



החשיבות של שמירה על תיאום עם השעונים הפנימיים שלנו

Katie L. Birchard¹, Deborah M. Leigh^{1,2*}

¹המחלקה לביולוגיה, אוניברסיטת קוויין, קינגסטון, אונטריו, קנדה
²המכון השווייצרי הפדרלי למחקרי יער, שלג ונוף (WSF), ברמנסדרוף, שווייץ

סוקרים צעירים

CAITLIN
גיל: 12



EDWARD
גיל: 11



LOLA
גיל: 12



מקצב צירקדי (Circadian rhythm)

שעון פנימי של 24 שעות
שנקבע על-ידי שילוב של גנים
וסביבה ומתזמן תהליכים
גופניים על בסיס יומי.

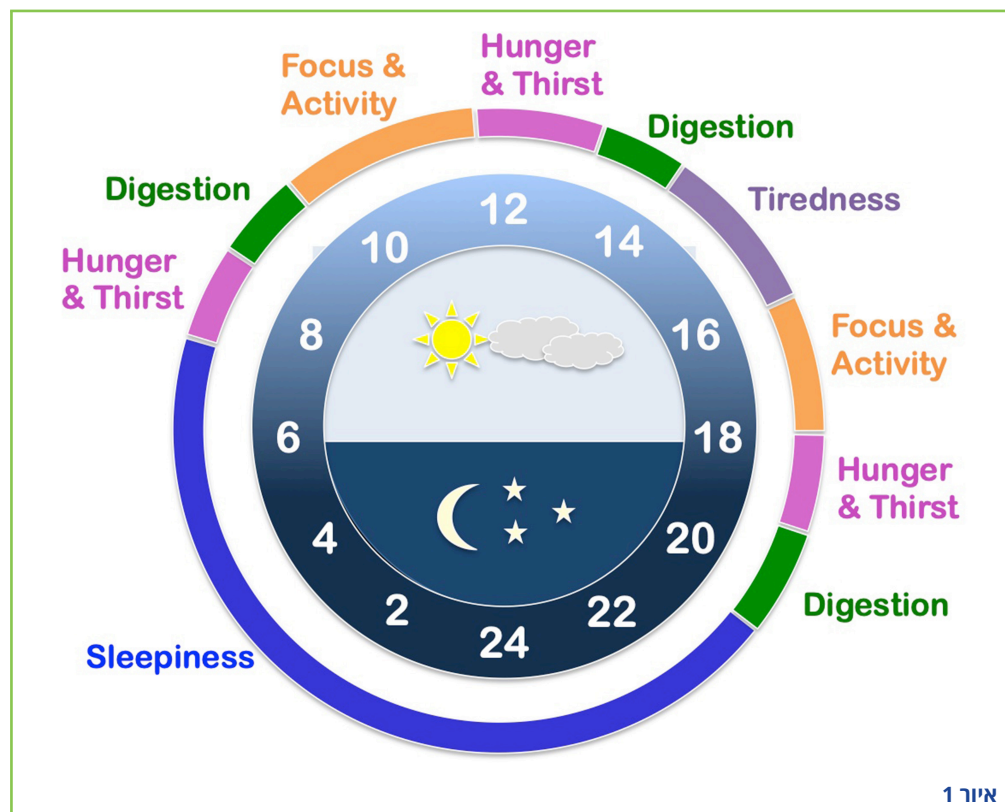
האם אי פעם הבחנתם בכך שאתם מרגישים ערניים כשיש אור בחוץ, אולם ישנונים כשחשוך? הגוף שלנו יודע לקום בבוקר וללכת לישון בערב בשל השעונים הצירקדיים שלנו. מקצבים צירקדיים, שידועים גם כשעונים פנימיים, שולטים בתהליכים גופניים חשובים שמסייעים לכם לדעת מתי אתם רעבים, צמאים וישנונים. השעונים האלה נוכחים בכל יצור חי (אפילו בחיידקים!). הם יכולים להשלים מעגל במהלך יממה, אולם גם בסקאלות זמן ארוכות יותר. מקצבים שנתיים, לדוגמה, מקיימים מחזור שאורכו 365 יום. המקצבים הארוכים יותר האלה הכי בולטים באביב ובחורף, כשאתם רואים צבעונים פורחים, דובים שנכנסים לתרדמת או ציפורים שנודדות ממקום למקום. הגנים שלנו (יחידות מידע שמועברות מההורים שלנו) ורמזים מהסביבה כמו אור, טמפרטורה, מזון וסטריס, משפיעים כולם על השעונים הפנימיים שלנו.

הקדמה

האופן שבו הגוף שלנו מרגיש ומתנהג משתנה במהלך היום ובמהלך כל שנה. השינויים היומיים שלנו מתרחשים כתוצאה מהמקצבים הצירקדיים, והשינויים השנתיים כתוצאה

איור 1

דוגמה לשעון פנימי בסקאלה של 24 שעות. בזמנים מסוימים במהלך היום הגוף שלנו מתנהג או מרגיש אחרת. לדוגמה, בין השעות 10:00 ל-12:00 אתם עשויים להרגיש מהוכזים ואנרגטיים, אולם בין השעות 14:00 ל-16:00 אתם עשויים להרגיש שזה זמן טוב לנמנם. שעונים פנימיים יכולים גם להתקיים בסקאלת זמן של 365 יום (לא בתמונה).



איור 1

מקצב שנתי (Circannual Rhythm)

שעון פנימי של 365 יום שנקבע על-ידי שילוב של גנים וסביבה ומתזמן התנהגות ותהליכים גופניים כמו למשל תרדמה, על בסיס שנתי.

גן (Gene)

חלק בדנ"א שמועבר מההורים שלנו ומתפקד כקוד להפקת מולקולות קטנות שנקראות חלבונים, אשר מבצעות מטלות מסוימות ברחבי הגוף שלנו.

אקטיבטור (Activator)

חלבונים שנקשרים לגן כדי להפעיל אותו; לעיתים, האקטיבטורים יכולים להיקשר לגן רק אחרי שהם נקשרים זה לזה (כמו בשעונים הפנימיים שלנו).

דכאן (Suppressor)

חלבונים שפועלים כדי לכבות תהליכים באמצעות היקשרות ישירה לגן או באמצעות מניעת היקשרות של אקטיבטורים לגן (כמו בשעונים הפנימיים שלנו).

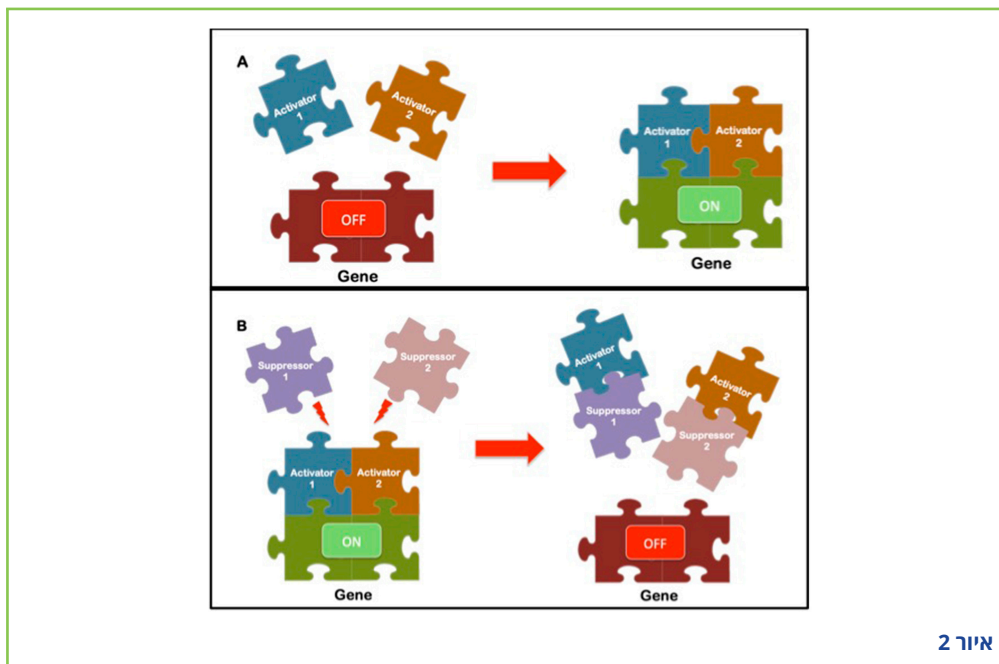
מהמקצבים השנתיים. המקצבים האלה, שידועים גם כשעונים פנימיים, שומרים על השעה באמצעות מעקב אחרי שינויים בסביבה שלנו. השינויים האלה כוללים וריאציות שנתיות בטמפרטורה או שינויים יומיים ברמות האור. הודות לרמזי הסביבה האלה השעונים הפנימיים שלנו יכולים לקבוע האם אנו מרגישים ערים, עייפים, רעבים או עצובים (איור 1). אם לא היו לנו השעונים הפנימיים האלה לא היינו מרגישים את הדברים הנכונים בזמנים הנכונים. לדוגמה, אם אינכם מרגישים ישנוניים בלילה, ככל הנראה לא תלכו למיטה. זה לא יהיה טוב לבריאות שלכם, מאחר שהמוח שלכם לא יקבל את המנוחה שהוא זקוק לה כדי לתפקד בצורה טובה. מקצבים שנתיים, שעונים פנימיים שפועלים לאורך השנה, משפיעים גם הם על תהליכים גופניים שאיננו מודעים אליהם אפילו. זה יכול לכלול את האופן שבו אנו מעכלים את הארוחות שלנו ומפרקים מזון לחומרי מזון ולאנרגיה.

מה מרכיב את השעון הפנימי?

השעונים הפנימיים היומיים שלנו נשלטים על-ידי גנים, שהם יחידות קטנות של דנ"א שמועבר מההורים שלנו [1]. הגנים האלה מכילים את הקוד שנדרש לייצר חלבונים – מולקולות בגוף שמבצעות תפקידים מסוימים. חלק מהגנים ששולטים בשעונים הפנימיים שלנו מייצרים חלבונים שנקראים "אקטיבטורים" (גורמים מפעילים), ואחרים מייצרים חלבונים שנקראים "דכאנים". אקטיבטורים הם חלבונים שהופכים גן לפעיל, בעוד שדכאנים הם חלבונים שמכבים גנים (איור 2). בשעונים הפנימיים היומיים שלנו אנו צריכים שני אקטיבטורים שיקשרו יחד כדי להפעיל גן (איור 2A). הגן הזה בדרך כלל מופעל בבוקר. ברגע שהגן הזה מופעל הרבה חלבונים שונים מיוצרים, כולל שני דכאנים [1]. כאשר ישנם הרבה חלבונים דכאנים שמיוצרים

איור 2

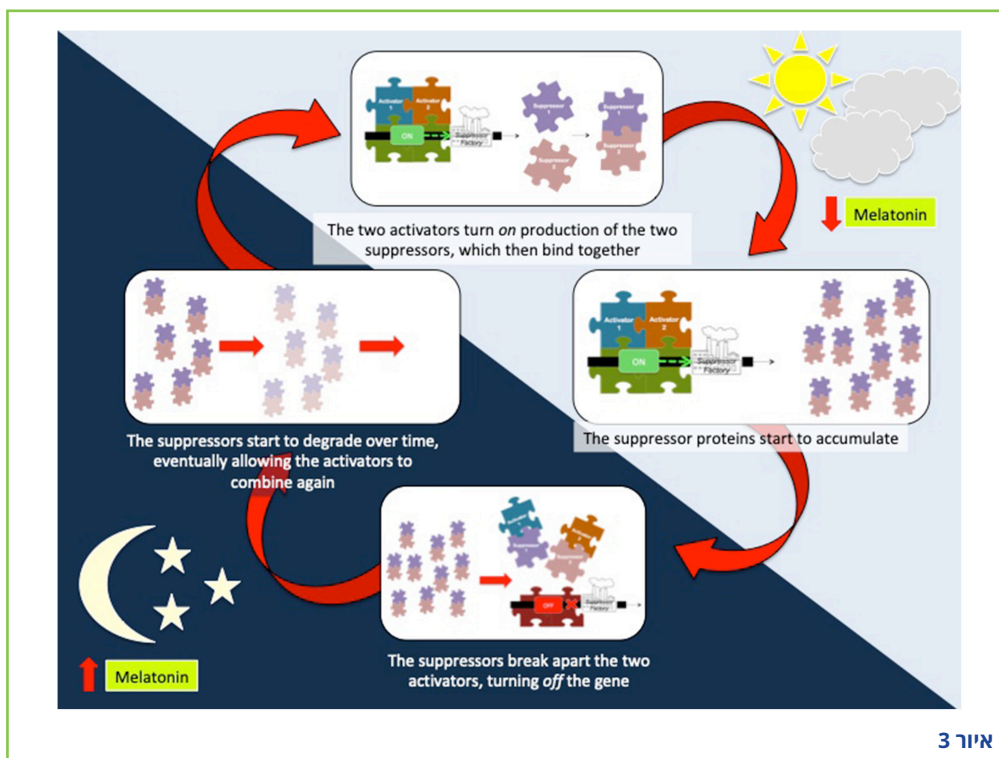
השעונים הפנימיים שלנו נשלטים על-ידי גנים שמייצרים חלבונים שנקראים אקטיבטורים ודכאנים. (A) חלק מהאקטיבטורים צריכים להיקשר זה לזה לפני שהם יכולים להיקשר לגן ולהפעיל אותו. (B) דכאנים מתקמים בין האקטיבטורים לגנים כדי למנוע מהם להפעיל את הגנים.



איור 2

איור 3

המחזור השלם של האופן שבו הגנים מתקשרים בשעון הפנימי שלנו במהלך היום 24 שעות. במהלך היום האקטיבטורים נקשרים זה לזה ומפעילים את הגנים שמעורבים בשעונים הפנימיים שלנו. הגנים האלה מייצרים דכאנים. בזמן הזה רמות המלטונין שלנו נמוכות ואנו מרגישים ערניים. במהלך היום מספר הדכאנים בגוף גדל. במהלך הלילה כמות גדולה של דכאנים פועלת לפרק אקטיבטורים ולכבות גנים לפני שהם מתפרקים בעצמם. במהלך הלילה רמות המלטונין שלנו גבוהות ואנו מרגישים ישנוניים.



איור 3

אנו בדרך כלל מרגישים אנרגטיים ומלאי חיוניות! במהלך היום ריכוז חלבוני הדכאנים עולה בגוף שלנו. בערב, מספיק חלבונים דכאנים כבר נוצרו כדי לחסום את האקטיבטורים ולכבות את הגנים (איור 2B) [1]. בזמן שאתם ישנים הדכאנים במחזור הדם מתפרקים [1]. במהלך הפירוק הזה, אשר מתרחש בלילה, אנו מרגישים עייפים וישנוניים. חלבון אחר מיוצר גם הוא במהלך הלילה – חלבון שנקרא "מלטונין" – שמסייע לשמור על השעון הצירקדי שלנו מתוזמן [1]. ברגע שהדכאנים התפרקו לחלוטין, האקטיבטורים כבר לא נחסמים והם יכולים להיקשר יחד או להיקשר לגן, והמחזור חוזר על עצמו (איור 3).

איזה תפקיד משחקים שעונים צירקדיים בבריאות האדם?

מקצבים צירקדיים הכרחיים לבריאות האדם, ובעיות יכולות להתרחש כאשר רמזים סביבתיים מכוונים את השעונים הפנימיים שלנו לשעה הלא נכונה. הפרעה שכיחה בשעון נובעת משימוש בטכנולוגיה עם אור מלאכותי. לדוגמה, אור מהטבלט או ממסך הסמארטפון יכול להפריע לשעון היומי שלנו. מלטונין, החלבון ששומר על הגנים של השעונים שלנו בתפקוד תקין, מושפע על-ידי חשיפה לאור [1]. בחושך, הגוף שלנו מקבל את האות להתחיל לייצר כמויות גדולות של מלטונין, מה שגורם לנו להיות ישנוניים ומוכנים להיכנס למיטה. אולם, איננו מייצרים הרבה מלטונין כשאנו חשופים לאור. האור מהסמארטפונים שלנו יכול לגרום לגוף שלנו לחשוב שהשעה עדיין מוקדמת, מה שמקשה עלינו להירדם וגורם לנו להיות עייפים יותר בבוקר. באופן מעניין, רק צבעי אור מסוימים יכולים לתפקד כאותות להתחלת ייצור המלטונין. בפרט, גלי אור עם אורכי גל קצרים יותר, כמו למשל אור סגול או כחול, עוצרים באופן יעיל את ייצור המלטונין [2]. באמצעות סינון האור הכחול הזה באמצעות משקפיים שחוסמים אור כחול או באמצעות אפליקציות שמותקנות על הסמארטפון או הטבלט, המוח לא מקבל הודעה להפסיק לייצר מלטונין, ואנו לא נחוה את ההשפעות השליליות של תאורה מלאכותית בלילה [2].

דרך אחרת שבה אנו יכולים להפריע לשעון הפנימי שלנו היא באמצעות שינה בלתי מספקת בלילה או שינה במהלך היום. דברים כמו טיסות לאזור זמן אחר או כיוון השעונים המעוררים לשעה מוקדמת מדי יכולים להפריע למקצבים הצירקדיים שלנו. שינה מועטה מדי מובילה לבעיות ידועות כמו למשל: חוסר ריכוז, קשיי למידה וזמני תגובה איטיים [1]. ייתכן שגם שמתם לב לכך שאחרי שנת לילה גרועה אתם עצבניים יותר, מרגישים עצובים יותר או עשויים לחוות קשיי תקשורת עם האנשים שסביבכם [1]. הפרעה במקצבים הטבעיים של השעונים הפנימיים שלנו יכולה להוביל לעיכול גרוע, בעיות לב, השמנה ומערכת חיסון מוחלשת [1]. לדוגמה, מדענים גילו שלאנשים שלא ישנים מספיק בלילה יש מערכות חיסוניות שמייצרות חלבונים שנלחמים בזיהומים בזמן השגוי ביום – כלומר, החלבונים האלה לא זמינים בזמנים הממשיים שבהם יש דלקת [3]. אולם, מדענים גם גילו שבתוך שנת לילה עקבית של 8 שעות במשך לפחות 5 ימים, המערכות החיסוניות שלהם חזרו לתפקוד נורמלי [4].

מה לגבי מקצבים שנתיים?

כפי שצינו קודם, מקצבים שנתיים הם ממש כמו מקצבים צירקדיים בכך שהם שולטים במקצב של התהליכים הגופניים שלנו, אולם במקום לקיים מחזור יומי, שעונים אלה מקיימים מחזור של שנה. אנו רואים ראיות לכך ששעונים שנתיים פועלים בבני אדם. כשהעונות משתנות אנו מבחינים בשינויים במצב הרוח שלנו ובאופן שבו הגוף שלנו מעכל את המזון שאנו אוכלים [1]. ככל שידוע לנו, השינויים האלה מושפעים על-ידי מלטונין, אותו החלבון שמסייע לנו לישון בלילה. הגוף שלנו מייצר מלטונין כשחשוך בחוץ, כך שאנו מייצרים יותר מלטונין במהלך החורף כשהימים קצרים יותר [1]. כאשר הוא מצטבר לריכוזים גדולים בדם, מלטונין שולח לפחות שתי הודעות לגוף שלנו: (i) זה הזמן להיכנס למיטה, (ii) הפסק לפרק סוכר [1]. אז עלייה ברמות המלטונין משמעותה שאנו מרגישים עייפים יותר בחורף, והתיאבון שלנו מוגבר מאחר שאיננו יכולים לפרק סוכר לאנרגיה באותה הקלות.

אנו רואים עוד דוגמאות מדהימות לשעונים שנתיים בטבע. לדוגמה, כשצבעונים חשים את ביאת האביב ומתחילים לגדול מהקרקע, או כשדובים מרגישים את בוא החורף ונכנסים למצב של תרדמת. ללא שעונים שנתיים צבעונים היו עלולים לפרוח בחורף או שדובים לא היו נכנסים לתרדמת. כתוצאה מכך, צבעונים היו קופאים ודובים היו גוועים ברעב. כיצד פועלים השעונים השנתיים? האורגניזמים משתמשים ברמזים כמו למשל טמפרטורה ואור יום כדי לקבוע את העונה. לדוגמה, צבעונים (כמו גם צמחים פורחים אחרים) משתמשים בחשיפה לקור ולמשך אור היום כדי להעריך את הזמן הטוב ביותר לפרוח [5]. אחרי שפקעת נחשפת לקור של החורף והיא מרגישה שהעלייה בטמפרטורה או התארכות היום מקושרת עם האביב, היא יודעת שזה הזמן הטוב ביותר לפרוח. דובים חומים משתמשים בטמפרטורה כרמז לכניסה לתרדמת – כשהטמפרטורה צונחת מתחת ל-0 מעלות צלזיוס, הדוב נכנס למאורה שלו [6]. אולם מה אם הרמזים החיצוניים האלה מתחילים להשתנות עם הזמן, מה שעשוי להתרחש כתוצאה משינוי האקלים?

עליית הטמפרטורות שמקושרת עם שינוי אקלים מהיר עשויה לבלבל את השעונים השנתיים של האורגניזם שלנו, מה שגורם להם לא להיות מסוגלים לתזמן תהליכים בצורה תקינה, כמו למשל כניסה לתרדמת או פריחה. דובים עשויים להתעורר מוקדם מדי או אפילו לא להיכנס לתרדמת כלל! נדידת ציפורים היא תהליך נוסף שעשוי להיות מושפע משינוי אקלים מהיר. מיני ציפורים רבים משתמשים בשילוב של שינויים באורך אור היום, בטמפרטורה ובמשקעים כדי לקבוע מתי על הציפורים להתחיל לנדוד [7]. ציפורים שמבצעות נדידה עוזבות אזורי גידול לטובת אקלים חם יותר – זה מאפשר להן להימנע ממוזג האוויר הקשה בחורף ומאספקת המזון הנמוכה שמקושרת אליו. לאחר מכן הן חוזרות לאזורי הגידול באביב הבא, כשמזג האוויר משתפר ומזון נעשה שוב זמין. לרוע המזל, טמפרטורות חמות יותר עשויות לגרום להתרחשות של חוסר התאמה בין שפע המזון לבין תנאי מזג האוויר ותנועת הציפורים. לדוגמה, אם האביב מתחיל מוקדם יותר וציפורים לא יכולות לכוונן את נדידתן, הן יגיעו בזמן הלא נכון ופחות מזון יהיה זמין עבורן [7].

מסקנות

השעונים הפנימיים שלנו חיוניים לתפקוד התקני של הגוף שלנו. השעונים האלה נמצאים בכל החיות ומסייעים להן להישאר בחיים. שעונים פנימיים מסייעים לגוף שלנו לנהל את ההתנהגות והתהליכים הגופניים בצורה היעילה ביותר. לכן, בפעם הבאה שאתם מרגישים ישנוניים, רעבים או צמאים, זיכרו שהתחושות האלה אינן אקראיות אלא נגרמות על-ידי המקצבים הצירקדיים והמקצבים השנתיים שלכם.

מקורות

1. Reppert, S. M., and Weaver, D. R. 2001. Molecular analysis of mammalian circadian rhythms. *Annu. Rev. Physiol.* 63:647–76. doi: 10.1146/annurev.physiol.63.1.647
2. Rahman, S. A., Kollara, A., Brown, T. J., and Casper, R. F. 2008. Selectively filtering short wavelengths attenuates the disruptive effects of nocturnal light on endocrine and molecular circadian phase markers in rats. *Endocrinology* 149:6125–35. doi: 10.1210/en.2007-1742

3. Ackerman, K., Revell, V. L., Lao, O., Rombouts, E. J., Skene, D. J., and Kayser, M. 2012. Diurnal rhythms in blood cell populations and the effect of acute sleep deprivation in healthy young men. *Sleep* 35:933–40. doi: 10.5665/sleep.1954
4. Faraut, B., Boudjeltia, K. Z., Vanhamme, L., and Kerkhofs, M. 2012. Immune, inflammatory and cardiovascular consequences of sleep restriction and recovery. *Sleep Med. Rev.* 16:137–49. doi: 10.1016/j.smrv.2011.05.001
5. Jung, C., and Müller, A. E. 2009. Flowering time control and applications in plant breeding. *Trends Plant Sci.* 14:563–73. doi: 10.1016/j.tplants.2009.07.005
6. Evans, A. L., Singh, N. J., Friebe, A., Arnemo, J. M., Laske, T. G., Fröbert, O., et al. 2016. Drivers of hibernation in the brown bear. *Front. Zool.* 13:7. doi: 10.1186/s12983-016-0140-6
7. Carey, C. 2009. The impacts of climate change on the annual cycles of birds. *Philos. Trans. R. Soc. B* 364:3321–30. doi: 10.1098/rstb.2009.0182

פורסם אונליין: 24 באוגוסט 2021

נערך על ידי: Tansy C. Hammarton, University of Glasgow, United Kingdom

ציטוט: Birchard KL and Leigh DM (2021) החשיבות של שמירה על תיאום עם השעונים הפנימיים שלנו. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00072-he

תורגם והותאם:

Birchard KL and Leigh DM (2019) The Importance of Keeping Time With Our Internal Clocks. *Front. Young Minds* 7:72. doi: 10.3389/frym.2019.00072

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

COPYRIGHT © 2019 © Birchard and Leigh 2021. 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.

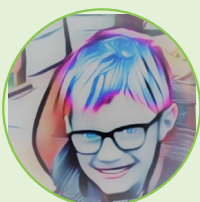
סוקרים צעירים

CAITLIN, גיל: 12

קייטלין היא ילדה בת 12 שאוהבת חתולים, בנות ים ומשחקי וידאו, ולא אוהבת חינוך גופני. היא נהנית לבלות זמן עם חברים שלה.

EDWARD, גיל: 11

אדוארד הוא ילד בן 11 שאוהב אומנות ומרותק על-ידי מדע. הוא אוהב להעביר זמן בצפייה ביוטיוב ומשחקים בנינטנדו סוויץ'. בעתיד הוא רוצה להיות הנדסאי או טכנאי מחשבים.





LOLA, גיל: 12

לולה היא תולעת ספרים שאוהבת כיף ולא מודאגת מלהשתלב בחברה. Lola היא סופרת ושחקנית מבטיחה שנהנית לרכוב על אופניים ולא אוהבת חינוך גופני.

הכתבות

KATIE L. BIRCHARD

קייטי היא מועמדת לתואר שני באוניברסיטת קוויין בקנדה, שם היא קיבלה את התואר הראשון שלה בביולוגיה. במהלך התואר הראשון שלה היא חקרה כיצד גנים צירקדיים משתנים עם הגובה אצל מושבות של ציפורים ימיות. היא המשיכה לחקור אוכלוסיות גנטיות של ציפורים ימיות.

DEBORAH M. LEIGH

דבורה היא פוסט-דוקטורנטית והיא חוקרת את הגנטיקה של מינים בסכנת הכחדה. היא חקרה בבריטניה ובשווייץ וקיבלה את הדוקטורט שלה באוניברסיטת ציריך. כיום היא עובדת בשווייץ ומנסה להבין מחלות של עצים. *deborahmleigh.research@gmail.com

Hebrew version
provided by

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

