



## פיהוקים זה "קול"

Andrew C. Gallup<sup>1\*</sup>, Omar Tonsi Eldakar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למדעי החברה וההתנהגות, המכון הפוליטכני SUNY, Utica, ניו יורק, ארצות הברית  
<sup>2</sup>המחלקה למדעי הביולוגיה, אוניברסיטת Nova Southeastern, Fort Lauderdale, פלורידה, ארצות הברית

### סוקרת צעירה

AMY  
גיל: 8



אף שאנו מפהקים מדי יום ביומו, רוב האנשים אינם מבינים מדוע אנו עושים זאת. למעשה, במשך מאות שנים מטרת הפיהוק נותרה מסתורית אפילו בקרב המדענים, והדבר השתנה רק לאחרונה. בניגוד למה שאנשים האמינו במשך זמן רב, כיום מבינים שאין קשר בין פיהוקים לנשימה או לכמות החמצן שאנו קולטים. במקום זאת, מחקר חדש שהולך ומתפתח גילה כי פיהוקים משמשים מנגנון לקירור המוח. נקודת מבט חדשה זו על הפיהוק כתגובה לעליית הטמפרטורה במוח שינתה את ההבנה שלנו על ההתנהגות הזו, שעד כה העלימו ממנה עין או פירשו אותה באופן שגוי. מידע זה עשוי להיות שימושי לאבחון מצבים רפואיים המלווים בתכיפות פיהוקים וטיפול בהם, וכן לניטור הביצועים של המוח שלנו במהלך היום ושיפורם.

### כל אחד מפהק

אפשר להגדיר פיהוק כפתיחה רחבה של הלסתות המלווה בשאיפת אוויר עמוקה, ובעקבותיה סגירת הלסתות ללא מאמץ, תוך כדי נשיפה. כולנו מפהקים מדי יום ביומו, ואנו רואים התנהגות זו גם אצל בעלי חיים אחרים. קל לזהות את הפיהוקים, שכן הם נראים אותו דבר אצל רוב היונקים והעופות. בני האדם מתחילים לפהק עוד בברכהם, לפני נשימת האוויר הראשונה שלהם, והם ממשיכים לפהק למשך כל חייהם. הפיהוקים "מדבקים" – אנו מפהקים כאשר אנו רואים אחרים מפהקים, ואפילו כאשר אנו קוראים על פיהוקים (ראו בזאת אזהרה). אולם, אנו גם מפהקים כאשר אנו לבד – הן בסופו של דבר מישהו צריך לפהק ראשון, גם אם הפיהוק "מדבק".

סוג זה של פיהוק, המתרחש בלי שנראה מישהו אחר מפהק וברי שנקרא על כך, נקרא פיהוק ספונטני.

פיהוקים ספונטניים מתרחשים לעיתים קרובות בלילה, כאשר אנו מנומנמים, ובבוקר, בזמן ההתעוררות. נהוג לחשוב שאנו נוטים לפהק כאשר אנו משועממים, ובקרב תרבויות שונות ברחבי העולם נפוץ לחשוב שהפיהוקים הם סימן לעייפות ולחוסר עניין. אולם הפיהוק מתרחש גם כאשר אנשים ובעלי חיים עֵרְנִיִים, ולא רק כאשר הם עייפים או משועממים, ולכן נושא הפיהוקים מורכב יותר ממה שאתם אולי חושבים. אף שקיימים סיפורים עממיים רבים על מטרות הפיהוק, רק לאחרונה גילו מדענים את תפקידו האמיתי.

## המסתורין של הפיהוק

כאשר חושבים על הסיבה לפיהוק, אנשים שמים לב בעיקר להיבט מערכת הנשימה או הנשימה עצמה. בזמן הנשימה אנו שואפים כדי להגדיל את אספקת החמצן שלנו, ואנו נושפים כדי להיפטר מעודף הפחמן הדו-חמצני. כך, הנשימה העמוקה אשר מְלִיָה את הפיהוק גרמה לאנשים רבים להאמין כי מטרת הפיהוקים היא להעלות את רמות החמצן. אף שהסבר זה נראה הגיוני, מחקר שבוצע לפני שלושים שנים דחה בתוקף את הרעיון הזה. בניסוי ברור לבדיקה אם הפיהוק נגרם עֵקֶב רמות חמצן נמוכות תכננו ד"ר רוברט פרוביין (Provine) ועמיתיו ניסוי שבו הם שינו את הֶרְכֵב האוויר ששאפו משתתפי הניסוי במעבדה, ובדקו את הִשְׁפָּעַת האוויר הזה על הפיהוק [1]. החוקרים יצרו תנאים נפרדים, שבהם משתתפי הניסוי שאפו אוויר מועשר בחמצן או אוויר מועשר בפחמן דו-חמצני. ניסויים אלה הראו שנשימת אוויר מועשר בחמצן או מועשר בפחמן דו-חמצני לא השפיעה על תדירות הפיהוקים בבני אדם. במילים אחרות, תוצאות מחקר זה הראו שהפיהוק אינו מושפע מכמות החמצן שבאוויר, ושהפיהוק והנשימה מבוקרים על-ידי מנגנונים שונים.

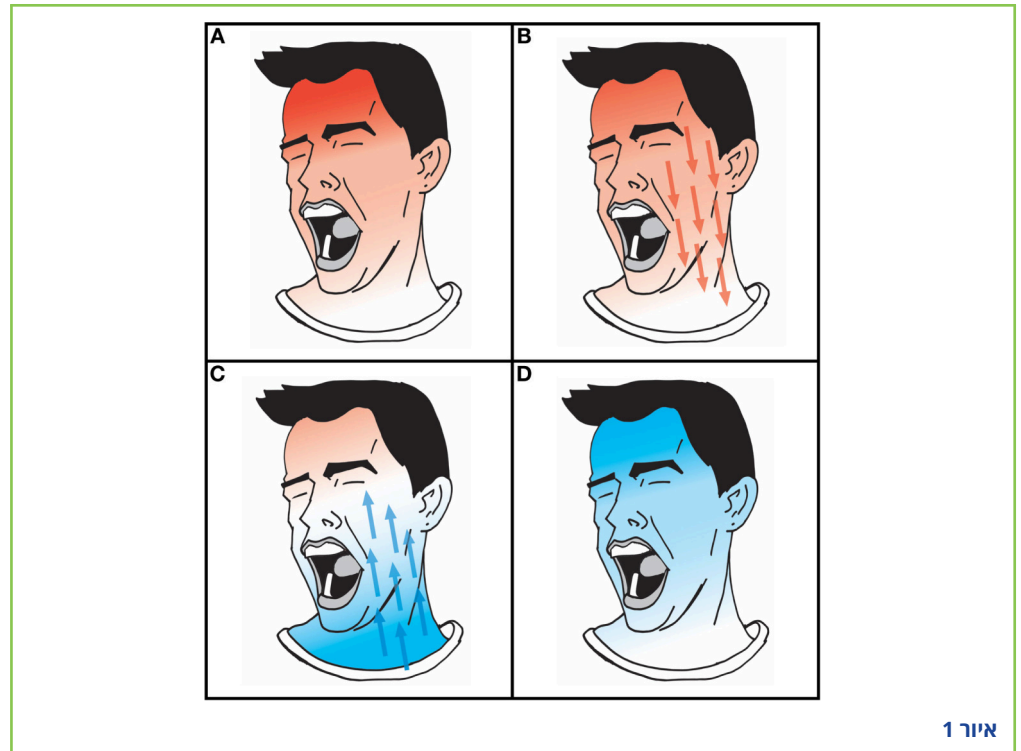
במחקר עדכני יותר החלו ללמוד איך מתיחה חזקה של הלסתות, המוגדרת כפיהוק, בשילוב עם שאיפה עמוקה של אוויר, עשויה לגרום לשינוי במצב הנפשי של האדם או של בעל החיים המפהק, למשל: מְעַבֵר מתחושת נמנום לתחושת עֵרְנוּת [2]. מחקרים רבים שנעשו על בעלי חיים הראו שהפיהוקים נוטים להתרחש כאשר הנחקרים חשים חרדה ממה שהם עומדים להתרחש או מיד אחרי תקופת לחץ. לעיתים קרובות, תנאים אלה מובילים לעלייה (ולא לירידה) בתנועה ובפעילות המוחית [3]. מכאן, בניגוד לאמונה העממית שהפיהוקים הם סימן לעייפות ולשיעמום, הקהילה המדעית מאמינה יותר ויותר שהפיהוקים, איכשהו, מעוררים בעלי חיים להיות פעילים יותר, וגורמים לשינוי בדפוסי הפעילות שלהם. אבל איך פעולת הפיהוק משיגה את התוצאות האלה?

## קירור המוח

לאחרונה הוצע שהפיהוקים מְתַפְקְדִים כאמצעי לקרר את המוח [4]. לפי היפותזת קירור המוח הזו, קירור המוח על-ידי הפיהוק הוא הגורם לשינויים ברמות הפעילות. שלושה גרמים משפיעים על טמפרטורת המוח: (1) קצב זרימת הדם למוח; (2) טמפרטורת הדם המגיע למוח; ו-(3) כמות החום שהמוח מייצר. דרך פשוטה להבין זאת היא לחשוב מה גורם לגוף שלנו להתחמם ביום קיץ חם: (1) עוצמת נשיבת הרוח (או קצב סיבוב המאוורר); (2) עד כמה האוויר חם או

## איור 1

הפיהוק גורם לשינוי בזרימת הדם ובטמפרטורה של המוח. **A**. הפיהוקים מתרחשים כאשר טמפרטורת המוח עולה. **B** ו-**C**. הפתיחה החזקה של הלסתות והשאיפה העמוקה של האוויר יוצרות לחץ הגורם לדם חם להתנקז הרחק מהגולגולת, מסומן בחיצים אדומים, ובו בזמן מביא להעלאת אספקת דם קר יותר אל המוח, מסומן בחיצים כחולים. **D**. יחד, פעולה זו מתפקדת להקטנת הטמפרטורה של המוח.



איור 1

קר (מאוורר רגיל או מזגן); ו-3) כמה חום אתם מייצרים (מתעמלים או יושבים במנוחה). לפי היפותזת קירור המוח, הפעולה הפיזית של הפיהוק משנה את שני התנאים הראשונים: את קצב זרימת הדם למוח ואת הטמפרטורה של הדם. הפתיחה החזקה של הלסתות יוצרת לחץ, שגורם לדם לזרום מהר יותר בכלי הדם המתרחקים מהראש (כמו סחיטת מים מספוג), דבר שמגביר את הקצב שבו דם טרי זורם אל המוח. נוסף על כך השאיפה העמוקה של אוויר קריר במהלך הפיהוק מקטינה את הטמפרטורה של הדם הזורם אל המוח. יחד, הפיהוק גורם לדם חם יותר לזרום הרחק מהמוח החם, ובו-בזמן להבאת דם קר יותר מאזור הריאות (איור 1). הדבר דומה למה שקורה ברדיאטור של המכונית, המכיל נוזל שנע במחזוריות דרך המנוע כדי למנוע ממנו התחממות יתר. הרדיאטור ממוקם בקדמת המכונית כך שהאוויר החיצוני החולף דרכו מקרר אותו במהלך הנסיעה. זרימת אוויר זו מקררת את הנוזל שמחוץ לרדיאטור, ונוזל זה נע דרך המנוע כדי להקטין את טמפרטורת המנוע החמה. הנוזל מעביר את החום שנוצר על-ידי המנוע החם חזרה החוצה לרדיאטור כדי להתקרר שוב.

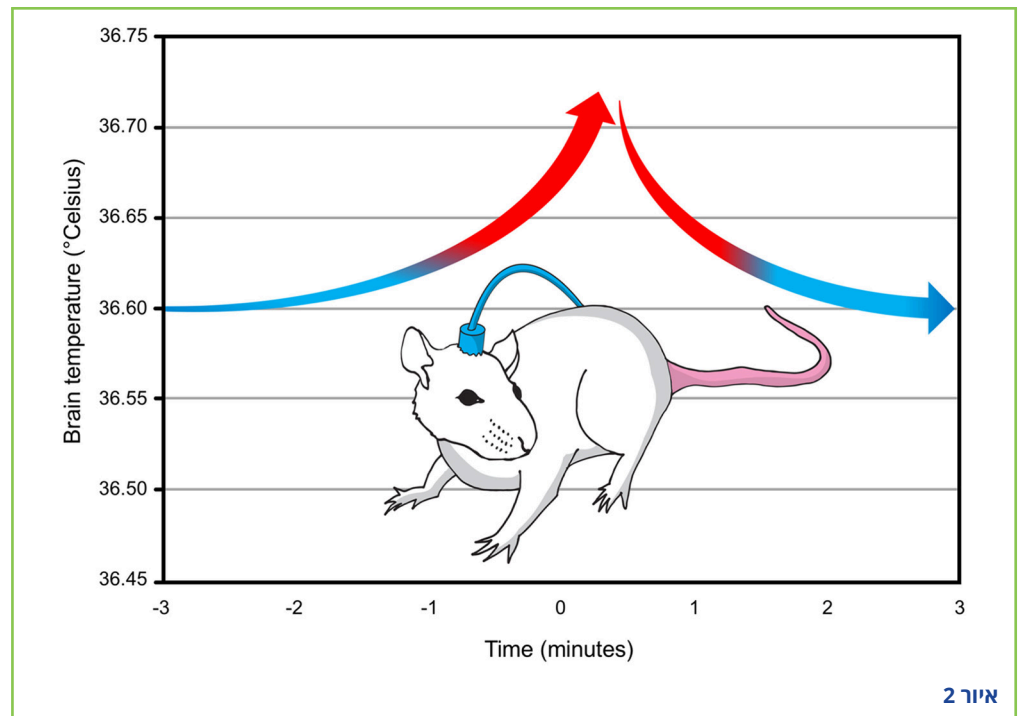
## בחינת ההיפותזה

כל ההיפותוזות הן השערות בלבד, ויש לבחון אותן בניסויים. אם השערות אלה יתגלו כנכונות, ההיפותוזה מאוששת. למשל, אם אכן קיים כוח המשיכה אז ההשערה היא שמים יזרמו בירידה, ושכאשר נחליק ניפול למטה ולא למעלה. להיפותוזת קירור המוח יש שתי השערות עיקריות. ראשית, אם הפיהוק מְשַׁמֵּשׁ לקירור המוח אז ההשערה היא שהפיהוקים ייגרמו עקב עלייה בטמפרטורת המוח, ושאחרי הפיהוק טמפרטורת המוח תהיה נמוכה יותר. השערה זו נבחנה במעבדה, על-ידי ניטור שינויים בטמפרטורת המוח של חולדות [5]. באמצעות מדידת טמפרטורת המוח של החולדות לפני הפיהוקים ואחריהם, והשוואה בין שתי הטמפרטורות האלה, הצליחו החוקרים להראות ש: (1) טמפרטורת המוח עלתה במהירות לפני הפיהוקים,

## איור 2

פיהוקים מתרחשים כאשר טמפרטורת המוח עולה, ואחרי הפיהוק טמפרטורת המוח יורדת. זמן 0 הוא רגע הפיהוק, 3 דקות מובילות לפיהוק (ערכים שליליים) ו-3 דקות בעקבות הפיהוק (ערכים חיוביים). הפיהוקים נגרמים עקב עלייה בטמפרטורת המוח, ממערך בסיסי המוצג בכחול למצב חם המוצג באדום. אחרי פיהוק טמפרטורת המוח יורדת חזרה, דבר המעיד על ההשפעה המקררת של הפיהוק (ייצוג של מחקר שערכו Shoup-Knox ועמיתיו [5]).

Brain temperature  
 = (°Celsius)  
 המוח (°Celsius)  
 זמן = Time (minutes)  
 (דקות).



איור 2

אחר כך (2) ירדה זמן קצר לאחר הפיהוק (איור 2). תוצאות אלה תומכות בהיפותזת קירור המוח. במילים אחרות, בדומה לפעולת התרמוסטט של המזגן כאשר החדר מתחמם יותר מדי, הפיהוקים נגרמים כאשר הטמפרטורה במוח עולה, והדבר גורם להשפעת קירור המביאה את המוח חזרה לטמפרטורה תקינה. חשוב לדעת שהדבר אינו קורה רק בחולדות. שינויים דומים בטמפרטורה (שנמדדו בעזרת מד-חום בפה) נראו בבני אדם לפני התקפי פיהוק מופז ואחריהם [6]. מכאן, נראה שהפיהוקים קשורים בקשר הדוק ועקבי לשינויים בטמפרטורת המוח והגולגולת, ולא לכמות החמצן שבאוויר או למידת העייפות של האדם.

ההשערה הבסיסית השנייה של היפותזת קירור המוח היא שהפיהוק צריך להיות מושפע משינויים בטמפרטורת האוויר שבסביבה. במיוחד, תגובת הפיהוק אמורה להתגבר כשטמפרטורת הסביבה עולה. כאשר אתם בחוץ ביום קיץ חם, ככל שטמפרטורת הסביבה עולה, כך גם טמפרטורת גופכם עולה, דבר הגורם למנגנוני הקירור של הגוף לפעול כגון הֶזְעָה. לפי ההשערה השנייה של היפותזת קירור המוח, ככל שטמפרטורת הסביבה עולה, גם קצב הפיהוקים אמור לגבור. אבל למעשה, הסיפור מורכב יותר. האם כניסה לאמבטיה חמה כדי להתקרר ביום חם היא רעיון טוב? אם עניתם "לא" אתם יכולים להבין מדוע גם פיהוק כאשר חם מדי אינו רעיון טוב. הפיהוק עלול לחמם את המוח שלכם אם טמפרטורת הסביבה גבוהה מטמפרטורת הדם. כך, כאשר חם מאוד בחוץ תדירות הפיהוקים אמורה לרדת, בעוד שמנגנוני קירור אחרים כגון הזעה תופסים פיקוד. נוסף על כך צפוי שהפיהוקים (ומנגנוני קירור הגוף האחרים) יהיו הרבה פחות נפוצים בטמפרטורות קרות יותר. כך למעשה יש טווח צר למדי של טמפרטורות שבהן הפיהוק יעיל לקירור המוח (איור 3). דפוסים משוערים אלה של הפיהוק בטמפרטורות אוויר חם או קר נצפו בבני אדם בעת שהותם בחוץ בתנאי אקלים שונים כגון המֶדֶבָּר באריזונה או החורף העז באוסטריה, וגם בעופות ובחולדות בסביבות מעבדה שבהן הטמפרטורה הייתה מבוקרת [7].

## איור 3

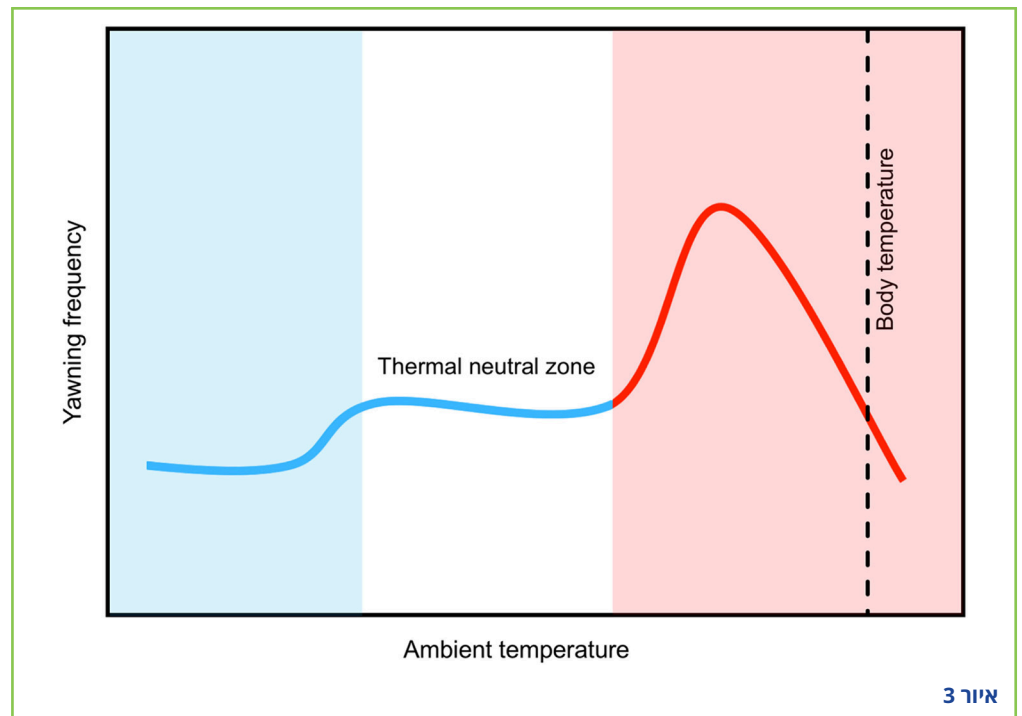
שינויים בטמפרטורת הסביבה משפיעים על תדירות הפיהוקים ביונקים ובעופות. החלק הכחול של הקו בריבוע הלבן מייצג את טמפרטורת הסביבה שבה נשמרת בקלות טמפרטורת המוח והגוף. אזור זה נקרא גם "אזור תרמי ניטרלי". ברגע שטמפרטורת הסביבה עולה מעט, דבר המיוצג על-ידי האזור האדום של הקו, עולה גם הצורך בקירור המוח, דבר הגורם לעלייה בתדירות הפיהוקים. אולם תדירות הפיהוקים פוחתת כאשר האוויר חם מאוד או קר מאוד, היות ששאיפה עמוקה של אוויר חם מאוד כבר לא תספק את תפקיד הקירור, ומנגנוני קירור אינם נחוצים כאשר האוויר קר.

= Yawning frequency  
תדירות הפיהוקים

= Ambient temperature  
טמפרטורת הסביבה

= Thermal neutral zone  
אזור תרמי ניטרלי

= Body temperature  
טמפרטורת הגוף



איור 3

## הסבר הפיהוק

היפותזת קירור המוח יכולה גם להסביר מדוע הפיהוק מתרחש במגוון של מצבים אחרים. למשל, מדיווחים רפואיים עולה קשר חזק בין טמפרטורת המוח ובין תדירות הפיהוקים. כמה תרופות מרשם ומצבים רפואיים הגורמים לעלייה בטמפרטורת המוח, נמצאו מגבירים את התרחשות הפיהוקים, בעוד שתרופות מרשם ומצבים רפואיים אחרים הגורמים לירידה בטמפרטורת המוח, נמצאו מפחיתים את התרחשות הפיהוקים [8]. היפותזת קירור המוח גם עוזרת לנו להבין את הקשר בין הפיהוק לשינה, היות ששינויים משמעותיים בטמפרטורת המוח והגוף מתרחשים בשעות הבוקר והערב, שבהן תדירות הפיהוקים עולה. למשל, טמפרטורת המוח והגוף עולות במהירות כאשר אנו מתעוררים בבוקר, והן גבוהות ביותר בערב, לפני ההירדמות. העובדה שהפיהוק מתרחש כתגובה ללחץ גם היא תומכת בהיפותזת קירור המוח, היות שלחץ וחרדה קשורים לעלייה בטמפרטורת הגוף.

היפותזת קירור המוח יכולה להסביר הבדלים באופן שבו בעלי חיים מפהקים. ישנו חוק טבע כללי שלפיו לדברים גדולים לוקח זמן רב יותר להתחמם ולהתקרר, בהשוואה לדברים קטנים יותר. זו הסיבה לכך שלסיר גדול של מים לוקח זמן רב יותר לרתוח, בהשוואה לסיר קטן. זו גם הסיבה לכך שגופי מים גדולים כגון אגמים ובריכות שחייה מתכסים בקרח רק זמן רב אחרי שטמפרטורת האוויר צונחת מתחת לנקודת הקיפאון, אבל לשם השוואה, לוקח רק כמה שעות לקבלת קוביות קרח במקפיא. אנו יכולים לחשוב על השפעת הפיהוק על קירור המוח באופן דומה. למוחות גדולים יותר לוקח זמן רב יותר להתקרר, יחסית למוחות קטנים. כדי לבחון את ההשערה הזו חוקרים בדקו לאחרונה אם יש קשר בין גודל המוח להבדלים במשך הזמן של הפיהוק. הם בדקו קבוצה גדולה של יונקים שונים [9]. כצפוי, מינים אשר להם מוחות גדולים יותר, אבל לא בהכרח גוף גדול יותר, פיהקו למשך זמן רב יותר, יחסית למינים אשר להם מוחות קטנים יותר.

ולסיום, היפותזת קירור המוח עוזרת להסביר מדוע הפיהוקים מדבקים (דבר שוודאי חוויתם עד כה, בזמן קריאת המאמר). אם הפיהוק הוא מנגנון לקירור המוח שעוזר לשנות את רמת הפעילות בגוף, ההתפשטות המדבקת של הפיהוק בין פרטים שונים עשויה לעזור בתיאום ההתנהגות של כל חברי הקבוצה. במילים אחרות, אם הפיהוק עוזר להכין ציפור למעבר ממצב מנוחה לתעופה, אז הגיוני שגם שאר הלהקה תתאים את התנהגותה ותהיה מוכנה לתעופה.

## נקודת מבט חדשה על התנהגות ישנה

נוסף על שיפור ההבנה הבסיסית של התנהגות נפוצה זו, שבני אדם רבים אפילו לא חושבים עליה, נקודת מבט חדשה זו על הפיהוק כמנגנון לקירור המוח עשויה להיות שימושית בכמה אופנים. למשל, מחקר על הפיהוק עשוי לשפר את האבחנה ואת הטיפול במצבים רפואיים שבהם תדירות הפיהוקים עולה, והחולים אינם מסוגלים לשמור על טמפרטורה תקינה של המוח ושל הגוף כגון אפילפסיה או טרשת נפוצה. נוסף על כך הבנה טובה יותר של הפיהוק עשויה לשפר את האופן שבו אנו מזהים עייפות יתר ונלחמים בה, או אפילו לשפר את ביצועי המוח במהלך תקופות ארוכות של קשב וריכוז. הבנת הקשר בין לחץ לפיהוק יכולה גם לעזור לנו להבין את המצב הנפשי של בעלי חיים לא אנושיים, שאינם יכולים לתקשר עימנו בדרך אחרת. כעת, בפעם הבאה שמישהו יציין שהפיהוק הוא חצוף ובלתי מכבד, עודדו אותו לקרוא את המאמר הזה כדי שיוכל ללמוד על תפקיד ההתנהגות הזו, ומדוע פיהוקים כה חשובים וכה "קול" (משמעות המילה Cool באנגלית היא גם מגניב וגם קריר).

## תודות

אנו מודים ל-Bassem Eldakar על שסיפק לנו את האיורים.

## מאמר המקור

Gallup, A. C., and Eldakar, O. T. 2013. The thermoregulatory theory of yawning: what we know from over 5 years of research. *Front. Neurosci.* 6:188. doi: 10.3389/fnins.2012.00188

## מקורות

1. Provine, R. R., Tate, B. C., and Geldmacher, L. L. 1987. Yawning: no effect of 3–5% CO<sub>2</sub>, 100% O<sub>2</sub>, and exercise. *Behav. Neural. Biol.* 48:382–93. doi: 10.1016/S0163-1047(87)90944-7
2. Provine, R. R. 2005. Yawning: the yawn is primal, unstoppable and contagious, revealing the evolutionary and neural basis of empathy and unconscious behavior. *Am. Sci.* 93:532–9. doi: 10.1511/2005.56.980
3. Baenninger, R. 1997. On yawning and its functions. *Psychon. Bull. Rev.* 4:198–207. doi: 10.3758/BF03209394

4. Gallup, A. C., and Gallup, G. G. Jr. 2007. Yawning as a brain cooling mechanism: nasal breathing and forehead cooling diminish the incidence of contagious yawning. *Evol. Psychol.* 5:92–101. doi: 10.1177/147470490700500109
5. Shoup-Knox, M. L., Gallup, A. C., Gallup, G. G., and McNay, E. C. 2010. Yawning and stretching predict brain temperature changes in rats: support for the thermoregulatory hypothesis. *Front. Evol. Neurosci.* 2:108. doi: 10.3389/fnevo.2010.00108
6. Gallup, G. G., and Gallup, A. C. 2010. Excessive yawning and thermoregulation: two case histories of chronic, debilitating bouts of yawning. *Sleep Breath.* 14:157–9. doi: 10.1007/s11325-009-0287-x
7. Gallup, A. C. 2016. Ambient temperature modulates yawning. *Temperature* 3:23. doi: 10.1080/23328940.2015.1066925
8. Gallup, A. C., and Gallup, G. G. 2008. Yawning and thermoregulation. *Physiol. Behav.* 95:10–6. doi: 10.1016/j.physbeh.2008.05.003
9. Gallup, A. C., Church, A. M., and Pelegrino, A. J. 2016. Yawn duration predicts brain weight and cortical neuron number in mammals. *Biol. Lett.* 12:20160545. doi: 10.1098/rsbl.2016.0545

פורסם אונליין: 31 בינואר 2019

נערך על ידי: Sabine Kastner, Princeton University, United States

ציטוט: Gallup AC and Eldakar OT (2019) פיהוקים זה "קול". *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00052-he

#### תורגם והותאם:

Gallup AC and Eldakar OT (2017) Yawns Are Cool. *Front. Young Minds* 5:52. doi: 10.3389/frym.2017.00052

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

**COPYRIGHT** © Gallup and Eldakar 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 (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

### AMY, גיל: 8

אני אוהבת להתעמל ולשחק בטאבלט שלי. אימא שלי היא פסיכולוגית ואבא שלי עובד עבור חברה המייצרת מכונות עבור מנתחי מוח. יש לי חברה שגם היא מנתחת מוח. יש לי אח קטן בן ארבעה חודשים וחצי. אני אוהבת את כל משפחתי ואני אוהבת לקרוא.



## הכותבים

### ANDREW C. GALLUP

פרופסור למדעי המוח האבולוציוניים-קוגניטיביים, במכון הפוליטכני SUNY, ב-Utica, ניו יורק, ארצות הברית. תחומי העניין הכלליים שלו הם התנהגות אדפטיבית ופיזיולוגיה, והוא הפך למומחה עולמי במחקר על הפיהוק. הוא תומך מאוד בחינוך אבולוציוני, ועבד בתפקיד העורך עבור כמה כתבי עת מדעיים.  
\*a.c.gallup@gmail.com

### OMAR TONSI ELDAKAR

פרופסור לביולוגיה אבולוציונית באוניברסיטת Nova Southeastern, ב-Fort Lauderdale, פלורידה, ארצות הברית. הוא חוקר את האבולוציה של שיתוף הפעולה ושל הקונפליקט, ודרכים אחרות שבהן יצורים פועלים הדדית. הוא חוקר את יחסי הגומלין האלה בטווח רחב של יצורים – החל בחיידקים וכלה בחרקים ובני אדם. אומנם הוא מתמחה בהתנהגות חברתית, אך גם מתעניין באופן כללי בתפקיד הברירה הטבעית כמעצבת התנהגויות.



Hebrew version  
provided by

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

