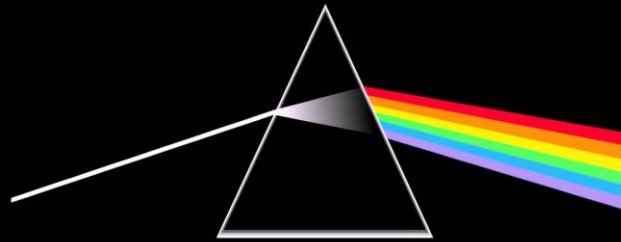




# THE DARK SIDE OF THE LIGHT



## "הצד האפל של האור": השפעת תאורה מלאכותית מודרנית על

### האדם וחיות משק



ד"ר אביב אשר

מחקר ופיתוח צפון

מכון מדעי למחקר ופיתוח יישומי בגליל (מיג"ל)

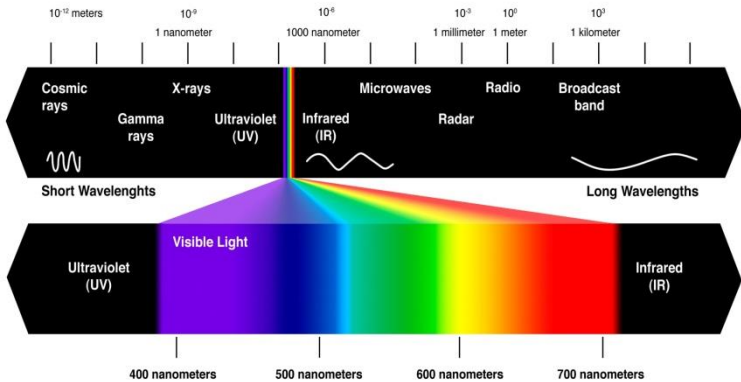


# אור



האור הוא קרינה אלקטרומגנטית בעלת אורך גל הנראה לעין, הכולל את כל קרינה אלקטרומגנטית בטווח שבין התת-אדום לעל-סגול.

שלושת המאפיינים העיקריים של האור הם בהירות (או אמפליטודה, משרעת), צבע (או תדירות) וקיטוב (זווית התנודות).



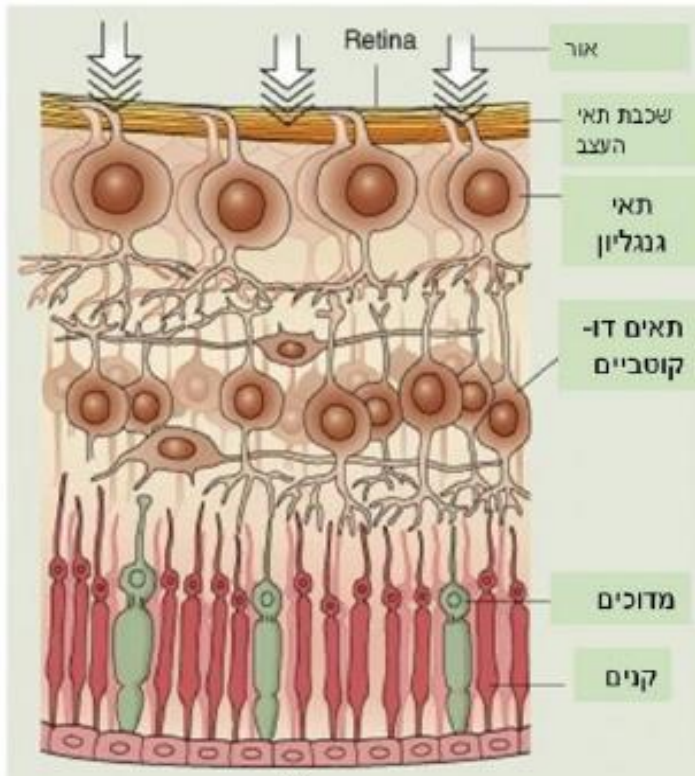
אורכי הגל השונים מתפרשים על ידי המוח האנושי כצבעים, מאדום באורכי הגל הארוכים ביותר (התדירות הנמוכה ביותר) ועד סגול באורכי הגל הקצרים ביותר (התדירות הגבוהה ביותר).

אורכי הגל הנראים בעין האדם: התחום בספקטרום, בין אורכי הגל של 380 ננומטרים ו-750 ננומטרים.

אור השמש ובמיוחד רכיב האור הכחול שבו הינו סמן הזמן החשוב ביותר לסנכרון השעון הביולוגי באדם.

אורך גל (nm)	צבע
390-455	סגול
455-492	כחול
492-577	ירוק
577-597	צהוב
597-622	כתום
622-780	אדום

# כיצד האור נקלט בעין



רשתית העין האנושית מכילה מערך צפוף של תאים קולטי אור = פוטורצפטורים. תא קולט אור הוא תא המכיל קולטנים עצביים רגישים לאור הנקראים אופסינים.

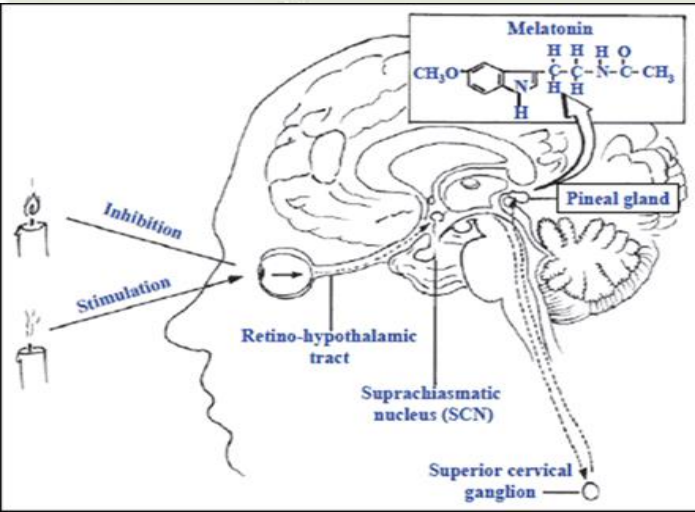
• תאים ברשתית הקולטים צורה וצבע (קנים ומדוכים) לעומת תאים הקולטים את סיגנל לשם כיוון השעון הביולוגי:

1. **תאי קנים:** תאורה לקויה/לילה, מכילים את הקולטן רודופסין. קליטה של צורה ולא צבע.

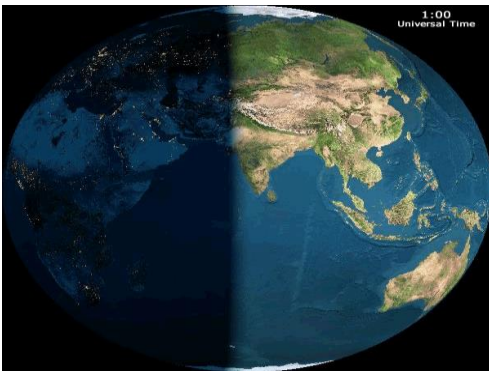
2. **תאי מדוכים:** הבדלה בין צבעים שונים, מכילים ארבעה קולטנים שונים ממשפחת הפוטופסינים.

3. **תאי גנגליון:** תפקיד בהעברת המידע על כמות האור קצר הגל בסביבה ללא קשר למידע הוויזואלי.

מסייעים להתאמת קוטר האישון והמקצב היממי של השעון הביולוגי לרמות התאורה השוררות בסביבה. מכילים את הקולטן מלאנופסין.



# השעון הביולוגי



- בבעלי חיים שונים (כולל האדם) מתרחשות פעילויות ביולוגיות תלויות זמן בעלות מחזוריות יומית בכל הרמות מהאורגניזם השלם ועד לרמה המולקולארית.

- קוצב הזמן החיצוני TIME KEEPER המכוונן מחזוריות הוא סיבוב כדור הארץ על צירו, כלומר אור ביום חושך בלילה.

- קוצב זמן פנימי = השעון הביולוגי - משמש את האורגניזם לצורך ניהול המקצבים הביולוגיים. **ביונקים התפתחות השעון הביולוגי מתרחשת בטרמיסטר האחרון של ההיריון ובשבועות הראשונים לאחר ההמלטה.**

- השעון המרכזי מסונכרן עם מחזורי אור וחושך. המטווח בין השעון המרכזי למערכות שונות בגוף הוא ההורמון **מלטונין** ("הורמון החושך").

- ביונקים המלטונין ממלא פונקציות שונות בגוף כגון:

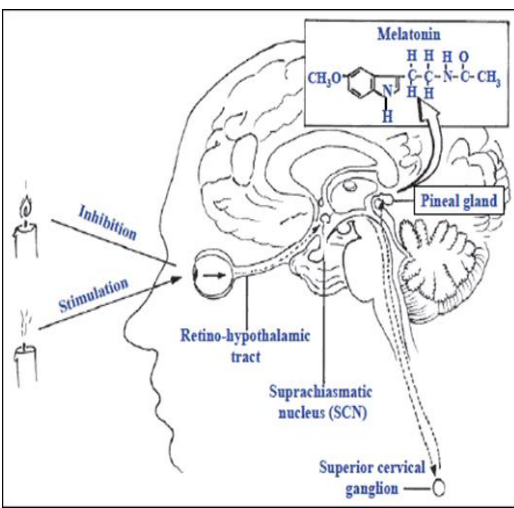
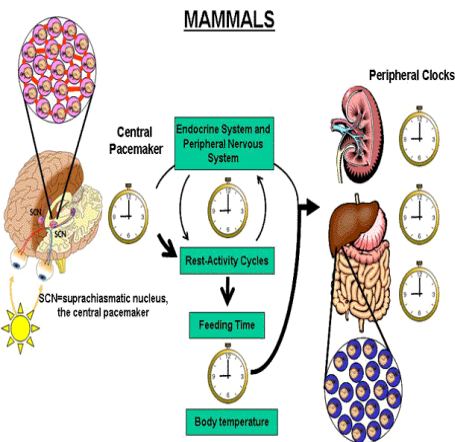
- ✓ ויסות מחזורי השינה והעירות.

- ✓ נוגד חמצון רב-עוצמה.

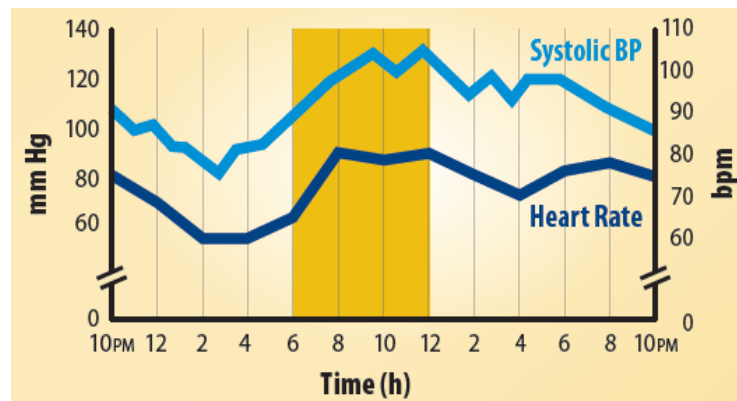
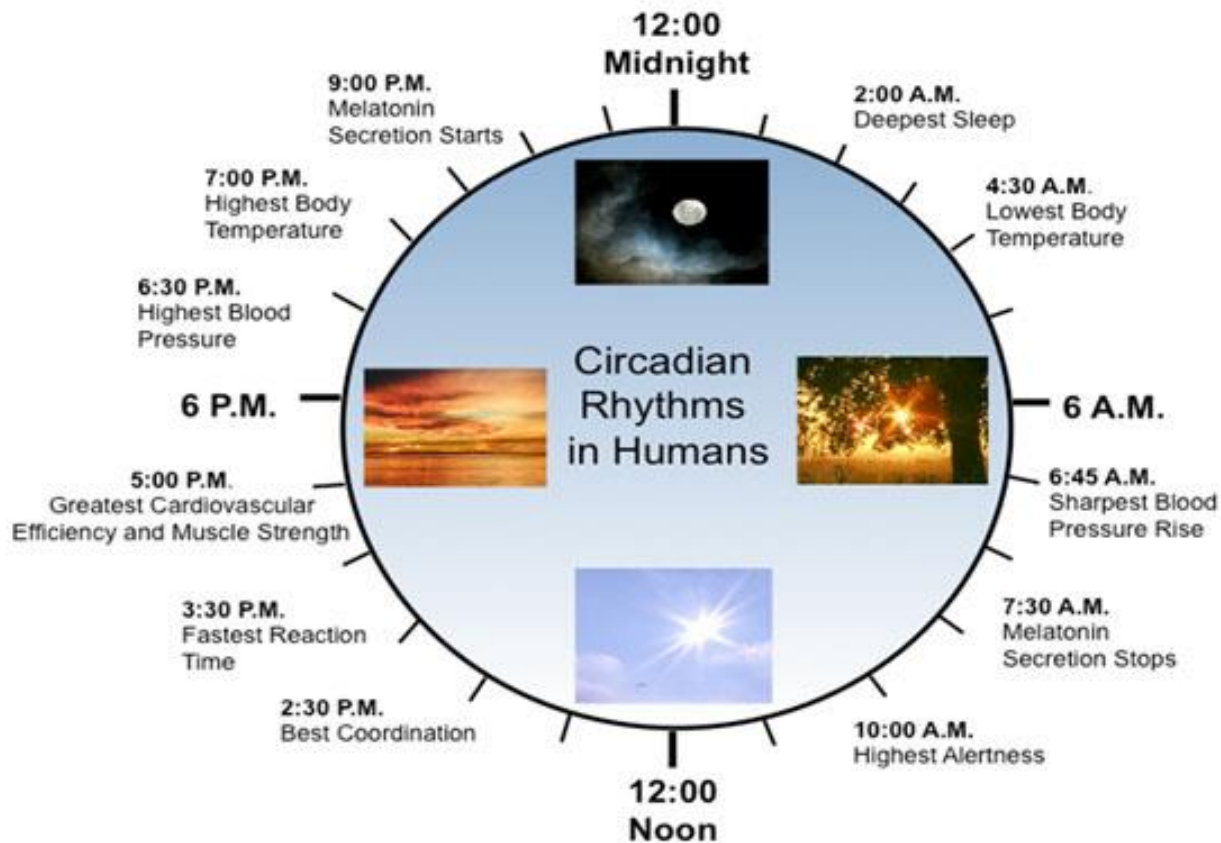
- ✓ בעל השפעה ישירה על יכולת התגובה של מערכת החיסון.

- ✓ בעל השפעה ישירה על מערכת הרבייה.

- ייצור המלטונין מגיע לשיא באמצע הלילה אך כמות קטנה של אור מלאכותי קצר גל יכולה לשבש אותו (Seron-Ferre, 2001).



# מחזוריות בגוף האדם בחיים המודרניים



# תאורה מלאכותית



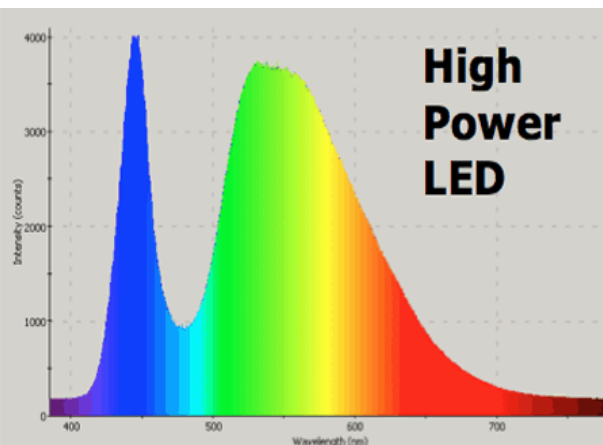
An incandescent light bulb produces light by heating a filament wire to a high temperature until it glows.



A CFL contains a mixture of argon and mercury gases that produces invisible ultraviolet light (UV) when the gas is excited by electricity.



An LED contains electrons that recombine with electron holes, releasing energy in the form of photons and illuminating the bulb.



## סוגי תאורה מלאכותית :

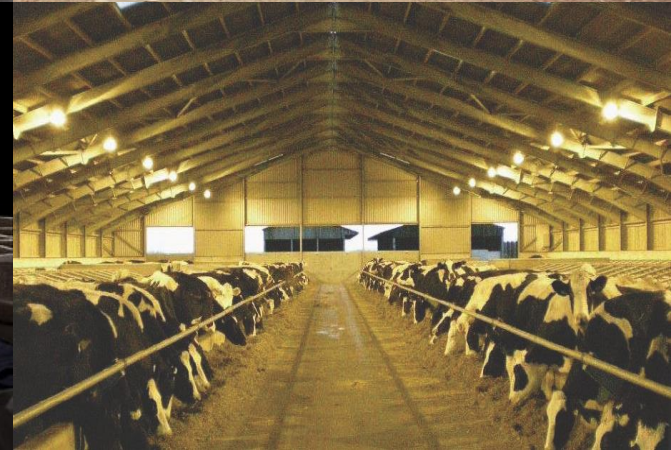
- נורות להט (ליבון)
- נורות פריקה (פלורוסנט, ניאון, קסנון...)
- נורות מוליכות למחצה מסוג דיודות (Light Emitting Diode, LED)

• נורות הפלורוסנט וה LED פולטות כמות גדולה יותר של אור כחול (אורך גל קצר) יחסית ללהט.

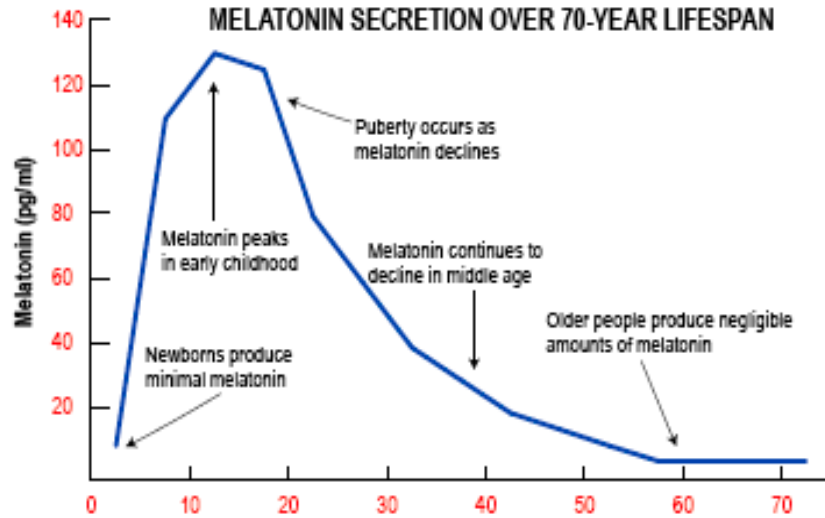
צבע	אורך גל (nm)
סגול	390-455
כחול	455-492
ירוק	492-577
צהוב	577-597
כתום	597-622
אדום	622-780

# זיהום אור:

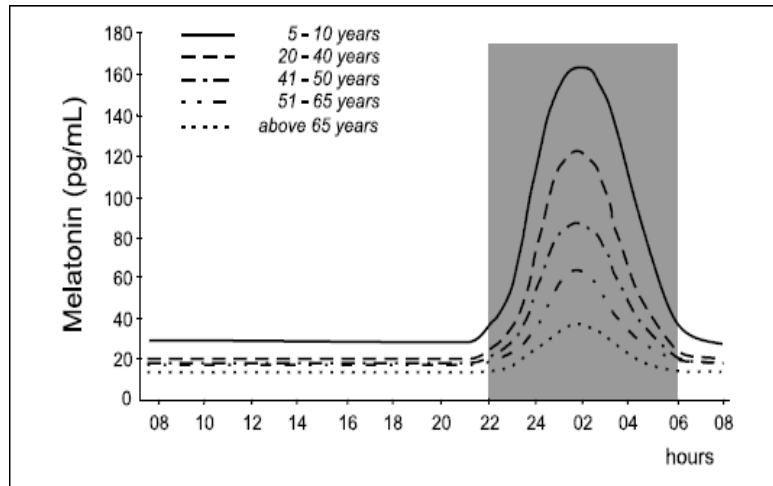
באופן כללי, זיהום אור הוא סך ההשפעות השליליות של תאורה מלאכותית על האדם והסביבה.



# אוכלוסיות הסובלות מחוסר במלטונין באופן כרוני



Kumar: Robbins and Cotran: Pathologic Basis of Disease, Professional Edition, 8th ed. © 2009 Saunders



Karasek and Winczyk, 2006

**1. מבוגרים:** בבני אדם מבוגרים כמויות המלטונין המיוצרות על ידי הבלוטה האצטרובלית פוחתות והולכות עם הגיל, ולהפחתה זאת עשויות להיות השלכות בריאותיות (Irina et al., 2001)

**1. תינוקות:** רמות המלטונין בקרב פעוטות מתייצבות כשלושה חודשים לאחר הלידה ותינוקות שלא ניזונים מחלב אם חשופים למחסור במלטונין (Ardura et al., 2003)

**2. ילדים בעלי הפרעות קשב וריכוז:** בעשור האחרון נמצא שבקרב אוכלוסיות ילדים המוגדרות כ ADD ו ADHD ישנו אחוז גבוה של ילדים הסובלים ממחסור במלטונין (Singa et al., 2013)

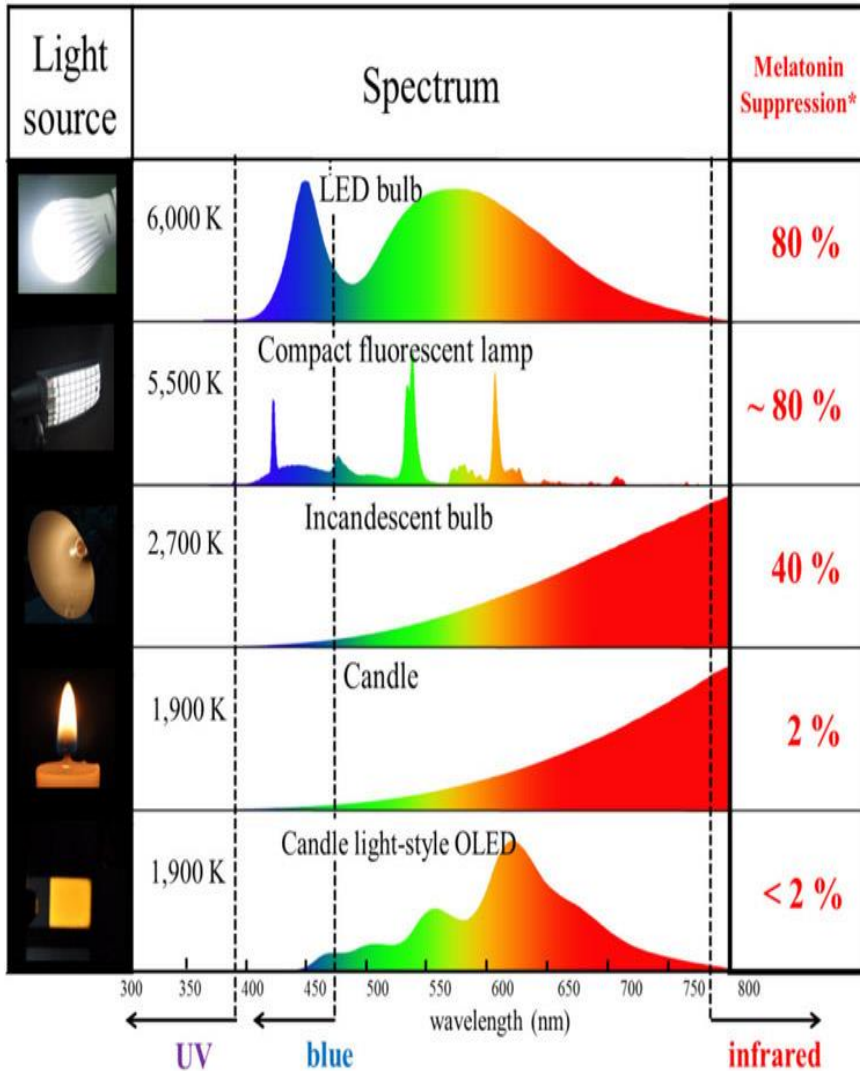
**3. אוטיסטים:** נמצא שקיים קשר בין אוטיזם למחסור במלטונין בגלל פגיעה בייצור המלטונין (Singa et al., 2011)

**4. עובדי משמרות:** תוצאות מחקרים מעובדי משמרות מראות על ירידה ביצור מלטונין וחשיפה לתחלואה, לרבות סרטן השד (Navara et al., 2007).

**כיום רוב שכבות האוכלוסייה סובלות ממחסור במלטונין**



# חשיפה מוגברת לאור קצר גל



# השפעות בריאותיות של תאורה מלאכותית בלילה - זיהום אור



• ארגון הרופאים האמריקאי (AMA) קיבל החלטה ביוני 2012 שאור בלילה הוא **גורם מזוהם** לבני אדם וזאת מאחר והוא פוגע בייצור המלטונין ומשבש ריתמוסים ביולוגיים.

• מחקרים רבים בנושא תאורה מלאכותית בלילה בשנים האחרונות מצביעים על כך שלאור מלאכותי בלילה יש השפעה על בריאותינו:

1. פגיעה במשך השינה ובאיכות השינה (Cajochen et al., 1998).
2. פוגע בחילוף החומרים הבסיסי בגוף וגורם לעלייה ברמת הורמוני הסטרס ומנגד מוריד את רמתם של הורמונים כגון: מלטונין, הורמון הגדילה, אינסולין ועוד (Weeb, 1995).
3. גורמת להשמנת יתר, מעלה את הסיכון לסכרת מסוג 2 ואף מגבירה את הטולרנטיות לאינסולין בקרב סכרתיים (Canpolat et al., 2001).
4. פגיעה במערכת החיסון המתבטאת בהחלשות התגובה של המערכת החיסונית (Carta et al., 2018).
5. מעלה את הסיכון לסרטן השד וסרטן הערמונית (Schwimmer et al., 2014).

# זיהום אור הנגרם כתוצאה מחשיפה למסכים וההשלכות על בריאות האדם



- Chajochen 2011, מצא כי חשיפה במשך 5 שעות להארה בעוצמה של פחות מ 100 לוקס של מסך מחשב נייד **הפחיתה את רמת המלטונין ופגעה בביצועים במטלה קוגניטיבית.**
- מחקרים חדשים נוספים מצאו כי חשיפה להארה של 2-4 שעות למסך טאבלט בעוצמה של 30-50 לוקס **פגעה בהפרשת המלטונין הלילי ודחתה את שעת השינה** (Wood et al., 2013, Chang et al., 2012).
- Chang 2015, מצא כי שימוש בספרים אלקטרוניים בלילה האריך את זמן הכניסה לשינה, דיכא את הפרשת המלטונין, **קיצר את מחזור שנת ה-REM והקטין את הערות למחרת בבוקר.**
- ניסוי שנערך בשנת 2016 במעבדות השינה באסותא ע"י פרופ' ירון דגן ודר' עמית גרין, הראה כי חשיפה להארת מסך מחשב באורך גל קצר **פוגעת בתחושת הערנות היומית, השפעה שלילית על מצב הרוח ופגיעה ברמת הקשב והריכוז ביום שלמחרת.**
- **פגיעה בראייה:** חשיפה לאור כחול בשעות הלילה מעלה את הסיכון למוות של תאים בעין, פגיעה ברשתית, פגיעה בחדות הראיה וביכולת מיקוד, תחושת צריבה ואף כאבי ראש (Chamorro et al. 2012).

# מהיכן הגיע הרעיון למחקר אור מלאכותי על עגלים

תחילת התפתחות השעון הביולוגי ביונקים והחשיפה לאור

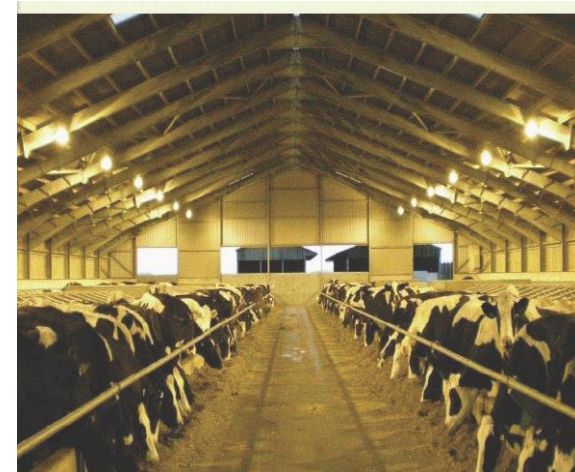


מיג"ל  
מרכז ידע גליל עליון



# "הצד האפל של האור": השפעת תאורה מלאכותית על יעילות ייצור של עגלים מגזע הולשטיין, משלב הינקות ולאורך תקופת הפיטום.

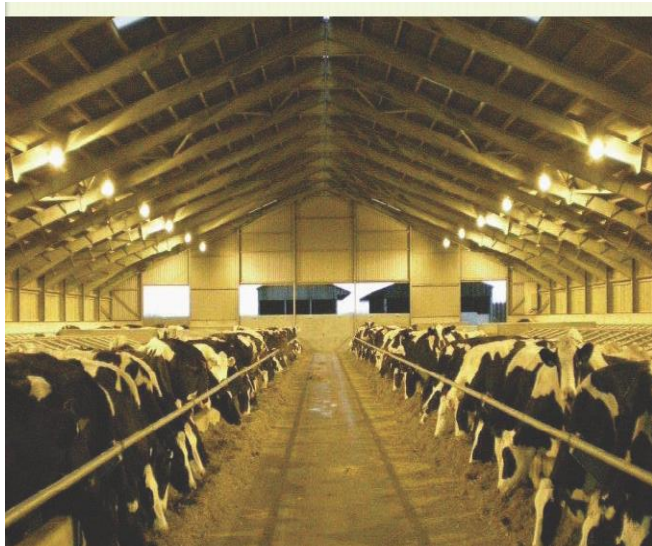
א. אשר, א. חיים, ג. עדין, א. הלחמי, א. אורלוב, ר. כעביה, ר. אגמון, מ. צינדר, א. שבתאי



# הנחת היסוד של המחקר

## השערת המחקר:

אם ביונקים התפתחות השעון הביולוגי מתרחשת  
בטרימסטר האחרון של ההיריון ובשבועות  
הראשונים לאחר ההמלטה, אזי חשיפה של בני  
בקר יונקים לאור בלילה, תפגע בטווח הקצר  
ובטווח הארוך במערכות מחזוריות, פגיעה  
העשויה להתבטא בבריאות, יצרנות ורווחת  
החיה.



# מבנה הניסוי

קבוצת אור (Lux 256 ,nm 460)

קבוצת חושך (Lux 2.1 ,nm 680)

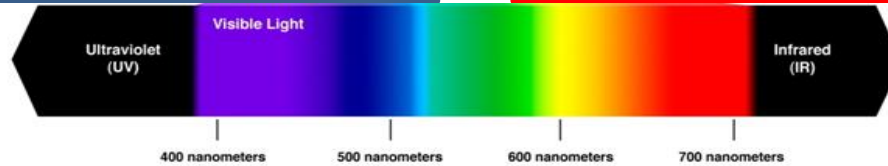
**Light group**

(N = 9)



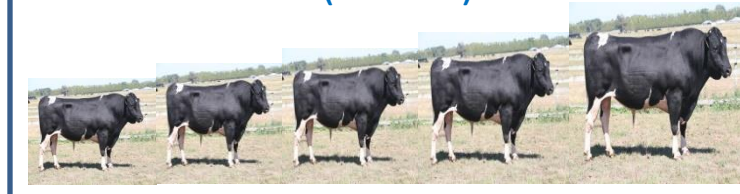
**Dark group**

(N = 9)



**One group**  
**Dark conditions**

(N = 18)



Age : 7 – 80 d

Age : 80 – 420 d

# נתוני ביצועים ויעילות ייצור בשלב הינקות

## צריכת מזון

צריכת המזון של עגלי האור הייתה גבוהה באופן מובהק מעגלי החושך



## תוספת משקל יומית

תוספת המשקל היומית לא נבדלה בין הקבוצות

## יעילות ניצולת מזון

יעילות ניצולת המזון של עגלי החושך הייתה גבוהה באופן מובהק מעגלי האור

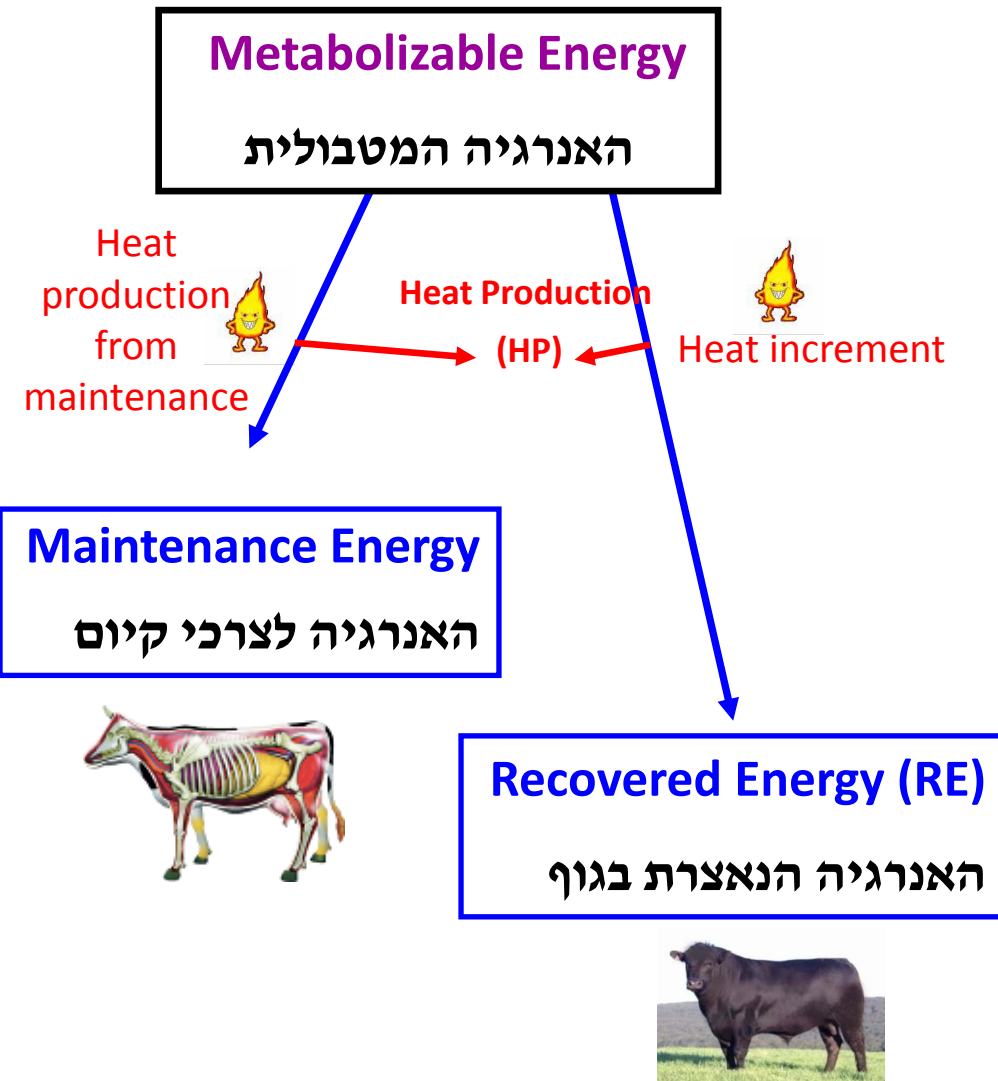




# הוצאת האנרגיה (ייצור חום) במאזן האנרגיה

$$MEI = RE + HP$$

הוצאת האנרגיה של עגלי האור הייתה גבוהה באופן מובהק יחסית לעגלי החושך. המשמעות היא שהעגלים שנחשפו לאור אכלו יותר אך האנרגיה העודפת נפלטה כחום ולא התבטאה בייצור גבוה יותר. המשמעות היא ייצור חום גבוה יותר ו"אכילה בזבזנית".





# תוצאות משלב גמילה ועד סוף פיטום



# ביצועים ויעילות ייצור – שלב פיטום

## צריכת מזון

צריכת המזון של עגלי האור הייתה גבוהה באופן מובהק מעגלי החושך גם בשלב הפיטום כלומר בחייו הבוגרים של העגל וזאת למרות ששתי הקבוצות גודלו במשך חייהם הבוגרים בתנאי חושך בלילה.



## תוספת משקל יומית

תוספת המשקל היומית לא נבדלה בין הקבוצות באופן דומה למגמה בינקות.

## יעילות ניצולת מזון

יעילות ניצולת המזון של עגלי החושך הייתה גבוהה באופן מובהק מעגלי האור גם בשלב הבוגר של העגלים.



# הוצאת האנרגיה

הוצאת האנרגיה של עגלי האור הייתה גבוהה באופן מובהק יחסית לעגלי החושך גם בשלב חייהם כעגלים בוגרים וכפרים. המשמעות היא שהעגלים שנחשפו לאור בינקותם בלבד, גם בשלב הינקות וגם בשלב חייהם הבוגרים אכלו יותר אך האנרגיה העודפת נפלטה כחום ולא התבטאה בייצור גבוה יותר. המשמעות היא ייצור חום גבוה יותר ו"אכילה בזבזנית" גם בתקופת הינקות ומגמה זו ממשיכה גם בשלב הבוגר של החיה.



# מסלולים ביולוגיים להסבר התופעה



**Metabolizable Energy**

האנרגיה המטבולית

Maintenance  
HP



Heat Production

(HP)

Heat increment



**Recovered Energy (RE)**

האנרגיה הנאצרת בגוף

**Maintenance Energy**

האנרגיה לצרכי קיום



השעון הביולוגי נבנה ומתפתח בטרימסטר האחרון של ההיריון וממשיך להבשיל בחודשים הראשונים ועד סוף תקופת היניקה בבעלי חיים מסדרת היונקים. חשיפה לתאורה מלאכותית קצרת גל בלילה גורמת לאקסיטציה של מערכות שאמורות לתפקד באופן חסכוני ומופחת בשעות הלילה ולכן חשיפה לתאורה עשויה לגרום להוצאת אנרגיה גבוהה עקב הפעלת המערכות בעצימות גבוהה יחסית לפעילותן כאשר בעל החיים חשוף לתנאים טבעיים בלילה. תופעה זו של חשיפה בשלב הינקות כאשר השעון הביולוגי עדיין בשלבי הבשלה עשויה לגרום להשלכות ארוכות טווח בחייו הבוגרים של בעל החיים. עקב חשיפה גוברת של תינוקות בשנים האחרונות לאור מלאכותי קצר גל למשך שעות רבות ביממה עלולה לגרום לשיבוש בתהליכים ביולוגיים גם בשלבים הבוגרים ונושא זה צריך להיבחן בבני האדם

# Long Term Effect = Programming



# תודה על ההקשבה

