

## רְגִשָׁנוּת: כִּיצַד הָאֲמִיגְדָלָה לּוֹמַדַת לֵהֲבַחִין בֵּין טוֹב לְרַע

Gwendolyn G. Calhoon\*, Kay M. Tye

המחלקה למדעי המוח והקוגניציה, מכון פיקוור ללמידה וזיכרון, המכון הטכנולוגי מסצ'וסטס, קמברידג', מסצ'וסטס, ארצות הברית

### סוקרים צעירים

EXPLORA  
SCIENCE  
CENTER  
AND  
CHILDREN'S  
MUSEUM  
גיל: 8-14



### אֲמִיגְדָלָה בְּזוֹלְטֶרָלִית Basolateral amygdala (BLA)

נשמעת כמו  
"bay-so-lah-ter-ahl"  
"ah-mig-da-lah". אזור  
באמיגדלה שמעורב בלמידה  
של אסוציאציות חיוביות  
ושליליות. ה-BLA מקושר עם  
אזורים רבים אחרים במוח  
שחשובים עבור מוטיבציה,  
למידה וקבלת החלטות.

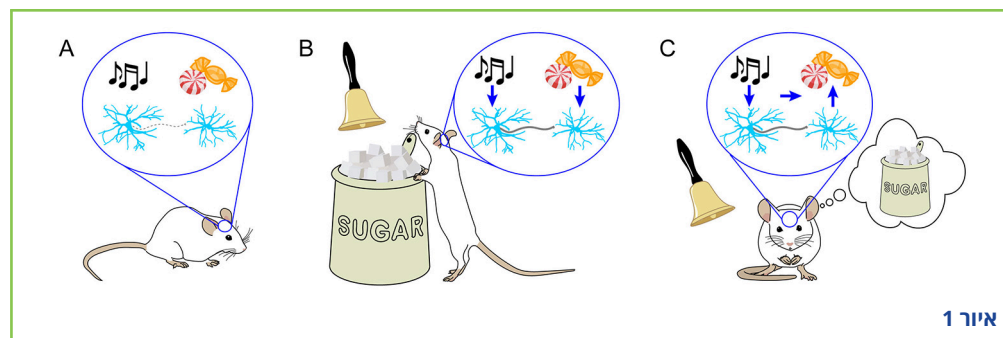
כיצד אתם מרגישים כשאתם שומעים מוזיקה של אוטו גלידה? ומה אתם מרגישים כשאתם שומעים את השעון המעורר שלכם בבוקר? הצליל הראשון עשוי לגרום לכם להרגיש שמחים או נרגשים, ועשוי אפילו לגרום לכם לרוץ לעבר האוטו כדי לקנות גלידה. הצליל השני עשוי לעצבן אתכם ולגרום לכם לרצות להתחבא מתחת לכרית! מדוע אתם חושבים שהצלילים האלה יכולים לגרום לתגובות רגשיות שונות כל כך? כיצד המוח שלכם יכול לומר מתי עליכם לצפות למשהו נעים או למשהו בלתי נעים? במחקר שלנו חקרנו כיצד מתרחשת הלמידה הרגשית באזור במוח שנקרא אמיגדלה. מצאנו שלמידה על אירועים חיוביים ושלייליים מתחלקת בין שתי קבוצות תאים שונות באמיגדלה.

### כיצד האמיגדלה לומדת?

האמיגדלה היא אזור מוחי קטן ועתיק שכבר מזמן נחשב כמרכזי עבור חוויה של רגשות וביטויים. אצל בני אדם המבנה דמוי השקד הזה נמצא מתחת למעטפת החיצונית של המוח ליד הברקות (קרוב לאוזניים). מדענים חושבים שאזור באמיגדלה שנקרא **Basolateral amygdala (BLA)** הוא חשוב עבור למידה רגשית [1, 2]. אולם האם ה-BLA - אזור מוחי אחד קטנטן - יכול לבצע מטלה חשובה כל כך? כדי להבין כיצד האמיגדלה

**איור 1**

למידה מחזקת קשרים בין תאי עצב. (A) לפני הלמידה תאי העצב במוחו של העכבר מחוברים חלש, מה שמיוצג על-ידי הקו האפור המקווקו שביניהם. תא העצב הראשון רגיש לצליל, ותא העצב השני מגיב לטעם מתוק. (B) כדי לאמן את העכבר לצפות לתגמול מתוק בכל פעם שהוא שומע את צליל הפעמון, הפעמון והתגמול מוצגים יחד באופן חוזר ונשנה. תהליך ההכשרה הזה יגרום לשני תאי העצב להיות פעילים באותו הזמן. כתוצאה מכך, החיבור שביניהם יתחזק (קו אפור עבה). תהליך החיזוק הזה מכונה הגברה סינפטית ארוכת-טווח (LTP). (C) ברגע שהקשר בין תאי העצב מחוזק, סביר הרבה יותר שפעילות בתא העצב הראשון תוביל לפעילות בתא העצב השני. זו כנראה הסיבה לכך שאחרי הלמידה צלילו של הפעמון גורם לעכבר לצפות לתגמול, אפילו לפני שהוא מקבל אותו.



איור 1

מסייעת לנו ללמוד על האופן שבו אנו חווים את המתרחש, ראשית עלינו להבין כיצד המוח לומד. תאי מוח שנקראים **תאי עצב** יוצרים קשרים שנקראים **סינפסות** כדי לתקשר זה עם זה. תאי עצב שונים רגישים לדברים שונים שמתרחשים בתוך הגוף ומחוץ לו. ההודעות שתאי עצב שולחים זה לזה מייצרות חוויות כמו פחד, עונג והתרגשות, וגם גורמות להתנהגויות כמו בהלה, אינטראקציה חברתית וחיפוש תגמולים. כאשר המוח צריך ללמוד שדבר אחד מוביל לאחר, הסינפסות מתחזקות בתהליך שנקרא **הגברה סינפטית ארוכת-טווח (LTP)**. משמעות הדבר היא שקשרים בין תאי העצב המסוימים האלה מתחזקים, כך שהתקשורת נהיית מהירה וקלה יותר.

לדוגמה, דמיינו שני תאי עצב שמחוברים במוח של עכבר (איור 1). אחד מתאי העצב האלה מגיב כאשר העכבר שומע צליל מסוים, ותא העצב האחר מגיב כאשר העכבר טועם משהו מתוק. באופן טבעי אין סיבה שהעכבר יקשר בין החוויות האלה, כך שלא מתרחשת תקשורת רבה בין התאים האלה, והחיבור ביניהם חלש. אם אנו רוצים לאמן עכבר לצפות למשהו מתוק בכל פעם שאנו מצלצלים בפעמון, הוא צריך ללמוד לחבר בין הפעמון ובין המאכל. אם נצלצל בפעמון ונתן את המאכל באותו הזמן, שוב ושוב, שני תאי העצב שמגיבים לצליל ולטעם יהיו פעילים באותו הזמן פעם אחר פעם. מאחר שהם יפעלו באותו הזמן, החיבור ביניהם יתחזק (זהו ה-LTP). ברגע שזה יקרה, העכבר יצפה לקבל מאכל בכל פעם שהוא ישמע פעמון בגלל שתא העצב שמקושר לפעמון מתקשר עם תא העצב שמקושר לטעם המתוק דרך הקשר הסינפטי החזק שביניהם.

**תאי עצב (Neurons)**

קטגוריה עיקרית של תאים במוח. פעילות ותקשורת בין תאי עצב מניעה חשיבה, רגש, למידה, תנועות גוף ותפקודים מוחיים נוספים.

**סינפסה (Synapses)**

נקודת התקשורת בין תאי עצב, שהיא למעשה חלל קטן מאוד שדרכו נשלחים אותות כימיים.

**הגברה סינפטית ארוכת-טווח (long-term potentiation - LTP)**

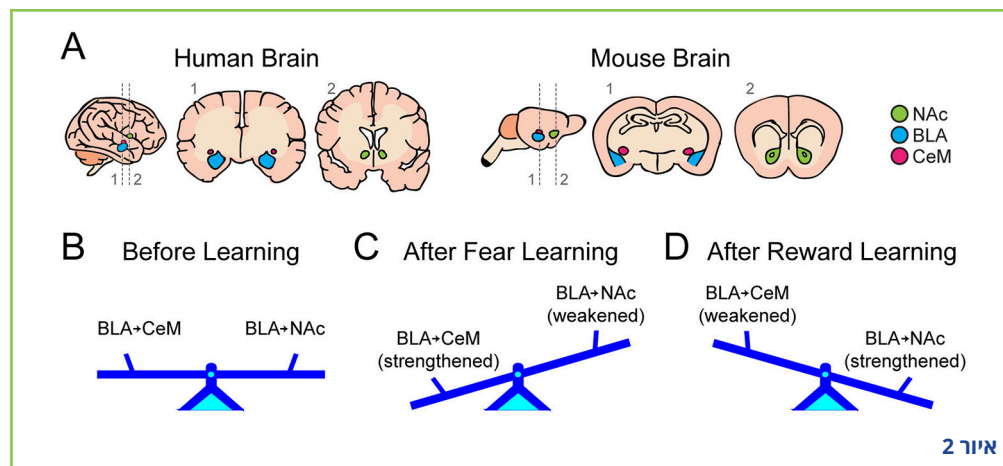
דרך אחת חשובה שבה מעגלים מוחיים משתנים במהלך למידה, ובמהלכה מתחזקים הקשרים שבין תאי העצב.

ה-BLA עושה שימוש ב-LTP כדי לסייע לנו ליצור קשרים בין אירועים ניטרליים שמתרחשים (כמו הפעמון, מוזיקה של אוטו גלידה, או צלילו של שעון מעורר) ובין אירועים שיכולים לגרום לתגובה רגשית (כמו תגמול של מאכל, גלידה, או יקיצה לפני שאנו מוכנים לקום) [3-5]. על-ידי יצירת קשרים חזקים בין האירועים האלה ה-BLA מסייע לנו לנהש מה עשוי לקרות ומשפיע על מצב הרוח שלנו, אפילו לפני שאנו חווים בפועל את הדברים שמעוררים בנו תגובה רגשית ישירה.

משהו שבלבל חוקרי מוח במשך זמן מה הוא האופן שבו ה-BLA יכול להבדיל בין דברים שגורמים לנו להרגיש טוב ובין דברים שגורמים לנו להרגיש רע. מדענים מצאו שה-BLA לומד גם על דברים טובים וגם על דברים רעים באמצעות LTP. כיצד הוא יכול לייצע אותנו מי זה מי?

**איור 2**

למידה שמבוססת על פחד ולמידה שמבוססת על תגמול משפיעות אחרת על תאי עצב ב-BLA שמחוברים ל-CeM לעומת ה-NAc. (A) מוח אנושי (שלוש תמונות משמאל) ומוח של עכבר (שלוש תמונות מימין), עם מיקומי ה-BLA, ה-NAc וה-CeM. (B) לפני



החיצוניים של המוח. (B) לפני הלמידה, חוזק הקשרים בין תאי העצב ב-BLA והתאים ב-CeM ו-NAc נמצא במצב בסיסי, אשר מיוצג על-ידי הנדנדה המאוזנת. (C) אחרי הלמידה, מצאנו רגישות ל-LTP בתאי עצב ב-BLA שמחוברים ל-CeM, אולם בתאי עצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc מצאנו שהקשרים נחלשו. (D) השפעת הלמידה מבוססת התגמול הייתה הפוכה להשפעת הלמידה שמבוססת על פחד.

**אמיגדלה**

**צנטרומדיאלית**

**Centromedial amygdala (CeM)**

נשמע כמו

“sen-tro-mee-dee-ahl ah-mig-da-la.”

אזור באמיגדלה אשר שולח אותות לאזורים ששולטים על תגובות הנבנתיות ותגובות שקשורות לבריחה, וחשוב עבור למידה המבוססת על פחד.

**גרעין האַקוּמְבֵנְס**

**(Nucleus**

**Accumbens-NAc)**

אזור במוח שחשוב עבור מוטיבציה ולמידה מבוססת תגמולים, אשר שולח אותות לאזורים במוח שמסייעים לשלוט בתנועה מְכוּנֶת.

**Retrobeads**

כדורים מיקרוסקופיים ופוליאורסצבטיים מְלֻטְקֵס שנקלחים על-ידי תאי עצב ומועברים אל גוף התא. משתמשים בהם כדי לְסַמֵן תאי עצב בהתבסס על מיקומי הקשרים שהם יוצרים.

**המידע נמצא בקשרים**

דרך אחת שבה ה-BLA עשוי להבחין בין דברים חיוביים ושלייליים היא באמצעות שימוש בקבוצות תאי עצב שונות כדי ללמוד על שני סוגי האירועים האלה. באופן הזה יִשְׁנֶה קבוצת תאי עצב אחת שתעבור תהליך LTP כאשר אנו לומדים על דברים “טובים” כמו הצליל של אוטו גלידה, וקבוצה אחרת שתעבור LTP כאשר נלמד על דברים “רעים”, כמו צלילו של השעון המעורר. אולם מה יכול לאפיין את שתי קבוצות תאי העצב האלה? האמנו שנוכל להבחין בין שתי קבוצות תאי העצב באמצעות אזורי המוח שאליהם הן מחוברות. ה-BLA מְתַקְשֵׁר עם אזורים מוחיים רבים אחרים. לדוגמה, ה-BLA שולח מידע לאזור אחר באמיגדלה שנקרא **Centromedial amygdala (CeM)**, אשר מעורב בהתנהגויות שקשורות בפחד. ה-BLA שולח מידע ל**גרעין האַקוּמְבֵנְס (NAc)**, שמעורב בלמידה על חיפוש תגמולים (איור 2). תהינו אם קבוצות שונות בתאי העצב ב-BLA מחוברות לשני אזורי המוח האלה. אם כן, האם תאי העצב שמחוברים ל-CeM לומדים על אירועים שקשורים לרגשות שלייליים, בעוד שתאי עצב שמחוברים ל-NAc לומדים על אירועים שקשורים לרגשות חיוביים?

כדי לשאול את השאלות האלה ביצענו ניסויים בעכברים. במטרה ללמוד על חוזק הקשרים בין תאי עצב, הכרחי (נכון להיום) להסיר את המוח ולחקור תאי עצב באופן פרטני. מסיבה זו לא יכולנו לבצע ניסויים כאלה על אנשים. האמיגדלה של עכברים דומה מאוד לאמיגדלה של בני אדם, וכך גם הקשרים שהאמיגדלה מייצרת עם אזורים אחרים במוח. בניסויים שלנו מְזַעְרְנו את מספר החיות שהשתמשנו בהן כדי להגביל את כמות הכאב והמצוקה אשר להם גרמנו.

כיצד אנו יכולים לדעת אלה תאי עצב ב-BLA מחוברים ל-NAc ואלה מחוברים ל-CeM? כדי לברר זאת השתמשנו בכלי שנקרא **Retrobeads**. כאשר אנו מזריקים Retrobeads לאזור מסוים במוח, כל תאי העצב שמחוברים לאזור הזה יקחו אותם פנימה. ה-Retrobeads זוהרים באור פְּלוּאוֹרֶסְצֵנְטִי בהיר, כך שכל תא שמכיל אותם יזהר תחת אור פולואורסצבטי. לכן, אם אנו מזריקים Retrobeads לתוך ה-NAc ואז מסתכלים על ה-BLA, אנו יודעים שתאי העצב שזוהרים מחוברים ל-NAc.

הזרקנו Retrobeads אדומים לתוך ה-NAc ו-Retrobeads ירוקים לתוך ה-CeM של חלק מהעכברים, ובעכברים אחרים החלפנו בין הצבעים של שני האזורים השונים. כאשר הסתכלנו

במיקרוסקופ פלואורסצנטי על פיסות המוח מה-BLA מצאנו שחלק מתאי העצב זהרו בירוק וחלק מתאי העצב זהרו באדום, אולם מעט מאוד תאים זהרו גם בירוק וגם באדום (ללא תלות באיזה צבע הזרקנו לשני האזורים האלה). משמעות הממצא הזה היא שתאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc ואלה שמחוברים ל-CeM מרכיבים קבוצות שונות. התרגשנו מהממצא הזה – האם ייתכן ששתי קבוצות תאי העצב האלה הן אלה שאחראיות על למידה רגשית שלילית וחיובית?

## כיצד למידה רגשית מְשֵׁנָה תאי עצב ב-BLA?

כדי לענות על השאלה הזו אימננו עכברים לצפות לשוק חשמלי קצר מייד לאחר שהשמענו להם צליל. התהליך הזה נקרא התְנִיית פחד. באותו הזמן, אימננו עכברים אחרים לצפות לְטִיפָה של מִי סוכר אחרי שהשמענו את אותו הצליל, מה שמְקַנָּה התניית תגמול. כל העכברים האלה קיבלו קודם לכן זריקות של Retrobeads אדומים וירוקים אל תוך ה-NAc וה-CeM. אחרי שהעכברים סיימו ללמוד את האסוציאציות החיוביות והשליליות, הסרנו את המוחות שלהם ויצרנו פיסות דקות מה-BLA. בתוך הפיסות האלה יכולנו לבחון את חוזק הסינפסות בין תאי עצב שמכילים Retrobeads ובין אזורים במוח שרגישים לצלילים. בחנו גם את חוזק הסינפסות בעכברים שלא שמעו צלילים כשהם קיבלו שוק חשמלי או תגמול. העכברים האלה שמעו צלילים כאשר לא הוצג שוק או תגמול, ולכן לא יכלו ללמוד לְקַשֵּׁר בין האירועים האלה ובין הצליל. העכברים האלה לא עברו התניית פחד או תגמול, כך שחוזק הקשרים במוחות שלהם ייצג את חוזק הבסיס. על-ידי השוואה בין החוזק הסינפטי בעכברים שלמדו אסוציאציות חיוביות או שליליות ובין החוזק הסינפטי בעכברים שלא למדו זאת, יכולנו לראות אם השינויים מתרחשים בעקבות חוויות הלמידה החיובית או השלילית.

מה אתם חושבים שמצאנו? זיכרו, ציפינו שתאי העצב ב-BLA יתחברו ל-NAc כדי ללמוד על אירועים חיוביים, ותאי העצב ב-BLA יתחברו ל-CeM כדי ללמוד על אירועים שליליים. ראינו שהניבויים שלנו היו נכונים, אולם עם טוויסט מְרָנֵשׁ! כאשר בחנו את תאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-CeM אחרי למידה מבוססת פחד, מצאנו סינפסות חזקות יותר מאשר בעכברים שלא למדו לְקַשֵּׁר בין צליל ובין שוק (איור 2). זו רְאִיָּה לכך שהנירונים האלה עברו LTP, בתאימות לתפקיד של למידת רגשות שליליים. כאשר רשמנו את חוזק הסינפסות האלה אחרי למידה מבוססת תגמול הופתענו לגלות שהקשרים נחלשו!

באותו הזמן, כאשר בחנו את תאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc, מצאנו שְׁשֵׁם התרחשו שינויים הפוכים (איור 2). ראינו ראיות לכך ש-LTP התרחש בתאים האלה כאשר עכברים חוו למידה שמבוססת על תגמול. זה מה שציפינו, בהנחה שקבוצת התאים האלה אחראית על למידה רגשית חיובית. אולם הופתענו כאשר חקרנו את החוזק הסינפטי בתאים האלה אחרי למידה מבוססת פחד. במקרה הזה הִקְשָׁרִים שתאי העצב יצרו היו חלשים יותר מאשר אצל עכברים שלא למדו.

בהתבסס על הממצאים האלה, נדמה שתאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc מסייעים לנו ללמוד אסוציאציות חיוביות, ותאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-CeM מסייעים לנו ללמוד אסוציאציות שליליות. אולם כיצד תאי העצב האלה משפיעים על עכברים חיים? אם שתי

קבוצות התאים האלה באמת חשובות עבור למידת רגשות חיוביים ושלייליים, הגיוני שהפעלה מְכַנֶּנֶת שלהם אמורה להשפיע על המצב הרגשי של העכבר.

## כיצד תאי עצב ב-BLA משפיעים על המצב הרגשי?

כדי לענות על השאלה הזו השתמשנו בטכניקה שנקראת **אופטוגנטיקה**. אופטוגנטיקה היא קבוצה של כלים חשובים אשר מאפשרים לחוקרי מוח להפעיל ולכבות פעילות בתאי עצב באמצעות אור (ראו [וידאו](#)). אנו מכניסים DNA לתאי העצב שאנו מעוניינים בהם, ואז ה-DNA מאפשר לתאים האלה לייצר חלבונים שרגישים לאור. החלבונים האלה יכולים להגביר את פעילות תאי העצב כאשר הם נחשפים לאור.

כדי להכניס אור אל המוח, אנו משתילים סיבים אופטיים מעל לאזורים שאנו רוצים לחקור. סיבים אופטיים עשויים מזכוכית שהיא מעט דקה יותר מספגטי לא מבושל, ואפשר להשתמש בהם כדי להוליך אור. סיב קטן מושתל בניתוח אל תוך מוחו של עכבר, ומקובע למקום כן שלא יזוז. אנו יכולים לְחַבֵּר את הסיב הזה לכבל ארוך שבנוי גם הוא מסיב אופטי, אשר ממוקם ממול ללייזר כחול שאנו יכולים להפעיל ולכבות לפי הצורך. החלק החיצוני של הכבל עטוף כך שהאור הכחול שעובר דרכו לא ייראה מחוץ למוח, והעכבר לא יוכל לראות אותו.

השתמשנו באופטוגנטיקה כדי לחקור אם שתי קבוצות תאי העצב ב-BLA משפיעות על המצב הרגשי של עכברים. מאחר שעכברים לא יכולים לומר לנו כיצד הם מרגישים, עלינו לפענח את הרגשות שלהם על בסיס ההתנהגות שלהם. לדוגמה, אנו יכולים לתת לעכבר לחקור חלל גדול ולהשתמש באור רק כדי להפעיל תאי עצב כשהעכבר נמצא בצידו של החלל (ראו [וידאו](#); התנהגות 1). אם הפְּעֵלָת תאי העצב גורמת לעכבר לחוש חוסר נעימות, הוא יִמְנַע מהצד הזה של החלל שבו אנו מקרינים אור לתוך המוח שלו. למעשה, זה מה שקורה כאשר חלבונים שרגישים לאור היו בתאי העצב של ה-BLA שמחוברים ל-CeM (איור 3; ראו [וידאו](#)). התצפית הזו גורמת לנו לחשוב שהפעילות בתאי העצב האלה הייתה לא נעימה לעכברים, מה שמתאים לרעיון שתאי ה-BLA שמחוברים ל-CeM אחראיים על למידת רגשות שלייליים.

מה אתם חושבים שקרה כאשר הדלקנו את תאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc? העכברים לא נמנעו מחלק החלל שאותו הארנו עם האור! בניסוי אחר נתנו לעכברים לשלוט במצב האור (האם הוא היה כבוי או דלוק, ראו [וידאו](#); התנהגות 2). כדי לגרום לאור להאיר לתוך ה-BLA ולהפעיל את התאים שמחוברים ל-NAc, העכברים היו צריכים להכניס את אפם לחור בקיר שבדופן החלל. העכברים עשו זאת פעמים רבות כדי להפעיל את תאי העצב, כך שאנחנו יכולים להסיק שהפעילות הזו הייתה נעימה עבורם (איור 3; ראו [וידאו](#)). הממצא הזה הגיוני אם תאי ה-BLA שמחוברים ל-NAc אחראיים על למידת רגשות חיוביים. באותו הזמן, העכברים לא הוציאו את אפם כדי להפעיל את תאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-CeM, בהתאם לציפיות שלנו.

## מה למדנו ולמה זה חשוב?

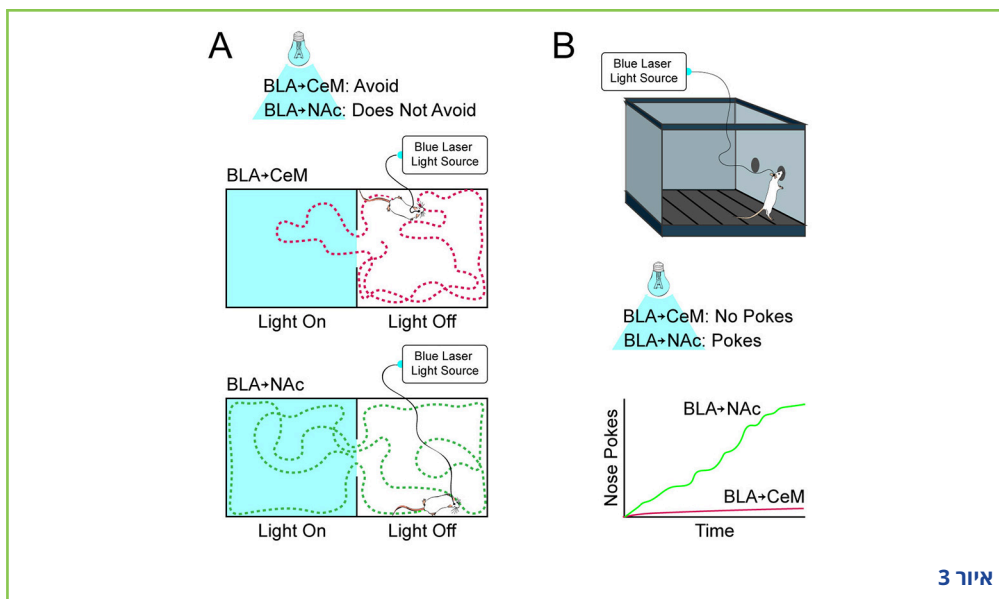
מה אתם חושבים המשמעות של כל הממצאים האלה? אנו חושבים שסביר מאוד שה-BLA מְחַלֵּק למידה מבוססת פחד ולמידה מבוססת תגמול בין קבוצות תאי עצב שונות, בהתבסס

### אופטוגנטיקה (Optogenetics)

קבוצת כלים בחקר המוח שמאפשרת שליטה בפעילות עצבית דרך חלבונים הרגישים לאור.

**איור 3**

עכברים אוהבים או לא אוהבים פעילות בתאי עצב ב-BLA כתלות באזורים שאליהם התאים מחוברים. (A) אפשרנו לעכברים לזוז בחופשיות בין שני צדדיו של חלל שבו בצד אחד הם קיבלו גירוי אורי של ה-BLA. כאשר הנברנו את פעילות תאי העצב ב-BLA שמחוברים ל-CeM העכברים נמנעו מהצד הזה של החלל שבו הם קיבלו את הגירוי. כאשר גירינו תאי עצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc, העכברים לא נמנעו מהצד שמקושר לאור. אתם יכולים לראות זאת בדיאגרמה שמראת את נתיבי התנועה של העכברים שקיבלו גירויים של תאי ה-BLA שמחוברים ל-CeM או ל-NAc. (B) בחלל נפרד העכברים יכלו להכניס את אפם לתוך חור כדי לקבל גירוי אור קצר של ה-BLA. העכברים שקיבלו גירוי בתאי ה-BLA שמחוברים ל-NAc חזרו פעמים רבות כדי לקבל את הגירוי (כפי שאפשר לראות בגרף). אולם העכברים שקיבלו גירוי בתאי ה-BLA שמחוברים ל-CeM לא חזרו כדי לקבל שוב את הגירוי.



איור 3

על אזורי המוח האחרים שהם מתקשרים איתם. אולם מדוע מצאנו שקשרים מסוימים נחלשו על-ידי סוגים שונים של למידה רגשית? ייתכן שישנו איזון בין תאי עצב ב-BLA שמחוברים ל-NAc ובין אלה שמחוברים ל-CeM כך שכדי שקבוצה אחת תתחזק הקבוצה השנייה צריכה להפחית את פעילותה. לדוגמה, אם תאי BLA שמחוברים ל-NAc הם כמו "דוֹוֹשֶׁת גז" עבור למידה מבוססת תגמול, ותאי ה-BLA שמחוברים ל-CeM הם כמו "דוֹוֹשֶׁת הַבֵּלֶם", ייתכן שאנחנו צריכים גם הַנְּבִרָה של הגז וגם שחרור של הבלם כדי שתתרחש למידה מבוססת תגמול.

אנו מקווים שהַבְנַת יחידות המבנה של למידה רגשית באמיגדלה תסייע לנו לדעת כיצד התהליך הזה פועל במוחות בריאים. למידה רגשית נפגעת במגוון מחלות פסיכיאטריות כמו דיכאון, חרדה והפרעת דחק פוסט-טראומטית. אם נוכל להבין כיצד למידה רגשית אמורה להתרחש במצב רגיל, נוכל להשתמש בידע הזה כדי לפענח מה משתבש במחלות כמו אלה שצוינו. מחקרים כמו שלנו מהווים צעד ראשון במציאת הטיפולים הטובים ביותר למחלות שמשפיעות על אנשים רבים, שאותן אנו רק מתחילים להבין.

**מאמר המקור**

Namburi, P., Beyeler, A., Yorozu, S., Calhoun, G. G., Halbert, S. A., Wichmann, R., et al. 2015. A circuit mechanism for differentiating positive and negative associations. *Nature*. 520:675–8. doi: 10.1038/nature14366

**מקורות**

1. Janak, P. H., and Tye, K. M. 2015. From circuits to behaviour in the amygdala. *Nature* 517:284–92. doi: 10.1038/nature14188
2. Bocchio, M., Nabavi, S., and Capogna, M. 2017. Synaptic plasticity, engrams, and network oscillations in amygdala circuits for storage and retrieval

- of emotional memories. *Neuron* 94:731–43. doi: 10.1016/j.neuron.2017.03.022
3. Rogan, M. T., Stäubli, U. V., and LeDoux, J. E. 1997. Fear conditioning induces associative long-term potentiation in the amygdala. *Nature* 390:604–7.
  4. McKernan, M. G., and Shinnick-Gallagher, P. 1997. Fear conditioning induces a lasting potentiation of synaptic currents in vitro. *Nature* 390:607–11.
  5. Tye, K. M., Stuber, G. D., de Ridder, B., Bonci, A., and Janak, P. H. 2008. Rapid strengthening of thalamo-amygdala synapses mediates cue-reward learning. *Nature* 453:1253–7. doi: 10.1038/nature06963

פורסם אונליין: 09 ביולי 2020

נערך על ידי: Kathleen Y. Haaland, University of New Mexico, United States

ציטוט: Calhoon GG and Tye KM (2020) רגשנות: כיצד האמיגדלה לומדת להבחין בין טוב לרע. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2018.00069-he

#### תורגם והותאם:

Calhoon GG and Tye KM (2018) Getting Emotional: How the Amygdala Learns the Difference Between Good and Bad. *Front. Young Minds* 6:69. doi: 10.3389/frym.2018.00069

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

**COPYRIGHT** © 2018 © Calhoon and Tye 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.

## סוקרים צעירים

### EXPLORA SCIENCE CENTER AND CHILDREN'S MUSEUM, גיל: 8-14

הסוקרים הצעירים של אקספלורה הם קבוצת חובבי מדע, אשר עובדים עם מחנכי המוזיאון ומנחים מאוניברסיטת ניו מקסיקו. אנחנו נהנים ללמוד על המוח בעזרת מאמרים. אנו גם אוהבים לשאול שאלות ולהציע הצעות שיכולות לסייע למדענים להפוך את עבודתם למובנת יותר לכולם! נעזרנו במנטור המדעי שלנו, ג'ון אליאס, אשר עובד בימים אלה על השלמת הפוסט-דוקטורט שלו בתחום נירופסיכולוגיה של ילדים.

## הכתבות

### GWENDOLYN G. CALHOON

את התואר הראשון שלי בפסיכולוגיה עשיתי בקולג' סט. מארי במרילנד, ולאחר מכן עשיתי דוקטורט במדעי המוח באוניברסיטת מרילנד בבלטימור בשנת 2013. לאחרונה השלמתי פוסט-דוקטורט במעבדה של Kay Tye במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס. נושאי העניין העיקריים שלי במדע הם האופן שבו תאי



עצב מתקשרים במעגלים בסקאלה קטנה וגדולה כדי להפעיל מוטיבציה ורגש. אני גם מתעניינת במיוחד באופן שבו המעגלים האלה מושפעים על-ידי רָעָב. בזמני הפנוי אני נהנית לשיר, לצעוד, לצלם ולטייל.  
\*ggcalhoon@gmail.com



### KAY M. TYE

אני פרופסור במכון פיקוור ללמידה וזיכרון במחלקה למדעי המוח וההתנהגות וב-2019 אני מתכננת לעבור למכון סאלק למדע הביולוגיה. המעבדה שלי עושה שימוש בכלים רבים שונים במטרה לשאול כיצד המוח שלנו אומר לנו אם דבר מה הוא טוב או רע. הניסויים שמתבצעים במעבדה שלי מראים לנו מה תאי העצב אומרים, עם מי הם מדברים וכיצד האותות שלהם משפיעים על התנהגות של חיות. אני גם אימא נאה, וכשאינני במעבדה אני נהנית לטפס על מצוקים ולרקוד ברייקדנס.

Hebrew version  
provided by

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

