

סיכוני החשיפה לאור הכחול

הוועדה הבין-לאומית העוסקת בסיכוני הקרינה לאדם (ICNIRP)

פרסמה הצהרה בנושא סיכוני החשיפה לנורות לד.

מומחה המוסד לבטיחות ולגיהות

מאת ד"ר אמנון דובדבני,

ראש תחום קרינה בלתי מייננת

המוסד לבטיחות ולגיהות

מייננת, עוסקת בסיכוני הקרינה לאדם, סוקרת את הידע המדעי ומפרסמת המלצות ומגבלות חשיפה בכלל הספקטרום האלקטרומגנטי הלא-מיינן - החל משדות מגנטיים וחשמליים בתדרים נמוכים וקרינה בתדרי הרדיו והמיקרוגל, ועד לקרינה האופטית, ובכללה האור הנראה.

במהלך שנת 2020 פרסמה ICNIRP הצהרה בנושא סיכוני נורות הלד לאדם.

נסקור את עיקרי ההצהרה בתוספת הרחבות שונות. נתייחס בפרט לסיכונים במקומות העבודה.

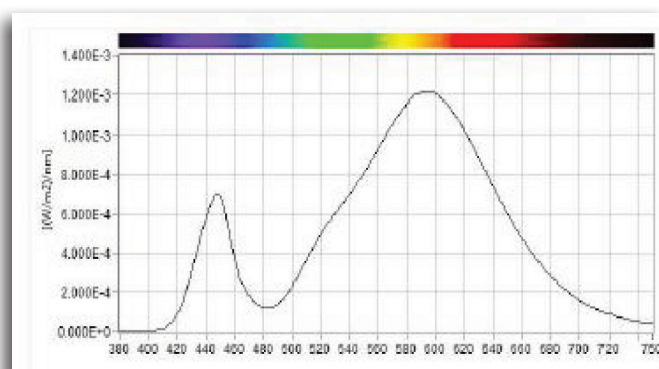
כללי

השיפור המתמיד בטכנולוגיית נורות הלד הוביל לכך שיהיו נפוצות וזמינות לציבור הרחב, וצפוי שעד שנת 2030 הן יהיו מקורות האור הדומיננטיים. הכוח המניע לגידול המהיר בייצור ובמכירות הוא אור הלד הלבן לתאורה כללית, כתחליף לנורות הלבנות ה"מסורתיות", אולם גם נורות לד אולטרה-סגולות (UV) פותחו בשנים האחרונות לצרכים מסחריים, מקצועיים ואף לשימוש ביתי. נורות לד בתחום האינפרה-אדום משמשות אף הן בטכנולוגיות שונות - מצלמות אבטחה, מערכות זיהוי, תקשורת סיבים אופטיים ועוד.

נורות לד בתחום האור הנראה נעשו נפוצות יותר ויותר - תאורה כללית (כתחליף לנורות ביתיות, בתאורת רחוב, במשרדים ועוד), מסכים (תצוגות), בידור ביתי, צעצועים ועוד. ניתן למצוא את

נורות לד (LED) מתבססות על רכיב אלקטרוני מסוג מצב מוצק - דיודה, מסוג מיוחד, הפולט אור נראה, ומכאן שמן - Light Emitting Diode. השימוש בנורות לד נפוץ יותר ויותר בשנים האחרונות, בכלל המגזרים - תאורה ביתית, ציבורית (כגון תאורת רחוב) ובמקומות עבודה. נורות הלד נעשו זמינות ומחירן הולך ויורד בהתמדה, והן דחקו את הנורות ה"מסורתיות" (נורות ליבון ונורות פלואורסצנט לסוגיהן) עקב כך ועקב יתרונותיהן - נצילות גבוהה (וצריכת חשמל נמוכה) ומשך חיים ארוך. עם זאת, יישום נורות הלד מעורר שאלות בעניין השפעותיהן על הבריאות, ובעיקר בשל מרכיב האור הכחול.

ICNIRP, הוועדה הבין-לאומית להתגוננות בפני קרינה בלתי



ההמלצה היא לתאורה בעלת רכיב כחול נמוך ככל האפשר

השפעות אקוטית

פגיעה תרמית ברשתית העין אפשרית בצפייה במקורות אור חזקים, דוגמת השמש, והיא עלולה אף להביא לעיוורון חלקי. אולם העין מותאמת להתגוננות מקרינה רחבת סרט סביבתית מאור השמש, כמעט בכל המצבים הטבעיים הקיצוניים ביותר. מקורות אור בהירים דוגמת השמש, נורות קשת וקשתות ריתוך, יביאו לתגובת רתיעה טבעית של העין כמעט בכל המקרים. תגובה זו מגבילה את משך החשיפה לזמן מזערי (בדרך כלל פחות מ-1/4 שנייה). עקב כך, וכיוון שעוצמות ההארה של נורות לד אינן מגיעות למגבלות החשיפה בתנאים ריאליים, סיכון הפגיעה התרמית ברשתית מנורות לד אינו גבוה, והחשש העיקרי שעלה בחשיפה מנורות לד הוא מפגיעות פוטו-כימיות ברשתית, כמתואר בסעיף הבא.

פגיעה פוטו-כימית ברשתית העין אפשרית עקב חשיפה לאור כחול, בשל הרגישות הגבוהה יותר של העין לפגיעה מאור זה (בעוצמה גבוהה). ICNIRP סקרה מחקרים שנערכו במכרסמים וביונקים, ואף בבני אדם, אשר נחשפו לאור כחול ולנורות לד, ובהם הודגמה הרגישות הגבוהה יותר של העין לפגיעות עבור מרכיב האור הכחול, בעל הפוטנציאל לפגיעה ברשתית העין בתנאי חשיפה גבוהה וממושכת. אולם מחקרים אלו אינם ניתנים לאקסטראפולציה ישירה עבור השפעות על האדם, והשפעות שקולות יכולות להיגרם גם על ידי קרינה אופטית ממקורות אור אחרים בתנאי חשיפות קיצוניות.

לסיכום פרק זה, נזק אקוטי לרשתית האדם מחשיפות טיפוסיות ללד בעל אור כחול או לבן לא הודגם. אולם פורטו מקרים של חשיפות קיצוניות (סוגי תאורה מיוחדים וסוגי נורות לד מיוחדים) בעלות פוטנציאל פגיעה בעין, עבורן נדרש לנקוט זהירות ולהקפיד על הנחיות הבטיחות של היצרנים (גם אם לא תיגרם פגיעה בפועל עקב מנגנון הרתיעה של העין).

השפעות כרוניות

קיימת דאגה בעניין הסיכון לתחלואת AMD - ניוון של מרכז הראייה ברשתית, עם הגיל (Age-related Macular Degeneration), עקב חשיפה ממושכת למקורות אור, ובכלל זה אור של נורות לד. לתחלואה קיימים מקדמי סיכון - גיל, עישון, גנטיקה, השמנה, מתח, וכן חשיפה לאור שמש.

המחקרים בעניין הקשר בין חשיפה לאור השמש לבין AMD אינם עקביים. חלק מצאו קשר בין חשיפה גדולה יותר לאור שמש לבין AMD, חלקם מצאו קשר עם היווצרות קטרקט ומצב לאחר ניתוח להחלפת עדשה. חלקם לא מצאו קשר אחרי תיקון של השפעות גורמים, וחלק אף מצאו אפקט של "הגנה". ייתכנו בעיות מתודולוגיות במחקרים אלו.

למרות הבעייתיות בנתונים האפידמיולוגיים, הדעה הרווחת היא שחשיפה נצברת לרמות גבוהות של אור עשויה להביא לעומס חמצוני עבור הרשתית, להצטברות רדיקלים חופשיים במרכז הראייה ולהיווצרות מנגנונים מוטגניים, המובילים לתחלואה ניוונית, כגון AMD.

הסיכום של ICNIRP הוא שהדאגות בעניין ההשפעות של חשיפות ארוכות טווח לנורות לד, בעניין תחלואת AMD, נשארו מבוססות על מחקרים אפידמיולוגיים הקושרים בין חשיפות גבוהות לשמש לבין התחלואה.

הנורות במגוון שימושים - טלפונים סלולריים, טאבלטים ומחשבים ניידים, טלוויזיות, פנסים של כלי רכב ועוד.

החשיפה הרבה לקרינה האופטית הנפלטת מנורות לד הביאה לעלייה בדאגה לבטיחות ולבריאות המשתמשים.

נסקור את החששות העיקריים העולים בחשיפה לנורות לד:

- סיכוני חשיפה למקורות אור בעוצמה גבוהה - השפעות אקוטיות והשפעות כרוניות. זאת, בשל היכולת של נורות הלד המודרניות ליצור אור בעוצמה גבוהה, העלול לגרום לפגיעה בעין. קיומו של מרכיב אור כחול גבוה בנורות לד מגביר את החשש.
- הפרעה לשעון הצירקדי. החשש הוא כי מרכיב האור הכחול של הנורות עלול לגרום לפגיעה ב"שעון הביולוגי" של הגוף (לרבות הפרעות לשינה).
- השפעות ריצוד.
- בוחק.

ההתקדמות בטכנולוגיית נורות הלד והחששות מההשפעות על הבריאות

נורות לד יוצרות אור חד-צבעי (דוגמת אור כחול או אור אדום). ייצור של אור לבן (נורות לד לבנות), נעשה על ידי שילוב של חומר זוהר או שילוב של נורות בצבעים שונים. השיטה הראשונה מקובלת כאשר דרוש אור לבן בלבד, בדרך כלל באמצעות שילוב של ציפוי חומר זוהר בנורת לד הפולטת אור כחול.

מרכיב האור הכחול הבולט בנורות הלד הלבנות, בתחילת יישום השיטה, הביא לכך שטמפרטורת הצבע של הנורות הייתה גבוהה (מרכיב אור כחול רב יותר) ופחות נעימה לעין. נורות רחוב, שהותקנו בערים בארצות הברית ובאירופה, הביאו לתלונות על בוחק ועל הפרעות לשינה, ולצורך בהחלפת הנורות לאלו בעלות טמפרטורת צבע נמוכה יותר (בעלות מרכיב קטן יותר של אור כחול).

החששות ממרכיב האור הכחול בנורות הלד הלבנות עלו בהיבטים שונים, בעיקר עקב שיבוש השעון הצירקדי וההשפעות הנלוות אליו (הפרעות שינה, ירידה ברמות המלטונין ותחלואות אפשריות כתוצאה מכך). כמו כן, עלה החשש מהשפעות בריאות עקב מחסור באור אדום ותת-אדום בנורות אלו. עם זאת, יתרון של נורות הלד הוא בהיעדר מרכיב האולטרה-סגול (UV), המסוכן יותר לבריאות אדם ואשר קיים בנורות לבנות "מסורתיות".

עם השנים חלו שיפורים טכנולוגיים, שאפשרו ייצור נורות לד לבנות בעלות טמפרטורות צבע נמוכות יותר, בעלות מרכיב אור כחול נמוך יותר, אך קיימות נורות מסחריות בעלויות נמוכות בעלות מרכיב גבוה של אור כחול.

סיכוני חשיפה למקורות אור בעוצמה גבוהה

מקורות אור חזקים, דוגמת קשתות ריתוך, נורות קשת, מספר נורות טינגיטון-הלוגן, נורות לד (בעוצמה גבוהה) ולייזרים, יכולים לפגוע בעין ואף בעור. על פי ICNIRP, הסיכונים האפשריים לעין ולעור עבור חשיפות בתחום האור הנראה הן:

- פגיעה תרמית ברשתית העין.
- פגיעה פוטו-כימית ברשתית העין, עקב חשיפה לאור כחול.
- פגיעה תרמית בקרנית או בעור, עקב קרינה בעוצמה גבוהה.
- נתייחס בעיקר לשני הסיכונים הראשונים (השלישי דורש רמות חשיפה בלתי שכיחות עבור נורות לד) ונבחן את ההשפעות האקוטיות ואת ההשפעות הכרוניות.

הפרעה לשעון הצירקדי

השעון הצירקדי הוא שעון ביולוגי הקיים באדם ומושפע מהאור שאליו הוא נחשף. חשיפה לאור העשיר במרכיב אור כחול יכולה להביא להפרעה בקצב הצירקדי, כיוון ששיא רגישות העין עבור ההתאמה לקצב הצירקדי הוא באזור האור הכחול (אורך גל של 460-470 ננומטר), היכן שלרוב נורות הLED הלבנות ישנה פליטה חזקה. יש להדגיש שההפרעה תתרחש אם החשיפה לעיל תהיה בשעות הערב או הלילה, אך לא בשעות היום.

נערכו מחקרים רבים בעניין ההשפעות השליליות של מקורות אור מלאכותיים על הבריאות, בעיקר בלילה. חשיפה לאור חזק בלילה מדכאת את ייצור המלטונין ומפריעה לשינה - דבר שיכול להביא למגוון השפעות בריאות שליליות - פסיכולוגיות, קרדיווסקולריות ואף תחלואת סרטן.

תכולת האור הכחול הגבוהה בנורות LED בעלות טמפרטורת צבע גבוהה מביאה לדאגה רבה יותר, עקב שיא הרגישות של הסתגלות הקצב הצירקדי של האדם, לאור כחול באורך גל של 470 ננומטר, ויעילותו הרבה יותר של האור הכחול בדיכוי יצירת מלטונין בשעות הלילה.

הדור המוקדם של נורות הLED התאפיין בטמפרטורת צבע גבוהה (תכולה גבוהה של מרכיב אור כחול), וגרר דאגה עקב השפעת הנורות על הבריאות. כיום, הטכנולוגיה מאפשרת ייצור נורות LED בעלות מרכיב נמוך יותר של אור כחול, בעלויות פוחתות והולכות.

השפעות הריצוד

ICNIRP מציינת שנורות LED בעלות יכולת עמעום של האור עלולות ליצור ריצוד עקב הזנתן באות בעל אפנון, בצורה של פולסים, הגורם לנורות לפעול בעוצמות אור בעלות שינויים מחזוריים (מעין הבהוב). אצל חלק מהאנשים עלולות להופיע עקב כך תופעות של כאבי ראש, מיגרנות ותופעות שליליות לא ספציפיות אחרות. המנגנונים והיקף האוכלוסייה החווה את ההשפעות דורשים מחקר נוסף. ICNIRP מציינת כי אפילפסיה עקב ריצוד קורית בדרך כלל בתדרים של 3 עד 70 הרץ, ועל כן היא מהווה מקור לדאגה רק במצבי כשל מסוימים של הנורות. עוד מציינת ICNIRP כי הריצוד עשוי גם לגרום לתופעות של מראות פנטום וסטרובוסקופיה.

בוהק

ICNIRP מציינת כי נורות LED מוקדמות "נדחפו" לשוק, רבות מהן על ידי חברות בלתי מנוסות בתכנון נכון של תאורה. גופי התאורה שיוצרו היו בלתי מתאימים לשימוש פנים ולשימוש חוץ, כיוון שעוררו אי-נוחות והפרעה עקב בוהק.

תקנים, רגולציה ושיקולי בטיחות

ICNIRP מתארת את היסטוריית התקינה להגבלת החשיפה לתאורה. מוסבר כי ראשית, נקבעה תקינה עבור בטיחות לייזר, וכי מגבלות חשיפה לנורות נקבעו רק לפני 25 שנה עקב הסיכון הנמוך יחסית ועקב חשש ממרכיבי אולטרה-סגול (UV). בהמשך, פותחו גם מגבלות חשיפה לאור כחול, עקב גילוי הרגישות הגבוהה יותר לחשיפה אליו.

לא פותחו מגבלות ייחודיות לחשיפה לנורות LED, אך קיימות מגבלות חשיפה למקורות אור בכללותם, ובפרט בחשיפה

בתעסוקה, דוגמת מגבלות IEC, ACGIH ו-ICNIRP. מגבלות אלו ניתנות ליישום גם עבור נורות LED.

ICNIRP מפרטת מהם הגדלים הפיזיקליים שיש להתייחס אליהם בהערכת החשיפה של נורות (דוגמת צפיפות הספק ושטף) וממליצה להתייחס לנורות LED כאל מקורות אור לא קוהרנטיים.

סיכום ICNIRP - מסקנות והמלצות

- אף שנורות LED לבנות תהיינה הנורות השכיחות ביותר בעתיד הקרוב, לא צפוי שהן תגרומנה לנוק אקוטי לרשתית בתנאי צפייה סבירים.
- סיכוני חשיפות ארוכות טווח לנורות LED בעלות עוצמה גבוהה ובעלות טמפרטורת צבע גבוהה (עשירות באור כחול), או למקורות אור אחרים בעלי טמפרטורת צבע גבוהה, הם כרגע בלתי ידועים. אולם לא צפוי שמקורות אלו יהוו סיכון לפגיעות ברשתית עבור פרטים בריאים.
- אולם מגזרים מסוימים באוכלוסייה, דוגמת ילודים, ילדים צעירים ומבוגרים, עשויים להיות רגישים יותר להשפעות ביולוגיות מסוימות בחשיפות לנורות LED העשירות באור כחול.
- עבור נורות LED של אולטרה סגול (UV), אינפרה-אדום (IR) ואור כחול טהור בבהירות גבוהה נדרש להתייחס בזהירות רבה יותר, הואיל והן לא תגרומנה (או שתגרומנה באופן מופחת) לתגובות רתיעה מהאור ולהגנה טבעית בפניו.
- תצוגות הLED הנוכחיות, בעלות הבהירות הגבוהה, של מסכי מחשב וטלפונים סלולריים, חושפות את העין לגלים קצרים יותר (לאור כחול יותר) בעוצמה גבוהה מבעבר. אבל אם הן נוחות לצפייה, רמות אלו אינן צריכות להיחשב כמוזיקות (אין בעיית הפרעה לשינה אם הצפייה היא ביום).
- לבסוף, השימוש הגדל בנורות LED, המשפיע על רווחת האדם, עשוי לגרום לחשיפות גבוהות יותר לאור כחול (קצר גל) מאשר מקורות אור "מסורתיים". מגמה זו צריכה להיות מנוטרת, עקב השימוש הנפוץ בנורות LED העשירות באור כחול בבתי ספר, במשרדים ובמתקנים רפואיים, אשר עלול להגדיל במידה ניכרת את מידת האור הכחול/קצר הגל הנקלט ברשתית של אדם מסוים, לאורך חייו.
- ICNIRP מביעה את תמיכתה בשימוש ההולך וגדל בנורות LED בעלות טמפרטורת צבע נמוכה (אור "חם" יותר, בעל מרכיב נמוך של אור כחול), מתוכננות היטב, בעלות בוהק נמוך ואשר מותקנות לפי כללי תכנון נכון. עבור נורות אלו, לא צפוי יותר סיכון מאשר עבור מקורות אור "מסורתיים", בעלי אותה טמפרטורת צבע. כמו כן, כיוון שנורות LED לבנות אינן פולטות אור אולטרה סגול (UV), בדומה לנורות פלואורסצנט ולמספר סוגים של נורות ליבון, הבחירה בהן אף בטוחה יותר.
- השפעות בריאות שליליות מוכחות של נורות הLED הן עקב אפנון של האור, העלול לגרום לריצוד (לעתים תוך סיכונים סטרובוסקופיים) ועקב התקנה לא נאותה שעלולה לגרום לבוהק.
- מחקר נוסף דרוש עבור מגמות של תאורה מלאכותית, דוגמת שאיבת לייזר לא קוהרנטי והשפעות בריאות אפשריות של חשיפה לקרינה אופטית - ספקטרום ועוצמות שהעין לא נחשפה אליהם באופן מסורתי. ■