



השלכותיה של התאורה המלאכותית בלילה על בריאות האדם

מאת פרופסור אברהם חיים

הכותב הוא ראש המרכז הישראלי למחקרים בינתחומיים בכרונוביולוגיה, החוג לביולוגיה אבולוציונית סביבתית באוניברסיטת חיפה

שינו את אורחות חיינו והביאו עימם ברכה ופריחה כלכלית שהביטוי המוצלח ביותר, שיכול לתאר זאת הוא אולי: "עיר ללא הפסקה" או אורח חיים של "עשרים וארבע שבע" (24 שעות, שבעה ימים בשבוע). התאורה בראשית דרכה הסתמכה על נורות להט בעלות אורכי גל ארוכים שאינן חסכוניות מבחינה אנרגטית, או על תאורת נתרן בלחץ גבוה (נל"ג) במרחבים הציבוריים. תאורות אלה אינן יעילות, והן צורכות אנרגיה חשמלית מרובה (שרק חלק ממנה מופנה לתאורה), מה שמביא לעלייה בייצור החשמל בתחנות הכוח ולעלייה בפליטות של פחמן דו חמצני. בנוסף לכך, החום שנוצר בנורות הלהט מעלה את טמפרטורת הסביבה. הטמפרטורה הגבוהה יחסית מונעת מאיתנו לגעת בנורות אלה בשעה שהן דולקות.

מהנדסים, יצרני תאורה, ואנשי הגנת הסביבה קידמו את נושא ההתייעלות

המהפכה בנושא התאורה התחוללה עם המצאת מנורת הלהט על ידי אדיסון, בשנת 1879. העיקרון שעל פיו פועלת מנורת הלהט הוא התמרת אנרגיה חשמלית לאור, מה שאיפשר הארת שטחים נרחבים בערים - הן במרחב הפרטי והן במרחב הציבורי. עם הכנסת התאים הפוטו-וולטאיים, זרם חשמלי מרשת מרכזית איננו הכרחי יותר לתאורה והחיבור הישיר של מקור התאורה לפנל הסולארי מאפשר התפשטות של התאורה המלאכותית בלילה למקומות נדחים ומרוחקים מרשת חשמל. התאורה שמשמשים בה יותר ויותר במקרים אלה היא חסכונית, קיצרת גל ובעיקר זאת של נורות LED.

תאורה וחיסכון אנרגטי

אין צל של ספק שהתקני התאורה שהתפשטו ברחבי העולם במהלך המאה הקודמת וממשיכים במאה הנוכחית

מדוע תאורה מלאכותית?

בני אדם בהיותם יצורים הפעילים ביום בילו, בעבר הרחוק, את שעות החשיכה בשינה או בחוסר פעילות. ואם ביצעו פעילות כלשהי יש להניח שזאת היתה קשורה למחזורי הירח. בלילות של ירח מלא הם יכלו להיות פעילים. השאיפה הטבעית של המין האנושי היתה להאריך את משך האור ביממה, בעיקר בחודשי הסתיו כשהימים הלכו והתקצרו. האש היתה בוודאי תפנית משמעותית. אך האש קבועה במקום, ובכל אתר בו רוצים להשתמש בה יש להבעיר אותה מחדש, פעולה שכיום נראית פשוטה אך בעבר היתה מסובכת יותר. השימוש בשמן ובשעווה ליצירת אור איפשרה להעביר את האור בקלות בתוך מבנים ובין מבנים סמוכים. נורות הגז שהומצאו אלפי שנים מאוחר יותר, במאה ה-18, איפשרו שימוש נרחב יותר בתאורה במרחבים הציבוריים.

האנרגטית באמצעות תאורה חסכונית, או כפי שהיא נקראת, "תאורה ידידותית לסביבה". הפתרון שנמצא בתאורה קיצרת גל, הממירה יותר אנרגיה חשמלית לתאורה ופחות לחום, הוא פתרון שנראה לכאורה מצוין, מאחר והוא אמור לחסוך באנרגיה חשמלית מחד ולהפחית את כמות הפליטות של פחמן דו חמצני לאוויר מאידך. אז מדוע הפתרון המוצלח לכאורה אינו כל כך מוצלח? האם קשה לפרגן להמצאה שיש בה התייעלות אנרגטית?

התאורה החסכונית שהוכנסה על ידי המימסד בישראל הן למרחב הציבורי והן למרחב הפרטי היא של נורות המאירות באורכי גל קצרים, תאורה המופיעה בצורה טבעית באמצע היום, ועם הופעתה, היא מדכאת את ייצור הניורו-הורמון מלטונין, בבלוטה האצטרובלית. הורמון זה שנוצר בחושך במהלך הלילה, הוא תוצר של מסלול אירועים המתחילים בסביבה החשוכה, דרך תאי חוש מיוחדים (דו-קוטביים) הנמצאים ברשתית העין, ואלה מחוברים בעצבוב מיוחד לשעון הביולוגי הנמצא במוח ומשם במערכת עצבית מורכבת בבלוטה האצטרובלית. תפקידם של התאים הדו-קוטביים כקולטני אור הוא בהקשר לשעון הביולוגי, ביכולתם לדווח על אור וחושך. תאים אלה רגישים לאורכי גל קצרים, בגלל החלבון מלנופסין אותו הם מכילים. כאשר הם נחשפים לתאורה קיצרת גל (התאורה החסכונית) בשעות הלילה, הם יגרמו לדיכוי כמעט מוחלט של ההורמון מלטונין בבלוטה האצטרובלית. ההורמון מלטונין ידוע כחומר ש"ידו בכל" ועל כן לדיכוי בהפרשתו השלכות מרחיקות לכת על בריאות האדם (ראו אזור 1).

להכנסה עתידית של נורות ה-LED לחיינו הן במרחב הציבורי והן במרחב הפרטי, השלכות קשות עוד יותר מבחינה בריאותית. ראשית דיכוי ייצור ההורמון מלטונין בבלוטה האצטרובלית, אך מעבר לכך - בגלל העוצמה החזקה של הנורות הרשתית עלולה להיפגע. ארגון הרופאים האמריקאי (AMA) קיבל בחודש יוני 2012 - לאור המידע הקיים בספרות המדעית - החלטה הקובעת שאור בלילה הוא גורם מזהם. ומעבר לכך, ההחלטה קוראת לחפש טכנולוגיות חדשות לתאורה. זהו אתגר למהנדסי ויצרני תאורה.

בעוד שלשינויים בתאורה נראות גבוהה, תאורה בלילה נראית למרחקים, והחיסכון בחשמל נראה בטווח הקצר, השפעת חוסר המלטונין על מערכות שונות בגוף היא איטית. לפחות חלק מההשפעה הזאת הוא אפיגנטי. אפיגנטיקה היא תחום

בביולוגיה החוקר השפעות סביבתיות על תכונות (פנוטיפ) ללא שינוי בחומר התורשתי (גנוטיפ). ישנם מספר מנגנונים האחראים לכך. אחד מהם הוא שינויים בקיפול ה-DNA החושף אזורים מסוימים לשעתוק וחוסם אזורים אחרים. בנוסף לקיפולים של ה-DNA יש גם קשירה וניתוק של קבוצות מטיליות לחומצות הגרעין (ציטוזין), מה שקובע את השינוי ברמת המטילציה הכללית של ה-DNA. השינוי בקיפול נגרם משינויים סביבתיים (לחץ, מזג אוויר, תזונה, תאורה ועוד) ואת תוצאותיה רואים במקרים מסוימים על ציר הזמן בתקופות של שנים. בנוסף לכך שהשינויים הם איטיים הם גם הפיכים, ברור לנו שלהבנה מושלמת יותר של המנגנונים יש צורך בהרבה מחקרים. הצטברות המידע בנושא של מבנה הרשתית והקשר של העין אל מנגנון הבקרה של מחזוריות יומית באמצעות "השעון הביולוגי" והבנת התפקוד שלו, הם הסיבה העיקרית להתנגדות לשימוש בתאורה קיצרת הגל - "תאורה חסכונית".

לא חוזרים לאחור אך גם ההווה אינו חיובי

אם כך, מה אתם מציעים? האם נחזור לחיות בחושך או נמשיך לחיות בתנאי תאורה זוללת אנרגיה? איננו מבקשים לחזור ולחיות בחושך ואיננו מבקשים לבזבז אנרגיה ולהעלות את ריכוזי הפחמן הדו-חמצני. אך עם המידע הקיים כיום, אנו מבקשים שלא לסכן את הציבור בחשיפה לתאורה מזיקה. על כן אנו פונים ומבקשים ממהנדסי התאורה, מיצרני התאורה וממשרדי הממשלה הנוגעים בדבר (משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה) לחבור יחד וזאת כדי לפתח "תאורה מקיימת" שנוכל להיחשף אליה וליהנות מאורה מבלי לסכן את בריאותנו. פתרונות הנדסיים וטכנולוגיים שאינם עומדים במבחן הביולוגי אינם יכולים להתקבל כפתרון מתאים שהציבור ייחשף אליו. החיסכון באנרגיה היום איננו יכול לבוא על חשבון בריאות הציבור. שהרי ההוצאות הכספיות העתידיות בטיפולים שונים יהיו גבוהים בהרבה מהחיסכון המידי. כל עוד אין הגדרה לזיהום אור ביולוגי, לא יהיה זה נכון לערוך מחספים ולשנות תאורה במרחב הציבורי מתאורת נתון בלחץ גבוה (נ"ג) לתאורת LED - פעילות שהתבצעה ומתבצעת ברשויות מקומיות מסוימות.

מעבר לתאורה במרחבים הציבוריים ותאורת הבית אנו נחשפים לתאורה ממכשירים שונים שבהם אנו משתמשים

במשך היום והלילה והם המחשב האישי, הטלוויזיה, הטלפונים הסלולריים, הנורות הקטנות במכשירים השונים נתיב תקשורת אלחוטית בבית (ראוטרים), נוריות המזגן, שעונים דיגיטאליים, מערכת הסטריאו, העכבר של המחשב ועוד. לחלק מתאורה זאת אנו נחשפים במשך כל שעות החשיכה ולאחרים אנו נחשפים גם במשך שעות ארוכות במהלך היום מאחר ואלה הם אמצעי העבודה שלנו. היכולת שלנו לשלוט בתאורה ולהאיר מקומות חשוכים בתאורה מלאכותית הביאה למצב שבו אנו נחשפים לתאורה חד גונית ורבים מהעובדים בחברה המודרנית אינם נחשפים לתאורת השמש המורכבת ממכלול של אורכי גל, שהדומיננטיות שלהם משתנה במהלך היום. האם ישנה חשיבות לחשיפה זאת? התשובה היא כן ואנסה להסביר זאת.

השעון הביולוגי משמש גם כלוח שנה

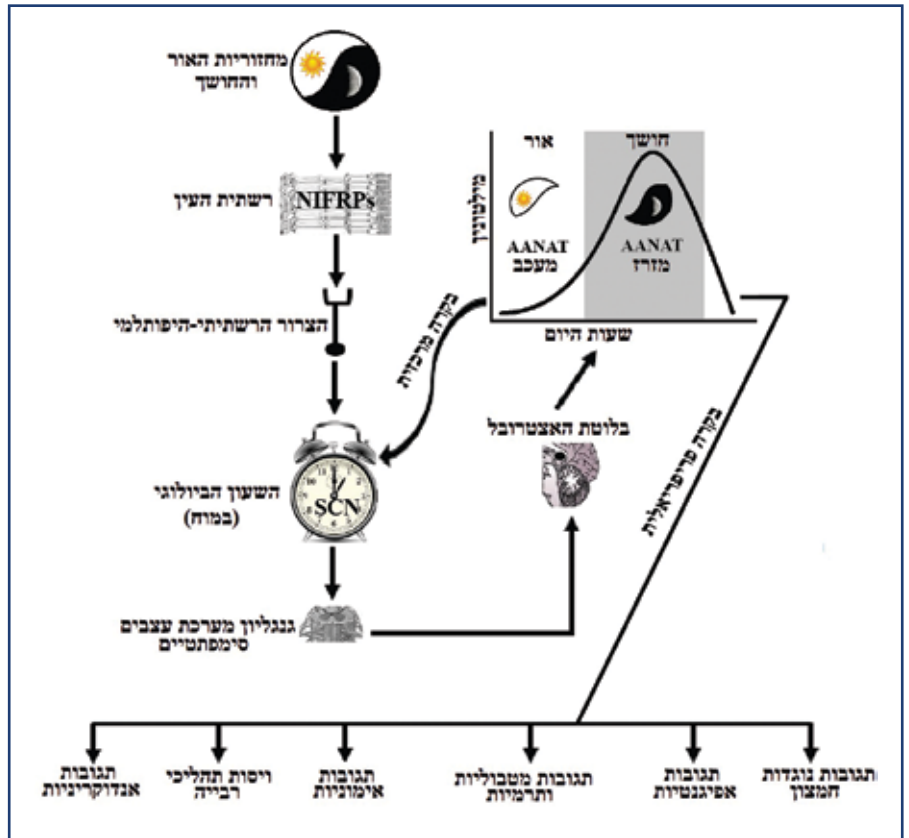
בגופנו כמו בגופם של בעלי חיים וצמחים קיים שעון ביולוגי - זהו שעון פנימי (אנדוגני) שמשלים מחזור אחד בתקופה של בערך יממה (במינים מסוימים לשעון הפנימי מחזוריות יממתית של יותר מעשרים וארבע שעות, בעוד שבמינים אחרים המחזוריות היא של פחות מעשרים וארבע שעות). ביונקים בכלל, כולל האדם, השעון הביולוגי המרכזי ממוקם בהיפותלמוס, בגרעינים שמעל לתצלובת האופטית (Suprachiasmatic - CSN) - הדחף העצבי שמגיע מהתאים הני-פולאריים (דו-קוטביים), המכילים את החלבון מלנופסין הרגישי לאורכי גל קצרים ונחשבים כיום לתאי רשתית שאינם קולטים צורה או צבע אלא קולטים אור. הם קשורים לבקרה על המחזוריות היומית בהעבירם מידע על התאורה הסביבתית בעיקר בהקשר אורכי גל לשעון הביולוגי. כשישנה תאורה של אורכי גל קצרים ובעוצמות חזקות, מידע זה מגיע לשעון הביולוגי ומשם לבלוטה האצטרובלית, מה שמביא לדיכוי בייצור הניורוהורמון מלטונין בבלוטה האצטרובלית. כאשר אורכי הגל הם ארוכים ובעוצמות נמוכות יחסית - כמו אור ירח ואפילו של נורת להט - אין הפרעה, והבלוטה תייצר מלטונין. נקודה מעניינת במבנה המערכת היא שעל תאי השעון הביולוגי עצמם ישנם קולטנים (רצפטורים) למלטונין, כך שמרכז הבקרה מקבל מידע כפול הראשון עצבי והשני נירו-הורמונאלי (אזור 1).

לכן, על מנת שהשעון יוכל למלא את אחד התפקידים המרכזיים שלו - תזמון

אטלנטיות, או למזרח הרחוק ולאוסטרליה, מכירים את תופעת היעפת. המנגנון המסביר אותה מבחינת הריתמוסים היומיים של משתנים שונים הוא, שהשעון הביולוגי המרכזי "מאבד שליטה" ועל כן, הריתמוסים הנשלטים על ידי שעונים ההיקפיים מאבדים את הסנכרון והתזמון שלהם. במצב זה, ריתמוסים שונים פועלים ללא סדר. כאן אולי המקום להסביר את חשיבותן של הפרשות הורמונים שונים, שבהפרשה בזמן ובסדר נכון הם מבטיחים פעילות תקינה של הגוף. כלומר: יש צורך בשקיעה ובזריחה (עם שינויים מקומיים) על מנת שהגוף שלנו יוכל לקיים מחזוריות תקינה. שינוי בהופעת האור (זריחה) או היעלמותו (חושך) - כלומר שינוי בפאזה - יפגע בצימוד בין השעון הביולוגי האנדוגני ובין קוצב הזמן החיצוני. כאשר יחזור הצימוד תבוטל ההפרעה.

לאחר שהשעון המרכזי יחזור לפעילות תקינה - הוא יהיה מוצמד לקוצב הזמן החדש "וישתלט" חזרה על פעילות השעונים ההיקפיים, על פי השעון המקומי - תחלוף אי הנוחות של היעפת. כלומר היעפת היא תוצאה של חוסר סנכרון של המערכת הצירקאדיאנית, עקב התזוזה בפאזה, הנובעת מהמיקום הגיאוגרפי החדש כפי שמתבטא בזמני השקיעה והזריחה. שוב אפשר לשלב את פעילותה של הבלוטה האינטרובולית המפרישה את ההורמון מלטונין, שנקלט על ידי התאים של השעון הביולוגי המרכזי. ובכך, במה כל זה קשור לענייננו, לחשיפה לתאורה מלאכותית בלילה? האם גם כאן יש שינוי בפאזה? השעון הביולוגי שלנו רגיש הן לעוצמת התאורה והן לאורך הגל של התאורה, על כן חשיפה לאור מלאכותי בחושך, ובעיקר לאורכי גל קצרים, תביא לתזוזה בפאזה בניסיון להצמיד את השעון האנדוגני לקוצב הזמן הסביבתי, שבמקרה זה מקורו בהפרעה. תזוזה בפאזה של השעון המרכזי תפגע ביכולת הבקרה התקינה שלו על השעונים הפריריאליים העשויים לאבד את הסנכרון שלהם. תארו לעצמכם שזה קורה כל יום מחדש, אנו מאבדים את הפעילות התקינה של המחזוריות היומית. מעבר לכך ההארה באורך גל קצר מדכאת את ייצור המלטונין וכמו כן ישנה פגיעה במחזורי השינה.

ניתן לסכם שחשיפה בלילה לאור של תאורה קיצרת גל פוגעת בבריאות האדם בראש של המערכת הצירקאדיאנית ברמות שונות, לרבות פגיעה בקיום ההיררכיה של המנגנון, שתביא לחוסר סנכרון ותזמון של ריתמוסים יומיים שונים המבוקרים על



איור 1: מעבר של האות אור/חושך מהסביבה לבלוטה האינטרובולית וחלק מהפעילויות שבהן מעורב ההורמון מלטונין המופרש מהבלוטה (מעובד מ: Haim et al, Ingenieria Iluminatului)

ארגון המערכת הצירקאדיאנית ביונקים

למערכת הצירקאדיאנית (ראו מסגרת) יש ארגון מוכר ברמות שונות. מהבנה שלנו את המערכת כיום יש חשיבות מרובה להיררכיה של המערכת ולפעילות התקינה של המתנד הראשי או השעון המרכזי. השעון המרכזי, הממוקם אצלנו ב-SCN, מקבל מידע תאורתי מהרשתית בצורה של דחף עצבי אך מעבר לכך הוא מקבל גם מידע הורמונאלי מהבלוטה האינטרובולית. ה-SCN נחשב למתנד מרכזי מאחר שבזמן שהוא פעיל בצורה תקינה הוא מדכא פעילות עצמאית של שעונים ביולוגיים (מתנדים) היקפיים (פריריאליים), אשר יכולים להיות מתוזמנים בפעילות שלהם על ידי גורמים השונים ממחזורי אור וחושך, כמו תזונה לדוגמה. בניסויים שנערכו בחיות מעבדה נמצא שסילוק השעון המרכזי מביא לדי-סינכרוניזציה של המערכת כולה. אחד מהכללים החשובים בקיומה של מערכת זאת, הוא יכולת הסנכרון והתזמון של הריתמוסים ההיקפיים על ידי המתנד המרכזי. כשאלה מותאמים לסביבה החיצונית ומסונכרנים ביניהם נרגיש בנוח. רבים מאיתנו שהתנסו בטיסות טרנס

אירועים, יש צורך בגורם שיאפשר כיוון השעונים של האורגניזמים השונים כך שיהיה סנכרון ביניהם. לדוגמה, הפרחים שמאובקים על ידי מין מסוים של חרקים יהיו פתוחים בשעה שחרקים אלה פעילים. קוצב הזמן האוניברסלי של אורגניזמים יבשתיים (או כפי שהמושג מוכר בשפה הגרמנית Zeitgeber) הוא סיבוב כדור הארץ סביב צירו. לעובדה זו השלכות חשובות מבחינה פיזיולוגית - התנהגותית מאחר והכיוון הוא תלוי מקום גיאוגרפי. טיסה, לדוגמה, מעבר לקווי אורך מזרחה או מערבה כרוכה בתופעת ה"יעפת" (Jet-Lag). בנקודה גיאוגרפית מסוימת הזריחה והשקיעה מתרחשות בשעות מסוימות ואם אנחנו בחצי הצפוני של כדור הארץ אזי בין יוני-לדצמבר היום מתקצר והלילה מתארך, בעוד שבין דצמבר-ליוני היום מתארך והלילה מתקצר. היחסים בין שעות האור והחושך ביממה הם הבסיס לעונתיות (לוח השנה) והם מאפשרים לאורגניזמים להתארגן לעונה המתקרבת. גם צמחים יודעים לזהות את עונות השנה בהתאם ליחסים שבין שעות ההארה לשעות החושך. פרחי יום קצר, כמו כריזנטמות לדוגמה, מזהים לילה ארוך כמהווה אות לפריחה.

ידי שעונים פריפריאליים הנמצאים תחת בקרה של השעון המרכזי. כל עוד זה פועל בצורה תקינה ומעביר את המידע מקובץ הזמן החיצוני (מחזורי אור וחושך) אל המערכת המרכזית של האדם, הריתמוסים היומיים השונים יהיו מסונכרנים.

האם קיימות הוכחות מתוצאות ניסויים התומכות בסכנה שבאורך גל קצר?

התשובה היא כן וברצוני לתאר תוצאות של שני ניסויים שונים, שהצביעו בברור על הסכנות הטמונות לבריאות הציבור בחשיפה לתאורה קיצרת גל. התוצאה הראשונה היא מניסוי שנערך במעבדת שינה בעיר בזל על ידי החוקר השוויצרי Cajochen ועמיתים. הם בדקו את ההשפעה של חשיפה לאור מונו-כרומטי בלילה באורך גל קצר של 460 ננומטר, לעומת חשיפה באותה עוצמה ולאור פרק זמן רק באורך גל של 550 ננומטר. קבוצה שלישית נשארה בחשכה כקבוצת ביקורת. המשתתפים שבהם נערכה ההשוואה היו התנהגותיים ופיזיולוגיים. התברר שבעוד שחשיפה לאורך גל קצר דיכאה את ייצור המלטונין בבלוטה האצטרובלית, והשאירה את הנבדקים בדריכות גבוהה, החשיפה לאורך הגל הארוך יותר לא דיכאה את ייצור המלטונין והדריכות של הנבדקים בתנאים אלה היתה נמוכה. כמו כן, באורך גל קצר הפרמטרים הפיזיולוגיים הקשורים בטמפרטורת הגוף כגון טמפרטורת העור וקצב הלב ירדו כצפוי לאחר חשיפה לתאורה בעלת אורכי גל ארוכים. החשיפה לאורך גל קצר השאירה אותם בערכים גבוהים. באופן כללי התוצאות שהתקבלו באורך הגל הארוך היו דומות לאלה שהתקבלו בחושך (קבוצת הביקורת שלא נחשפה לאור בלילה). כלומר תוצאות הניסוי מראות בוודאות תלות בחשיפה לאורך הגל, ושללתאורה קיצרת גל השפעות שליליות על בריאות האדם, כתוצאה משיבוש של תהליכים טבעיים, בהשוואה לאורך גל ארוך.

השפעת התאורה על התפתחות סרטן

במרכז הישראלי למחקר בינתחומי בכרונוביולוגיה, באוניברסיטת חיפה, חוקרים בין היתר את הקשר שבין חשיפה לאור בלילה ובין סרטן שד בחיות מודל. אנחנו משתמשים בעכברות שלהן אנו מזריקים תאים של סרטן שד עכברי מתחת לעור כך שניתן לעקוב בקלות אחרי

השעון הצירקדי

השעון הצירקדי (Circadian, מלטינית: "בערך יום") הוא השעון הביולוגי החשוב והנפוץ ביותר בעולם החי של אורגניזמים יבשתיים. לשעונים צירקדיים יש זמן מחזור הקרוב ל-24 שעות, בדומה לסיבובו של כדור הארץ סביב צירו. לפיכך, שעונים אלה מאפשרים ליצורים חיים להתאים את עצמם להשפעתה המשתנה של השמש על סביבתם, כגון רמת התאורה, שינויים בטמפרטורה או היכולת לבצע פוטוסינתזה. השעון הצירקדי הפנימי יכול לפעול גם בסביבה קבועה, שבה אין רמזים למיקומה היחסי של השמש באותו רגע.

אותות חיצוניים, אשר מכונים צייטגבר (Zeitgeber, בגרמנית: "קוצב זמן") מסוגלים לכוון ולסנכרן את השעון הצירקדי הפנימי. ה"צייטגבר" הנפוץ והחזק ביותר הוא אור, אך גם אותות חיצוניים אחרים (למשל טמפרטורה, חומרים ביוכימיים או אינטראקציות חברתיות) מתפקדים לעתים כצייטגבר. בקרב צמחים ובעלי חיים רבים, המקצב הצירקדי משמש גם כבסיס לשינויים עונתיים. בתהליך המכונה פוטומוורפוגנזה וגם פוטופריודיזם (האורך היחסי של תקופת האור והחושך במחזור היומי), הצמח חש בשינויים שחלים באורך היחסי של היום והלילה, ובהתאם לכך משתנה המורפולוגיה ו/או ההתנהגות של הצמח - לבלוב, נשירת עלים, פריחה, צמיחה אל עבר האור ועוד.

שעורי הגדילה היומיים של הגידול, כאשר העכברות נחשפות לתנאי תאורה שונים בלילה. העכברות הוחזקו בתנאי תאורה של יום קצר (שמונה שעות אור ושש-עשרה שעות חושך) תאורת פלואורסנצט באורך גל דומיננטי של כ-470 ננו מטר ובעוצמה של 450 לוקס. לאחר ההדבקה בתאי הסרטן העכברות חולקו לשלוש קבוצות:

- 1) קבוצת ביקורת שכללה עכברות שלא נחשפו לאור במהלך הלילה;
- 2) קבוצה שבה עכברות שנחשפו לתאורת היום במשך שלושים דקות באמצע הלילה;
- 3) חשיפה לאור בלילה כמו בקבוצה השנייה אך בקבוצה זאת העכברות קיבלו מלטונין אקסוגני במי השתייה בתקופת החושך.

ההבדלים בשעורי התמותה ושעורי הגדילה של גידול סרטן השד ברקמה התת-עורית

הראו פערים משמעותיים בין הקבוצות השונות, כאשר הערכים הגבוהים הופיעו בעכברות שנחשפו לאור קצר גל בלילה (קבוצה 2) בעוד שהערכים הנמוכים נמדדו בעכברות שאומנם נחשפו לאור בלילה אך קיבלו טיפול של מלטונין. בעכברות של קבוצה 2 נמדדו ערכים נמוכים של ייצור מלטונין לאחר החשיפה לאור בלילה. כלומר, גם במקרה זה חשיפה לתאורה של אורך גל קצר הביאה לדיכוי של מלטונין. נקודה מעניינת שבעכברות שנחשפו לאור נמצאו גרורות רבות. מתוצאות של ניסוי דומה שנערך עם מנורות להט באותה עוצמה ובחשיפה בלילה לאותו פרק זמן, שעורי הגדילה של הגידול היו נמוכים יותר ולא נמצאו גרורות בגופן של העכברות. תוצאות הניסויים שלנו מחזקות את התוצאות שהתקבלו במעבדת השינה, המראות בוודאות שלאורך הגל יש השפעה משמעותית על הנזקים הבריאותיים שנגרמים מחשיפה לאור בלילה. על כן אנו חייבים לשאול את עצמנו האם ההארה בלילה היא רק נושא הנדסי טכנולוגי או שעלינו להתחשב גם בגורמים סביבתיים המשליכים על בריאותנו.

לגבי סרטן שד, מחלה שהיתה מקובלת בקרב נשים בעבר בעיקר לאחר הפסקת המחזור (תקופה שיש בה גם ירידה משמעותית בייצור המלטונין) בסוף שנות הארבעים לחייהן, או מאוחר יותר: כיום מופיעה המחלה בנשים צעירות בשנות העשרים לחייהן. האם יכול להיות קשר לחשיפה לאור בלילה? ברשותכם אחזור לניסוי שבצענו במעבדה על עכברות שהודבקו בסרטן שד. בשלב שני של הניסוי בודדנו את ה-DNA מהגידולים של שלוש הקבוצות וזאת על מנת לבדוק שינויים אפי-גנטיים הבאים לידי ביטוי ברמות המטילציה (קבוצות מטיליות) הקשורות לחומצות הגרעין, לשינויים אלה נודעת בשנים האחרונות חשיבות מרובה, לדרך שבה הסביבה יכולה להשפיע על פעילות הגנום. כלומר, ישנם מצבים שבהם הרבה קבוצות מטיליות מחוברות לחומצות הגרעין ומצב שחומצות הגרעין מאבדות קבוצות אלה. התוצאות שהתקבלו מהעכברות (הבדיקה נערכה בשתי שיטות שונות ובשתי מעבדות שונות בחיפה ובאוניברסיטת מקגיל במונטריאול, קנדה והתוצאות שהתקבלו היו דומות). בעכברות שנחשפו לאור קצר גל בלילה (קבוצה 2) רמות המטילציה היו נמוכות יותר בהשוואה לקבוצת הביקורת (עכברות שנשארו בחושך - כלומר לא נחשפו לאור). לעומת זאת בעכברות של

העניד - תאורה מקיימת

קיימות עוסקת בשילוב שבין כלכלה, סביבה וחברה מתוך הכרה מלאה שלתחום אחד יש השפעה על השניים האחרים. תאורה מקיימת יכולה לשמש כדוגמה לפתרון קלאסי של בעיה אמיתית.

לשימושי תאורה כפי שאנו מבינים היום יש השלכות כלכליות - מתעשיות של נורות, גופי תאורה, תוכנות, תעשיית החשמל, כלומר פעילות כלכלית ישירה, שלא לדבר על הפעילות הכלכלית הקשורה בהארכת שעות האור - שמשפחות רבות בעולם תלויות בה.

לתאורה השלכות חברתיות - הרגשה של בטחון עצמי, עיצוב של מפגשים חברתיים העברת מסרים פרסום וכיוצא בזה.

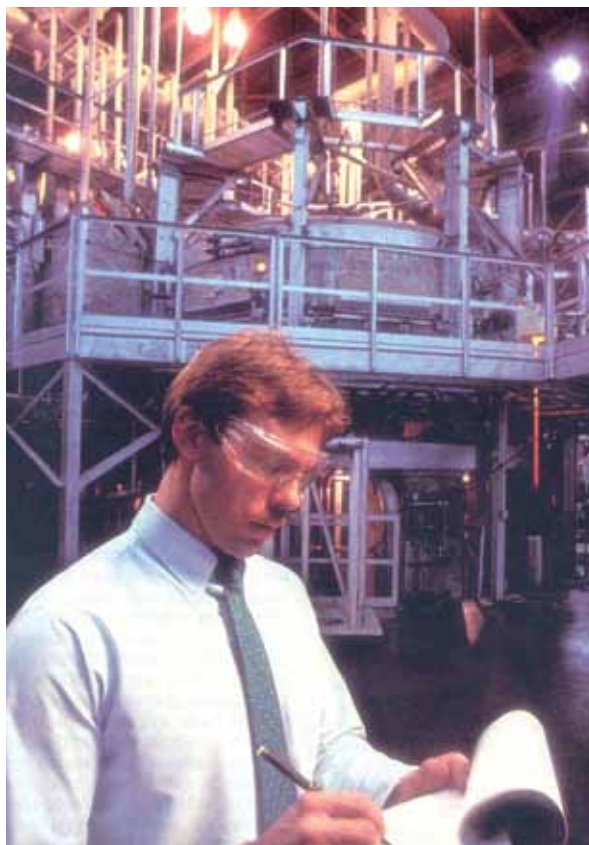
השלכות סביבתיות - שסקרנו כאן רק חלק מהן הנוגעות לבריאות האדם אך, ישנם מינים רבים של בעלי חיים

פעילי לילה שרבים מהם יש להניח שייפגעו עם אובדן החושך בלילה. על כן, מציאת פתרון לתאורה מקיימת אמורה להביא לכך שנוכל להמשיך ולהשתמש בתאורה בצורה מושכלת.

לשם פיתוח תאורה כזאת יש צורך במחקר מקיף שתוצאותיו יוצגו למקבלי ההחלטות באיזה תאורה עלינו להשתמש במרחבים שונים, כיצד לווסת את התאורה על פי הצרכים השונים בשעות שונות של הלילה, כיצד הופכים תאורה לדינמית ומתוחכמת על פי הצרכים החברתיים.

איננו מבקשים לסכן בטיחותית נהגים הנוהגים בלילה, אך מצד שני איננו מעוניינים שנהגים הנוהגים במשך לילות רבים יהיו חשופים לדוגמה לתאורת LED העשויה - מעבר לדיכוי המלטונין - להרוס את תאי הרשתית, שהם למעשה תאי מוח שפגיעה בהם תביא לעיוורון. התייעלות אנרגטית היא בוודאי גורם שיש להתחשב בה אך היא בהחלט גורם הנכנס להשלכות הכלכליות.

האגודה הישראלית לתאורה שקמה לפני כשנה מבקשת לטפל בנושאים אלה, היא מקיימת סדנאות להעלאת המודעות לסכנות שיש בתאורה לא נכונה. אנו קוראים לשרת הבריאות ולשר להגנת הסביבה לפעול יחד עם האגודה ועם המשרד לאנרגיה לקידום הנושא של תאורה מקיימת. ■



והארת החלל. כיצד יכולים לבוא ולספר לנו היום שיש סיכון בחשיפה לאור בלילה הרי "האור הוא טוב והחושך הוא רע". למה אנו מהלכים אימים על האוכלוסייה האנושית שבסך הכל מבקשת להאיר את העולם בדרך יעילה מבחינה אנרגטית.

ההכרה של AMA (איגוד הרופאים האמריקאי) באור בלילה כמקור לזיהום סביבתי היא צעד חשוב קדימה אך לא מספיק, מאחר והרגולטור לא מינף את ההחלטה הזאת לביטוי בשטח כמו דרישה לעמעם אורות בחשיכה במקומות שאין צורך בהם, להפחית תאורת פרסומות משעה מסוימת בלילה (ממשלת צרפת החלה בכך).

קל לאמוד את הברכה באור בפרקי זמן קצרים מאד בעוד שהנזקים באים לידי ביטוי בפרקי זמן ארוכים, בדרך כלל של שנים, ולכן לא נראית מאיימת כפי שבשעתו העישון לא נתפס כמשהו מזיק. יחד עם זאת כיום ידוע ממחקרים שבוצעו כי עובדות במשמרות, הנחשפות לתאורה קיצרת גל בלילה במשך שלושים שנים, נמצאות בקבוצת סיכון גבוהה יותר לחלות בסרטן שד בהשוואה לכאלה שנחשפו לתנאים אלה רק במשך חמש שנים. כלומר, ניתן להניח שמדובר בתהליך איטי הדורש זמן ובעולם בו תוחלת החיים עולה יש סיכוי גדול שתחלואה זאת תגיע לידי ביטוי ביותר אנשים.

הקבוצה השלישית, שנחשפו לאור בלילה אך קיבלו טיפול של מלטונין, נמצאו רמות מטילציה דומות לאלה שבקבוצת הביקורת שלא נחשפה לאור בלילה. כלומר המלטונין בניסוי שלנו נמצא כמשפיע על רמות המטילציה וכשהוא חסר, בגלל חשיפה לתאורה קיצרת גל בלילה, ה-DNA מאבד מרמות המטילציה שלו. אחת התכונות המאפיינות שינויים אפי-גנטיים היא, היותם תהליכים הפיכים. כלומר, אם נסלק את הגורם המביא לאובדן הקבוצות המטיליות מה-DNA - במקרה של טיפול במלטונין - ניתן להחזיר את המצב לקדמותו. זה מה שיכול להסביר מדוע אנו מגלים את התחלואה רק אחרי מספר שנים ולא מיד. לכן, קשה גם לבוא ולשכנע שקיימת בעיה של זיהום אור, וכפי שכבר אמרנו לא נראה את ההשפעה מחר בבוקר. תוצאות של יותר ויותר מחקרים הנערכים במקומות

שונים בעולם תומכים בתוצאות המחקרים שלנו ועל כן, על מקבלי ההחלטות להתיישב ולחשוב על דרכי פעולה, מאחר ואיננו רוצים לחזור ללילות חשוכים מחד אך איננו מוכנים לסכן את בריאות הציבור מאידך.

לפני הכנסה מסיבית של תאורת LED למרחבים הציבוריים ולחיינו הפרטים (והרי הם משפיעים עלינו ביועדן ובלא יודעין בצגי המחשב, הטלוויזיה הסמרט-פון ואמצעים רבים אחרים המשתמשים בתאורת LED ומוכנסים לחדרי השינה שלנו ושל ילדינו) יש לתת את הדעת על פיתוח של תאורה מקיימת.

האם העוסקים בנושא גרועים בהסברה או אולי קיימת בעיה אובייקטיבית?

לצערי אין מספיק מודעות בקרב מקבלי ההחלטות וקובעי מדיניות הבריאות בישראל לחשיבות הנושא.

אחד הקשיים הקיימים במדע הוא בשינוי של פרדיגמה. אנו גדלים מינקות שחושך הוא המקבילה של רע ואור הוא המקבילה של טוב, ועל כן יש צורך במיגור החושך - זאת אנו עושים על ידי הארה. הרמת המפסק להדלקת האור, פעילות שכל אחת ואחד מאיתנו עושים מספר פעמים ביום, מביאה לשינוי דרסטי: היעלמות החושך