

ראיית דברים שאינם שם: אשליות מגלות איך המוח שלנו בונה את מה שאנו רואים

Christoph S. Herrmann¹, Micah M. Murray^{2,3}

¹מעבדה לפסיכולוגיה ניסיונית, המכון לפסיכולוגיה, אוניברסיטת Carl von Ossietzky, אולדנבורג, גרמניה

²המחלקה הקלינית למדעי המוח, מרכז בית חולים אוניברסיטאי, אוניברסיטת לוזן, לוזן, שוויץ

³המחלקה לרדיולוגיה, מרכז בית חולים אוניברסיטאי, אוניברסיטת לוזן, לוזן, שוויץ

סוקרים צעירים

MAXI

גיל: 12

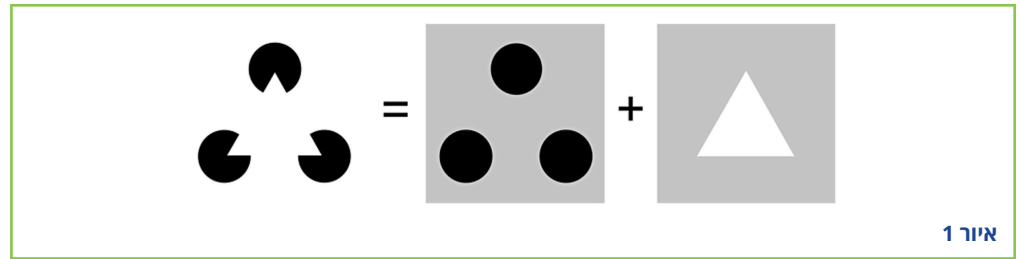


מה שאנו קולטים אינו תמיד מה שהעיניים שלנו רואות. ראייה, וחישה באופן כללי יותר, אינן צריכות להיחשב בעינינו למצלמת רשת שרק מעתיקה תמונות של העולם. אין זה ליקוי בדרך שבה המוח שלנו עובד, אלא דוגמה לדרך שבה המוח יוצר תפיסה ומשתמש בקישוריות הגדולה שלו באופן דומה מאוד לרשתות חברתיות. בניית התפיסה מבוססת לא רק על המידע שהעיניים קולטות, אלא גם על מידע שמאוחסן במוח ועל "ניחושים" שמתבצעים בהתבסס על המידע המאוחסן הזה. תמונת אשליות כמו זו שמוצגת באיור 1 היא דוגמה מעבדתית לתהליך הבנייה הזה, והיא ממחישה בצורה טובה כיצד עובדת מערכת הראייה. בעולם האמיתי, מערכת הראייה חייבת להתמודד עם מצבים של חסימה של חלק משדה הראייה, רעש וערפול (מצב שבו לא ברור אלה חלקים ממה שאנו רואים שייכים לפריט אחד, ואלה שייכים לפריט אחר).

אם הייתם צריכים לתאר מה אתם רואים בחלק השמאלי של איור 1, ככל הנראה הייתם אומרים שאתם רואים משולש לבן על-גבי שלושה דיסקים שחורים. אולם למען הדיוק, מוצגים רק שלושה חלקים של עיגולים שחורים (שנראים כמו הדמות ממשחק המחשב פק-מן). התפיסה של מה שנקרא "משולש קניצה" (Kanizsa triangle) [1] היא תופעה מעניינת מאוד של

איור 1

משולש קניצה (משמאל לסימן השוויון) ואיך הוא נתפס על ידי מערכת הראייה שלנו (מימין).



איור 1

איור 2

דוגמה לפריט מוסתר. באופן טיפוסי, אנו מסוגלים לתפוס דמות של חתול מאחורי גדר (משמאל). אולם תאי העצב במוחות שלנו "רואים" רק פיקסל אחד של התמונה הזו. תאי עצב בודדים עם שדות קלט קטנים רואים פרטים במדויק, אבל הם מהווים רק חלקים קטנים מהפריט כולו (באמצע). תאי עצב עם שדות קלט גדולים יותר רואים חלקים גדולים יותר מכל פריט, אבל בדיוק קטן יותר (מימין). על כן, המוח צריך להחליט אלה פיקסלים שייכים לחתול ואלה שייכים לגדר. מנגנון אחד שעוזר לעשות זאת הוא זה של חיבור והשלמה של קווי מתאר, כמו למשל הגב של החתול, למרות שהם מופרעים על-ידי הגדר. אמנם המנגנון הזה עוזר לראות פרטים שלמים כאשר הם מוסתרים, אבל הוא גם מוביל לאשליות, כמו למשל משולש קניצה.



איור 2

פעולת מערכת הראייה שלנו (כמו גם של מינים ביולוגיים נוספים, מציפורים ועד לקופים). במקרה של משולש קניצה, המוח בונה את התפיסה של המשולש ומשלים ביעילות את הקווים שבין פיותיהם של ה"פק-מנים", מה שגורם לתפיסה של משולש לבן שנראה יותר לבן מנייר לבן (לפחות במקרה של הדוגמה המוצגת באיור 1).

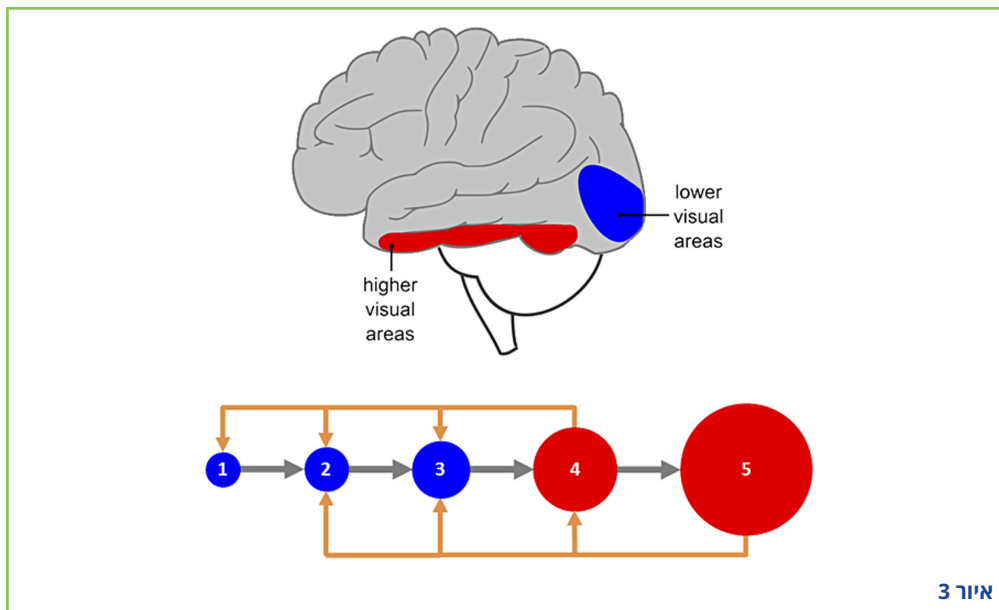
במקרים רבים, אנו רואים ברקע פריטים (כמו למשל חתול) שמוסתרים על-ידי פריטים אחרים בקדמת התמונה (למשל, גדר – ראו איור 2). אף על פי כן, אנו בדרך כלל תופסים חתול שלם, ולא חלקים של חתול אשר מופרדים על-ידי חלקי הגדר. מיון של אלה חלקים שייכים לאותו פריט הוא משימה מאתגרת עבור מוח האדם, מאחר שתאי עצב בעיניים מקבלים מידע רק על חלקים מסוימים וקטנים של החתול; באופן די דומה לפיקסלים בודדים במצלמה דיגיטלית. המוח צריך לבנות את מה שאנו רואים באמצעות חיבור של כל הפיקסלים בדרך הנכונה; תהליך שנתמך לעיתים קרובות על-ידי ניסיון העבר שלנו של מה אנו מצפים לראות.

חקר המוח משתמש בתמונות של אשליות כדי לחקור את התהליך של בניית תפיסה ראייתית [2]. בנייה של תפיסה ראייתית על-ידי המוח האנושי מנצלת לפחות שלושה מאפיינים שעובדים כולם יחד באופן מתואם.

ראשית, ישנם החיבורים האנטומיים, כלומר החיבורים הקשרים האלה לא רק מתארים את הדרך שבה מידע מגיע אל המוח מהעיניים, אלא גם מתארים כיצד מידע זורם ברחבי המוח בין אזורי ראייה "נמוכים" ו"גבוהים" (איור 3), כך שדברים כמו הזיכרונות וחוויות העבר שלכם (במקרה הזה של משולשים ואפילו של השם "משולש"), יכולים לעזור לכם לתפוס ולהבין בצורה מדויקת. את הקשרים האלה אפשר לחלק לכאלה שהולכים מהעולם החיצוני אל תוך המוח בדומה למסוע (שרשרת הובלה), וידועים בשם "נתיבי הזנה-קדימה" מאחר שמידע מתקדם מתחנה אחת ומוזן לאורך ה"מסוע" לתחנה הבאה (ראו את החיצים האפורים בתחתית איור 3), ולקשרים שיכולים לעבור מנקודה אחת לנקודה אחרת בתוך המוח, וידועים בשם "נתיבי משוב צידיים" (ראו את החיצים הכתומים בתחתית איור 3).

איור 3

ארגון מערכת הראייה. למעלה: מבט סכימטי על ההמיספירה השמאלית של מוח האדם (במוח ישנו קו הפרדה אמצעי העובר לאורכו ומחלק אותו לשני חלקים שנקראים המיספירות - אונות, שמאלית וימנית). חזית המוח (בכיוון המצח) מוצגת מצד שמאל של התמונה, ואחורי המוח מוצגים מימין. אזורי ראייה נמוכים מקבלים מידע ראייתי ראשוני, והם ממוקמים בצד האחורי של המוח (בכחול). אזורי ראייה גבוהים מקבלים את המידע מאוחר יותר והם נמצאים קדימה יותר, לכיוון חזית המוח (באדום). בתחתית: הדגמה של קשרי הזנה-קדימה (Feed-forward, באפור) וקשרי משוב (בכתום) מאזורי ראייה גבוהים (באדום) לאזורים נמוכים (בכחול).



איור 3

שנית, יש מה שקרוי "שדות הקלט" של תאי עצב, אשר יכולים להיות מובנים בקלות רבה יותר כדומים לגודל של פיקסלים במצלמה דיגיטלית (איור 2). לתאי העצב ברשתית ובקליפת המוח הראייתית הראשונית (V1) יש שדות קלט קטנים מאוד; הפיקסלים שלהם קטנים וכל תא עצב בודד "רואה" רק חלק קטן מאוד מהעולם הראייתי. כשמתקדמים לאורך השרשרת האנטומית של הזנה-קדימה מאזורי ראייה נמוכים כמו V1 אל אזורי ראייה גבוהים, שדות הקלט האלה נעשים גם הם גדולים יותר (ראו את גודל המעגלים בתחתית איור 3). לדוגמה, לחלק מאזורי הראייה הגבוהים יותר יש שדות קלט שהם גדולים כמו היד שלכם כשאתם פושטים אותה קדימה לפניכם. לאזורי ראייה גבוהים אחרים יש שדות קלט שהם גדולים כמו הגודל של בית שלם. כפי שניתן לצפות, ככל ששדה הקלט של תא עצב הוא גדול יותר, כך "ראייתו" את העולם היא מטושטשת יותר (עם פחות פרטים). אולם זה נכון רק במידה חלקית, מאחר שתאי עצב שונים חולקים מידע ו"מדברים" אחד עם השני כך שהתמונה שהם "רואים" יחד יכולה להתחדד.

זה מביא אותנו למאפיין השלישי - התזמון של האופן שבו מידע מתוקשר ומשותף דרך הארכיטקטורות של החושים ושל שדות הקלט שתוארו לעיל. מצד אחד מידע מעובד בצורה סדרתית (סריאלית) של הזנה-קדימה, בדומה למסוע שעליו מורכבת מכונית חתיכה אחר חתיכה בכל תחנה, אחת אחרי השנייה. בהתאם לכך, מידע זורם מהעולם החיצוני אל העיניים אל מרכזי ראייה נמוכים (שנקראים גם קליפת המוח הראייתית הראשונית או V1) וממוקמים בחלק האחורי של המוח, ולאחר מכן אל אזורים גבוהים עוקבים במוח, עם שמות כמו V2, V3, ו-V4 (שמציינים את אזורי הראייה השני, השלישי והרביעי, בהתאמה) אשר מבצעים תפקודים ראייתיים מגוונים ולפעמים גם מסוימים מאוד (איור 3). לדוגמה, תאי עצב ב-V1, V2, V3, ו-V4 מקודדים מאפיינים פשוטים כמו קווים ישרים. תאי עצב ב-V2 מקודדים מאפיינים כמו עומק התפיסה, אשר מבוססים על שילוב מידע משתי העיניים. תאי עצב ב-V4 מקודדים מאפיינים שכוללים את הצורות הבסיסיות כמו גם צבעים. באזורים בשלבים גבוהים עוד יותר, שחלק מהם ממוקמים לאורך תחתית האונה הרקתית (ראו את האזור האדום בחלק העליון באיור 3), מקודדים צורות מורכבות, כמו למשל פרצופים או בניינים.

מצד אחר מידע מעובד גם בצורה מקבילית ובצורת משוב, בדומה לרשת חברתית או מערכת של רכבות תחתיות. מסילות רשת הרכבת התחתית יכולות להיות מובנות כדומות לקשרים שבין חלקים שונים של המוח; ישנה תערובת מורכבת בין נתיבים ישירים ובלתי ישירים בין כל שני מיקומים, גם ברשת הרכבות וגם במוח. צמתים יכולים להיות מובנים בתור רכזות שבהן מידע יכול להיות משולב וממוזג. חשוב לציין, שממש כמו במערכת של רכבות תחתיות, המידע יכול לזרום בכיוונים קדימה ואחורה, ו"מסילות" שונות יכולות להסיע מידע במקביל בקצבים שונים, מה שמייצר שילובים של נתיבי מידע מקומיים ומרוחקים. באופן הזה, מידע יכול "להתפשט" במהירות לאזורים שונים של הרשת.

עיבוד קווי המִתָּאר של האשליות הראייתיות מדגים בצורה יפה כיצד מערכת הראייה שלנו בונה את מה שאנו רואים. שלבים נמוכים יותר של עיבוד נעשים פעילים ראשונים בזיהוי של מאפיינים פשוטים של התמונה. אולם כיוון ששדה הקלט של תאים אלה מצומצם מאוד (פיקסלים קטנים) תאי העצב האלה לא "יודעים" לאלה פריטים שייכים הקווים שאותרו, כמו למשל פיותיהם של הפק-מנים באיור 1. רק השלבים הגבוהים יותר במערכת הראייה מסוגלים למלא את משימת ההבחנה הזו, והם הראשונים שמאתרים פריטים מורכבים. בהקשר זה, השלבים הגבוהים האלה מתנהגים כמו מנהלי העבודה שמובילים את בניית התפיסה ומשתמשים במשוב חוזר מִחֻלְקִים גבוהים לחלקים הנמוכים יותר כדי, כנראה, לדייק ולעֲדָן את חוויית התפיסה שאנו חווים. כדי לראות אשליות נוספות ומה הן מספרות לנו על המוח, בקרו באתר האינטרנט של באך [3]. קסמן של אשליות אינו טמון ממש בְּמָה שאנו תופסים (למרות שזה בפני עצמו די מגניב), אלא יותר בדרך שבה הן מראות לנו את היכולת של המוחות שלנו לעצב את אשר אנו תופסים וחווים.

תודות

עבודה זו נתמכה על-ידי מענקים שניתנו ל-Micah M. Murray מהקרן הלאומית השוויצרית למדע (מענקים 310030B_133136 ו-320000_120579, כמו גם מהמרכז הלאומי לכשירות במחקר, פרויקט "סינפסה - הבסיס הסינפטי של מחלת נפש", פרויקט מס' 51AU40_125759), ול-Christoph S. Herrmann מקרן המחקר הגרמנית (מענק 31 SFB/TRR 4all ו-Hearing). אנו מודים Toralf Neuling עבור עיצוב איורים 1 ו-3 (למעלה).

מקורות

1. Kanizsa, G. 1976. Subjective contours. *Sci. Am.* 234:48–52. doi: 10.1038/scientificamerican0476-48
2. Murray, M. M., and Herrmann, C. S. 2013. Illusory contours: a window onto the neurophysiology of constructing perception. *Trends Cogn. Sci.* 17:471–81. doi: 10.1016/j.tics.2013.07.004
3. Bach, M. 2013. 105 Visual Phenomena & Optical Illusions. Available at: www.michaelbach.de/ot/

פורסם אונליין: 21 בדצמבר 2018

נערך על ידי: Robert T. Knight, University of California, Berkeley, USA

ציטוט: Herrmann CS and Murray MM (2018) ראיית דברים שאינם שם: אשליות מגלות איך המוח שלנו בונה את מה שאנו רואים. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2013.00006-he

תורגם והותאם:

Herrman CS, and Murray MM (2013). Seeing things that are not there: illusions reveal how our brain constructs what we see. Front. Young Minds. 1:6. doi: 10.3389/frym.2013.00006

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

COPYRIGHT © Herrmann and Murray 2013. 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**MAXI, גיל: 12**

אני מנגנת על כינור מאז גיל 3 ומקשיבה כל הזמן למוזיקה קלאסית. המלחינים האהובים עליי הם ויוואלדי וקורלי. אני מנגנת גם בוויולה ובקלרינט. התחביבים האחרים שלי הם קריאה, מתמטיקה ומדע. אני אוהבת לטייל ויש לי מוטת כנפיים של כמטר וחמישים – ממש כמעט כמו של עיט זהוב.

הכותבים**CHRISTOPH S. HERRMANN**

אני חוקר את הקשר שבין תנודות מוחיות לבין תפקודים קוגניטיביים כמו למשל תפיסה, תשומת לב וזיכרון. בשל הרקע שלי בהנדסת חשמל, אני משתמש בגירויים שעוברים דרך הגולגולת עבור המטרה הזו, ומנסה להאיץ את גלי המוח של אנשים כדי לשפר את יכולותיהם הקוגניטיביות. כשאני לא במשרד שלי, אני מבלה כל דקה אפשרית על סירת המפרש האהובה שלי. כאשר שלג וקרח מונעים את ההפלגה לחוף הצפוני, אני שותה כוס יין מול האח עם אישתי והחתול החמוד שלנו מסוג Norwegian forest.

MICAH M. MURRAY

פרופסור במרכז בית החולים האוניברסיטאי של לוזן, שוויץ. הוא חוקר מוח, למרות שעבד תחילה באסטרופיזיקה ובלימודי אנגלית (ומדעי המוח) בקולג'. הוא בעלה של אומנית-ציירת, ואב גאה לשתיה בנות.



Hebrew version
provided by

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

