

## אישונים: חלון לתוך התודעה

Alexis Torres, Michael C. Hout\*

המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת ניו מקסיקו, לאס קרוזס, ניו מקסיקו, ארצות הברית

### סוקר צעיר

JACOB

גיל: 11



האישון שלכם, המפתח במרכז העין, מאפשר לכם לאסוף מידע מהעולם שסביבכם. אולם עובדה ידועה פחות על האישון היא שעל-ידי בחינה מקרוב של האופן שבו הוא מתכווץ (נעשה קטן יותר) ומתרחב (נעשה גדול יותר) בתגובה לגירויים מסוימים, מדענים יכולים להפיק תובנות על מה שקורה במוח. כאשר הסביבה בהירה האישון מתכווץ, וכאשר חשוך האישון מתרחב. אולם שינויים סביבתיים – כמו תגובה לאור – הם רק קצה הקרחון. האישונים מגיבים גם כאשר אנשים לוקחים תרופות מסוימות; כאשר הם מרגישים רגשות חזקים; כאשר הם משחזרים זיכרון או כשהם מתרכזים או חושבים חזק מאוד על משהו. במאמר זה נדון באופן שבו אישונים מתפקדים; כיצד הם מגיבים לגירויים מהסביבה וכיצד התגובות משתקפות בעיבוד קוגניטיבי – כלומר, החישובים הפנימיים שמתרחשים בתודעה. כפי שתגלו, המפתח הקטן במרכז העין שלכם מספר לנו המון על מה שמתרחש במוח שלכם!

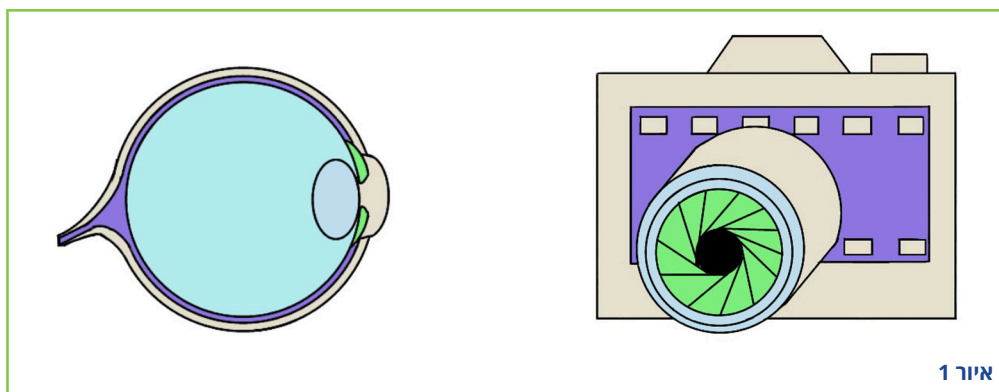
המפתח במרכז העין שלכם מאפשר לאור להיכנס אל העין, מה שמאפשר לכם לאסוף מידע על העולם שסביבכם, אולם גם ההיפך הוא נכון – ניתן להפיק תובנות על מה שקורה במוח שלכם בהתבסס על ההתנהגות של האישונים שלכם. **האישון** שלכם הוא המפתח במרכז העין שנראה כמו נקודה שחורה אשר מוקפת על-ידי החלק הצבעוני של העין שלכם, הקשתית. הקשתית היא שריר בעין שמתפקד כמו המפתח של מצלמה (ראו איור 1). הקשתית מגיבה לכמות האור שנכנסת לעין על-ידי כוונן הגודל והקוטר של האישון (המפתח), כדי לאפשר

### אישון (Pupil)

המפתח במרכז הקשתית שמאפשר לאור להיכנס לעין.

## איור 1

היקש שאפשר לבצע בין מצלמה ובין העין. הקשתית (מוצגת בירוק בחלק הקדמי של העין, סביב לאישון) דומה למפתח של המצלמה (שמוצגת בירוק בחלק הקדמי של עדשת המצלמה), והאישון (המפתח הקטן במרכז העין) דומה לצמצם של המצלמה (המפתח השחור במרכז עדשת המצלמה אשר מאפשר לאור להיכנס). הקשתית/מפתח מכווננים את גודל האישון/צמצם ומאפשרים לכמות האור המתאימה להיכנס לעין/מצלמה. האור נספג/נקלט באחורי העין/מצלמה על-ידי הרשתית/פילם (שמוצגים בסגול באחורי העין ובמצלמה, מאחורי העדשות).



לכמות אור מתאימה להיכנס לתוך העין (המצלמה). אור מתקדם דרך נוזל בעין ואז הוא נספג בחלק האחורי של העין, אזור שידוע בתור הרשתית. הרשתית מכוסה בתאים מיוחדים שנקראים פוטוֹרֶצֶפְטוֹרִים (חשבו על החלק הזה בעין כמו על הפילם של המצלמה שעליו התמונה נקלטת). פוטורצפטורים אוספים מידע מהאור ושולחים אותו למוח כדי להיות מעובד לתמונה שאתם יכולים לראות.

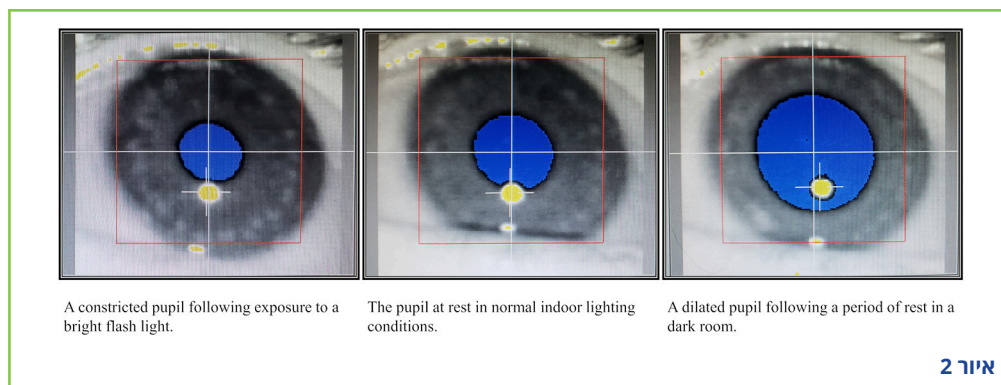
## כיצד האישון פועל?

כאשר התאורה חזקה הקשתית מגיבה על-ידי כיווץ (מתיחה) – גורמת לאישון להיות קטן יותר, ולכן לאפשר לפחות אור להיכנס לתוך העין. כאשר התאורה עמומה הקשתית מגיבה על-ידי התרחבות (הרפיה) – גורמת לאישון להיות גדול יותר עבור סטואציות שבהן נדרש יותר אור כדי לראות. זה נקרא רפלקס האישון [1]. מערכת העצבים האוטונומית – החלק במערכת העצבים שאחראי על תהליכים בלתי מודעים ובלתי רצוניים, שהם תהליכים שאיננו יכולים לשלוט בהם בצורה מודעת כמו פעימות לב ועיכול, גם אחראי על רפלקס האישון. תגובות של האישון, אם כן, יכולות להיות מובנות חלקית כתגובות פיזיות בלתי רצוניות או בלתי מודעות לתנאי תאורה, אולם זה למעשה רק קצה הקרחון! (ראו איור 2).

תגובת האישון שמתוארת למעלה היא תהליך מסוג 'מלמטה-למעלה' (bottom-up). אנו יכולים לחשוב על עיבוד 'מלמטה-למעלה' כעיבוד של מידע (כלומר אור; צליל; לחץ; חום וכימיקלים) מהגוף "למעלה" אל המוח. בעיבוד 'מלמטה-למעלה', מידע נכנס לגוף דרך איברי החישה (עיניים; אוזניים; עור; פה; אף): "התחתית". לאחר מכן המידע נלקח למעלה ומעובד על-ידי המוח, "הפסגה". מידע מועבר למעלה ומעובד במוח, "הפסגה", כדי ליצור פירוש (כלומר תפיסה) של המידע, זיכרון שלו או חשיבה גבוהה אחרת. תגובות אישון לאור נחשבות לתהליך 'מלמטה-למעלה' מאחר שהן נגרמות מגירוי חיצוני (עוצמת אור מסוימת שנכנסת לעין) אשר מעובד על-ידי המוח ואז נתפס (עוצמת האור נתפסת כבהירות). משם, המוח שולח אותות חזרה אל הקשתית אשר גורמים לה להתכווץ או להתרחב כתלות בבהירות של האור [2]. נדמה שזה הגיוני, לכן, שהאישון יגיב רק לתנאים של אור מאחר ששליטה בכמות האור נדמית כמטרה הראשית של האישון. באופן מפתיע, זה לא לגמרי נכון. באמצעות חקירת תגובות אישון אנו יודעים כיום שאישונים יכולים לספר לנו על פעילויות הרבה יותר מורכבות שמתרחשות במוח.

## איור 2

באיור הזה אתם רואים את האישון של אדם בשלושה מצבים שונים. התמונות נלקחו באמצעות eye-tracker (מכשיר שעוקב אחרי תנועות עיניים); צבע כחול מורה על המיקום של האישון ועל גודלו. במרכז הפאנל אתם יכולים לראות את האישון של האדם במצב מנוחה, אחרי שנחשף לכמות אור רגילה בתנאים של מבנה סגור. בפאנל השמאלי אתם יכולים לראות את האישון המכווץ (קטן יותר) אחרי חשיפה לפנס בהיר. בפאנל הימני אתם יכולים לראות את האישון מורחב (גדול יותר) לאחר זמן שבו האדם ישב בחדר חשוך.



איור 2

## אישונים מספרים לנו יותר מאשר על בהירות בלבד

**בדיקת תגובת אישונים** היא שיטה שמשמשים בה כדי לבדוק תגובות של אישונים באמצעות מדידת השינוי בגודל האישון בתגובה לסוגים שונים של גירויים. בדיקת תגובת אישונים גילתה קשר 'מלמעלה-למטה' נוסף בין תגובות אישונים ובין כמה תהליכים מנטליים שהם לפעמים די מורכבים [1]. עיבוד 'מלמעלה-למטה' יכול להיחשב כמידע גבוה מהמוח שנשלח "למטה" אל הגוף. בשארית המאמר הזה נספר לכם על הקשר המרגש והמפתיע שבין המפתח בעין שלכם ובין הפעילות הפנימית של התודעה שלכם: בפרט תפיסה; תגובות רגשיות ועומס קוגניטיבי.

## תפיסה: חשיבה על אור

באופן מפתיע מדענים גילו לאחרונה שאישונים מגיבים אפילו לגירויים שמעידים על תנאי תאורה באותו האופן שהם מגיבים כאשר אנו חווים שינויים אמיתיים בתנאי התאורה. במילים פשוטות, אפילו היכן שאין שינוי בבהירות האמיתית של גירוי, האישונים עשויים להגיב בכיוון מאחר שהגירוי הזה בדרך כלל אומר לנו שישנם תנאים של אורות בהירים. לדוגמה, Binda ואחרים [3] הראו למשתתפים תמונות בעלות בהירות זהה של השמש ושל הירח, שאנו יודעים שהיא בדרך כלל בהירה והוא בדרך כלל עמום, וערבבו תמונות שלא נראו כמו משהו מסוים. התמונות שלא נראו כמו משהו מסוים היו מוצגות בצורת "mean luminance" (הקרנת אור ממוצעת) או ב"phase scrambled" (שיטה שבה משאירים את מאפייני התמונה דומים למקור, אך מטשטשים את הפריטים שבה), ושלא כמו תמונות השמש והירח הן היו אמורות להיות ללא משמעות כך שכל תגובת אישונים אליהם תהיה כתוצאה מהבהירות שלהן בלבד, ולא מאחר שהן רמזו (או הציעו) תנאי תאורה כלשהם. תמונות של mean luminance היו אחידות בצבע ותאמו לבהירות הכוללת הממוצעת ולצבע של כל תמונת השמש. אפשר לחשוב על תמונות ה-phase scrambled של השמש כפאזל, שכל החתיכות שלו מעורבבות. תמונות ה-phase scrambled היו גם באותה הבהירות הכוללת הממוצעת כמו תמונות השמש המקוריות, אולם החתיכות של התמונה היו מעורבבות כך שהתמונה כבר לא נראתה יותר כמו תמונה של השמש.

באופן הזה, ארבעת סוגי התמונות היו שונים במשמעות שלהם אולם לא בבהירותם, כך שכל הבדל שנצפה בהתרחבות האישון היה חייב לנבוע ממהו אחר שאיננו הבדלים בבהירות. החוקרים מצאו שהאישונים של אנשים מסוימים הגיבו לתמונות של השמש (שהיא בדרך כלל

## בדיקת תגובת אישונים (Pupillometry)

חקר ומדידת קוטר האישון והאופן שבו הוא מגיב לגירויים מהסביבה ולתהליכים מנטליים.

## עומס קוגניטיבי (Cognitive Load)

כמות המאמץ המנטלי שנדרש במהלך עיבוד מידע.

## התרחבות האישון (Dilation)

הרפיה של השרירים בקשתית שגורמים לקוטר האישון לגדול.

די בהירה) על-ידי כיווץ. אולם תמונות של הירח ותמונות שלא נראו כמו שום דבר מסוים לא גרמו לאישונים של המשתתפים להתכווץ, אף על פי שהן היו בהירות בדיוק כמו התמונה של השמש! באופן דומה, Mathôt ואחרים [4] מצאו שאישונים של משתתפים התכווצו כאשר הציגו להם מילים (הן מדוברות הן כתובות) אשר העבירו את התפיסה של אור, ושהאישונים שלהם התרחבו עבור מילים שהביעו חושך. נדמה שהבנה או חשיבה על תפיסות של אור או חושך יכולה לפעמים להיות מספיקה כדי לגרום לאותה תגובת אישונים כמו שאור וחושך גורמים. זה אומר לנו שאישונים מגיבים לא רק לסביבה, כלומר למידע 'מלמטה-למעלה', אלא שהם יכולים גם להיות מגורים על-ידי תהליכי 'מלמעלה-למטה', או על-ידי מידע שמגיע מהמוח ולא מהסביבה.

## רגש: אפשר לראות אותו בעיניים שלכם

מבנים מוחיים שמעורבים בתהליכים גבוהים, כמו למשל רגש וקוגניציה (חשיבה), מגרים גם הם פעילות אישונים. פעילות באזורים במוח שמסייעים לנו לחוות רגשות יכולה גם להגביר התרחבות של אישונים. דברים בסביבה אשר גורמים לנו לתגובות רגשיות, הן חיוביות הן שליליות, יכולים לגרום להתרחבות אישונים. לדוגמה, Surakka ו-Partala [5] הציגו למשתתפים סדרת צלילים ועקבו אחרי האישונים של המשתתפים בעודם מקשיבים. אחרי כל הצגה המשתתפים דירגו את הצלילים כחיוביים, שליליים או נייטרליים מבחינה רגשית. צלילים שדורגו כחיוביים (כמו למשל צחוק של תינוק) או שליליים (כמו למשל בכי של תינוק, או מריבה של זוג) גרמו לעלייה בהתרחבות האישונים בהשוואה לצלילים נייטרליים (כמו למשל רעשי רקע של משרד) אשר כמעט ולא השפיעו על גודל האישון.

## קוגניציה: חשיבה מאומצת ניכרת לעין

אם תנסו לעשות משהו, משהו שמעולם לא עשיתם קודם לכן, יידרש מאמץ מנטלי גדול יותר כדי לבצע על המטלה, כלומר אתם תצטרכו לחשוב חזק יותר. התרחבות אישונים מוגברת נובעת גם מהעלייה הזו במאמץ מנטלי, אשר לעיתים קרובות מתייחסים אליה כעומס קוגניטיבי<sup>1</sup>. כאשר העלייה בעומס הקוגניטיבי נמשכת זמן מה, התרחבות האישונים נמשכת גם היא זמן מה, מה שמאותת שהאדם ממשיך לחשוב על המטלה הקשה ולשים לב אליה. עומס קוגניטיבי מוגבר נחשב כמקושר לאזורים במוח שאחראיים על קִשְׁב מתמשך, אשר ממוקמים באונה הקדמית של המוח (מאחורי המצח). הדפוס הזה של התרחבות אישונים שנובעת מעומס קוגניטיבי מוגדר, מתרחש כאשר אנשים מבצעים מטלות קשות. מטלות כמו פתרון בעיות מתמטיות קשות; שינון של קבוצות מידע גדולות; או ספירה לאחור בקפיצות של שבע גורמות לעלייה בעומס הקוגניטיבי ולכן מייצרות התרחבות אישונים מוגדלת [2].<sup>1</sup>

באמצעות שימוש בהתרחבות אישונים כמחווה לעומס קוגניטיבי מוגבר, מחקרים מצאו שעומס קוגניטיבי עולה בעת זיהוי של מידע, שינונו וזכירתו, והעומס הקוגניטיבי גדול יותר עבור תוכן קשה יותר. לדוגמה, Papesch ואחרים [6] מצאו שהעומס הקוגניטיבי התגבר באופן משמעותי כאשר משתתפים נשאלו לשנן ולשחזר מהזיכרון מילים מומצאות (כמו "garp") בהשוואה למילים אמיתיות. החוקרים מצאו שכאשר מאמץ מנטלי גדול יותר מתבצע עבור שינון מידע, המידע הזה נזכר טוב יותר בשלב מאוחר יותר. חשוב מכך, זה גם השתקף בהתרחבות אישונים; ככל שהזיכרון חזק יותר כך האישונים נטו להיות מורחבים יותר.

<sup>1</sup> אתם יכולים לבחון את כל זה בעצמכם: מצאו חבר/ה שיסכימו לשמור איתכם על קשר עין (זה עשוי להיות החלק המאתגר ביותר, מאחר שזה יכול להיות מעט לא נוח), ואז שאלו אותו/אותה שאלות קלות במתמטיקה (כמה זה 2+2, 1+1...?). אינכם אמורים להבחין בשינוי בהתרחבות האישון. כעת, שאלו שאלות מתמטיות קשות (כמו, כמה זה 53\*87) ואתם עשויים לשים לב לגדילה פתאומית בהתרחבות. אם החברה/ה שלכם יכולה לפתור את הבעיה או להפסיק לנסות לפתור אותה, ייתכן שתשימו לב שהאישונים שלו/שלה חזרו למצבם הרגיל.

הממצאים האלה תקפים גם ליכולתם של ילדים להשתמש בזיכרון לטווח-קצר – מערכת זיכרון שמשתמשים בה כאשר מנסים לזכור מידע לתקופת זמן קצרה. דמיינו למשל שאתם שומעים אוטו גלידה ומציעים בנדיבות לקנות חטיף לשלושה מחבריכם. אם תנסו לזכור איזה סוג חטיף כל אחד מהם רוצה כך שתוכלו לרוץ לקנות להם אותם, אתם משתמשים בזיכרון לטווח קצר כדי להחזיק את המידע. Johnson ואחרים [7] חקרו זיכרון לטווח קצר באמצעות מטלה שבה משתתפים שיננו רִצְפִים ארוכים של מספרים, ומייד לאחר מכן דיווחו עליהם. החוקרים צפו באישוני המשתתפים ועקבו אחר התרחבות או חוסר שינוי בהתרחבות האישון, מה שאמר להם מתי המשתתפים משננים מידע ומתי לא. אחרי שינון שישה מספרים אישוני הילדים התחילו באופן טיפוסי להתכווץ, אולם אישוניהם של מבוגרים נותרו מורחבים. זה הצביע על כך שבהגעה לשש ספרות ילדים הגיעו לגבול הזיכרון שלהם והפסיקו לזכור, אולם מבוגרים לא. מחקר תגובת האישונים הזה אישר את העובדה שלילדים יש קיבולת זיכרון לטווח קצר קטנה יותר מאשר למבוגרים.

מה שדומה בתגובות אישונים שמתרחשות במהלך עומס קוגניטיבי ובין תגובות אישונים שמתרחשות במהלך תפיסה ורגש הוא שגם **התכווצות האישון** וגם התרחבותו נובעות מעומס קוגניטיבי. האישונים מתרחבים כאשר מידע מעובד או נזכר, מאחר ששתיהן מטלות קוגניטיביות דורשניות. לכן האישונים לעיתים קרובים מתכווצים בעת דיווח על מידע מאחר שהעומס הקוגניטיבי יורד כאשר המידע נזכר בהצלחה. לבסוף, גודל האישון חוזר לגודל בינוני כאשר העיבוד המנטלי הושלם [2]. ניטור של התרחבות האישון הוא מוצלח, לכן, עבור מעקב אחרי הזמנים שבהם אנו משקיעים מאמץ רב יותר בחשיבה, מהזמן שבו אנו מתחילים לעבד את המידע ועד לזמן שבו אנו בסופו של דבר מדווחים על המידע.

## מסקנות

התרחבות אישונים היא, אולי, דרך בלתי שגרתית להבין את התודעה האנושית, אולם היא ללא ספק שימושית. שיטה זו עשויה אפילו לשמש למחקר של אוכלוסיות שונות, כמו תינוקות; ילדים; אנשים עם מחלות נפשיות או אנשים עם קשיי תקשורת. חקירת האישון מאפשרת לנו לנצל את העובדה שהעין היא שלוחה של המוח. כפי ש-Eckard Hess [8] ניסח זאת "it is almost as though a portion of the brain were in plain sight for the psychologist to peer at" (בתרגום חופשי לעברית: זה כמעט כאילו שחלק מהמוח מוצג לעין כדי שהפסיכולוג יוכל להשקיף בו).

## מקורות

1. Sirois, S., and Brisson, J. 2014. Pupillometry. *Wiley Interdiscip. Rev. Cogn. Sci.* 5:679–92. doi: 10.1002/wcs.1323
2. Steinhauer, S. R., Siegle, G. J., Condray, R., and Pless, M. 2004. Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *Int. J. Psychophysiol.* 52:77–86. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2003.12.005
3. Binda, P., Pereverzeva, M., and Murray, S. O. 2013. Pupil constrictions to photographs of the sun. *J. Vis.* 13:8. doi: 10.1167/13.6.8

### התכווצות האישון (Contraction)

אישונים: כיווץ של השרירים בקשתית שגורמים לקוטר האישון לקטון.

4. Mathôt, S., Grainger, J., and Strijkers, K. 2017. Pupillary responses to words that convey a sense of brightness or darkness. *Psychol. Sci.* 28:1116–24. doi: 10.1177/0956797617702699
5. Partala, T., and Surakka, V. 2003. Pupil size variation as an indication of affective processing. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 59:185–98. doi: 10.1016/S1071-5819(03)00017-X
6. Papesh, M. H., Goldinger, S. D., and Hout, M. C. 2012. Memory strength and specificity revealed by pupillometry. *Int. J. Psychophysiol.* 83:56–64. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.10.002
7. Johnson, E. L., Miller Singley, A. T., Peckham, A. D., Johnson, S. L., and Bunge, S. A. 2014. Task-evoked pupillometry provides a window into the development of short-term memory capacity. *Front. Psychol.* 5:218. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00218
8. Hess, E. H. 1965. Attitude and pupil size. *Sci. Am.* 212:46–54. doi: 10.1038/scientificamerican0465-46

פורסם אונליין: 09 ביולי 2020

נערך על ידי: Alessandro Antonietti, Catholic University of Sacred Heart, Italy

ציטוט: Torres A and Hout MC (2020) אישונים: חלון לתוך התודעה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00003-he

#### תורגם והותאם:

Torres A and Hout MC (2019) Pupils: A Window Into the Mind. *Front. Young Minds* 7:3. doi: 10.3389/frym.2019.00003

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

**COPYRIGHT** © 2019 © Torres and Hout 2020. 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.

## סוקר צעיר

### JACOB, גיל: 11

סוגי הספורט שאני הכי אוהב לשחק בהם הם כדורגל, בייסבול, כדורסל וטניס. חברת המכונות האהובה עליי היא טסלה, אשר מייצרת רכבים חשמליים. מסעדת המזון המהיר האהובה עליי היא בורגר קינג. מסעדת המזון האיטי האהובה עליי היא המסעדה הסינית Moon Star. אני שוקל 68 פאונדים (30.8 קילוגרמים). אני נראה טוב ואני נחמד לאנשים. אני אוהב קומיקאים פוליטיים מאחר שהם מלמדים אותנו על העולם וגורמים לנו לצחוק על דברים שאחרת היו יכולים להיות כואבים.



## הכותבים

### ALEXIS TORRES

אני טכנאית מעבדה במעבדה Serrano Neurobiology באוניברסיטת ניו מקסיקו. הקדשתי הרבה מהקריירה שלי בתואר הראשון למחקר, ואני מקווה להמשיך בדרך זו. בשעה שזה עתה השלמתי את לימודי התואר הראשון שלי בפסיכולוגיה ופילוסופיה, אני להוטה להתקדם הלאה בעודי מגישה מועמדות לתוכנית דוקטורט במדעי המוח הקוגניטיביים. בזמני הפנוי אני נהנית לצעוד; לצפות ברצף בסדרות טלוויזיה; לקרוא ספרים ולשחק עם כלב הטרייר האהוב שלי.

### MICHAEL C. HOUT

אני פרופסור במחלקה לפסיכולוגיה באוניברסיטת ניו מקסיקו, ואני עורך שותף בעיתון המדעי Attention, Perception, & Psychophysics. המחקר שלי בוחן דברים שונים רבים, אולם אני מתמקד במחקר של חיפוש חזותי (כיצד אנשים מוצאים דברים) ותנועות עיניים (לאן ומדוע אנו מזיזים את העיניים). בזמני הפנוי המצומצם אני אוהב לשחק עם הכלבים שלי; לצאת לרכיבות על אופנוע; לצעוד; לטייל ולשחק הוקי.

\*mhout@nmsu.edu



Hebrew version  
provided by

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

