

## עצבים, כאב והפרה

Mark Baron, Anne Minert, Shai-lee Yatziv, Marshall Devor\*

המחלקה לביולוגיה תאית והתפתחותית, המכון למדעי החיים והמרכז לחקר הכאב, האוניברסיטה העברית בירושלים

כל אחד ואחת מאיתנו חוו בעבר כְּאֵב פיזי. כאב הוא מְעִין 'צלצול אזהרה' שנועד להסב את תשומת הלב לכך שמשהו אינו כשורה. הוא גם משמש עבורנו כסוג של מורה המסייע לנו להימנע מלשוב על פעולה מזיקה בעתיד. לרוב אנו חשים כאב כתוצאה מגירוי חזק או מפציעה. אירועים אלה שולחים אותות ירי עצבי הנוצרים בקצוות העצבים ועוברים ישירות למוח. במוח האותות מגיעים ליעדים שונים, ושם מתורגמים על ידי רשתות של תאי עצב לתחושות ולרגשות. לעיתים, הכאב נוצר ללא גירוי חיצוני, במיוחד כשסיבי עצב נפגעו. חומרי הרדמה מקומיים חוסמים את הכאב בחסימת מְעַבְר האות החשמלי בסיבי העצב. חומרי הרדמה כלליים לעומתם חוסמים את הכאב בשיבוש תהליך עיבוד מידע במוח, וגרימת אובדן הכרה. חקר פעולת חומרי הרדמה כלליים עשוי ללמדנו כיצד מוחנו יוצר תנועה, תחושות, רגשות, רצון, זיכרון וחווית ההכרה.

### הכאב כאב

האם אי פעם נפלת מהאופניים ושפשפת את הברך? סביר להניח שבתחילה די כְּאֵב, ואולי אף בכית. אבל, כעבור יום-יומיים כנראה שהברך הפסיקה לכאוב. מה בדיוק גרם לכאב לפרוץ, ומה הפסיק אותו?

#### סוקרות צעירות

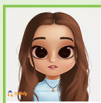
GILI

גיל: 12



MAAYAN

גיל: 13



OFRA

גיל: 6



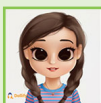
TALILA

גיל: 10



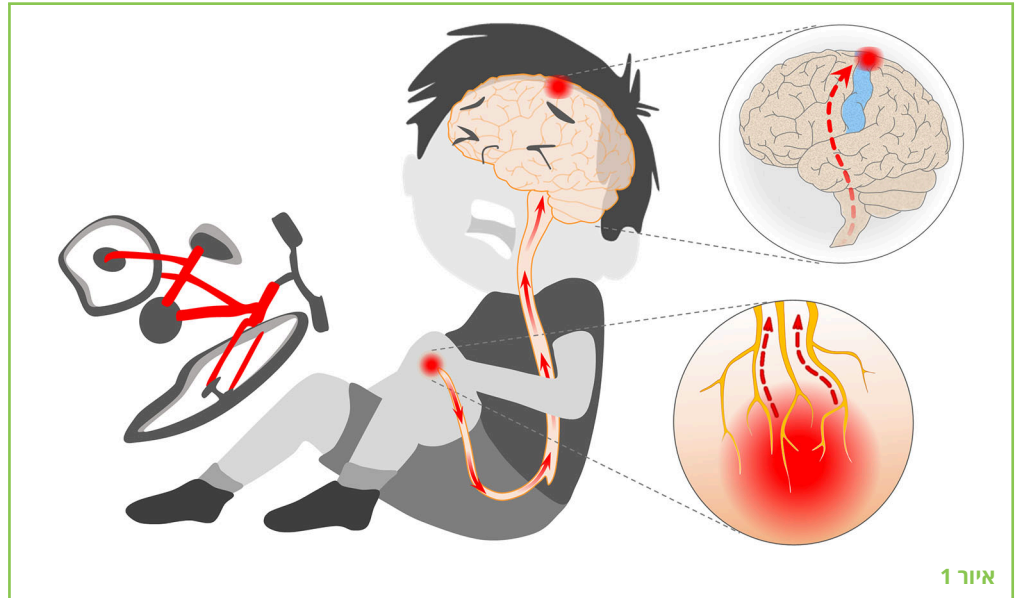
YAELA

גיל: 8



## איור 1

הסיבה לכאב אחרי נפילה מהאופניים ושפשוף הברך. גירוי חזק, פגיעה בעור והצטברות מולקולות דלקתיות (הענן האדום במקום הפגיעה) פועלים על קצוות עצבים (ענפים צהובים) כדי לייצר אות חשמלי שנשלח במעלה העצב, דרך חוט השדרה אל המוח. אותות אלה מגיעים לאזור ייעודי שאחראי על חישת מגע וחום (אזור כחול) ומפעילים בחלקו העליון **תאי עצב** המייצגים את הברך (הענן האדום במוח). כתוצאה מכך אנו חשים את הכאב בברך הפגועה.



איור 1

### תאי עצב (nerve cells), נקראים גם ניורונים - (neurons)

כל האיברים בגופנו מורכבים מתאים. תאי עצב הם תאים מסוג מיוחד שמהם מורכבים במידה רבה המוח והעצבים. ייחודם של תאים אלה בכך שהם מסוגלים להעביר אותות חשמליים כאמצעי תקשורת.

### ירי עצבי (neuronal firing)

האותות במערכת העצבים מועברים בצורת פעימות (ירי) זרם חשמלי לאורך סיב העצב. המידע מוקדם על ידי כמות משתנה של ירי עצבי, מרווחים בין צרורות הירי וסוג סיב העצב שבו הירי עובר.

### עצב (nerve)

מצבור של סיבי עצב רבים שמעביר אותות חשמליים למרחקים ארוכים, למשל לכל אורך הדרך עד לקצה איבר מסוים בגוף.

### סיב עצב (nerve fiber), מכונה גם אקסון

שלוחה ארוכה, כמו חוט דק, היוצאת מתא עצב. דרך סיב העצב עובר הירי העצבי בין תאי עצב בתוך המוח, בין הגוף למוח ובין המוח לגוף.

שאלה נוספת – האם הזדמן לך לחוות פגיעה עם המרפק בעצם כלשהו, כמו קיר או שולחן? אם חווית זאת, כנראה חשת כאב שונה מאוד: חזק וחד, שמרגיש קצת כמו זרם חשמלי, אך ללא נזק לעור או דימום. זהו סוג אחר של כאב, שקרוב לוודאי דעך ונעלם בתוך כמה דקות. כיצד שפשוף בברך או חבטה במרפק גורמים לכאב? מדוע כאבים אלה מרגישים כל כך שונה זה מזה? איפה הורגש הכאב- בברך ובמרפק או ברשתות של **תאי עצב** במוח?

## הברכיים והמרפקים מקושרים למוח באמצעות סיבי עצב

בנפילה מהאופניים שגרמה לפגיעה בברך, נוצר בברך מְסָר שנשלח והגיע למוח (איור 1). אותות כאלה הם סוגים של פעימות **ירי עצבי**, אשר עוברים לאורך העצבים שבגופנו. **עצב** הוא צרור לבן וארוך המכיל אלפי חוטים ביולוגיים עדינים שנקראים **סיבי עצב**, או אֶקְסוֹנִים. מְסָר הכאב נוצר בהתפצלויות מיוחדות בקצוות סיבי העצבים בברך המשופשפת. קצוות עצבים אלה מתרגמים כוחות פיזיקליים כמו לחץ וחום לאותות חשמליים. קצוות של סיבי עצב מסוימים מייצרים ירי עצבי כאשר מתרחשת נגיעה קלה בעור, בעוד שסוגים אחרים של קצוות סיבי עצב מגיבים לחום, לקור או לגירוד. השפשוף החזק שהתרחש כאשר הברך פגעה בקרקע גרם לירי עצבי בסיבי כאב. האותות הללו נעו לאורך העצב המְקֻשָּׁר בין הברך למוח, ושם נוצרה תחושה של כאב. התחושה המורגשת: מגע, חום, קור או כאב, תלויה באילו סיבי עצב הופעלו ולאיפה בדיוק במוח הגיעו האותות. כששפשוף את הברך, הופעלו סיבי עצב רבים שייחודם הוא להגיב לכוחות חזקים. האותות החשמליים שנוצרו בברך הגיעו לחלקי המוח שגורמים לחוויה תחושתית של כאב.

התחושה שהרגשת בעת פגיעה עם המרפק בשולחן הייתה אף היא כואבת, אך באופן שונה מהברך המשופשפת. תחושה זו דומה יותר להתחשמלות. הסיבה היא שאות הכאב לא נוצר על ידי קצוות סיבי עצב שתפקידם הוא זיהוי פציעות, אלא שהעצב כולו נמחץ לזמן קצר בין השולחן לעצמות המרפק. מחיצה זו פגעה בחלק מהסיבים בעצב והפעילה אותם לזמן קצר. כשהעצב במרפק נמחץ, נוצר ירי עצבי בכל הסוגים השונים של סיבי עצב המאוגדים יחד

באותו עצב של המרפק, בבת אחת. הדרך היחידה שדבר כזה קורה פרט לפגיעה בעצב היא בנסיבות של התחשמלות. זו הסיבה לכך שהתחושה שנוצרה במוח בעת פגיעה עם המרפק בשולחן הייתה כמו התחשמלות.

## הכאב טמון במוח

המוח הוא 'מרכז הפיקוד והבקרה' של גופנו. במוח, ולא בברך או במרפק, אנו חווים את כל התחושות. אחת הדרכים שאנו יודעים זאת היא מתיאוריהם של אנשים קטועי גפיים. אנשים שאיבדו רגל או זרוע בעקבות פציעה או מחלה כמעט תמיד מדווחים שהם עדיין מרגישים את איברם החסר כאילו הוא עדיין קיים (איור 2). התחושה שהם מתארים היא לרוב של נימול, כאילו שנמלים הולכים על העור, או של התחשמלות, אך לעיתים היא מלווה בתחושת כאב דוקר או שורף. תופעה זו נקראת 'איבר פנטום' ('איבר רפאים'), או **כָּאֵב פֶּנְטוֹם ('כאב רפאים')**. אם האיבר כבר לא קיים, מהיכן מגיע הירי העצבי שאותו המוח מפרש כעקצוץ או ככאב שמקורם בזרוע או ברגל החסרה?

ישנם חוקרים המאמינים כי מקור הירי העצבי הוא במוח, כמו האותות החשמליים שיוצרים חלומות. חוקרים אחרים, ואנו ביניהם, מאמינים כי מקורו של הירי הוא במה שנותר מעצבי הגפיים לאחר הקטיעה. זה דומה לכאב שהורגש במרפק לאחר שפגע בשולחן, אם כי כאן הכאב מתמשך יותר, ועשוי ללוות את הקטוע לשארית חייו [1].

ישנן גם דרכים אחרות שבעזרתן אנו יודעים כי החוויה החושית מתרחשת במוח. לדוגמה, בנייתוחים מסוימים עצם הגולגולת של המטופל נפתחת כדי לחשוף את המוח, ולאחר מכן מעירים את המטופל מההרדמה כשמוחו עדיין חשוף. בשלב זה הרופא המנתח משתמש במכשיר חשמלי כדי לייצר ירי עצבי בחלקים מסוימים במוחו של המטופל. כתוצאה מכך המטופל מתאר שהוא מרגיש תחושות שונות. בגירוי החלק האחורי של המוח, למשל, המטופל מספר שהוא רואה אורות גם כשעיניו עצומות. גירוי בצידי המוח גורם לשמיעת צלילים, לעיתים אף מנגינות שניתן לזהותן, וגירוי בחלק העליון של המוח מייצר תחושת נימול בכף הרגל, הדומה לתחושת איבר הפנטום (ראו איור 2 – אזורים ירוק, כתום וכחול).

בדומה לגירוי המעורר חוויות תחושתיות של ראייה, שמיעה ומגע, פעילות באזורים אחרים במוח יוצרת רגשות כמו כעס, עָצֵב ועונג [2]. הסיבה שאולי בכית כששפשפת את הברך, היא שנוסף על יצירת חוויה תחושתית של כאב, האותות החשמליים הרצים בעצב הפעילו מרכז במוח הקשור לרגשות. בכך יצרו האותות רגש של עצב המלווה בשחרור דמעות. המוח הוא גם המקום שבו נוצרים חשקים כמו רָעֵב, צָמָא ו'רצון' לעשות דברים, בקיצור מוטיבציה (ראו איור 3). החשוב והמעניין מכול, זה המיקום שבו מתעוררת התחושה שאנו קיימים: התחושה שאנו מצויים בהכרה ולא בשינה עמוקה. איננו מבינים עדיין כיצד אותות חשמליים במוח יוצרים חוויה חושית, רגשות, מוטיבציות ותודעה. זו אחת התעלומות הגדולות ביותר של המדע. אבל דבר אחד ברור – הדברים האלו מתרחשים במוח. באחד הימים מישהו יגלה כיצד זה קורה. אולי יהיו אלה את או אתה!

## הפעלה של כאב ותודעה, וכיבונים

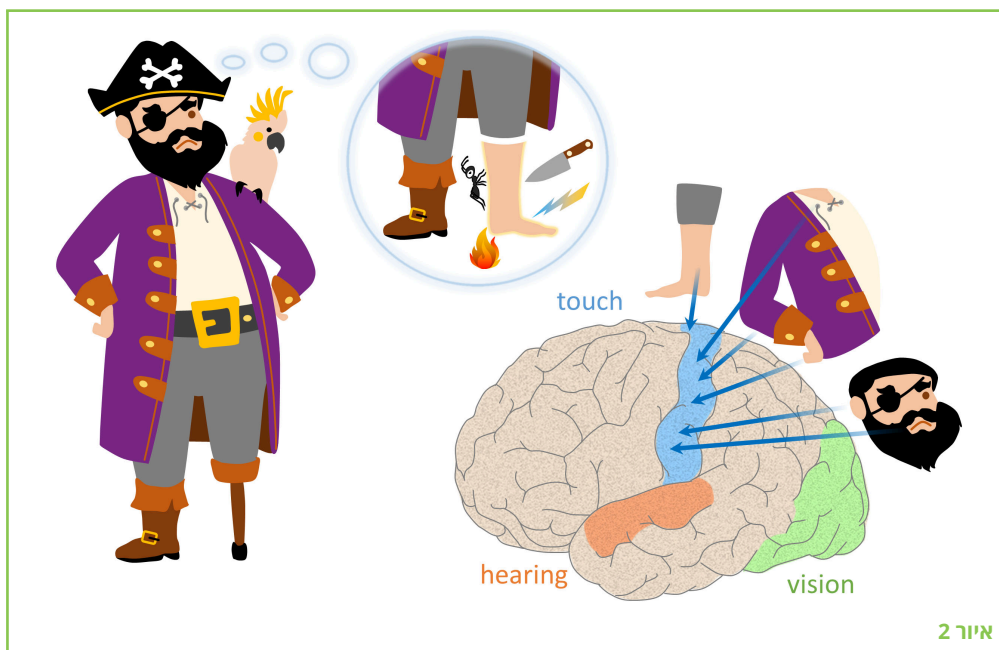
אם הירי העצבי העובר בעצבים מהברך המשופשפת למוח היה נחסם באמצע הדרך, לא היית חש את הכאב. ודאי הזדמן לך לחוות חסימות כאלה. למשל, בעת ישיבה ממושכת עם הרגליים

### כָּאֵב פֶּנְטוֹם (כאב רפאים) (phantom pain)

או תחושת פנטום, תחושת איבר רפאים) תחושות כאב, נימול, או עקצוץ המורגשות בחלק החסר של גף קטוע, כאילו האיבר עדיין נוכח. אופייניות כמעט לכל מקרי הקטיעה, ועשויות להופיע לסירוגין או בקביעות במשך שנים רבות לאחר האירוע.

**איור 2**

אנשים שאיבדו רגל או יד עקב תאונה או מחלה, כמעט תמיד מדווחים שהם עדיין מרגישים את הגף החסר כאילו הוא עדיין שם – מדוע? הגף החסר ("איבר רפאים" או "איבר פנטום") אינו מורגש באופן תקין אלא שמופיעות בו תחושות של נימול, דקירות, התחשמלות או צריבה. הסיבה לכך טמונה בהפעלה של תאי עצב במוח בחלק האחראי על תחושת מגע וחום (בכחול) על ידי תאי העצב שנפגעו באזור הקטיעה. חושים כמו שמיעה (בכתום) וראייה (בירוק) ממוקמים באזורים שונים במוח.



משוכלות, קורה לעיתים שרגל אחת 'נרדמת'. כשהרגל 'רדומה', גם אם נצבוט אותה, בקושי נוכל להרגישה. ישנם תרופות ותכשירים רפואיים אשר חוסמים יצירת אותות חשמליים ומְעַבְר האותות לאורך העצבים. למשל, כשרופא השיניים צריך לסתום חור בשן, הוא יזריק חומר לעצב בלסת של המטופל כדי לחסום מְעַבְר פעילות חשמלית בעצבים הנמצאים בשיניים. בכך ימנע הרופא את הכאב שעלול להיווצר כאשר קודחים בשן. נשים העומדות ללדת מקבלות לעיתים קרובות זריקה בגב התחתון המכילה את אותו החומר כדי להפחית את כאבי הלידה. חומר זה נקרא **חומר הרדמה מקומי**.

**חומר הרדמה מקומי (local anesthetic)**

סוג של מולקולה קטנה אשר חוסמת יצירה של ירי עצבי ומְעַבְר של אותות חשמליים לאורך סיב העצב. כך נמנעת באופן זמני התקשורת בין המוח לבין שאר חלקי הגוף.

**חומר הרדמה כללי (general anesthetic)**

מולקולה קטנה מסוג שונה, שפעולתה במוח מונעת תחושת כאב וכל תחושה אחרת; יכולת תנועה רצונית; זיכרון ומודעות לסביבה. חומר הרדמה כללי, בניגוד למקומי, אינו חוסם מְעַבְר ירי עצבי לאורך סיבי עצב.

חומרים אחרים מסוג **חומר הרדמה כללי** גורמים להיעלמות מוחלטת של תחושות לרבות תחושת הכאב בכל הגוף, וכן לחסימת תנועות, רגשות ומוטיבציה. חומרים אלה שימושיים מאוד כיוון שהם מאפשרים לרופאים לבצע ניתוחים בלי שהמטופל יחוה כאב וסבל. באופן מדהים, הן גם גורמים ל-'אני' שבתוכנו להיעלם (באופן זמני, כמובן!). לאחר הזרקת תכשירים אלה אנו מאבדים הכרה ונכנסים למצב של 'שום דבר'. אנשים רבים מאמינים כי מצב זה שאנו נמצאים בו בזמן חוסר הכרה דומה למוות. אך חומרי הרדמה אלה אינם גורמים למוות. המוח המורדם ממשיך לשלוט בנשימותינו, בלחץ הדם שלנו ובפעולות 'תחזוקה' רבות נוספות אשר שומרות אותנו בחיים, ואת גופנו מתפקד. כל עוד מוזרם לגוף חומר הרדמה כללי האדם יישאר במצב הרדמה דמוי-מוות מתמשך, ייתכן שבועות או חודשים. אך זמן קצר לאחר הפסקת מתן החומר, האדם ישוב להכרה. במהלך ההרדמה, המטופלים אינם מרגישים את חלוף הזמן. אם נשאל אדם ששב להכרתו לאחר הרדמה ממושכת, סביר להניח שיאמר כי ישן כמה דקות, ולא כמה חודשים [3]. כמו כן לא יזכור דבר שהתרחש במשך תקופת ההרדמה.

הפרדה בין ה-'אני' המודע לבין 'המכונה' המוחית האוטומטית שְׁמֵתְחַזְקֶת את גופינו בחיים, מתרחשת גם במצבים אחרים של אובדן הכרה, לדוגמה עילפון או פגיעת ראש (זעזוע מוח). גם במהלך שינה עמוקה (בהיעדר חלומות) חסרה ההכרה, אבל שאר השינויים המאפיינים הרדמה כללית פחות מוחלטים. למשל, במהלך הלילה, פרט לזמנים של השינה העמוקה במיוחד, כולנו מסתובבים במיטה. גופנו אינו נמצא בשיתוק מוחלט. בזמנים אלה מוחנו ממשיך

לדעת בדיוק איפה קצה המיטה, ולמעט תינוקות וחולים במחלות מיוחדות, נדיר מאוד שאנו נופלים מהמיטה. גם הורים לילדים קטנים לעיתים קרובות מתעוררים משינה מקול הבכי של ילדיהם. ככלל, ניתן לעורר אדם משינה על ידי גירוי כגון מגע, קול וכדומה. לעומת זאת אדם הנמצא תחת השפעת חומר הרדמה כללי לא ניתן לעורר באותו אופן. דוגמה קיצונית במיוחד לפעילות הגוף בזמן השינה היא "סהרורות" – הליכה בזמן שישנים. במסגרת תופעה זו אדם עשוי לקום מהמיטה, ללכת למטבח להכין כריך ואז לחזור למיטה, כל זאת כשהוא ישן, חסר הכרה ואינו מודע לכל מה שקורה סביבו. סהרורות לא מתרחשת בזמן הרדמה כללית.

## אזור מוחי שמדליק ומכבה לסירוגין את ההכרה והכאב

העובדה שניתן לכבות את ההכרה (והכאב) ולהדליקם, בזמן שתפקודי מוח אחרים ממשיכים לפעול, מזכירה לנו פעילות של מכשיר טלוויזיה. אנו יכולים לכבות את הקול בטלוויזיה ולהדליקו בלי להשפיע על התמונה המשודרת. האם ייתכן שאותו הדבר קורה במוח? האם חומרי הרדמה מכבים רק את התפקודים במוח שאחרים על מודעות, חישקה ותנועה רצונית תוך הימנעות מכיבוי חלקי המוח השולטים בתפקודי התחזוקה כמו הנשימה?

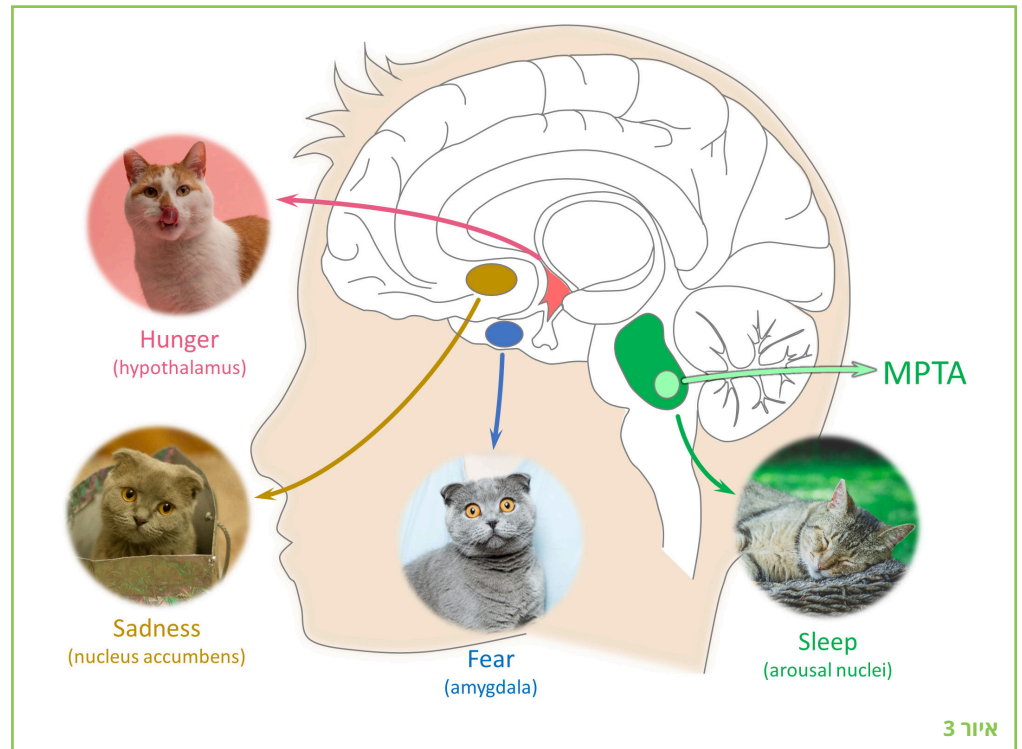
כדי לענות על שאלות אלה, במעבדה שלנו ביצענו ניסויים שמטרתם לגלות היכן פועלים במוח חומרי ההרדמה הכלליים. זו הייתה עבודה קשה, אבל לבסוף מצאנו מקום שהיה מיוחד. כשהזרקנו כמות זעירה של חומר הרדמה לחלק זה של המוח בחולדות, הן נכנסו למצב של הרדמה כללית ולא הגיבו לצביטות בכפות רגליהן או בזנבותיהן. הזרקה של אותו החומר, באותה הכמות ואף בכמויות גדולות יותר, במקומות אחרים במוח חולדות לא השפיעה [4]. למקום המיוחד הזה במוח קראנו MPTA (קיצור של: mesopontine tegmental anesthesia area – מוקד הרדמה הנמצא באזור המוחי שמכונה טגמנטום מזו-פונטיני, ראו איור 3). המשכנו במחקר וגילינו כי הָרָס של אזור זה במוח גורם לחולדות לאבד רגישות לחומרי הרדמה כלליים. כלומר, לאחר מתן לווריד של הכמות הרגילה של חומר ההרדמה, החולדות לא נרדמו [5]. ממצאים אלה גורמים לנו לחשוב כי אזור ה-MPTA הוא סוג של מִתְנָג המסוגל לכבות באופן פרטני את חלקי המוח השולטים בתנועה, בתחושות הכוללות כאב, בזיכרון, ברגשות, במוטיבציה ובהכרה. עם זה חשוב לציין כי כיבוי המתג ב-MPTA אינו מכבה את הנשימה, את זרימת הדם ואת שאר תפקודי המוח החיוניים אשר שומרים עלינו בחיים.

## מהו השלב הבא?

סטודנטים במעבדתנו מנסים כעת לזהות את אותם תאי עצב שבמוח באזור ה-MPTA שאחרים על תגובת המוח לחומרי הרדמה כלליים, ולגלות לאילו אזורים אחרים במוח הם קשורים. כלומר, אנו מנסים לזהות את מעגלי המוח הייחודיים שמאפשרים למולקולות פשוטות, דהיינו חומרי הרדמה כלליים, לכבות את התודעה ובאותו זמן את תחושת הכאב, התנועתיות, הזיכרון, הרצון, האהבה ושאר החוויות והיכולות שמייחדות אותנו כבני אדם. ומי יודע, אולי יתגלה בעתיד כי אפשר לחסום את הכאב באופן מוחלט, כמו בהרדמה, בלי צורך להרדים את האדם? או אולי נמצא דרך להעיר אדם מתרדמת הנגרמת עקב פגיעה מוחית? התקווה הגדולה שלנו

### איור 3

רגשות כמו עֵצֵב או הנאה ממוקמים אף הם באזורים מוגדרים במוח. דבר זה נכון גם לגבי מוטיבציות כגון רצון לאכול (רָעֵב), או רצון לישון (עייפות). שמותיהם של חלק מאזורים אלה במוח מוצגים באיור. יחד הם משתתפים 'במערכת הלימבית'. ה-MPTA ממוקם בעומק גזע המוח. באמצעות קשריו עם אזורים חיוניים נוספים, תאי עצב שבתוכו יכולים לכבות את החוויה המודעת ולהדליקה, לרבות תנועות, תחושות, רגשות ורצונות.



איור 3

היא שבעקבות מחקרים ניסיוניים אלה נוכל בסופו של דבר למצוא לפחות חלק מהתשובה לסוד הכֵּבִיר: כיצד תחושת ה-'אני', ההכרה שלנו, נוצרת במוח.

### תודות

המחברים מודים לפרופ' מיכאל טל, לעורכי העיתון ולסוקרות הצעירות על עזרתם בניסוח הדברים. תרגום המאמר מאנגלית לעברית נעשה ע"י המחברת שילי יציב. המחקר בנושא כאב והרדמה במעבדתנו נתמך על ידי הקרן למחקר בהרדמה באוניברסיטה העברית בירושלים, והקתדרה לחקר הכאב על שם סימור וססיליה אלפרט באוניברסיטה העברית. המחברים S-L.Y. ו-M.B. זכו במלגת מחיה מקרן העיזבון של ד"ר וולאם בין.

### מקורות

1. Vaso, A., Adahan, H. M., Gjika, A., Zahaj, S., Zhurda, T., Vyshka, G., and Devor, M. 2014. Peripheral nervous system origin of phantom limb pain. *Pain*. 155:1384–91. doi: 10.1016/j.pain.2014.04.018
2. Leknes, S., and Tracey, I. 2008. A common neurobiology for pain and pleasure. *Nat Rev Neurosci*. 9:314–20. doi: 10.1038/nrn2333
3. Kelz, M. B., Garcia, P. S., Mashour, G. A., and Solt, K. 2019. Escape from oblivion: neural mechanisms of emergence from general anesthesia. *Anesth. Analg.* 128:726–36. doi: 10.1213/ANE.0000000000004006
4. Minert, A., Yatziv, S.-L., and Devor, M. 2017. Location of the mesopontine neurons responsible for maintenance of anesthetic loss of consciousness. *J. Neurosci.*

37:9320–31. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0544-17.2017

5. Minert, A., and Devor, M. 2016. Brainstem node for loss of consciousness due to GABA<sub>A</sub> receptor-active anesthetics. *Exp. Neurol.* 275 (Pt. 1):38–45. doi: 10.1016/j.expneurol.2015.10.001

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Idan Segev

מנחה מדעי: Idan Segev

ציטוט: Baron M, Minert A, Yatziv S-I and Devor M (2022) עצבים, כאב והכרה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2022.744643-he

תורגם והותאם: Baron M, Minert A, Yatziv S-I and Devor M (2022) Nerves, Pain, and Consciousness. *Front. Young Minds* 10:744643. doi: 10.3389/frym.2022.744643

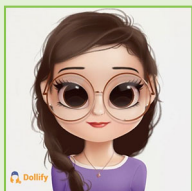
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT** © 2022 © Baron, Minert, Yatziv and Devor 2022. 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.

## סוקרות צעירות

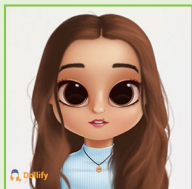
**GILI, גיל: 12**

אני אוהבת לקרוא, לנגן בפסנתר וללמוד. נהנית להשקיע ומתעניינת בתחומים רבים.



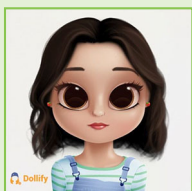
**MAAYAN, גיל: 13**

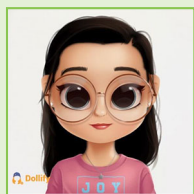
אני אוהבת לקרוא וללמוד. מתעניינת מאוד ברפואה, ובתחומי המדעים בכלל.



**OFRA, גיל: 6**

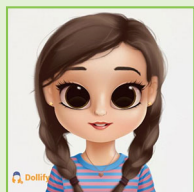
אני אוהבת לקרוא וללמוד, מתעניינת בתחומים רבים ואוהבת לשחק עם האחיות שלי.





**TALILA, גיל: 10**

אני סקרנית ואוהבת למידה בכל התחומים, מתעניינת במיוחד בלימודי כדור הארץ. בזמני הפנוי אני נהנית לקרוא, לרקוד בלט ולעסוק באוריגמי. כמו כן אני טבעונית ומקדמת שמירה על הסביבה.



**YAELA, גיל: 8**

אני סקרנית ונהנית מלמידה. אוהבת אתגרים לימודיים בכל התחומים כמו גם לקרוא, לפתור חידות מתמטיות ולכתוב סיפורים ושירים.

**הכותבים**



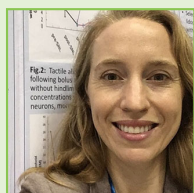
**MARK BARON**

מארק ברון הוא תלמיד לתואר שלישי במעבדתו של פרופסור מרשל דבור באוניברסיטה העברית בירושלים. סיים תואר ראשון בהנדסה ביוטכנולוגית בשנת 2016 במכון מונטריי לטכנולוגיה והשכלה גבוהה במקסיקו סיטי. בסיום התואר עלה לישראל והתחיל לימודי תואר שני במדעי המוח וההתנהגות באוניברסיטה העברית בירושלים, בהנחיית פרופ' מרשל דבור. משם עבר למסלול ישיר לדוקטורט באותו התחום. עיקר מחקרו מתמקד בכיצד חומרי ההרדמה מביאים לכדי מצב של חוסר הכרה ברמה של מעגלים עצביים במוח.



**ANNE MINERT**

אן מינרט היא חוקרת במעבדתו של פרופסור מרשל דבור באוניברסיטה העברית בירושלים. נולדה ברוסיה ועלתה ארצה בגיל 11. סיימה תואר שני (2011) ודוקטורט (2016) תוך ביצוע עבודה מחקרית בהנחיית פרופ' דבור. תחומי העניין העיקריים שלה כוללים חקר מסלולים ומעגלים עצביים במוח המשפיעים על מצבים דמויי הרדמה כללית והכרה; נוירוביולוגיה ומודלים התנהגותיים של כאב כרוני.



**SHAI-LEE YATZIV**

שי-לי יציב היא פיזיותרפיסטית מוסמכת, בעלת תואר שני ושלישי במדעי המוח וההתנהגות מהאוניברסיטה העברית בירושלים. כפיזיותרפיסטית נוירו-שיקומית במחלקה לשיקום כאב כרוני בבית החולים 'שיבא', טיפלה בחולים במגוון מחלות כאב כרוני ממקור עצבי כגון כאב פנטום ותסמונת כאב אזורי מורכב (CRPS). בעקבות החשיפה לחולים אלה, ומתוך רצון להבין לעומק את מחלותיהם, החליטה לחקור מנגנוני כאב עצבי במסגרת תארים מתקדמים. בעבודת המאסטר שלה פיתחה שיטה להקלה בכאבים נוירופתיים פריפריים על-ידי התמקדות בגנגליון הגבי (DRG), ובעבודת הדוקטורט חקרה לעומק פעילות תאית מוחית בזמן הכרה וחוסר הכרה, וגילתה שישנם תאים ייעודיים לכל מצב. שי-לי היא אם לשתי בנות, מתגוררת בתל אביב.



**MARSHALL DEVOR**

מרשל דבור הוא פרופסור לחקר הכאב בקתדרה על שם אלפרט באוניברסיטה העברית בירושלים. נולד בטורונטו שבקנדה בשנת 1949, סיים תואר ראשון באוניברסיטת פרינסטון ב-1970 ודוקטורט ב-MIT ב-1975. בשנה זו עלה לארץ. לפרופ' דבור שני ילדים וארבעה נכדים. מוקדי המחקר של מעבדתו הם: הבנת הכאב הממושך המתפתח לעיתים לאחר פגיעה עצבית, וכן כיצד פועלים חומרי הרדמה כללית המאפשרים



ביצוע ניתוחים כירורגיים ללא כאב. שיטות המחקר שלו כוללות נירופיזיולוגיה, מודלים ממוחשבים, נירואנטומיה (ברמת מיקרוסקופ אור ומיקרוסקופ אלקטרוני); גנטיקה ומודלים התנהגותיים. פרסם יותר מ-300 מאמרים מדעיים המצוטטים כ-28,000 פעמים (מדד h = 82). \*marshlu@mail.huji.ac.il

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



**הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל**  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK