

משקפי המציאות המדומה של החולדות

האם חולדת מעבדה שתזכה בקרוב בעין ביונית תראה את האור למיליוני עיוורים?

מאת ערן דינר

אדם בריא. כלומר, אנשים שהם עיוורים לחלוטין יזכו באמצעות שתל כזה לראות טוב מספיק כדי ללכת בלי להיתקל בדברים, אבל לא יוכלו להבחין בפרטים עדינים, לזהות פרצופים או לקרוא.

מדוע קשה לפתח שתלים טובים יותר?

"הקושי העיקרי הוא בחיקוי האופן שבו הרשתית הטבעית קולטת את המידע ומעבדת אותו לפני שהוא עובר אל המוח. המערכת שבנה הטבע היא מתוחכמת מאוד, ואילו הפתרון שאנחנו מסוגלים כיום לבצע באמצעות רשתית מלאכותית היא בסיסית בלבד, בהיבט של הפעלת המסלולים העצביים השונים המכילים את המידע של העולם החוטי. בעיה נוספת היא שככל שנקטין את האלקטרודות, השדה החשמלי שנוצר סביבן יהיה חלש יותר, ונתקשה להפעיל תאי עצב שנמצאים מעבר למרחק מסוים מהן".

"בפוסט-דוקטורט שלי באוניברסיטת

ושמנדל מכנה "מציאות מדומה לחולדות", הוא מקרן ועיר ונייד שמוקנן על ראשיה של חולדת מעבדה, ומציג תמונות בהפרדה גבוהה לעיניהן. מניטור הפעילות המוחית של החולדת וההתנהגות שלהן החוקרים לומדים כמה אפקטיבית פעולת השתל, ויכולים לדעת לא רק מה החולדה רואה, אלא גם כמה היא מבינה מתוך המידע החוטי. המחקר שבוצע על ידי הדוקטורנטית תמר ארנסט-ארד וד"ר ניירו פרח מהמעבדה להנדסה ומדעי העין והראיה, תואר במאמר שהתפרסם ביולי האחרון באתר Scientific Reports השייך לקבוצת העיתונים של של כתב העת המדעי "Nature".

"האתגר הגדול בתחום המחקר הזה הוא לפתח רשתית מלאכותית בעלת רזולוציה טובה יותר מזו הקיימת", אומר ד"ר מנדל. "כיום, איכות הראייה שמתאפשרת באמצעות שתל כזה אינה כה טובה. לשם המחשה, המרחק בין האלקטרודות שבשב של סקנד סייט, הקובע את רזולוציית הראייה, הוא 500 מיקרון, חצי מילימטר, לעומת מרחק של כ-2 מיקרון אצל

העין האנושית היא אחד האיברים המתוחכמים והמורכבים ביותר בגוף האדם. יכולותיה עולות על אלה של כל מצלמה, ואף טכנולוגיה שהאדם פיתח לא משתווה לה - לא בסדרי הגודל של עוצמות האור שהיא יכולה להתמודד איתן, ולא ביכולת ליצור את התמונה הצבעונית, החדה ומלאת החיים שאנו מזהים כמציאות סביבנו. אולם למורכבות המופלאה של העין יש מחיר מאחר שהיא גם פגיעה מאוד, בין השאר למחלות ניווניות של תאי הפוטורצפטורים ברשתית - שכבת התאים הרגישים לאור המצויים בדופן האחורית של העין - ששכיחותן עולה ככל שאוכלוסיית העולם מזדקנת. מחלות גנטיות שעלולות לפקוד גם אנשים צעירים פוגעות אף הן במיליוני אנשים בעולם מדי שנה וגורמות להידרדרות באיכות הראייה, לעתים עד לעיוורון מלא.

רשתית מלאכותית, כמו זו שהציגה לראשונה החברה הקליפורנית סקנד סייט (Second Sight) בסוף העשור הקודם, מאפשרת לשקם חלקית את ראייתם של אנשים הסובלים מעיוורון חלקי או מלא בעקבות פגיעה ברשתית. הטכנולוגיה מבוססת על השתלת מערך של אלקטרודות המסודרות על גבי שבב באזור הרשתית הפגועה, וגירוי חשמלי של תאי העצב האחראים על עיבוד המידע האופטי, שנותרים פעילים. הטכנולוגיה הציגה עירה הזאת אושרה לשימוש באירופה ביולי 2011, ושנתיים לאחר מכן גם בארצות הברית, אך איכות הראייה שניתן להשיג כך עדיין רחוקה מאוד מזו של אדם בריא.

צוות בהובלת ד"ר יוסי מנדל מהמחלקה לאופטומטריה ומדעי הראייה בפקולטה למדעי החיים של אוניברסיטת בר אילן, ופרופ' זאב ולבסקי מהפקולטה להנדסה, הציגו לאחרונה פיתוח יוצא דופן שעשוי לזרוז את התקדמות המחקר בתחום זה. המתקן שפיתח הצוות,



מימין הדוקטורנטית תמר ארנסט-ארד, ד"ר ניירו פרח, פרופ' זאב ולבסקי וד"ר יוסי מנדל צילום: יוני רייך

ד"ר יוסי מנדל: "יצרנו כלי מחקרי רב-עוצמה שבאמצעותו אנו מקווים גם לחקור את ההתנהגות של ראייה מלאכותית (ביונית) בשילוב של ראייה טבעית. כך נוכל לדעת לא רק אם החולדה רואה, אלא אם היא מבינה מה היא רואה - כלומר, אם הראייה הביונית היא גם אפקטיבית"

בתוכו מקרן קטן לצד כל האופטיקה. "המערכת הזאת מאפשרת לבדוק ברזומנית גם את גלי המוח וגם את התגובות ההתנהגויות, ולכן היא מאוד מיוחדת. כעת אנחנו מקיפים גם לחקור באמצעותה את ההתנהגות של ראייה מלאכותית (ביונית) בשילוב של ראייה טבעית. זהו כלי מחקרי רב-עוצמה שבאמצעותו נוכל לדעת לא רק אם החולדה רואה, אלא אם היא מבינה מה היא רואה - כלומר, האם הראייה הביונית היא גם אפקטיבית."

האם אתה צופה שבעתיד ניתן יהיה להגיע לראייה ביונית שתחקק בצורה מוצלחת ראייה טבעית?

"אני חושב שכן. יש כיום אסטרטגיות רבות לשחזור ראייה, ולכולן יש מקום כי הן משלימות זו את זו. יותר מכן, אחד הדברים המעניינים שאנחנו רואים בניסויים שלנו הוא שראייה ביונית היא מהירה יותר מראייה טבעית, והביטוי שלה במוח מוקדם יותר ב-20-40 מילישניות. זה קורה כי אנחנו עוקפים את התהליך של מעבר מאור לאפקט חשמלי שמתרחש בתוך העין. זה תהליך שמעורבים בו עשרות אנזימים והוא אורך זמן, ואילו רשתית מלאכותית עוקפת אותו ומגרה ישירות את תאי העצב. המשמעות היא שאם יום אחד יהיו אנשים עם ראייה ביונית, הראייה שלהם תהיה מהירה יותר מזו של אנשים עם ראייה טבעית."

"ספציפית לגבי רשתית מלאכותית, אני חושב שביצוע שם להתבצע שינוי מחשבת, כי מבחינה טכנולוגית אפשר אמנם להקטין עוד ועוד את האלקטרודות, אבל חדות הראייה אינה רק פונקציה של צפיפות הפיקסלים, אלא היא מורכבת מכמה וכמה פקטורים נוספים. מכל אזור ברשתית הטבעית יוצאים אל המוח בערך 20 ערוצי מידע שונים שמטפלים בהיבטים שונים של הראייה - אחד לפרטים קטנים, ואחד לצבע, ואחד אחר לתנועה וכן הלאה, ולכל היבט כזה של הראייה יש תאים מיוחדים שיוצרים לזוהת אותם ולהודיע עליהם למוח. לעומת כל המורכבות הזו, כיום כל מה שיש לנו זו מערכת חשמלית שמפעילה את התאים בצורה לא סלקטיבית. במחקר שלנו בברזיל, אנו עובדים על שיטות שיאפשרו, לפחות חלקית, להתקרב לאופן הפעולה של המערכת הטבעית שברשתית ולהתחבר אליה, אבל התהליך מורכב וצפוי להימשך עוד מספר שנים. יש עוד דרך ארוכה עד לחיקוי ראייה טבעית".

מנסים לעשות שינוי רעיוני ולפתח רשתית מלאכותית שתאפשר חדות ראייה טובה הרבה יותר מזו שקיימת כיום."

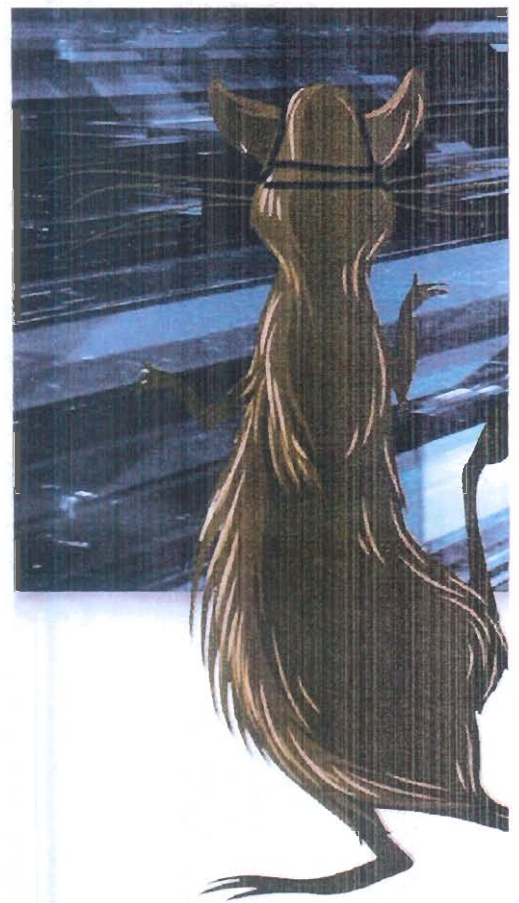
היכן נכנסות לתמונה החולדות?

"עין של חולדה דומה מאוד לעין האנושית, ולכן חולדות משמשות יותר ויותר למחקר בתחומים האלה. אנו מבצעים את המחקר כמו כן בצורה הכי הומנית שאפשר, וצריך להבין שבלי מחקר כזה אי אפשר להתקדם ולעזור לאנשים עיוורים. אנחנו עורכים מבחן פשוט: מקרינים על גבי השתל שבעין החולדה תבניות של אור שהולכות ונעשות יותר ויותר צפופות, ובמקביל מנטרים את הפעילות המוחית. זה דומה לאופן שבו חוקרים בודקים חדות ראייה אצל תינוקות - מניחים אלקטרודות על גבי הקרקעית שלהם, ומקרינים להם תבניות שונות על מסך. ממבחנים כאלה אנחנו יודעים שגלי המוח מייצגים את הפעולה התפיסתית של זיהוי התבנית, ושכלל שהתבניות נעשות צפופות יותר, כך גם הגלים הולכים וקטנים - עד שבשלב מסוים הם נעלמים. חדות הראייה המקסימלית היא זו שמעבר לה לא רואים את התבנית אלא כמעין שטח אפור."

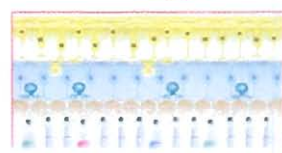
"אחת הבעיות במחקר היא שכדי לבדוק את האפקטיביות של רשתיות מלאכותיות בחיות מעבדה צריך מערכת גדולה ומסורבלת שמאפשרת להקריין לה תבניות אור שונות לתוך העין ולבדוק את גלי המוח. זה לא מספק."

מדוע?

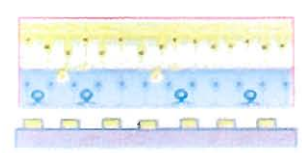
"מאחר שכך ניתן להעריך רק תפישה של תבנית פשוטה, אך זה לא אומר שום דבר על הכרה, ואי אפשר לדעת אם החולדה באמת הבינה את מה שהיא ראתה. חולדה היא בעל חיים אינטליגנטי יחסית, ואפשר ללמד אותה, למשל, שאם היא רואה משולש שתפנה לצד אחד, ואם היא רואה מעגל שתפנה לצד השני. אלא שאת כל הדברים האלה אי אפשר לעשות באמצעות המערכות הקיימות הגדולות, ולכן יצרנו התקן קטן שאותו ניתן להרכיב על ראשה של החולדה - מעין פריסקופ שמכיל



סטנפורד, עבדתי על שבב שעשוי מתאים סולאריים. אור שפוגע בתאים הסולאריים האלה מייצר שדה חשמלי חזק מספיק כדי להפעיל את תאי העצב. הנקודה היא שהתאים הסולאריים האלה לא מספיק חזקים כדי שתוכל להפעיל אותם עם אור נראה, הם צורכים הרבה יותר אנרגיה. לכן פותחה מצלמה שמקרינה את תמונת העולם לתוך העין באמצעות אור בלתי נראה, בטווח האינפרא-אדום, ובעוצמה גדולה, והאור הזה גם מעביר אנרגיה לתאים הסולאריים וגם מעביר מידע - את מה שהמצלמה רואה. לשיטה זו יש כיום להערכתך את הפוטנציאל הגבוה ביותר לשפר ראייה במקרים של עיוורון מניון הפטורצפטורים. המתקן שפיתחנו כאן הוא חלק ממחקר רחב, שבו אנחנו



רשתית בריאה
רשתית הפטורצפטורים קולטת את האור



רשתית חולה
ומתחתיה שתל ובו רשתית מלאכותית המחליף חלק מהפוטורצפטורים שהתנוונו