



## מהי אופטוגנטיקה, וכיצד אפשר להשתמש בה כדי ללמוד יותר על המוח?

Diana H. Lim<sup>1\*</sup>, Jeffrey LeDue<sup>2</sup>

<sup>1</sup>המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת קונקורדיה, מונטריאל, קוויבק (QC), קנדה  
<sup>2</sup>מרכז Djavad Mowafaghian לבריאות המוח, אוניברסיטת קולומביה הבריטית, ונקובר, קולומביה הבריטית (BC), קנדה

### סוקרת צעירה

PRUTHVI

גיל: 15



### נירונים

(Neurons)

תאים מיוחדים במוח המתקשרים זה עם זה על-ידי משלוח וקבלה של אותות חשמליים וכימיים. במוח נמצאים מיליארדי נירונים, והאותות שנשלחים בין תאים אלה הם הבסיס לכל המחשבות וההתנהגויות שלנו. לפעמים מכנים נירונים תאי עצב.

כיצד המוח פועל? זו שאלה שמדענים שאלו במשך מאות שנים. כדי לפענח כיצד המוח פועל מדענים היו צריכים לבצע ניסויים רבים, ולמצוא דרכים לבחינה של המוח ובדיקתו. בשנת 2005 נוצרה שיטה חדשה הנקראת אופטוגנטיקה. שיטה זו משתמשת בשילוב של אור ושל הנדסה גנטית (שינוי המידע הגנטי של יצור חי, על-ידי הכנסת מידע לקוד הגנטי או הוצאת מידע ממנו) כדי לשלוט בתאי המוח. אופטוגנטיקה הפכה להיות נפוצה מאוד, ומשתמשים בה בכל רחבי העולם במעבדות החוקרות את המוח. השיטה עוזרת לנו לגלות דברים חדשים רבים על המוח. כאן, אנו מסבירים מה מייחד את האופטוגנטיקה בחקר המוח.

תאים מיוחדים במוח ובמערכת העצבים, הנקראים **נירונים**, פועלים יחד כדי לייצר את כל המחשבות וההתנהגויות שלנו. כדי להבין כיצד המוח שולט בהתנהגות אנו צריכים להבין כיצד נירונים מתקשרים ביניהם. המוח האנושי מורכב מאוד, אבל רבות מתכונותיו דומות לאלה של מוחות של בעלי חיים אחרים. מכאן, מדעני מוח, אשר חוקרים את המוח ואת מערכת העצבים, יכולים להשתמש בבעלי חיים פשוטים כדי לגלות דברים חדשים על המוח האנושי. כך התגלתה התקשורת בין הנירונים.

## כיצד נירונים מתקשרים ביניהם?

נירונים מתקשרים בעזרת שילוב של פעילות חשמלית וכימית. מדעני העבר גילו זאת באמצעות תצפיות וניסיונות מתוחכמים. לקראת סוף המאה ה-18, מדען איטלקי בשם לואיג'י גלווני הלך בשוק בזמן סופת ברקים. הוא ראה דוכן ובו רגלי צפרדעים למכירה, ושם לב כי הן נעות. השערתו הייתה שהחשמל של הסערה הפעיל את העצבים שברגלי הצפרדעים. הוא החליט לבחון את השערתו זו במעבדה. גלווני השתמש בחפץ המאפשר מוליכות חשמלית אשר נקרא אלקטרודה, כדי להעביר זרם חשמלי לעצבים של הצפרדע. הדבר גרם לרגלי הצפרדע לנוע. היה זה **מחקר הגירוי החשמלי** הראשון בתחום **מדעי המוח** [1]. מממצא זה, גלווני הסיק כי נירונים יכולים להשתמש באותות חשמליים כדי להעביר מידע. חשוב לדעת זאת! כעת, כשאנו יודעים כיצד נירונים "משוחחים" זה עם זה, נוכל להתחיל לדבר בשפתם. אנו יכולים להשתמש באותות חשמליים כדי להפעיל כמה נירונים, ולראות מה קורה בעקבות כך. זה בדיוק מה שמדענים החלו לעשות.

רק בשנות ה-30 של המאה ה-20 החלו להשתמש בגירוי חשמלי כדי למפות את המוח האנושי. ד"ר וילדר פנפילד, מנתח מוח, עבד עם חולים שסבלו מאפילפסיה. מחלת האפילפסיה גורמת לאותות חשמליים בלתי תקינים במוח, והיא עלולה להיות מסוכנת מאוד. במקרים קיצוניים נדרש ניתוח מוח כדי לעצור את האפילפסיה. ד"ר פנפילד רצה למפות את המוחות של חולי האפילפסיה כדי למצוא אלה חלקים במוח הם החשובים ביותר. הדבר עזר לו לדעת אלה חלקי מוח אסור לו לנתח. כדי למפות את המוח הוא השתמש בגירוי חשמלי, בדיוק כפי שביצע גלווני. הוא החדיר אלקטרודה קטנה לאזורים המוטוריים (של התנועה) במוח. אחר כך, הוא שלח אות חשמלי קטן, וצפה בתנועות של החולים. גירוי באזור אחד של המוח גרם לתנועה של אצבע, בעוד שגירוי אזור במוח ששונה רק במעט גרם לתנועה של רגל. מתוצאות אלה ד"ר פנפילד כי אזורים מסוימים במוח שולטים באזורים מסוימים מאוד בגוף. ד"ר פנפילד שם לב כי המיקום של אזורי המוח המוטוריים היה דומה אצל כל החולים שבהם טיפל. הוא יצר תרשימים של התוצאות שלו, אשר העניקו לנו את המפה השימושית הראשונה של האזורים המוטוריים במוח האנושי [2]. עד היום משתמשים במפות השימושיות של ד"ר פנפילד, המכרות בשם הומוגןקולוס.

מאז שנות ה-30 של המאה ה-20, ניסויי גירוי המוח השתנו. המחקרים בגירוי חשמלי סבלו מחסרונות אחדים. בעיה אחת היא שהמוח עלול להינזק בזמן החדרת האלקטרודה. בעיה נוספת היא שגירוי חשמלי מפעיל רקמות באופן כללי ולא ייחודי (איור 1A).

הדבר דומה לשימוש בדפפור, כאשר אפשר להסתפק באת בלבד - הדפפור יעיל, אבל אינו מדויק או זהיר. בשנת 2005 נוצרה שיטה חדשה המאפשרת גירוי יעיל ומדויק יותר של המוח. שיטה זו נקראת **אופטוגנטיקה**.

## מהי אופטוגנטיקה?

אופטוגנטיקה היא שיטה לשליטה בפעילות הנירונים, בעזרת אור והנדסה גנטית. הנדסה גנטית היא תהליך שבו מדענים משנים את המידע שבקוד הגנטי (התוכנית) של יצור חי. במחקרים אופטוגנטיים מדענים לוקחים את הקוד הגנטי של הנירון שאותו הם רוצים לחקור, ומוסיפים לו פיסה של קוד חדש. הקוד החדש מאפשר לנירונים אלה לייצר חלבונים מיוחדים,

### מחקר גירוי חשמלי (Electrical stimulation study)

שיטה להפעלת נירונים או נתיבים נירולוגיים על-ידי החדרת אלקטרודה קטנה ושליחת זרם חשמלי לרקמה. הדבר גורם לשינויים בפעילות החשמלית של הרקמה.

### מדעי המוח (Neuroscience)

ענף מדעי החוקר את המוח ואת מערכת העצבים.

### אופטוגנטיקה (Optogenetics)

שיטה המשתמשת בשילוב של אור ושל הנדסה גנטית כדי לשלוט על פעילותו של תא.

### הנדסה גנטית (Genetic engineering)

התהליך שבו משנים את המידע שבקוד הגנטי (התוכנית) של יצור חי, על-ידי הוספה של מידע או מחיקתו. הנדסה גנטית מכנה לפעמים שינוי גנטי.

## איור 1

**A.** במחקר גירוי חשמלי, כל התאים הסמוכים לאתר הגירוי יופעלו. **B.** באופן תקין, אור כחול אינו משפיע על נוירונים. **C.** אור כחול יפעיל באופן ייחודי נוירונים המכילים צ'נלרודופסין-2 (ChR2).

= Electrical stimulation  
גירוי חשמלי

= Light stimulation  
גירוי אור

Optogenetic stimulation

= גירוי אופטוגנטי

ניורון = Normal neuron

תקין

ניורון = Neuron with ChR2

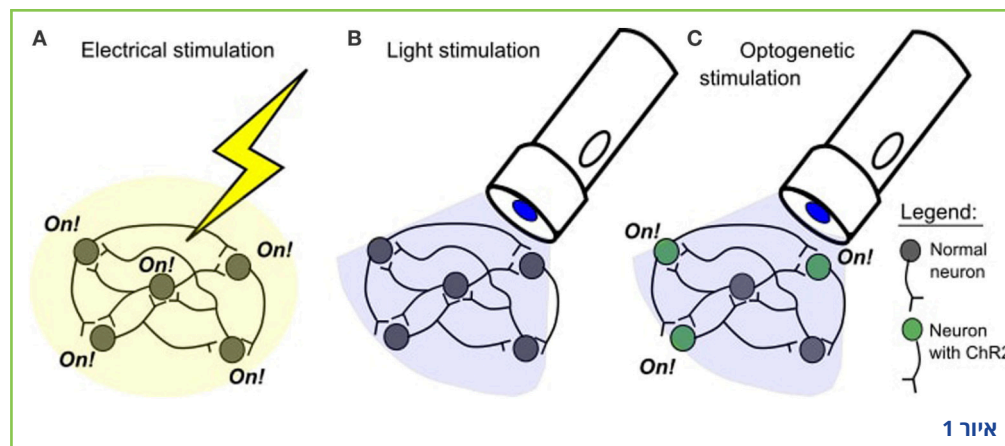
המכיל ChR2.

## אופסינים (Opsins)

חלבונים המגיבים לסוג מסוים של אור (למשל, ChR2 מגיב רק לאור כחול). במדעי המוח משתמשים בחלבונים אלה כדי לשלוט בפעילות של הנוירונים.

## צ'נלרודופסין-2 אופסין-2 (Channelrhodopsin-2, ChR2)

אופסין המגיב באופן ייחודי לאור כחול. כאשר קוד ל-ChR2 מוחדר לנוירונים, אפשר להשתמש באור כחול כדי להפעיל את הנוירונים האלה. כיום, ChR2 הוא האופסין הנפוץ ביותר במחקרים אופטוגנטיים.



איור 1

הנקראים **אופסינים**, אשר מגיבים לאור. האופסינים קיימים באופן טבעי, והם התגלו לראשונה באצות, המשתמשות בחלבונים אלה כדי לעזור להן לנוע לכיוון האור. אבל איך מגיעים האופסינים לתוך הנוירונים? הדבר מצריך טכניקות מעבדה מקצועיות. לדוגמה, בואו נסתכל על עכבר. כדי להכניס את האופסין לתוך הנוירונים של העכבר, יש להחדיר בזיהרות את פיסת הקוד הגנטי האחראי לייצור אופסינים אל תוך הקוד הגנטי של הנוירונים שבעכבר. אם הדבר נעשה נכון, כעת כל נוירון בעכבר אמור להכיל אופסינים. היות שאנו מבינים הרבה על הקוד הגנטי של העכבר, אנו יכולים לבחור היכן להכניס את הקוד האחראי לייצור האופסינים. אנו מחדירים את הקוד לסוג מסוים של נוירונים, או למקום מסוים במוח. אנו יכולים לבחור בדיוק באלה נוירונים אנו רוצים לשלוט.

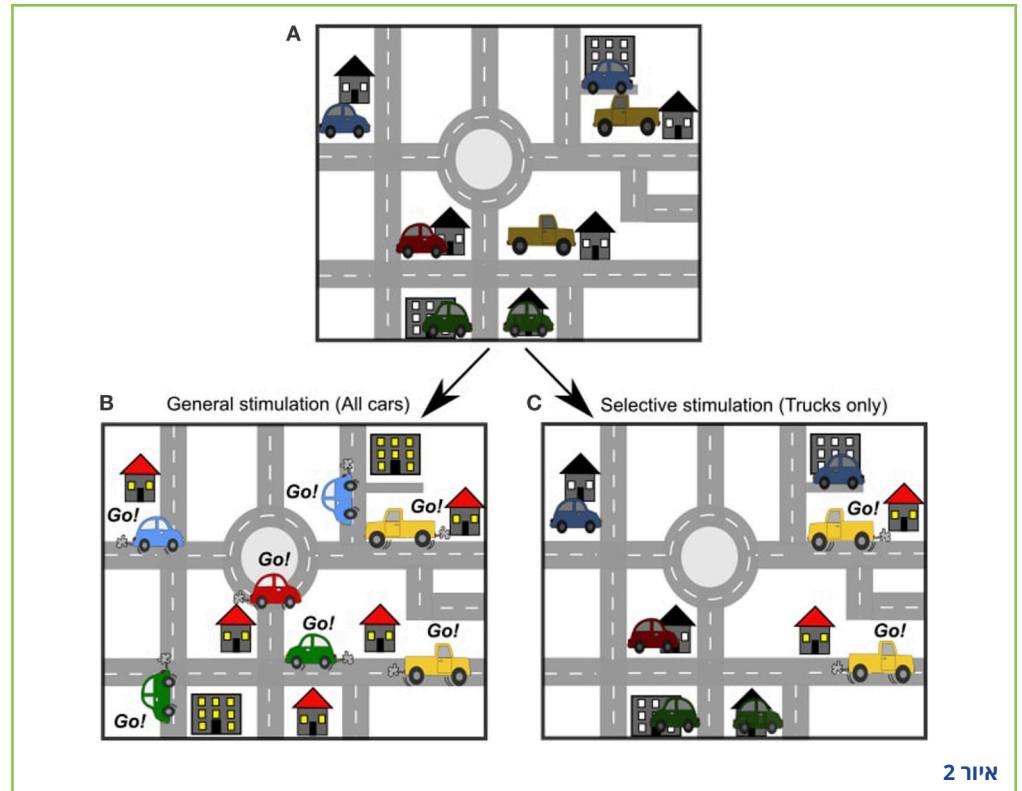
בתחום מדעי המוח, האופסין הנפוץ ביותר נקרא **צ'נלרודופסין-2 (ChR2)**. אופסין זה נלקח מאצת ירוקה הנקראת *Chlamydomonas reinhardtii* [3]. ChR2 מופעל על-ידי אור כחול, כלומר הוא פועל רק כאשר אור כחול מוקרן עליו, ואינו מגיב לסוגי אור אחרים. כאשר ChR2 מוחדר לנוירונים, אפשר להפעיל את הנוירונים האלה על-ידי אור כחול. הנוירונים שמכילים ChR2 יהיו במצב פעיל רק כל עוד האור הכחול מוקרן עליהם [4]. הדבר מאפשר לנו שליטה מדויקת על מְשֶׁךְ הזמן שהנוירון פעיל. בדרך כלל, נוירונים אינם מושפעים מאור כחול (איור 1B), כך שרק הנוירונים המכילים ChR2 יושפעו מהאור הכחול (איור 1C).

## גירוי אופטוגנטי הוא ייחודי יותר מאשר גירוי חשמלי

בדיוק כפי שיש כבישים רבים בעיר, יש נתיבים רבים במוח. אם אנו רוצים לדעת כיצד נקודה א מקושרת לנקודה ב בעיר, אנו יכולים פשוט להסתכל על כל הכבישים, ולשרטט מפת כבישים. זהו סוג של מפה מְבִיטית: היא עוזרת לנו להבין את סידור הכבישים. אבל, בדרך כלל יש דרכים רבות להגיע מנקודה א לנקודה ב, אז איך אפשר לדעת מהי הדרך הנפוצה ביותר? כדי לפענח זאת אנו צריכים להתבונן במכונות הנוסעות בכבישים, בזמן שהן נוסעות מנקודה א לנקודה ב. זוהי מפה שימושית: היא עוזרת לנו להבין איך משתמשים בכבישים. במוח, הנוירונים הם כמו הכבישים, והאותות הנעים מנוירון לנוירון הם כמו המכונות. בדרך כלל, המוח פעיל מאוד ויש הרבה מכונות על הכבישים כל הזמן. בכל רחבי מפת המוח, מכונות מתחילות לנסוע ועוצרות את הנסיעה שלהן בזמנים שונים. היות שיש פעילות רבה כל כך, איננו רואים דפוס כלשהו

## איור 2

**A.** בדיוק כפי שיש כבישים רבים בעיר, יש נתיבים רבים במוח. **B.** מחקר גירוי חשמלי דומה למצב שבו שולחים את כל המכוניות לכביש בבת אחת. **C.** מחקר גירוי אופטוגנטי דומה למצב שבו שולחים רק סוג אחד של מכוניות לכביש. General stimulation (All cars = גירוי כללי (כל המכוניות) Selective stimulation (Trucks only) = גירוי בררני (רק משאיות) Go = סע.



ואיננו מבינים כיצד הדברים קשורים זה לזה. כדי לפענח את הדפוס, יעזור אם נוכל לשלוט במקום ובזמן שבו המכוניות יתחילו במסע שלהן.

דמיינו שישנן מכוניות בכל חניה בעיר שלנו. מכוניות אלה מחכות לאות כדי לצאת לכבישים (איור 2A). במחקר גירוי חשמלי אנו יכולים לשלוט בזמן שבו המכוניות יתחילו לנסוע, אבל אין לנו שליטה רבה על סוג המכוניות שיצאו לכביש. בגירוי חשמלי, הגירוי הוא כללי. כל המכוניות הסמוכות לאתר הגירוי יישלחו לכביש, כלומר נידרש לעקוב אחר פעילות רבה (איור 2B). במחקר גירוי אופטוגנטי אנו יכולים לבחור בדיוק אלה מכוניות אנו רוצים שיצאו לכביש, ומתי. אנו יכולים לבחור קבוצת מכוניות לפי מיקומן (למשל, אנו יכולים לבחור שכל המכוניות שנמצאות בשכונה אחת יצאו לכביש) או לפי סוג המכוניות (למשל, אנו יכולים לבחור שרק משאיות יצאו אל הכביש) (איור 2C). זהו גירוי בררני. הרבה יותר קל לשלוט על תנועת המכוניות במקרה זה. היא מלמדת אותנו יותר על האופן שבו מכוניות ייחודיות פועלות בכביש.

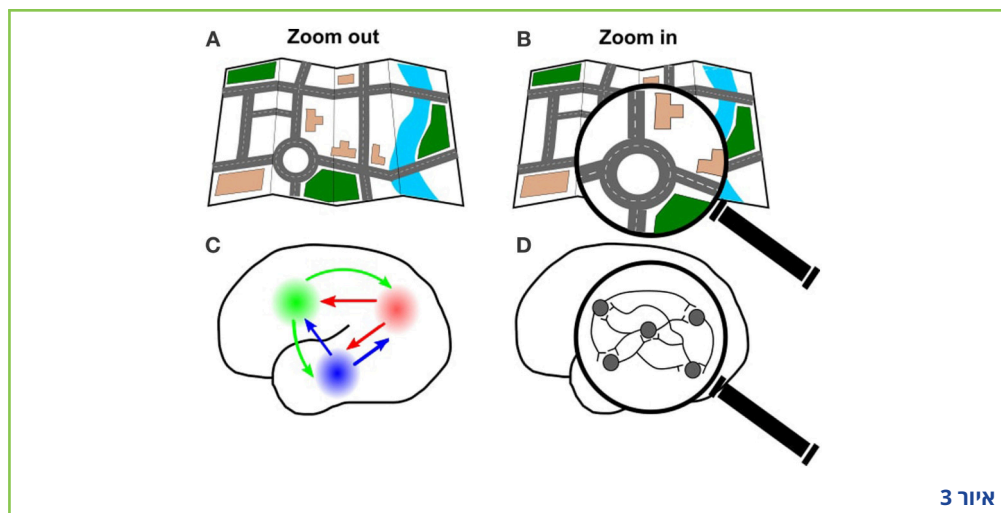
## כיצד עושים שימוש באופטוגנטיקה כדי למפות את המוח?

אפשר להשתמש באופטוגנטיקה כדי למפות את המוח של העכבר בדרכים אחדות ושונות (שנסקרות במקור [5]).

בדיוק כפי שאנו יכולים להקטין את התצוגה של מפת כבישים של עיר כדי לראות את הכבישים המהירים העיקריים (איור 3A), או להגדיל את תצוגת המפה כדי לראות בניין יחיד (איור 3B), אנו יכולים להקטין את תצוגת המוח או להגדילה. אנו יכולים להקטין את התצוגה כדי לראות כיצד אזורים נרחבים במוח מקושרים זה לזה ופועלים יחד (איור 3C). מבט זה על התמונה הגדולה

## איור 3

**A.** בדיוק כפי שאפשר להסתכל על מפת העיר כולה  
**B.** או להתמקד בכביש מסוים, אתם גם יכולים להתבונן בקישורים שבמוח כולו **C.** או להתמקד בקבוצת תאים מסוימת **D.**  
 Zoom out = הקטנת התצוגה  
 Zoom in = הגדלת התצוגה לצורך התמקדות.



איור 3

יעיל אם אנו מתעניינים באופן שבו מידע מועבר למרחקים ארוכים במוח, או במציאת האזורים במוח שמקושרים זה לזה. למשל, דרך ערים גדולות עוברים יותר כבישים וזרכים מהירות, כי אנשים רבים נוסעים אל הערים האלה ומהן. בעזרת שימוש באופטוגנטיקה כדי לגרות אזור אחד במוח ולהקליט את התגובות באזורי מוח אחרים, אנו יכולים לפענח באלה אזורים במוח יש הכי הרבה תנועה. הדבר חשוב להבנת האופן שבו התנהגויות מסוימות נגרמות, אבל עשוי להיות חשוב גם להבנה של מה קורה אם המוח ניזוק באזור מסוים (למשל, אם יש תאונה ברחוב מסוים, איך תנותב התנועה מחדש?).

אנו גם יכולים להתמקד במוח כדי לראות איך נוירונים מסוימים מקושרים (איור 3D). בשיטת אופטוגנטיקה אנו יכולים לחקור כיצד הנוירונים פועלים יחד, בעזרת שימוש באור שיפעיל חלק מהנוירונים, ולהקליט את התגובה של הנוירונים האחרים. נקודת מבט מפורטת זו שימושית להבנת האופן שבו הנוירונים מתקשרים זה עם זה, והזמן שהדבר קורה. זה יכול להיות שימושי מאוד בחקר מחלות הפוגעות בתקשורת בין הנוירונים שבאזור מסוים, דבר המתרחש כאשר מישהו לוקה בשבץ (קראו עוד על כך בסעיף הבא).

שבץ  
(Stroke)

בדרך כלל, הדם נושא חמצן וחומרי הזנה חשובים נוספים אל המוח. כאשר אספקת הדם משובשת או מופחתת, המוח אינו מקבל את מה שהוא צריך לשם תפקוד תקין. מצב זה נקרא שבץ, והוא עלול לגרום לבעיות ממושכות ולתפקוד לקוי.

מיפוי אופטוגנטי יוצר אפשרויות רבות כדי לחקור את פעילות המוח. ככל שהשיטות האופטוגנטיביות משתפרות ונוצרים או מתגלים יותר אופסונים, גדלים הסיכויים להצליח לשלוט במוח טוב עוד יותר במחקרי גירוי המוח. אולי נוכל להשתמש באופסונים שונים כדי לשלוט בכמה סוגי נוירונים שונים בו בזמן. היות שפל סוג של אופסין מגיב לסוג אור מסוים, אנו יכולים להשתמש באורות שונים כדי לשלוט בנוירונים מסוגים שונים. למעשה, חלק מהאופסונים פועלים לכיבוי נוירונים, כאשר נוכח הסוג הנכון של אור.

בדוגמה שלנו של מיפוי מכוניות בעיר אפשר להשתמש בריבוי אותות כדי לשלוט בתנועה של המכוניות. אנו יכולים לכוון סדרה אחת של מכוניות כך שיצאו לכביש כאשר ניתן אות מסוג אחד (למשל, אור כחול), וסדרה אחרת של מכוניות תצא לכביש כשניתן אות אחר (למשל, אור אדום). בעזרת ארגון זה אנו יכולים להתחיל לבצע ניסויים בשתי סדרות המכוניות האלה. מה קורה אם המכוניות המופעלות על-ידי האור האדום יצאו ראשונות? מה קורה אם המכוניות המופעלות על-ידי האור הכחול יצאו ראשונות? מה יקרה אם הן יצאו באותו זמן? הדבר יעזור לנו להבין את האינטראקציה בין סדרות המכוניות השונות האלה.

אז איך מדען בוחר באיזו שיטה או באיזה אופסין להשתמש? התשובה תלויה בשאלה שהמדען רוצה לחקור. בסעיף הבא מודגשות כמה מהשאלות שנחקרו בעזרת אופטוגנטיקה.

## תגליות עדכניות הודות לשימוש באופטוגנטיקה

מדעני מוח החלו להשתמש באופטוגנטיקה בשנת 2005 [3]. מאז, שיטות אופטוגנטיות שימשו לחקר המוח מנקודות מבט רבות ושונות – מתקשורת בין קבוצת נוירונים מסוימים, ועד אינטראקציות בין אזורי מוח נרחבים (נסקר במקור [5]). מחקרים רבים אחרים השתמשו בשיטות אופטוגנטיות כדי לחקור נושאים שונים ושאלות שונות. כמה מהשאלות העדכניות הן: היכן נמצא הפחד במוח? איך מחושבים הסיכונים והסיכויים? כיצד מאוחסנים הזיכרונות? (נסקר במקור [6]). השתמשנו באופטוגנטיקה בעכברים כדי לחקור כיצד המוח משתנה לאחר שבץ [7]. שבץ מתרחש כאשר אספקת הדם לאזור במוח משתבשת או מופחתת. הדבר מסוכן כי הדם מספק חמצן וחומרי הזנה חשובים נוספים שהמוח זקוק להם להישרדותו. אם אזור כלשהו במוח נשאר ללא אספקת חמצן למשך זמן ארוך מדי, הנוירונים באזור הזה ימותו לבסוף. הדבר גורם לבעיות באזור המסוים הזה של המוח, ובכל אזור אחר של המוח המקושר לאזור הפגוע. במחקר שלנו רצינו לחקור כיצד שבץ קטן באזור אחד של המוח משפיע על אזורים רבים אחרים במוח. בהתחלה השתמשנו ב-ChR2 כדי שייטיע לנו לשרטט מפה שימושית של מוח העכבר. השווינו את המפות בין בעלי חיים שעברו שבץ ובין אלה שלא עברו שבץ. גילינו שהמפות משתנות עם הזמן. שבוע אחד אחרי השבץ הפעילות הכללית של המוח הייתה נמוכה מאוד. באופן מפתיע, הפעילות הייתה נמוכה אפילו באזור שמרוחק מאוד מאזור השבץ. כאשר חלפו 8 שבועות מהשבץ הפעילות הכללית של המוח הייתה גבוהה יותר, אבל לא חזרה למצב התקין. מנתונים אלה הסקנו כי אפילו שבץ קטן עלול לגרום להשפעה גדולה על האופן שבו המוח פועל כיחידה אחת שלמה. הבנת מה שקורה למוח לאחר שבץ תעזור למדענים למצוא טיפולים טובים יותר עבור חולי שבץ. זו רק דוגמה אחת ליעילות הרבה של אופטוגנטיקה בחקר שאלות על המוח. סביר להניח כי מדעני מוח ימשיכו להשתמש באופטוגנטיקה עוד שנים רבות.

## מאמר המקור

Lim, D. H., LeDue, J., Mohajerani, M. H., Vanni, M. P., and Murphy, T. H. 2013. Optogenetic approaches for functional mouse brain mapping. *Front. Neurosci.* 7:54. doi: 10.3389/fnins.2013.00054

## מקורות

1. Kolb, B., Whishaw, I. Q., and Teskey, G. C. 2016. *An Introduction to Brain and Behavior*. 5th ed. New York, NY: Worth.
2. Penfield, W., and Edwin, B. 1937. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain* 60(4):389–443. doi: 10.1093/brain/60.4.389
3. Nagel, G., Szellas, T., Huhn, W., Kateriya, S., Adeishvili, N., Berthold, P., et al. 2003. Channelrhodopsin-2, a directly light-gated cation-selective membrane channel. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100:13940–5. doi: 10.1073/pnas.1936192100



4. Boyden, E. S., Zhang, F., Bamberg, E., Nagel, G., and Deisseroth, K. 2005. Millisecond-timescale genetically targeted optical control of neural activity. *Nat. Neurosci.* 8:1263–8. doi: 10.1038/nn1525
5. Lim, D. H., LeDue, J., Mohajerani, M. H., Vanni, M. P., and Murphy, T. H. 2013. Optogenetic approaches for functional mouse brain mapping. *Front. Neurosci.* 7:54. doi: 10.3389/fnins.2013.00054
6. Deisseroth, K. 2015. Optogenetics: 10 years of microbial opsins in neuroscience. *Nat. Neurosci.* 18(9):1213–25. doi: 10.1038/nn.4091
7. Lim, D. H., LeDue, J., Mohajerani, M. H., and Murphy, T. H. 2014. Optogenetic mapping after stroke reveals network-wide scaling of functional connections and heterogeneous recovery of the peri-infarct. *J. Neurosci.* 34(49):16455–66. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3384-14.2014

**פורסם אונליין:** 25 בינואר 2019

**נערך על ידי:** Daniel Ansari, University of Western Ontario, Canada

**ציטוט:** Lim DH and LeDue J (2019) מהי אופטוגנטיקה, וכיצד אפשר להשתמש בה כדי ללמוד יותר על המוח? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00051-he

#### **תורגם והותאם:**

Lim DH and LeDue J (2017) What Is Optogenetics and How Can We Use It to Discover More About the Brain? *Front. Young Minds* 5:51. doi: 10.3389/frym.2017.00051

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

**COPYRIGHT** © Lim and LeDue 2017. 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 (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.

## **סוקרת צעירה**

### **PRUTHVI, גיל: 15**

שלום, שמי פרותבי. אני בת 15 וגרה באונטריו, קנדה. לומדת בכיתה י'. אני לומדת עצמאית. בזמני הפנוי אני אוהבת לקרוא, לרבות ספרים, מאמרים וחדשות. אני אוהבת לבלות בטבע, ואני אוהבת ללכוד את הרגע בתמונות. הנושא האהוב עליי הוא מדע. אֶהְבְּתִי למדע התפתחה בשנים האחרונות של בית הספר היסודי. אני שואפת למצוא את עתיד בתחום הרפואי.





## הכותבים

### DIANA H. LIM

סיימה את תואר הדוקטור שלה במדעי המוח באוניברסיטת קולומביה הבריטית, שם השתמשה במיפוי אופטוגנטי כדי לחקור החלמה לאחר שבץ. היא חושבת שהמוח די מגניב, וכיום היא מלמדת פסיכולוגיה ומדעי המוח באוניברסיטת קונקורדיה, במונטריאול, קוויבק, קנדה. היא מקווה להעביר לסטודנטים שלה את אהבתה למוח. \*diana.lim@concordia.ca

### JEFFREY LEDUE

למד פיזיקה באוניברסיטת דלהאוזי ובאוניברסיטת ויקטוריה. בעזרת הרקע שלו בפיזיקה הוא עוזר למדעני מוח להפעיל לייזרים ולהשתמש באופטיקה כדי להבין את המוח באמצעות אופטוגנטיקה. כיום הוא עובד במרכז Djavad Mowafaghian לבריאות המוח, אוניברסיטת קולומביה הבריטית, ונקובר, קולומביה הבריטית (BC), קנדה.

Hebrew version  
provided by

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

