

18.69x25.72	1/2	עמוד 154	the marker	06/12/2016	56240017-5
אוניברסיטת בר איל - 80039					

השעה ה-25 | מדע וחדשנות

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 טיין ויכלו 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 החושי. בעיה נוספת היא שככל שנקטין את האלקטרודות, ונתקשה להפעיל תאי עצב שנמצאים מעבר למרחק מסוים מהן".

"בפוסט־דוקטורט שלי באוניברסיטת

ושמנדל מכנה "מציאות מדומה לחולדות", הוא מקרן ועיר ונייד שמתקן 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 החושי. המחקר שבוצע על ידי הדוקטורנטית תמר ארנס־ארד וד"ר ניירוז 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 מו הקיימת", אומר ד"ר מנדל. "כיום, איכות הראייה שמתאפשרת באמצעות שתל כזה אינה כה טובה. לשם המחשה, המרחק בין האלקטרודות שבשכב 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. יכולתיה 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 גיווניות של תאי הפוטורצפטורים ברשתית - שכבת התאים הרגישים לאור המצויים בדופן האחורית של העין - ששכיחותן עולה ככל שאוכלוסיית העולם מודקנת. 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 שכב באזור הרשתית הפגועה, וגירוי חשמלי של תאי העצב האחראים על עיבוד המידע האופטי, שנותרים פעילים. הטכנולוגיה הציגה עיריה הזאת אושרה לשימוש באירופה ב־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 זלכסקי מהפקולטה להנדסה, הציג לאחרונה פיתוח יוצא דופן שעשוי לזרוז את התקדמות המחקר בתחום זה. המתקן שפיתח הצוות,



מימין לדוקטורנטית תמר ארנס־ארד, ד"ר ניירוז פרח, פרופ' זאב זלכסקי וד"ר יוסי מנדל צילום: יוני רייך

18.11x25.54	2/2	עמוד 155	the marker	06/12/2016	56240018-6
אוניברסיטת בר איל - 80039					

ד"ר יוסי מנדל: "יצרנו כלי מחקרי רבי-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 בריזמית גם את גלי המוח וגם את התגובות ההתנהגו תיות, ולכן היא מאוד מיוחדת. כעת אנחנו מק ויים גם לחקור באמצעותה את ההתנהגות של ראייה מלאכותית (ביונית) בשילוב של ראייה טבעית. זהו כלי מחקרי רבי-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 שתחקה בצורה מוצלחת ראייה טבעית?

"אני חושב שכן. יש כיום אסטרטגיות רבות לשחזור ראייה, ולכולן יש מקום כי הן משלי מות זו את זו. יותר מכך, אחד הדברים המע נינים שאנחנו רואים בניסויים שלנו הוא שראייה ביונית היא מהירה יותר מראייה טב עית, והביטוי שלה במוח מוקדם יותר ב-20'40 מילישניות. זה קורה כי אנחנו עוקפים את התהליך של מעבר מאור לאפקט חשמלי שמת רחש בתוך העין. זה תהליך שמעורבים בו עש רות אנוימים 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 מו של אנשים עם ראייה טבעית.

"ספציפית לגבי רשתית מלאכותית, אני חר שב שיצטרך 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 שר נים של הראייה - אחד לפרטים קטנים, ואחד לצבע, ואחד אחר לתנועה וכן הלאה, ולכל היבט כוה של הראייה יש תאים מיוחדים שיוצעים לזהות אותם ולהודיע עליהם למוח. לעומת כל המורכבות הזו, כיום כל מה שיש לנו זו מערכת חשמלית שמפעילה את התאים בצו רה לא סלקטיבית. במחקר שלנו בבר-אילן, אנו עובדים על שיטות שיאפשרו, לפחות חלקית, להתקרב לאופן הפעולה של המערכת הטבעית שברשתית ולהתחבר אליה, אבל התהליך מור כב 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".

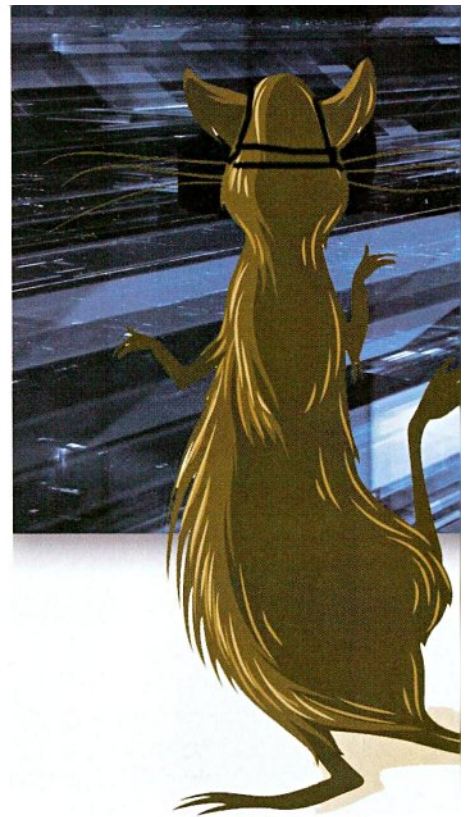
היכן נכנסות לתמונה החולדות?

"עין של חולדה דומה מאוד לעין האנושית, ולכן חולדות משמשות יותר ויותר למחקר בת חומים האלה. אנו מבצעים את המחקר כמוכנ בצורה הכי הומנית שאפשר, וצריך להבין שבלי מחקר כוה אי אפשר להתקדם ולעזור לאנשים עיוורים. אנחנו עורכים מבחן פשוט: מקרינים על גבי השתל שבעין החולדה תבניות של אור שהולכות ונעשות יותר ויותר צפופות, ובמק ביל מנטרים את הפעילות המוחית. זה דומה לאופן שבו חוקרים בודקים חדות ראייה אצל תינוקות - מניחים אלקטרודות על גבי הקרק פת שלהם, ומקרינים להם תבניות שונות על מסך. ממבחנים כאלה אנחנו יודעים שגלי המוח מייצגים את הפעולה התפשטית של ויהוי הת בנית, ושככל 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.

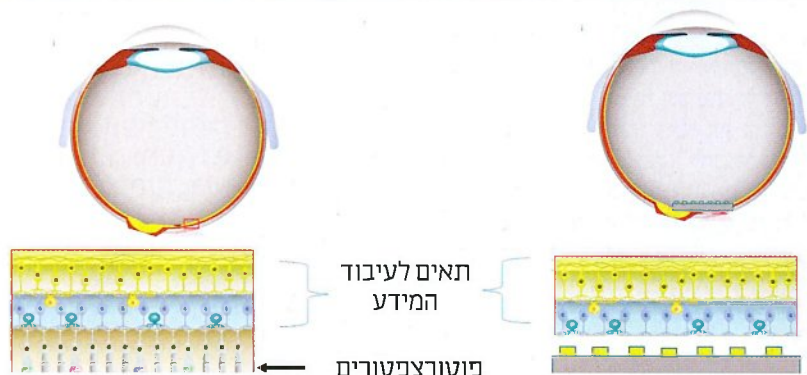
"אחת הבעיות במחקר היא שכדי לבדוק את האפקטיביות של רשתיות מלאכותיות בחיות מעבדה צריך מערכת גדולה ומסורבלת שמאפ שרת להקרין לה תבניות אור שונות לתוך העין ולבדוק את גלי המוח. זה לא מספק".

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 לע שות באמצעות המערכות הקיימות הגדולות, ולכן יצרנו התקן קטן שאותו ניתן להרכיב על ראשה של החולדה - מעין פריסקופ שמכיל



סטנפורד, עבדתי על שבב שעשוי מתאים סר לאריים. אור שפוגע בתאים הסולאריים האלה מייצר שדה חשמלי חזק מספיק כדי להפעיל את תאי העצב. הנקודה היא שהתאים הסולא ריים האלה לא מספיק חזקים כדי שתוכל להפ עיל 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 הוה גם מעביר אנרגיה לתאים הסולא ריים וגם מעביר מידע - את מה שהמצלמה רואה. לשיטה זו יש כיום להערכתי את הפוטנ ציאל הגבוה ביותר לשפר ראייה במקרים של עיוורון מניוון הפטורצפטורים. המתקן שפית חנו כאן הוא חלק ממחקר רחב, שבו אנחנו



רשתית בריאה
שבכת הפוטורצפטורים קולטת את האור

רשתית חולה
ומתחתיה שתל ובו רשתית מלאכותית המחליף חלק מהפוטורצפטורים שהתנוונו