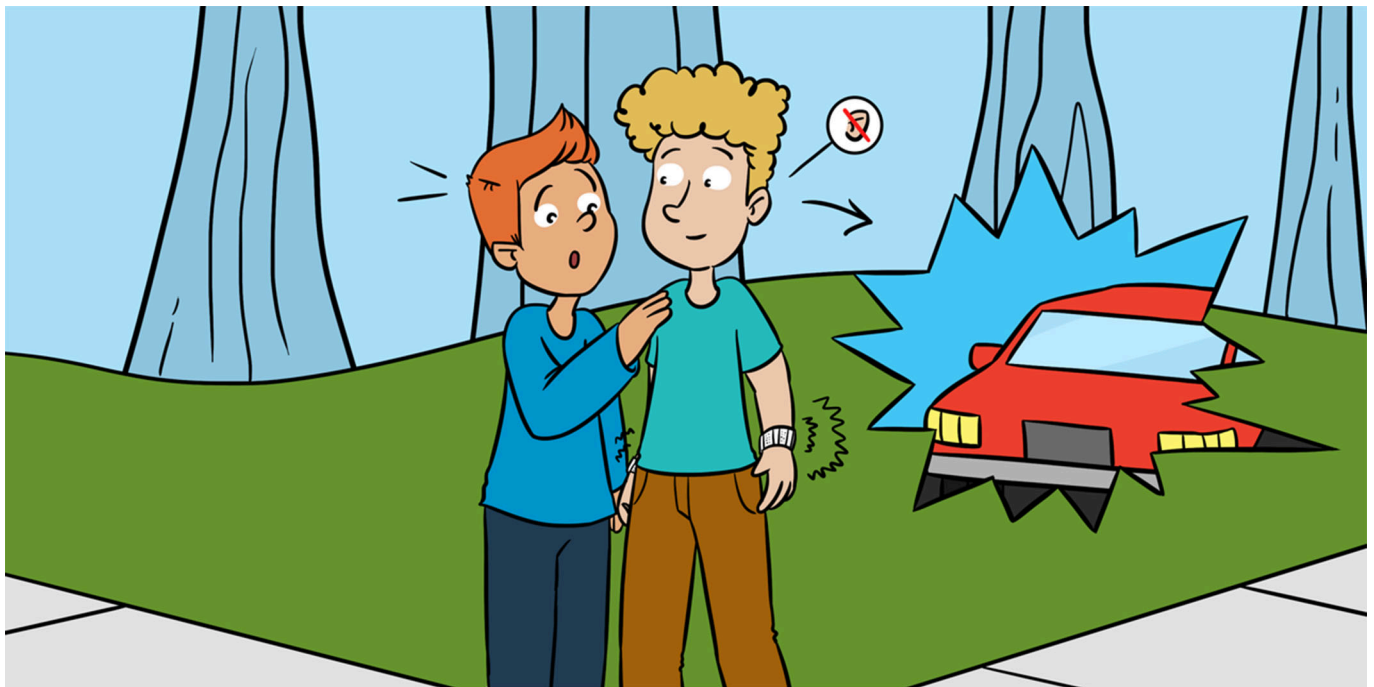




הקשיבו באמצעות פרקי כפות הידיים שלכם

Mark D. Fletcher^{1,2*}

¹הפקולטה להנדסה ולמדעי הפיזיקה, שירות שתלי השמיעה של אוניברסיטת סאות'המפטון, אוניברסיטת סאות'המפטון, סאות'המפטון, אנגליה
²הפקולטה להנדסה ולמדעי הפיזיקה, המכון לחקר קול וויברציה, אוניברסיטת סאות'המפטון, סאות'המפטון, אנגליה

סוקרים צעירים

ELLA

גיל: 11



LOTTE

גיל: 13



לְרַבְּנוּ יש חמישה חושים, שבהם המוח משתמש ליצירת מודל של העולם הנמצא סביבנו. כדי להבין מה קורה בסביבתנו אנו רואים, שומעים, מריחים, טועמים ונוגעים. אם אחד מהחושים אינו מתפקד כראוי, המוח מִפְּנֵה תשומת לב רבה יותר לחושים האחרים, וכך משלים את הפערים. עם זה החושים האחרים אינם יכולים תמיד למלא את החסר. למשל, אם האוזניים לא מתפקדות, ייתכן שהעיניים לבדן לא תוכלנה לומר למוח כי מכונית דוהרת לכיוונכם ללא שליטה! מה היה קורה לו יכולנו לעזור למוח להשלים את הפערים באמצעות שליחה מְכוּונת של המידע החסר דרך חוש אחר? לו יכולנו 'לשמוע' מהיכן מגיע קול דרך חוש המישוש? במאמר זה, נסביר כיצד אנשים הצליחו לעשות בדיוק זאת, באמצעות צמידים הממירים צלילים לרֶטֶט.

מודל 'מקולקל' של העולם

בתוך ראשינו מתקיים מודל של העולם סביב, שנבנה תוך שימוש בכל המידע שהמוח אוסף מהחושים שלנו. לפי מודל זה אנו יודעים היכן דברים נמצאים, מה מסוכן או נחשק, מי ביישן

ומי אוהב להתגאות. המודל מתעדכן ומשתכלל כל הזמן בהתבסס על מידע חדש שזורם אל המוח מהעיניים, מהאוזניים, מהאף, מהפה, ומחיישני המגע והטמפרטורה המפוזרים ברחבי הגוף. המוח האנושי אוהב מידע, ותמיד צמא לעוד ועוד ממנו.

מה קורה כאשר המידע מפסיק לזרום מחוש מסוים כיוון שחשוק מדי כדי לראות, או רועש מכדי להקשיב? במקרה זה, המוח משלים את המידע החסר על ידי התמקדות רבה יותר בחושים האחרים. לדוגמה, אם אנו מנסים לעקוב אחר שיחה אך איננו מצליחים לקבל מספיק מידע מהאוזניים, נתמקד יותר בתנועות השפתיים של הדוברים. אם אנו הולכים ברחוב חשוק וחושבים שראינו משהו ארוך בין הצללים, נקשיב טוב יותר לסביבה כדי לזהות צעדים.

למרבה הצער, המוח לא תמיד יכול לקבל את המידע שהוא צריך על ידי התמקדות-יותר בחושים האחרים. אם אנו נמצאים באולם רועש, שבו המולה ופטיפונים מטביעים לגמרי את הקול שאנו מנסים לשמוע, לא נוכל לקבל את כל המידע הנחוץ לנו רק על ידי התמקדות רבה יותר בשפתי הדוברים. עבור אנשים רבים, הקושי הזה אינו זמני, ולא מסתיים כאשר רעש הרקע מתעמעם, או כאשר מדליקים את האור. ישנם אנשים שמוחותיהם אינם מצליחים לקבל את המידע החסר לא משום שחשוק מדי או רועש מדי, אלא כיוון שחוש מסוים אינו מתפקד כראוי. משקפיים ומכשירי שמיעה הם עוזרים גאוניים שהומצאו במטרה לפתור את הבעיה הזו, אך לפעמים אין ביכולתם לתקן את החוש ה'מקולקל'. אם כן, איך נוכל לספק למוח את המידע שהוא צריך? אנו כבר יודעים כי המוח משתמש בחושים אחרים כדי לאסוף נתונים חסרים. אולי נוכל לשלוח לו את המידע החסר באמצעות חוש אחר.

הקשיבו עם פרקי כפות הידיים שלכם

אנשים רבים המתמודדים עם בעיות שמיעה נאבקים להבין מהיכן צלילים מגיעים. מצב זה עלול לגרום לבעיות רבות. לדוגמה, אם אנו שומעים לפתע משאית שועטת לעברנו, קשה לזוז מהדרך אם איננו יודעים מאיזה כיוון היא מגיעה! המוח גם מתקשה להפריד בין צלילים המגיעים מכיוונים שונים, כמו למשל בין קולו של אדם העומד לפנינו למוזיקה הבוקעת מרמקול שנמצא לשמאלנו.

כיום אני חוקר, בשיתוף עם צוות מדענים, אם ניתן להשתמש ברקט על פרקי כפות הידיים כדי לסייע לאנשים להבין מאיפה הצלילים מגיעים. כאשר האוזניים מתפקדות כראוי, המוח יכול להבחין במקור הצליל על ידי השוואת עוצמת הצליל בכל אוזן. כפי שאפשר לראות ב**איור 1**, אם הצליל מושמע מצד ימין, גלי הקול נישאים באוויר ישירות לתוך האוזן הימנית. כדי להגיע לאוזן שמאל, גל הקול ראשית צריך לעבור דרך הראש. הצליל נחלש כשהוא נחסם על ידי הראש, כפי שהוא נחלש כשסגירת דלת חוסמת אותו. מכאן שהמוח יכול להשתמש בקלל פשוט כדי להבין את מקור הצליל: אם הצליל חזק יותר באוזן השמאלית, כנראה שהוא מגיע מצד שמאל, ואם הוא חזק יותר באוזן הימנית, כנראה שהוא מגיע מצד ימין. זוהי אחת הדרכים העיקריות המסייעות למוח להבין איפה נמצא הצליל, וזה הקלל שעליו התבססנו.

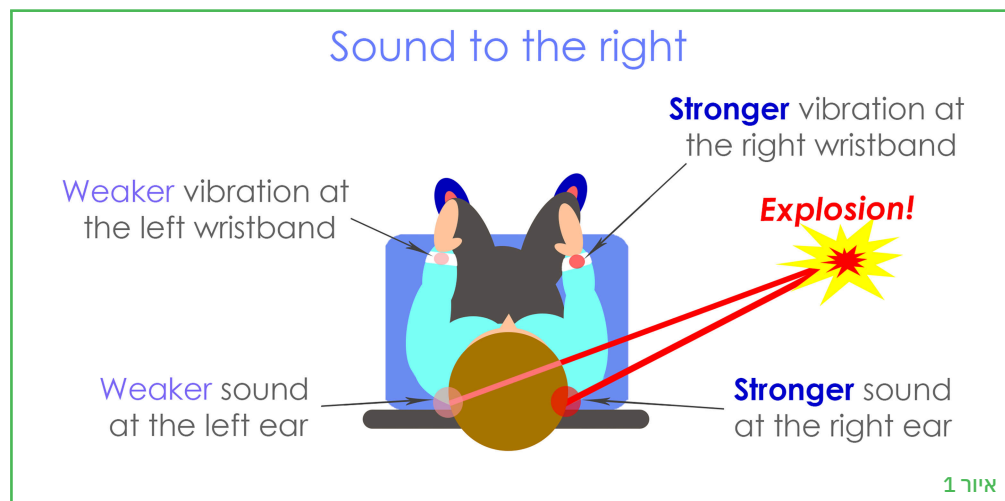
המרנו את הצליל לרקט, ושלחנו אותו באמצעות צמידים אשר רטטו בשקט כנגד העור. צלילים שנשמעו באוזן שמאל הומרו לרטט בפרק כף היד השמאלי, וצלילים שנשמעו באוזן

איור 1

אדם שומע פיצוץ לימינו.
מאחורי כל אוזן ישנו מכשיר
הקולט את הצליל. הצליל
שמגיע מכל אוזן מוקר
לתנועות (ויברציות). אלה
מורגשות בצמידים המצויים
על שני פרקי כפות הידיים.
מימין לשמאל באיור – הצליל
מגיע מימין
(Sound to the right): פיצוץ
(Explosion) – צליל חזק
יותר באוזן הימנית
Stronger sound at)
(the right ear) – תנועה
חזקה יותר בצמיד הימני
Stronger vibration at)
(the right wristband) – צליל
חלש יותר באוזן השמאלית
Weaker sound at)
(the left ear) – תנועה חלשה
יותר בצמיד השמאלי
Weaker vibration at)
(the left wristband).

איור 2

מערך הניסוי שלנו. (A) בניסוי
שערכנו, המתנדבים יושבים
על כיסאות כשהם עונדים
צמידים רוטטים על שני פרקי
כפות הידיים (צמיד צד
שמאל, Left wristband;
צמיד צד ימין, Right wristband).
הרמקולים ממקומים סביבם
בחי עיגול. משמיעים
למתנדבים קול מאחד
הרמקולים, ומשימתם היא
לומר מאיזה רמקול הצליל
בוקע. (B) העמודות בגרף
מראות עד כמה הרמקול
הנכון היה רחוק בממוצע
מהרמקול שאותו בחרו
המתנדבים, במעלות
How far from the)
, correct speaker
(in degrees). תוכלו לראות כי
העמודה הכחולה (אוזניים
בלבד, Ears only) גבוהה
הרבה יותר מהעמודות
הירוקה והוורודה – פרקי
כפות ידיים בלבד
(Wrists only) או אוזניים
ופרקי כפות ידיים יחד
(Ears & wrists), בהתאמה.
המשמעות היא שהצמידים
עזרו למתנדבים למקם את
הצלילים בצורה מדויקת יותר.
העמודה הוורודה היא
הנמוכה ביותר. ממצא זה
מציב על כך שביצועי
המתנדבים היו המיטביים
כשהם השתמשו בצמידים
ובאוזניהם יחד.
Worse = טוב יותר, Better
= גרוע.

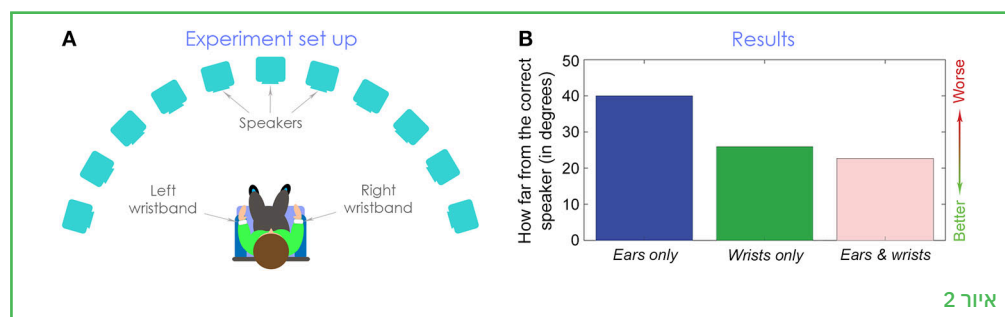


איור 1

ימין הומרו לרטט בפרק כף היד הימני. המשמעות היא שבדיוק כפי שקורה באוזניים, אם הצליל הגיע מצד ימין, הרטט היה חזק יותר בפרק כף היד הימני, ואם הצליל הגיע מצד שמאל, הרטט היה חזק יותר בפרק כף היד השמאלי. קיוונו כי על ידי שימוש באותו הכלל שבו המוח עושה שימוש לצורך שמיעה, הוא יצליח להבין כעת איפה הצלילים נמצאים.

הניסוי שלנו

כל המתנדבים שהשתתפו בניסוי שערכנו חוו קשיים בשמיעה, והשתמשו בשתלים שבלוליים, שהם סוג של עֶזֶר-שמיעה המותקן באמצעות ניתוח. המתנדבים לניסוי ישבו על כיסאות, מוקפים רמקולים שהוצבו סביבם בחצי עיגול, וענדו צמידים רוטטים על שני פרקי כפות הידיים (איור 2A). בחנו באיזו מידה המתנדבים הצליחו לפענח מהיכן הצלילים מגיעים – בהתבסס על אוזניהם בלבד, על הצמידים בלבד, או בשילוב של אוזניהם והצמידים [1]. השמענו צליל מתוך רמקול, ואז שאלנו את המתנדבים מאיזה רמקול הוא בוקע. חישבנו באיזה דיוק הם הצליחו למקם את הצליל, בכך שמדדנו עד כמה התשובה של כל אחת ואחד מהם הייתה רחוקה מהרמקול הנכון. מדדנו את המרחק הזה במעלות, שייצגו את הזווית שבין הרמקול הנכון לרמקול שבו הם בחרו. חזרנו על התהליך הזה שוב ושוב, וחישבנו את ממוצע כל הציונים. היינו מרוצים מאוד מהממצאים שלנו!



איור 2

האם זה עֵבֶד?

איור 2B מציג את התוצאות. כאשר השתמשו רק באוזניהם, מיקומי הצליל שזיהו המתנדבים לניסוי היו בדרך כלל רחוקים ממיקום הצליל הנכון. עם זה כאשר הם השתמשו בצמידי היד הרוטטים בלבד, או באוזניהם בשילוב עם צמידי היד, בדרך כלל הם היו קרובים הרבה יותר למיקום הנכון. מעניין להבחין בכך שביצועי המתנדבים שלנו היו המיטביים כאשר הם השתמשו בצמידים ובאוזניהם יחד. אלו הן חדשות טובות, כיוון שהמשמעות היא שהמוח משלב בשמחה מידע שמקורו ברטט בפרקי כפות הידיים עם מידע שמקורו בצליל שאנו שומעים באוזניים.

הגילוי שלפיו הצמידים עשויים לשפר מאוד את יכולתם של אנשים למקם צלילים הוא מרגש במיוחד, כיוון שהשיפורים הללו התאפשרו כמעט ללא אימון. מאז, הראינו שכאשר אנשים מתאמנים כחצי שעה ביום במשך 10 ימים, יכולתם למקם צלילים הולכת ומשתכללת [2]. מי יודע כמה טובים הם יהיו אם ישתמשו בצמידים מדי יום במשך חודשים, או אפילו שנים?

סוג חדש של מכשיר שמיעה?

חוץ מאשר לעזור לאנשים המתמודדים עם בעיות שמיעה למקם צלילים בצורה טובה יותר, אנו מנסים לשפר היבטים אחרים של שמיעתם. זאת על ידי שליחת מידע צלילי חסר לפרקי כפות הידיים שלהם, באמצעות רֶטֶט. לדוגמה, לאחרונה הראינו כי רטט יכול לסייע לאנשים הנעזרים בשתלים שבלוליים להבין דיבור בצורה טובה יותר כאשר ישנם רעשי רקע רבים [3, 4]. זוהי בעיה נפוצה במקומות הומים כמו כיתות רועשות, מפעלים ומשרדים.

עד כה, הראינו רק כי הגישה הזו יכולה לעזור לאנשים במהלך בדיקות המבוצעות במעבדה. כעת, אנו מבקשים ליצור מכשיר שיכול לסייע לאנשים בחיי היומיום שלהם. לצורך כך אנו מְעַצְבִּים ויוצרים צמיד חדש (**איור 3**), הדומה לשעון חכם או לפִיטִיט (Fitbit), הִבְרָה אמריקאית המייצרת צמידי כושר שמאפשרים מעקב אחר מידע הנוגע לכושר הגופני), שאנשים יכולים לענוד מחוץ למעבדה, כשהם מתנהלים בחיי היום-יום שלהם [6]. אנו עובדים עם אחד מהיצרנים הגדולים בעולם בתחום עזרי שמיעה ושתלים שבלוליים, כך שהצמידים שלנו יוכלו להתחבר למכשירי השמיעה באופן אלחוטי, כדי לקלוט צלילים מכל אופן. נוסף על כך אנו מפתחים מכשירים קטנים משלנו, אשר קולטים ואוספים צלילים מהאוזניים, עבור אנשים שעדיין אין להם מכשירי שמיעה.

אם הצמידים שאנו מפתחים יהיו בשימוש מחוץ למעבדה, הם יוכלו לעזור לאנשים ברחבי העולם. הצמידים עשויים להיות שימושיים במיוחד במדינות עניות יותר, שבהן מיליוני אנשים שאיבדו את שמיעתם אינם זוכים לטיפול. לדוגמה, בהודו – מדינה שבה חיים יותר ממיליארד אנשים – פחות משליש מהילדים לקויי השמיעה הולכים לבית הספר [7]. כמו כן, במדינות עניות יותר, סיכוייהם של מבוגרים בעלי בעיות שמיעה למצוא עבודה קטנים משמעותית, ועקב כך לעיתים קרובות הם נאלצים לחיות בעוני. מכשירים כמו שתלים שבלוליים יקרים מדי עבור רוב האנשים, ובמדינות עניות יותר קיים מחסור ברופאים ובציוד רפואי הדרושים להרכבת שתלים כאלה. הצמידים שאנו מפתחים יכולים להתגבר על בעיות אלו. ניתן לייצר אותם בעלות נמוכה מאוד, ואפשר להרכיבם ללא צורך ברופאים בעלי הכשרה יוצאת

איור 3

עיצוב הצמיד הרוטט החדש שלנו. הבליטות סביב הצמיד מכילות קטנים הרוטטים כנגד העור (קרדיט לאיור: [5]).



דופן, או בציוד רפואי יקר. ביכולתם של הצמידים שלנו לשפר משמעותית את אפשרויות התעסוקה עבור מיליונים רבים הסובלים מבעיות שמיעה, כמו גם את החינוך שהם מקבלים ואת חייהם החברתיים. אנו משקיעים את מרב המאמצים כדי לגרום לכך להתממש.

תודות

אני מודה לאנשים שהתמזל מזלי לעבוד לצידם במסגרת המחקר המתואר במאמר זה: Jana Zgheib, Sam Perry, Tobi Goehring, Sean Mills, Robyn Cunningham, Ama Hadeedi, Hans Fleschenberg, André Brokmaan, ל- Toby Wells, Frederique Vee, Jana Zleb, Helen Fletcher, Sando Davison, Fletcher, על שקראו את המאמר הזה וסיפקו משוב מועיל במיוחד. המימון עבור משכורתו של המחבר ניתן מטעם קרן William Demant.

הצהרת כלי בינה מלאכותית

טקסט חלופי הנלווה לאיורים במאמר זה נוצר על ידי פרונטירז בסיוע כלי בינה מלאכותית, ונעשו מאמצים על מנת להבטיח את דיוקו, כולל בדיקה על ידי כותבי המאמר כאשר הדבר התאפשר. אם ברצונכם לדווח על בעיה, אנו צרו איתנו קשר.

מאמר המקור

Fletcher, M. D., Cunningham, R. O., and Mills, S. R. Electro-haptic enhancement of spatial hearing in cochlear implant users. Sci Rep. (2020) 10:1621. doi: 10.1038/s41598-020-58503-8

מקורות

1. Fletcher MD, Cunningham RO, Mills SR. Electro-haptic enhancement of spatial hearing in cochlear implant users. *Sci Rep.* (2020) 10:1621. doi: 10.1038/s41598-020-58503-8
2. Fletcher MD, Zgheib J. Haptic sound-localisation for use in cochlear implant and hearing-aid users. *Sci Rep.* (2020) 10:14171. doi: 10.1038/s41598-020-70379-2
3. Fletcher MD, Hadeedi A, Goehring T, Mills SR. Electro-haptic enhancement of speech-in-noise performance in cochlear implant users. *Sci Rep.* (2019) 9:11428. doi: 10.1038/s41598-019-47718-z
4. Fletcher MD, Song H, Perry SW. Electro-haptic stimulation enhances speech recognition in spatially separated noise for cochlear implant users. *Sci Rep.* (2020) 10:12723. doi: 10.1038/s41598-020-69697-2
5. Fletcher MD. Can haptic stimulation enhance music perception in hearing-impaired listeners? *Front Neuro.* (2021) 15:723877. doi: 10.3389/fnins.2021.723877
6. Fletcher MD. Using haptic stimulation to enhance auditory perception in hearing-impaired listeners. *Expert Rev Med Devices.* (2020) 18:63–74. doi: 10.1080/17434440.2021.1863782
7. Krishnamoorthy K, Samy RN, Shoman N. The challenges of starting a cochlear implant programme in a developing country. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* (2014) 22:367–72. doi: 10.1097/MOO.0000000000000088

פורסם אונליין: 22 בדצמבר 2025

נערך על ידי: Christian J. Sumner

מנחים מדעיים: Torsten Marquardt

ציטוט: Fletcher MD (2025) הקשיבו באמצעות פרקי כפות הידיים שלכם. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.678405-he

תורגם והותאם מ: Fletcher MD (2021) Listen With Your Wrists. *Front. Young Minds.* 9:678405. doi: 10.3389/frym.2021.678405

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

זכויות יוצרים © 2021 Fletcher. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתיקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתיקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

ELLA, גיל: 11

שלום, אני Ella. אוהבת אוכל, טבע, אומנות, מדעים וקריאה. אני מצחיקה, סקרנית ואדיבה. מדי יום רוכבת על אופניים לחטיבת הביניים שבה אני לומדת.



LOTTE, גיל: 13

היי, אני Lotte, תלמידת חטיבת ביניים. אוהבת לקרוא ספרים וללמוד מדעים. חיית המחמד שלי היא שקמית מנומרת בשם Gem.



הכותבים

MARK D. FLETCHER

Mark הוא עמית מחקר בכיר המשתיך לשירות שתלי השמיעה של אוניברסיטת סאות'המפטון, ולמכון לחקר קול וויברציה. יש לו תואר שני במדעי המוח מאוניברסיטת נוטינגהם, אנגליה, ובמסגרת הדוקטורט שלו התמחה בשמיעה, במכון לחקר השמיעה. כיום הוא מוביל את פרויקט המחקר לאלקטרוניקה חישתית (www.electrohaptics.co.uk), שמטרתו לסייע לבעלי ליקויי שמיעה בהנגשת מידע קולי באמצעות רָטט. *M.D.Fletcher@soton.ac.uk



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



הוצאת פרונטירס מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK



קרן משפחת
שעשוע
Shashua Family Foundation