

כשהבחירה לא להקשיב מסייעת לכם לשמוע וללמוד

Angela M. AuBuchon^{1*}, Ryan W. McCreery²

¹המעבדה לזיכרון עבודה ולשפה, בית חולים מחקרי לאומי בויס טאון, אומהה, נברסקה, ארצות הברית
²המעבדה לשמיעה, לתפיסה ולקוגניציה, בית חולים מחקרי לאומי בויס טאון, אומהה, נברסקה, ארצות הברית

הקשבה לצלילים חשובים תסייע לנו ללמוד. אולם יכול להיות קשה להפריד בין צלילים חשובים לצלילים לא חשובים, או רעש. אזורים שונים במוחות שלנו מושפעים על ידי סוגים שונים של רעש, מה שמקשה עלינו ללמוד. כשהמוחות שלנו גדלים, אנו משתפרים בהפרדה בין צלילים חשובים לבין רעש. אולם ישנם כמה טריקים של הקשבה שגם ילדים וגם מבוגרים יכולים להשתמש בהם כדי להקשיב וללמוד ברעש.

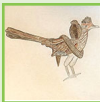
מבוגרים לעיתים קרובות מצפים מילדים ללמוד בכיתות רועשות. כסאות חורקים על הרצפה. מכסחות דשא גוזמות דשא בחצר. תלמידים אחרים מדברים בשולחן שלידי. לאחרונה מדדנו צלילים ב-157 כיתות; אפילו כשלא היו תלמידים בכיתה, ב-137 כיתות היה מספיק רעש כדי להפריע ליכולת להקשיב [1]! זה עשוי להיראות טיול קצר לצלילים מהאוזניים למוח שלנו. אך ישנן הרבה דרכים שבהן רעש יכול להפריע ללמידה בדרך. מה שיכול להיות מתסכל במיוחד הוא שלעיתים רעשים לא מפריעים למבוגרים כמו שהם מפריעים לילדים. חלק מזה נכון מאחר שמערכת השמיעה של ילדים עדיין גדלה ומשתנה (איור 1). כמו כן, למבוגרים יש כישורים להתמודדות עם רעש. נדון באופן שבו צלילים שלא נראים חשובים עדיין מקשים עלינו להבין דברים אחרים שאנו שומעים ורואים. לאחר מכן, ניתן לכם כמה טריקים להקשבה וללמידה ברעש.

סוקרים צעירים

IAGO
גיל: 13



ROADRUNNERS
& COBRAS
גיל: 11-10



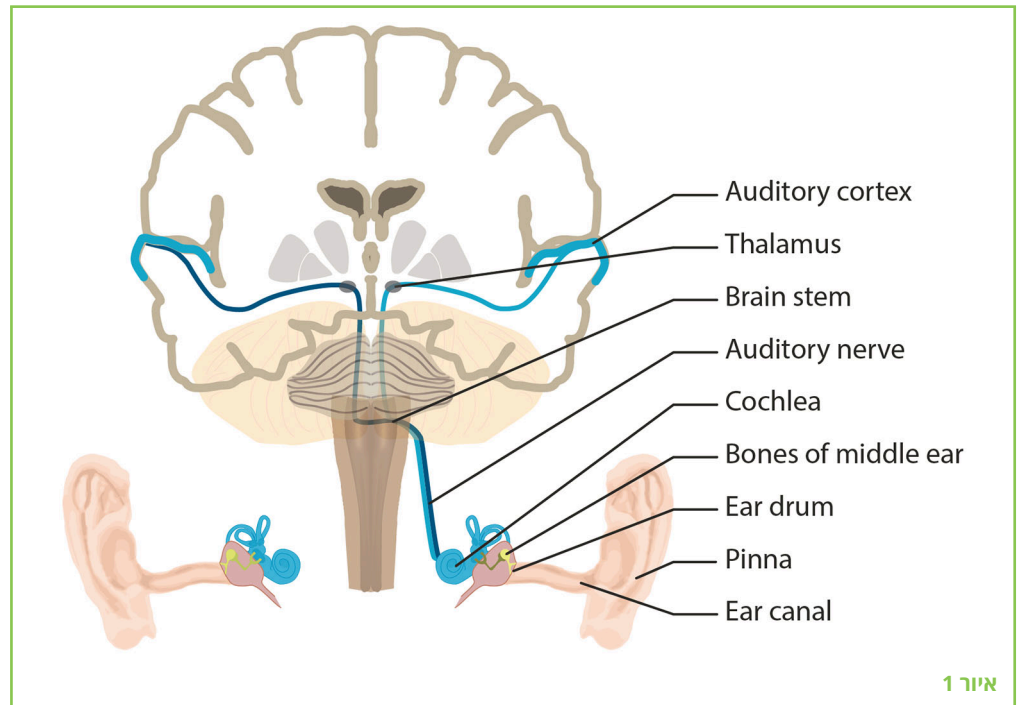
מערכת השמיעה

(Auditory System)

מערכת הגוף שאחראית על שמיעה. היא כוללת פיסות דמויות מכונה ותאי עצב, אשר נושאים מידע לגבי צלילים מהאוזן למוח.

איור 1

כאן אנו רואים מבנים דמויי מכונות ותאי עצב של מערכת השמיעה. האזורים שהכי מעורבים בשמיעה ובהתעלמות מרעש מסומנים באיור. האפרכסת (pinna) מתעלת צלילים לתוך תעלת האוזן. אנו צריכים להסתכל על צלילים חשובים מאחר שהאפרכסת הכי טובה בתיעול צלילים שמגיעים מלפנינו. שבלול האוזן (cochlea) הופך צלילים לחשמל ש"מטייל" לאורך עצבי השמיעה (auditory nerves) אל גזע המוח (brain stem). לאחר מכן, אותות חשמליים "מטיילים" דרך התלמוס (thalamus) בדרכם לקליפת המוח השמיעתית (auditory cortex) באונה הרקתית של המוח.



איור 1

קטגוריות של רעש

רעשים שונים משפיעים על מערכת השמיעה שלנו בדרכים שונות. אנו נתמקד בשלושה סוגי רעש. ראשית, ישנו רעש שמשנתנה עם הזמן. זה סוג רעש כמו שמגיע משני חברים לכיתה שמנהלים שיחה. דוגמה אחרת לרעש משנתנה הוא הקשבה למוזיקת ג'אז בזמן שאתם לומדים. כשרעש משנתנה, לעיתים לרעש יש תדר גבוה, כמו חצוצרה; לעיתים, לרעש יש תדר נמוך כמו טוֹבָּה. לעיתים, הרעש רועש ולפעמים הוא שקט. אנו מודדים את עוצמת הרעש ביחידות של דציבלים. צלילים רכים, כמו למשל רשרוש עלים, הם בסביבות 20 דציבלים, ורעשים חזקים, כמו למשל מנועים של מטוסים, הם יותר מ-100 דציבלים. שנית, ישנו רעש יציב. זהו רעש שנשמע פחות או יותר אותו הדבר מההתחלה ועד לסוף. סוג הרעש הזה כולל זמזום של מחשב, נהמה של מכסחת דשא, ופטפט בקפיטריה כשכולם מדברים במקביל. סוג הרעש השלישי הוא פתאומי וקצר. רעשים בקטגוריה הזו לעיתים קרובות מפתיעים. הרעשים האלה עשויים להיות חזקים כמו טריקת דלת, אולם הם לא חייבים להיות חזקים. הם רק צריכים להיות חזקים יותר מרעשי הסביבה. צלצול חלש של טלפון יכול להיכלל בקטגוריה הזו אם שאר החדר שקט מאוד.

הפרדה בין צלילים לרעש

כשבמקום אחד יש צלילים רבים, הצלילים האלה מתערבבים יחד כשהם "מטיילים" לאוזניים שלנו. ה"אוזניים" שלכם הם יותר מתופסני הצליל המפותלים שבצדי ראשיכם, שנקראים **אפרכסות**. כל אחת מהאוזניים שלכם כוללת את תעלת האוזן שמובילה לעור התוף, את עור התוף שלכם, עצמות קטנות מאוד בצד השני של עור התוף, ומבנה שנקרא **שבלול האוזן**. השבלול הוא המקום שבו גלי קול הופכים לאותות שתאי עצב במערכת השמיעה שלכם מבינים. שבלול האוזן הוא גם מקום שבו צלילים מתערבבים יחד. דמיינו ששבלול האוזן שלכם

אפרכסת (Pinna)

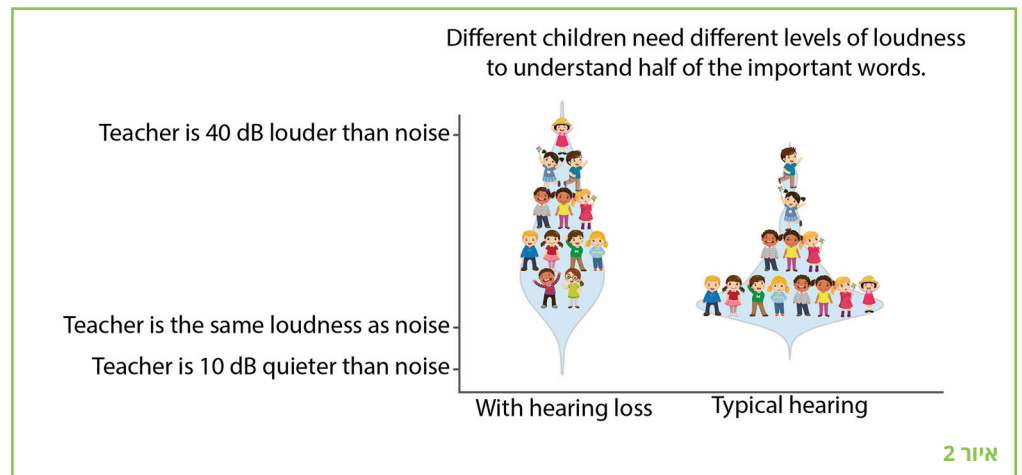
חלק במערכת השמיעה שמחובר לצד החיצוני של הראש, ומה שאנשים בדרך כלל מכנים "אוזן". מדענים קוראים לכל דבר מהאפרכסת ועד לשבלול "אוזן".

שבלול האוזן (Cochlea)

מבנה דמוי ספירלה שהופך גלי צליל לאותות עצביים שעוזבים את השבלול על עצב השמיעה – אחד מ-12 עצבי הגולגולת שעוקפים את חוט השדרה.

איור 2

מעט מאוד ילדים מבינים מחצית ממה שהם שומעים כשהדובר שקט יותר מהרעש. לדוגמה, תחתית הגרף היא כמו המורה שמדברת (מרבית האנשים מדברים בסביבות 60 דציבלים) ביחס למכסחת דשא (70 דציבלים). כיתה רועשת היא בסביבות 90 דציבלים! מרבית הילדים עם שמיעה טיפוסית צריכים שהדובר יהיה חזק לפחות כמו הרעש (מימין). ילדים קרוב למעלה הגרף צריכים שהדובר יהיה חזק יותר מהרעש. שימו לב לכך שמרבית הילדים עם אובדן שמיעה קרובים יותר למעלה הגרף (משמאל). זה ממש חייב כמה קשה יותר להקשיב ברעש עבור ילדים עם אובדן שמיעה - אפילו כשהם משתמשים בעוזרי שמיעה [2].



הוא כמו בריכה. הצלילים שמגיעים אל שבלול האוזן שלכם הם כמו אבנים שמשאירות אדוות בזמן שהן מושלכות אל הבריכה. אם כל תלמיד בקפיטריה השליך אבן אל הבריכה שלכם, היו אדוות בכל מקום. בסופו של דבר, האדוות היו נתקלות זו בזו. אחרי שהאדוות מתערבבות, קשה להבחין איזו אדווה הגיעה מאיזה תלמיד. זו הסיבה הראשונה לכך שקשה ללמוד כשרועש: שני צלילים אינם טובים מאוד בלהיות באותו המקום באותו הזמן. במקום זאת, שני הצלילים יתערבבו לצליל אחד מבלגן ומבלבל. כל שלושת סוגי הרעשים מתערבבים יחד עם צלילים חשובים, אולם רעשים קבועים מתערבבים הכי הרבה עם צלילים אחרים. שלא כמו רעשים פתאומיים, רעשים קבועים נמשכים זמן ארוך. שלא כמו רעש משתנה, רעש קבוע לעולם לא נעשה שקט יותר. כאשר רעש משתנה נעשה שקט, אפילו לרגע אחד, לצליל החשוב יש את האפרכסת לעצמו בלבד. טריק אחד שאפשר להשתמש בו ברעשים של שקט הוא "הצצה" לצליל החשוב. שבלול האוזן שלנו מפותח לחלוטין לפני שאנו נולדים, ולכן צלילים מתערבבים בשבלול באותו האופן אצל מבוגרים וילדים. אולם מבוגרים טובים יותר בלהיות מסוגלים להשתמש ב"הצצות" כדי לשמוע צלילים חשובים. הסיבה לכך היא שיכולתו של המוח לעבד צלילים משתפרת כשאנו מתבגרים.

כדי להבין את מה שמתרחש סביבנו, אנו צריכים לחלק צלילים מעורבבים חזרה ליחידות נפרדות. טריק שמסייע לנו להפריד צלילים הוא לחזק את הצליל החשוב. דמיינו את הבריכה שלנו מלאה באדוות מאבנים של תלמידים. כעת, דמיינו את המורה שלכם זורקת סלע ענק. האדוות של הסלע הענק עדיין יכולות להתערבב עם אדוות מאבנים של תלמידים. אולם האדוות של הסלע יהיו כל כך גדולות שקל יהיה להפריד אותן. אנו הזמנו ילדים עם שמיעה רגילה וילדים עם אובדן שמיעה להקשיב למשפטים חשובים בתוך רעש רקע. מעט מאוד ילדים בכל קבוצה הצליחו להבין את המשפטים כשהמשפטים היו שקטים יותר מהרעש, או כשהמשפטים והרעש היו באותה עוצמה. ברגע שהמשפטים נעשו חזקים אפילו בכמה דציבלים יותר מהרעש, מרבית הילדים עם שמיעה טיפוסית היו מסוגלים להפריד בין הצלילים לבין הרעש, ולהבין את המשפטים. אולם חלק מהילדים צריכים שהמשפטים יהיו הרבה יותר חזקים מהרעש כדי להפריד אותם (איור 2).

הפיכת הצלילים החשובים לחזקים יותר היא טריק שימושי מאחר שישנן הרבה דרכים להפוך את קול המורה שלכם להיות חזק יותר. אתם יכולים לבקש מהמורה שלכם להגביר את קולה, או שאתם יכולים לעבור לשבת קרוב יותר למורה. אתם יכולים לנסות להחליש את הרעש.

הרגלה (Habituation)

תגובה פחותה כאשר אותו הצליל, המראה, הריח או המגע מוצג לאורך זמן.

אם הרעש בחוץ, בקשו לסגור את החלון. למוחות שלנו יש טריק שימושי להפיכת רעשים לא כך כל חשובים להישמע חלשים יותר. הטריק הזה נקרא **הרגלה**. הרגלה היא מצב שבו אותו הדבר מוצג שוב ושוב ואנו מפסיקים להגיב אליו. הרגלה מתרחשת לצלילים, למראות, לריחות ולמגע. האם אי פעם הכנתם פופקורן שהריח ממש טוב? אחרי זמן מה, הפסקתם להבחין בריח. לאחר מכן המשכתם לשירותים, ואז כשחזרתם יכולתם שוב להריח את הפופקורן. זוהי דוגמה להרגלה של חוש הריח. ריח הפופקורן עדיין שם, אולם המוח שלכם הפסיק להבחין בו. אותו הדבר קורה עם צלילים – במיוחד עם רעשים קבועים. אף על פי שהרעש הקבוע לא נעשה שקט יותר, הוא מייצר תגובה מוחית קטנה יותר עם הזמן, מה שגורם לצליל החשוב להישמע חזק יותר בהשוואה אליו. לרוע המזל, אפילו לילדים בוגרים בני 9-11 לוקח יותר זמן לעבור הרגלה לצלילים מאשר למבוגרים [3]. יכולתם של מבוגרים להתרגל לרעשים קבועים עשויה גם להיות אחת הסיבות לכך שהם טובים יותר מילדים בהבנת מילים חשובות כשישנו רעש [4].

אנו גם מפרידים בין צלילים על ידי הבנת המקום שממנו מגיע כל צליל. זה אפשרי מאחר שיש לנו שתי אוזניים. צלילים מצד ימין שלכם יהיו קצת יותר רועשים באוזן ימין שלכם מאשר באוזן שמאל שלכם (הקשיבו לדמיון של צליל בסוף המאמר). צליל מימינכם גם יגיע לאוזן ימין שלכם קצת יותר מהר מאשר לאוזן שמאל. ההבדל קצר כל כך (מחצית של מיליונית השנייה), שאתם מעולם לא תבחינו בכך. אולם מערכת השמיעה שלכם מבחינה בכך! אחרי שמידע הצליל עוזב כל שבלול אוזן, הוא "מטייל" לאורך עצב מיוחד שנקרא עצב השמיעה ישירות אל גזע המוח. גזע המוח מקבל אותות עצביים משני השבלולים ויכול להגיד איזה שבלול שמע את הצליל קודם וחזק יותר. עד שאנו מבוגרים, גזע המוח שלנו הבין בדיוק כמה זמן לוקח (וכמה העוצמה משתנה) כשצליל "מטייל" בסביבת ראשנו. הראשים שלנו עדיין גדלים מהר מאוד עד שאנו בני 6, מה שמקשה על מציאת צלילים עבור ילדים צעירים מאוד. ידיעת המקום שבו כל צליל מגיע ממנו מסייעת למערכת השמיעה שלנו להפריד בין צלילים מעורבבים.

אנו גם יכולים להפריד בין צלילים מעורבבים על ידי שימת לב לצליל אחד תוך התעלמות מצלילים אחרים. איננו מבינים לחלוטין כיצד המוח שלנו מסוגל לעשות זאת. לעיתים, נדמה שאנו מחליטים למה לשים לב, אולם פעמים אחרות נדמה שהמוחות שלנו מחליטים עבורנו. אם הכיתה שלכם עבדה בזמן שהדלת פתאום נטרקה, התלמידים היו מסתכלים על הדלת. מערכת השמיעה שלכם שמעה את הצליל, הבינה מאיפה הוא הגיע, והחליטה שזה עשוי להיות חשוב מספיק כדי להפנות לכך את תשומת הלב. רעיון אחד הוא שה**תלמוס**, מבנה שנמצא עמוק בתוך המוח, מסייע לתעדף מידע [5]. התלמוס מקבל מידע על צלילים כמו גם על מראות, טעמים ומגע. התלמוס יכול לנטר את סביבתנו ולאחר כאשר צליל, מראה, או מגע משתנים. יש סבירות גבוהה יותר שהצלילים יתפסו את תשומת ליבנו אם הם מגיעים או משתנים באופן בלתי צפוי. משמעות הדבר היא שצלילים משתנים עשויים לקבל את תשומת ליבנו אפילו אם איננו מעוניינים בכך.

רעש מקשה עלינו להבין מה אנו רואים

רעש לא רק מקשה עלינו לשים לב לצלילים חשובים, אלא שרעש גם מקשה עלינו לשים לב למידע חשוב שאנו רואים. עד שילדים מגיעים לגיל 9 בערך, אפילו רעשים קבועים, כמו מזגנים, יכולים לפגוע בזיכרון שלהם [6]. רעשים קבועים לא כל כך מטרידים מבוגרים, ככל

תלמוס (Thalamus)

מבנה עמוק בתוך המוח ששולח מידע על צלילים, מראות, טעם ומגע לשאר המוח. הוא עשוי להתריע למוחות שלנו לגבי שינויים בסביבה.

הנראה בגלל שהם עוברים אליהם הרגלה. אולם גם ילדים וגם מבוגרים מתקשים לזכור מילים כשרעשים משתנים מתרחשים ברקע – במיוחד אם הרעש המשתנה גם מכיל מילים. משמעות הדבר היא שיש סבירות נמוכה יותר שתזכרו את מה שקראתם, אם הטלוויזיה דולקת. אפילו ילדים בגיל 12 מתקשים לזכור כאשר לצלילים המשתנים אין מילים – כמו מוזיקת ג'אז. במילים אחרות, כל הרעשים מפריעים לזיכרון כשאנו צעירים, אולם מרעשים שונים קל יותר להתעלם כשאנו גדלים. זה מציע שכשאנו מתבגרים, המוחות שלנו נעשים טובים יותר בשליטה באלו צלילים תופסים את תשומת ליבנו. ברגע שאנו שולטים במה שהמוח שלנו מתמקד בו, אנו משתפרים בהקשבה ובלמידה בתנאים של רעש.

השתמשו בעיניכם כדי לשמוע טוב יותר

טריק שמיעה חשוב מאוד הוא התבוננות בצלילים חשובים. התבוננות במשהו מסייעת לנו לשים אליו לב. זה יסייע לנו להפריד בין צלילים חשובים לבין רעש. אנו גם יכולים להשתמש בתנועת השפתיים של מישהו כרמז לצליל שהם אומרים. בקשו מחבריכם לומר את המילים "dark" ו "mark" בלי להוציא צליל. האם הבחנתם באופן שבו השפתיים שלהם התחברו כדי לייצר את הצליל "m"? אנשים שטובים בשימוש ברמזי קריאת השפתיים האלה טובים יותר בהבנת דיבור בתוך רעש.

מסקנות

רעש יכול להקשות על שמיעה ועל למידה. לילדים קשה במיוחד להקשיב וללמוד ברעש מאחר שמערכות השמיעה שלהם עדיין מתפתחות. אולם מדענים גילו טריקים מסוימים שמסייעים לנו לשמוע טוב יותר: (1) לגרום לצלילים חשובים להיות חזקים יותר ולהחליש את הרעש; (2) לברר מהיכן מגיעים הצלילים החשובים; ו-(3) להסתכל על צלילים חשובים.

דמו צליל

הקשיבו לדמו הצליל הזה ללא אוזניות. האם אתם יכולים לזהות איזה סיפור המורה מקריאה? כעת, שימו אוזניות. האם אתם מבחינים כיצד המורה נעה ברחבי הכיתה אולם הרעש נשאר קבוע? מיקום המורה מסייע לנו לקלוט את הקול שלה ולהבין את השורה מהספר "ג'ק ואפון הפלא".



תודות

העבודה הזו נתמכה על ידי מענקים מ-NIH/NIDCD R01 DC013591 ומ-NIH/NIGMS. P20 GM109023 המחברים רוצים להודות לדוקטור Hans Packer על שסייע עם פיתוח האוורים. הם גם רוצים להודות לדוקטור G. Chris Stecker על יצירת דמו הצליל של צלילי הזבובים שסופק על ידי קלנדרוצ'ינו ואחרים [7]. הם גם רוצים להודות לאלה שסייעו בתרגום המאמרים באוסף הזה כדי לעשותם נגישים יותר לילדים במדינות שאינן דוברות אנגלית,

ולקין ג'ייקובס על שסיפקה את התקציבים הנדרשים לתרגום המאמרים. עבור המאמר הזה, Tieme Janssen ביצע את התרגום להולנדית.

מקורות

1. Spratford, M., Walker, E. A., and McCreery, R. W. 2019. Use of an application to verify classroom acoustic recommendations for children who are hard of hearing in a general education setting. *Am. J. Audiol.* 28:927–34. doi: 10.1044/2019_AJA-19-0041
2. McCreery, R. W., Walker, E., Spratford, M., Lewis, D., and Brennan, M. 2019. Auditory, cognitive, and linguistic factors predict speech recognition in adverse listening conditions for children with hearing loss. *Front. Neurosci.* 13:1093. doi: 10.3389/fnins.2019.01093
3. Muenssinger, J., Stingl, K. T., Matuz, T., Binder, G., Eehalt, S., and Preissl, H. 2013. Auditory habituation to simple tones: reduced evidence for habituation in children compared to adults. *Front. Hum. Neurosci.* 7:377. doi: 10.3389/fnhum.2013.00377
4. Hall, J. W. III, Grose, J. H., Buss, E., and Dev, M. B. 2002. Spondee recognition in a two-talking masker and a speech-shaped noise masker in adults and children. *Ear Hear.* 23:159–65. doi: 10.1097/00003446-200204000-00008
5. Nakajima, M., and Halassa, M. M. 2017. Thalamic control of functional cortical connectivity. *Curr. Opin. Neurobiol.* 44:127–31. doi: 10.1016/j.conb.2017.04.001
6. AuBuchon, A. M., McGill, C. I., and Elliott, E. M. 2019. Auditory distraction does more than disrupt rehearsal processes in children's serial recall. *Mem. Cogn.* 47:738–48. doi: 10.3758/s13421-018-0879-4
7. Calandruccio, L., Leibold, L. J., and Buss, E. 2016. Linguistic masking release in school-age children and adults. *Am. J. Audiol.* 25:34–40. doi: 10.1044/2015_AJA-15-0053

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Jessica Massonnie

מנחים מדעיים: Susana Martinez-Conde and Tobias Overath

ציטוט: AuBuchon AM and McCreery RW (2022) נשהבחירה לא להקשיב מסייעת לכם לשמוע וללמוד. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00104-he

תורגם והותאם: AuBuchon AM and McCreery RW (2020) When Choosing NOT to Listen Helps You Hear and Learn. *Front. Young Minds* 8:104. doi: 10.3389/frym.2020.00104

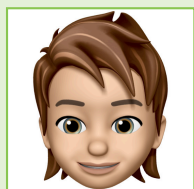
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © AuBuchon and McCreery 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

IAGO, גיל: 13

קוראים לי Iago ואני בכיתה ז'. המקצועות האהובים עליי הם כתיבה, מתמטיקה, לימודי חברה ומדע. התחביבים שלי הם משחק, D&D ומלחמות מזויפות עם חרבות. אני חושב שחשוב שמדענים יכתבו לילדים, כך שילדים יוכלו ללמוד כיצד לחשוב בצורה מהותית ולשאול שאלות על האופן שבו העולם פועל. אימא ואבא שלי הם מדענים "משוגעים" מאחר שהם תקעו קלף משחק במוח בשביל תכסיס קסם – מזל שהמוח היה עשוי מגליל!



ROADRUNNERS & COBRAS, גיל: 10-11

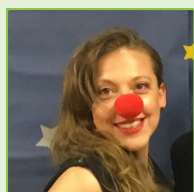
אנו תלמידי כיתה ה' יצירתיים שלהוטים ללמוד עוד על העולם. נהנינו מאוד לחשוב באופן יצירתי על המאמר הזה, וללמוד עוד על משהו שאנו פוגשים בכל יום: רעש. הייתה לנו חוויה כיפית להיות חלק מפרונטירז – מדע לצעירים!



הכותבים

ANGELA M. AUBUCHON

מטרת המחקר של Angela M. Aubuchon היא להבין כיצד אנשים זוכרים מידע חשוב (ומתעלמים ממידע לא כל כך חשוב) כדי לפתור בעיה. כדי ללמוד עוד על המחקר של Angela, עקבו אחרי המעבדה שלה ב-@BoysTownWMLL בפייסבוק. כאשר Angela אינה עורכת מחקר, היא מבקרת בבתי ספר מקומיים כדי ללמד תלמידים על מדעי המוח. השיעור האהוב עליה הוא לנסות לסייע לתלמידים לנתח מוחות של כבשים. היא גם המאמנת המעודדת בבית ספר Plattview בספרינגפילד, נברסקה. קדימה טרויאנים! *angela.aubuchon@boystown.org



RYAN W. MCCREERY

Ryan W. McCreery הוא מדען שעובד כדי לסייע לילדים שחוו אובדן שמיעה להקשיב וללמוד. קראו עוד על המחקר של Ryan ב-@APCLaboratory בפייסבוק. Ryan הוא ראש המחקר בבית החולים המחקרי הלאומי בויס טאון, ואבא נאה לשלושה ילדים נפלאים: ליאם, אנה ושרלוט, ושני כלבים, לולה וג'וג'ו.



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