: 10.3171/jns.1989.71.3.0316
3. Leonard, M. K., Desai, M., Hungate, D., Cai, R., Singhal, N. S., Knowlton, R. C., et al. 2018. Direct cortical stimulation of inferior frontal cortex disrupts both speech and music production in highly trained musicians. *Cogn. Neuropsychol.* 36:158–66. doi: 10.1080/02643294.2018.1472559
4. Zatorre, R. 2005. Music, the food of neuroscience? *Nature* 434:312–5. doi: 10.1038/434312a

פורסם אונליין: 24 בפברואר 2022

נערך על ידי: Sabine Kastner

מנחה מדעי: Iryna Omelchenko, Henry Van Den Bedem

ציטוט: Desai M, Sorrells R, Leonard MK, Chang EF and Hamilton LS (2022) נְרִיָה מוחית יכולה לסייע לנו להבין מוזיקה ושפה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00016-he

תורגם והותאם: Desai M, Sorrells R, Leonard MK, Chang EF and Hamilton LS (2020) Brain Stimulation Can Help Us Understand Music and Language. *Front. Young Minds* 8:16. doi: 10.3389/frym.2020.00016

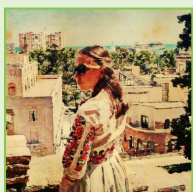
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

© 2020 © 2020 Desai, Sorrells, Leonard, Chang and Hamilton. 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

JULIA, גיל: 13

קוראים לי Julia ואני תלמידת כיתה ט מברלין. אני תלמידה שמתעניינת מאוד במתמטיקה, בכימיה ובמדע, במיוחד במדעי המוח ובמדעי החלל, או במכניקת הקוונטים, אולם אני גם נהנית ללמוד שפות. בבית אני



מדברת עם ההורים שלי באוקראינית מאחר שבמקור הגענו מאוקראינה, ונוסף לכך אני לומדת גרמנית, אנגלית וצרפתית בבית הספר. בזמני הפנוי אני אוהבת מאוד לנגן על פסנתר, לרקוד ולקרוא ספרים.



SYB, גיל: 14

אני תלמיד כיתה ט שמשחק (או צופה) בכדורגל בכל הזדמנות שאפשר להתפנות מבית הספר. אני אוהב מתמטיקה ומדע, ולשחק משחקי קופסה. יש לי מוח תלת-ממדי מודפס משלי שמוצג בחדר שלי!

הכותבים

MAANSI DESAI

אני דוקטורנטית באוניברסיטת טקסס באוסטין, שם אני חוקרת כיצד המוח מייצג את כל סוגי הצליל השונים כמו למשל דיבור, מוזיקה ורעש רקע. אחרי סיום הדוקטורט אני מקווה ליישם את המחקר שלי בשיפור מכשירי שמיעה. בזמני הפנוי אני נהנית לטפס או לטפס על סלעים, לנגן על פסנתר, לקרוא ספרים ולתכנן את הרפתקת הטיולים הבאה שלי.



RACHEL SORRELLS

אני בוגרת טרייה של אוניברסיטת טקסס באוסטין, שם למדתי מדעי המוח. אחרי סיום הלימודים, אני מחפשת עבודה במשרה מלאה בזמן שאני מתכננת לנסות להתקבל לבית ספר ללימודים מתקדמים. אני מקווה ליישם את מה שלמדתי ממדעי המוח לאהבתי למוזיקה, בעבודתי העתידית ובחיים. לצד מדע, אני אוהבת לבלות זמן בנגינה על פסנתר ובהחלקה על גלגליות.



MATTHEW K. LEONARD

אני מדען מוח קוגניטיבי ב-UCSF, שם אני חוקר כיצד מוח האדם מבין שפה מדוברת. המחקר שלי מערב עבודה עם מטופלים שעוברים ניתוח מוח, אשר מתנדבים לסייע לנו לחקור דיבור באמצעות אלקטרוזות שממוקמות ישירות על המוח שלהם בזמן שהם עוברים טיפול במחלות נוירולוגיות. מחוץ למעבדה, אני מנסה לבלות כמה שיותר זמן בנגינה על פסנתר, בקריאת סיפורת ובטיול בחוף סביב לסן פרנסיסקו.



EDWARD F. CHANG

אני מנתח מוח ב-UCSF, שם אני מטפל במטופלים עם אפילפסיה שקשה לשלוט בה, גידולים מוחיים, הפרעות בתנועה ולקויות נוירולוגיות אחרות. מעבדת המחקר שלי מתמקדת בחקר דיבור, תנועה ולמידה דרך שיטות שונות למיפוי מוח אצל מטופלים שעוברים ניתוח במוח. אני גם המנהל השותף של המרכז להנדסה נוירולית ותותבות ב-UCSF ובאוניברסיטת קליפורניה, ברקלי. מחוץ למעבדה או לחדר הניתוחים, אני נהנה לבלות עם המשפחה שלי, או לשוט במפרץ סן פרנסיסקו.



LIBERTY S. HAMILTON

אני מדענית מוח ופרופסורית במחלקה למדעי התקשורת ולקויות במחלקה לנוירולוגיה באוניברסיטת טקסס באוסטין. המעבדה שלי חוקרת כיצד המוח מעבד דיבור וצלילים אחרים בסביבה שלנו, באמצעות



EEG ורישומים תוך-גולגולתיים אצל חולים עם אפילפסיה. אני גם מלמדת קורסים על שפה והמוח, על ניר-אנטומיה ועל פיזיולוגיה. בזמני מחוץ למעבדה אני אוהבת להיות בטבע, בין אם לטפס, לעשות סקי, או לשוט בקיאק. אני גם נהנית לנגן על פסנתר ולבשל. *liberty.hamilton@austin.texas.edu

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