



הקרן לבריאות וסביבה
Environment and Health Fund

2010

בריאות וסביבה



www.ehf.org.il

עלון הקרן לבריאות וסביבה

ברכות

פרופ' אילן חת

חזון ומטרות

ד"ר רות אסטריין

האם חוק אוויר נקי ישפר את בריאותנו?

מאיה שדה

נשימה (לא) נכונה

ד"ר אלון פרץ

פיתוח אסטרטגיות בקרה

על זיהום אוויר

פרופ' ג'יימס שאואר

לבו של זיהום האוויר

פרופ' רוברט ברוק

זיהום אוויר ותוצאי לידה

ד"ר רונית קלדרון-מרגלית

רחף חומרי הדברה ופגיעה

עצבית בילדים

פרופ' יורם פינקלשטיין

ד"ר יעל דובובסקי

על העלות הבריאותית של

זיהום אוויר

פרופ' ניר בקר

הפחתת זיהום אויר -

הפחתת תמותה

מאיה שדה

פעולות הקרן לבריאות וסביבה

הקרן לבריאות וסביבה (ע"ר)
רחוב רבקה 11, ירושלים 93461
טלפון: 02-6738478
פקס: 02-6749780



ברכות

חזון ומטרות

ושוב אני שמח לברך על יציאתו לאור של עלון הקרן לבריאות וסביבה. העלון מציג מגוון מאמרים העוסקים בקשר שבין בריאות האדם לאיכות הסביבה בישראל. הקרן לבריאות וסביבה הוקמה ב-2007, ומאז היא פועלת כדי להגביר את ההבנה המדעית של הקשר בין שני תחומים אלו; לשם כך היא תומכת במחקרים, מעניקה מלגות לדוקטורנטים ופוסט-דוקטורנטים ומארגנת כינוסים וימי עיון. במוקד עיסוקה הרצון להפחית את הזיהום הסביבתי ובכך לשפר את בריאות הציבור. לשם כך מעודדת הקרן שיתוף פעולה בין-תחומי של חוקרים ומוסדות ופועלת לנגישות רבה יותר של הידע המדעי לטובת מקבלי ההחלטות והציבור הרחב כאחד.

תקוותי היא כי פרסומה של חוברת זו יהא עוד צעד בהארת המתרחש בארץ בכל הקשור בבריאות וסביבה ובהתוויית דרכים אפשריות לשיפור הממשק ביניהן.

פרופ' אילן חת,
יו"ר הוועד המנהל, הקרן לבריאות וסביבה

הופעתן של מחלות ונכויות כרוניות הגיעה לממדי מגפה המשפיעה על שלישי מאוכלוסיית העולם. אסתמה, אוטיזם, מומים מולדים, סוגי סרטן, מחלות לב וכלי דם, נכויות התפתחותיות, סוכרת, אנדומטריוזיס, אי-פריון, מחלת פרקינסון ותחלואה אחרת גורמים לסבל ולדאגה הולכים וגוברים. ראיות מדעיות מורות על קשר בינם ובין מגוון גורמים סביבתיים. החברה המתועשת המודרנית נשענת על מערך רחב של חומרים כימיים, ובהם חומרים סינתטיים, תרכובות, מתכות ויסודות קשורים, כגון עופרת, כספית וארסן. החשיפה לחומרים אלו ולמזהמים אחרים היא מהגורמים המרכזיים לתחלואה. המזהמים התפשטו באוויר, במים, באדמה, במזון, בבתיים, בבתי הספר ובמקומות העבודה שלנו, ולכן גם בגופנו. מקורות החשיפה כוללים פליטה מבערה תעשייתית וממכוניות, חומרי הדברה, חומרים כימיים תעשייתיים וכאלה הנמצאים בבית ובמקומות העבודה וכן מוצרי היגיינה ותרופות שאליהם אנשים נחשפים באופן נרחב.

מידת הסיכון בכל אחד מהמזהמים הסביבתיים שונה ותלויה בין השאר בשלב בחיים שבו נחשפים להם: נראה כי בשלב העוברי קיימת רגישות מיוחדת לנזק התפתחותי מרעלים סביבתיים. נזק כזה עלול להיות עמוק ובלתי הפיך.

בידינו ידע מבוסס על קשרים בין חלק מהמזהמים לבין הנזקים שהם גורמים והידע על מזהמים אחרים הולך ומתגבש, אך יש להוסיף ולחקור את המנגנונים, רמות החשיפה וסוגי החשיפה המזיקים לבריאות. כדי לקבוע מה גורם לנו לחלות וכיצד למנוע מחלות עתידיות יש צורך בחקר האינטראקציה בין חומרים כימיים וכן במחקרים ארוכי טווח שיבדקו את הקשר שבין חשיפות למזהמים ובין בעיות בריאות המתעוררות מאוחר יותר לאורך החיים.

מטרתה של הקרן לבריאות וסביבה להיענות לצרכים אלו ולפעול למען קידומם של ההבנה המחקרית, קווי מדיניות טובים יותר, מניעת זיהום וחולי ואף שיתוף פעולה בין בעלי אינטרסים המעוניינים בשיפור בריאות הציבור בישראל.

ד"ר רות אסטריין
מנכ"לית הקרן לבריאות וסביבה

האם חוק אוויר נקי ישפר את בריאותנו?

זיהום האוויר גורם למחלות לב, מחלות נשימה, סרטן ריאות ומחלות נוספות. שיפור הבריאות תלוי בהפחתת המזהמים הרעילים שאליהם אנשים נחשפים

לסיכום, עלינו להפחית את רמות זיהום האוויר שאנו חשופים להן ולהשקיע מאמצים בהפחתת מקורות הזיהום המשפיעים על חשיפה זו. מאמץ יידרש גם לאפיון הזיהום התוך-ביתי, שכן את רוב זמננו אנו מבילים בתוך מבנים. הידע המדעי על הקשר בין זיהום אוויר לבריאות יכול לסייע לאנשי המקצוע לבחור מדדים מתאימים לבחינת ההגנה על חיי אדם. וכדי ש"חוק אוויר נקי" ישפר את בריאותנו, דרושים מחויבות לאומית ומשאבים ליישומו ואכיפתו.

מאיה שדה, MSc

פיתוח תכניות, הקרן לבריאות וסביבה

בינואר 2011 עומד להיכנס לתוקפו "חוק אוויר נקי". עלון זה ייחד לקשר שבין אוויר נקי לבריאות. "חוק אוויר נקי" נועד "להביא לשיפור באיכות האוויר... למנוע ולצמצם את זיהום האוויר... לשם הגנה על חיי אדם, בריאותם ואיכות חייהם... ולשם הגנה על הסביבה...". החוק ירחיב ויחדש את התקנות בעניין ריכוזי מזהמים באוויר ופליטות מותרות, ירחיב את סמכויות האכיפה, יאפשר להטיל קנסות מנהליים על מזהמים ויצגי תכניות לאומיות ומקומיות להפחתת זיהום אוויר.

הקשר בין זיהום אוויר לבין בריאות וחולי הוא קשר סיבתי, והוא מעוגן בבסיס מדעי רחב. ארגון הבריאות העולמי הגדיר את זיהום האוויר "עניין בעל חשיבות עליונה בבריאות הציבור". לפי חישוביו משנת 2002, זיהום האוויר אחראי ל-1.4% ממקרי המוות בעולם. זיהום אוויר מורכב בעיקר מפליטת מזהמים הנוצרים בשרפת דלקים בתחבורה ובתעשייה, כגון פחמן חד-חמצני, גופרית דו-חמצנית, תחמוצות חנקן, אוזון וחלקיקים. המשפיעים ביותר על הבריאות הם החלקיקים העדינים שסופחים על פניהם מגוון של מזהמים אחרים. עיקר השפעתם על מחלות מערכת הלב וכלי הדם ועל מחלות נשימה, כגון ברונכיטי ואסתמה. אוויר מזוהם נמנה אף עם הגורמים לסרטן ריאות. מחקרים מהשנים האחרונות מראים שגם התפתחות העובר מושפעת מזיהום אוויר.

מה צריך לקרות אם כן כדי ש"חוק אוויר נקי" ישפר את בריאותנו, ומה הם המדדים הבריאותיים כדי למדוד את הצלחת החוק? במאמרם של סאמט וקרוסקי מ-2007 השניים מציעים מסגרת חשיבה בריאותית למדיניות סביבתית. הם שואלים מה הם המזהמים המשפיעים ביותר על הבריאות; אם ביכולתנו לזהות את המזהמים שחשוב ביותר להפחית; עד כמה משפיעה הפחתת פליטות במקור על צמצום החשיפה לזיהום; ועד כמה הביאו התערבויות העבר שנועדו להפחית זיהום לידי שיפור הבריאות.

בעקבות סאמט וקרוסקי נתמקד במאמר זה בכמה סוגיות רלוונטיות לדיון על החשיבות הבריאותית שבהפחתת זיהום אוויר: במחקר אמריקני נמצא כי ממות החלקיקים הנפלטים מתחנות כוח בארה"ב

גדולה פי 25 ממות החלקיקים הנפלטים מעשן סיגריות; ועם זאת, החשיפה לחלקיקים מזיקים שמקורם בעישון סביל גדולה פי 50 מהחשיפה לחלקיקים מתחנות כוח. ברור אפוא שמנקודת מבט בריאותית פליטת מזהמים איננה המדד לבריאות האדם; החשיפה לזיהום אוויר היא הקובעת את מנת הזיהום המגיעה לגוף ומשפיעה על הבריאות.

תוצאותיו של מחקר אחר מאששות מסקנות אלו; במחקר חושבה (בגרמים) כמות החלקיקים העדינים הנשאפים מכלי רכב ומתחנות כוח, ביחס לטון פליטה. נמצא כי שאיפת חלקיקים בעקבות חשיפה לכלי רכב גדולה פי 10 משאיפת חלקיקים שמקורם בפליטה מתחנות כוח. הדברים מדליקים נורות אדומות במיוחד אם מביאים בחשבון את ממצאיו של מחקר אמריקני נוסף מהעת האחרונה: הטווח המושפע ביותר מזיהום אוויר מכלי רכב הוא עד 500 מטר מכביש ראשי¹. בישראל, מדינה קטנה וצפופה, בה 92% מהאוכלוסייה היא עירונית, אפשר להעריך כי אחוז גבוה מהאוכלוסייה מתגורר במרחק של עד 500 מטר מדרך ראשית. בתל אביב לבדה עוברים בכל יום כ-650,000 כלי רכב. בכל תחנות הניטור בישראל הממוקמות בגובה הכביש, נמדדים שיעורים חריגים של מזהמים. חשיפה לזיהום אוויר מתחבורה קשורה להחמרת אסתמה אצל ילדים, לירידה בתפקודי ריאה וכן לתחלואה ותמותה ממחלות לב.

ביחס לטון פליטה, שאיפת חלקיקים מזיקים בעקבות חשיפה לכלי רכב גדולה פי 10 משאיפת חלקיקים מתחנות כוח.

כדי לבדוק תוצאות של רגולציה, למשל באמצעות חוק כמו "חוק אוויר נקי", דרושים מדדי בריאות. אם רוצים להבחין בשינויים מהירים, כדאי לבחור במדד המשקף את השינויים היומיים במספר האשפוזים ומקרי המוות וכן במדד קליני כגון שימוש בתרופות. אם רוצים לבדוק שינויים ארוכי-טווח, כדאי לבדוק למשל מגמות בתחלואת נשימה כרונית ובתחלואת כלי דם ותפקוד ריאות וכן תמותה ממוצעת לאורך זמן.



מקורות:

מדינת ישראל. ספר החוקים, רשומות 2174, 31 ביולי 2008.
ניטור איכות אוויר בישראל. דו"ח המשדר להגנת הסביבה, 2008.
Assessing the Health Impact of Air Quality Regulations: Concepts and Methods for Accountability Research. Health Effects Institute, Communication 11. January 1, 2003.
Khublarian, A. (2010) Climate and Health: The Short Term Effects of Climate Variables on Mortality in Tel-Aviv, MA thesis. Tel-Aviv University, p. 10.
Ott, W.R. (1995). Human Exposure Assessment: The Birth of a New Science. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 5: 449-472.
Samet, J., & Krewski, D. (2007). Health Effects Associated with Exposure to Ambient Air Pollution. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. Volume 70, Issue 3 & 4, January 2007, 227-242.
Smith, K.R. (2002). Place Makes the Poison: Wesolowski Award Lecture – 1999. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. 12: 167-171.
Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. Health Effects Institute, Special Report 17. January 1, 2010.

¹הגדרת כביש ראשי היא בד"כ - כביש שבו נוסעים יותר מ-12,000 כלי רכב ביום. מקור: מסר אישי מ-Maria Constantini, HEI



נשימה (לא) נכונה

שכיחות מחלת האסטמה עלתה משמעותית בשני העשורים האחרונים של המאה הקודמת, ולזיהום האוויר מרכיב אפשרי בעלייה זאת

כמעט כולנו חזינו באדם הנתון בהתקף אסטמה - עובדה המעידה לא רק על הסימפטומים הבולטים של המחלה - אלא גם על תפוצתה. על פי המרכז הלאומי האמריקאי לבקרת מחלות (CDC) עלה נטל המחלה בשנים 1980-1999 ביותר מ-75%. שיעורי האסטמה במדינות מתועשות דוגמת ישראל, נעים בין 2% ל-10%, ומגמת העלייה מתרחשת בעיקר בקרב ילדים עד גיל 6. הסיבות לכך עדיין אינן ברורות דיו, אך מזהמי האוויר הם אחד מהגורמים הסביבתיים המשמעותיים ביותר שנחשדים בכך.

ילדים המתגוררים במרחק 75 מטר מדרכים ראשיות היו בסיכון מוגבר של פי 1.5 לחלות באסטמה.

הילדים רגישים במיוחד

אסטמה ("גנחת הסמפונות" בעברית) היא מחלה כרונית של דרכי הנשימה, המתאפיינת בתגובה מוגזמת של מערכת הנשימה לגירויים בתוך או מחוץ לגוף, בהיווצרות דלקת ובחסימות בדרכי הנשימה. המחלה גורמת בדרך-כלל להתכווצות השריר החלק בדופן דרכי הנשימה, לצפצופים ולקוצר נשימה.

כיום מושקע מאמץ מחקרי רב להבנת יחסי הגומלין שבין אסטמה לבין הסביבה, ובעיקר לזיהום האוויר, שרובו מעשה ידונו: תחבורה, תחנות כוח ותעשייה (קיימים גם מקורות זיהום טבעיים, כגון סופות אבק ושריפות יער). המחקרים האפידמיולוגים מתמקדים בגורמי נזק בריאותי מוכרים (אוזון, חומר חלקיקי, חנקן דו-חמצני, גופרית דו-חמצנית ופחמן חד-חמצני) ומוצאים כי חלקם יכולים להשפיע על תהליכי הדלקת - ובכך על גרימת התקפים והחמרת המחלה. לעומת זאת, הנתונים עדיין אינם ברורים מספיק בנוגע להשערה שמזהמים סביבתיים משפיעים גם על היווצרות המחלה מלכתחילה - השערה הנמצאת בחזית המחקר כיום. אחת האפשרויות היא שלמזהמים אלו יש יכולת השראה על הביטוי (פנוטיפ) של גורמים גנטיים, המקנים נטייה לפיתוח אסטמה.

חלק ניכר מהמחקרים מתמקדים בילדים, מאחר והם רגישים במיוחד להשפעות זיהום האוויר:רקמת הריאות והמערכת האימונית שלהם מתפתחות, הם פעילים

בעוד ששיעורים דומים לישראל דווחו במדינות כמו מלטה, אורוגוואי, כוית ופנמה, שיעורי המצאות גבוהים יותר דווחו בארה"ב, אנגליה, קנדה, אוסטרליה וניו זילנד.

למרבה הצער לא נאספים בארץ בקביעות נתונים על מקרי אסטמה חדשים (היארעות), והדבר מקשה על מחקר הקשר לזיהום האוויר. בשנות ה-80, עם הקמת תחנת הכוח בחדרה נערך מחקר שמצא הכפלה (כמעט) בהימצאות אסטמה בקרב הילדים החיים בסביבתה (5.7% בשנת 1980 ובטרם הקמת התחנה - לעומת 11.2% בשנת 1989 כשפעלה במלוא עוצמתה). עם זאת, לא ניתן היה להסביר את העלייה בשיעורי ההימצאות במגורים בקרבת התחנה. במחקר אחר (1984) שבדק ילדים סביב מפרץ חיפה, מרבית הסימפטומים הנשימתיים שדווחו על ידי הורי התלמידים היו באזורים שבהם זיהום האוויר הוגדר כבינוני או גבוה, אך לא הייתה מגמת ירידה בתפקודי הריאות על פי אזור המגורים.

מחקר גדול מתנהל כיום, ובודק את הקשר בין אסטמה במתגייסים לצה"ל והפיזור הגיאוגרפי של זיהום אוויר בישראל. מחקר עכשווי אחר, בוחן את הנושא בקרב ילדים במפרץ חיפה.

דר' אלון פרץ

רופא מומחה ברפואה תעסוקתית

שירותי בריאות כללית

מקורות:

Delfino RJ. (2002) Epidemiologic evidence for asthma and exposure to air toxics: Linkage between occupational, indoor, and community air pollution research. Environ Health Perspect. 110(Suppl 4):573-589
Goren AI, Hellman S, Brenner S, et al. (1990) Prevalence of respiratory conditions among schoolchildren exposed to different levels of air pollutants in the Haifa Bay area, Israel. Environ Health Perspect. 89:225-231
Graham LM. (2004) All I need is the air that I breath: Outdoor air quality and asthma. Pediatric Respiratory Reviews. 5(suppl A):S59-S64
Shohat T, Folan G, Tamir R et al. (2000) Prevalence of asthma in 13±14 yr-old schoolchildren across Israel. Eur Respir J. 15:725-729

פיתוח אסטרטגיות יעילות לצמצום הנזק הבריאותי ממזהמי אוויר מחייב להבין מה הם מקורות הזיהום, איך הוא מתפזר בסביבה ומה הם התהליכים הכימיים המתרחשים בו. כל אלו משפיעים על מידת החשיפה של בני אדם למזהמי האוויר. החשיפה למקצת המזהמים, למשל למזהמי אוויר רעילים הכוללים מתכות ולמזהמים אורגניים שרידיים (POPs), נעשית על-ידי נשימת אוויר מזהם או מגע עם מים, מזון או קרקע שהזדהמו בעקבות שקיעת המזהמים אל פני כדור הארץ. כדי לצמצם את החשיפה האנושית למזהמים אלו נעשים ניסיונות לצמצם את פליטתם לאוויר. אסטרטגיות ההגנה המיטביות מפני מזהמי אוויר הגורמים לנזק הבריאותי הרב ביותר בבני אדם באמצעות נשימה ישירה צריכות להיות מכוונות להפחתת הפליטות שהחשיפה האנושית להן היא הרבה ביותר ושהרווח לציבור מצמצומן יהיה הגדול ביותר. פיתוח אסטרטגיית הגנה מיטבית מפני מזהמי אוויר כדוגמת פחמן חד-חמצני וגופרית דו-חמצנית יכול להסתמך ברובו על מדידת פליטה, מדידת הריכוז באוויר וחישוב הפיזור באוויר (Yuval et al., 2007; de Foy et al., 2007).

בהשוואה לזיהוי המקורות לפליטת פחמן חד-חמצני וגופרית דו-חמצנית, זיהוי המקורות הגורמים לזיהום אוויר על-ידי אוזון טרופוספרי מסובך הרבה יותר, כיוון שאוזון הוא מזהם אוויר שיוני. פירוש הדבר הוא שפליטתו הישירה לאוויר מזערית; רובו המכריע נוצר באוויר בעקבות תהליכים כימיים המתרחשים בו. הפחתת חשיפת האוכלוסייה לאוזון מצריכה אפוא הפחתת פליטות של תחמוצות חנקן ו/או תרכובות אורגניות נדיפות שמהם הוא נוצר. למזלנו פותחו מודלים סבירים לחישוב יצירת אוזון באוויר העירוני היכולים לסייע בפיתוח אסטרטגיות הפחתה מתאימות ובזיהוי יעילותם של תרחישי הפחתה שמטרותיהם הן לצמצם את הנזק הבריאותי הנגרם מחשיפה לאוזון ולהשיג איכות אוויר העומדת בתקן (Weinroth et al., 2008; Cohan et al., 2006).

הגנה על בריאות הציבור מזיהום אוויר חלקיקי (כלומר ממוצקים ו/או נזלים באוויר) מציבה אתגר גדול הרבה יותר מהאתגר שמציבה הגנה מפני מזהמי אוויר גזיים כדוגמת פחמן חד-חמצני, גופרית דו-חמצנית ואפילו אוזון. הקושי בהפחתת השפעות הבריאות השליליות

פיתוח אסטרטגיות בקרה על זיהום אוויר

צמצום הנזק הבריאותי הנגרם מזיהום אוויר מצריך הבנה של מקורות הזיהום, של אופן פיזורו בסביבה ושל התהליכים הכימיים המתרחשים בו; כל אלו משפיעים לבסוף על מידת החשיפה

שמקורן בחומר חלקיקי באוויר נובע הן מתהליכי היצירה המסובכים של החלקיקים והן מהתהליכים הכימיים המורכבים שמתחוללים בהם באוויר. בניגוד למזהמים גזיים, חלקיקים הם תערובת מורכבת ביותר של חומרים אורגניים, מלחים אנאורגניים, מתכות וחומרים מקרום כדור הארץ. נוסף על כך, החלקיקים נבדלים זה מזה בגודלם בסדרי גודל רבים. תכונותיהם הפיזיקליות והכימיות הן הקובעות את השפעתם הביולוגית על האוכלוסייה הנחשפת להם (Delfino et al., in press). לחלקיקים גם מקור מעורב: קצתם נפלטים ממקורות טבעיים, קצתם נפלטים ישירות ממקורות אנתרופוגניים (מעשה ידי אדם), כגון תחבורה ותהליכי שרפה, וקצתם נוצרים באוויר ממזהמים גזיים כגון גופרית דו-חמצנית, תחמוצות חנקן ותרכובות אורגניות נדיפות שמתחוללים בהם תהליכים כימיים. למרות הקושי הגדול יש צורך לפתח הבנה כמותית של מקורות החלקיקים המשפיעים על החשיפה האנושית, כדי להבין טוב יותר את הנזק הבריאותי שלהם וכדי לפתח אסטרטגיות לצמצומן.

פרופ' ג'יימס שאואר

מחלקת הנדסה אזרחית וסביבתית

אוניברסיטת יסקונסין, מדיסון

תרגום: ד"ר אריה ונגר, אדם טבע ודין

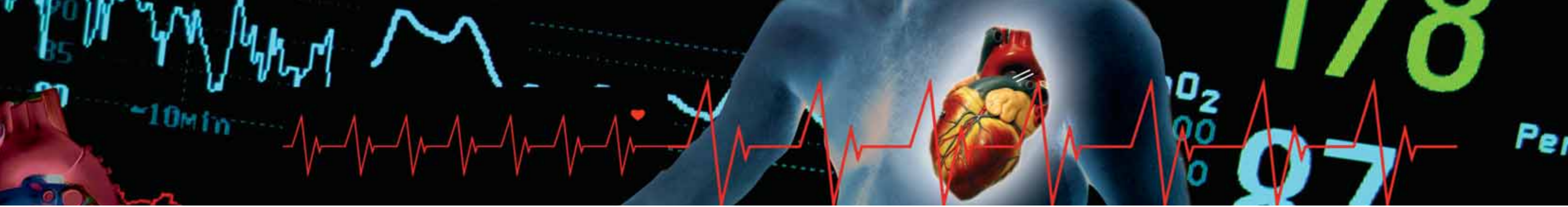
מקורות:

Cohan et al. (2006). Control Strategy Optimization for Attainment and Exposure Mitigation: Case Study for Ozone in Macon, Georgia. Environmental Management. 38: 451-462.
de Foy et al. (2007). Modelling Constraints on the Emission Inventory and on Vertical Dispersion for CO and SO2 in the Mexico City Metropolitan Area Using Solar FTIR and Zenith Sky UV Spectroscopy. Atmospheric Chemistry and Physics. 7: 781-801.
Delfino et al. (in press). Airway and Systemic Inflammation are Differently Associated with Primary and Secondary Organic Aerosols in an Elderly Panel Cohort. Epidemiology. 21.
Sarnat et al. (2010). Assessing the Spatial and Temporal Variability of Fine Particulate Matter Components in Israeli, Jordanian, and Palestinian Cities. Atmospheric Environment. 44: 2382-2392.
Von Schneidemesser et al. (2010). Seasonal and Spatial Trends in the Sources of Fine Particle Organic Carbon in Israel, Jordan, and Palestine. Atmospheric Environmen 44: 3669-3678
Weinroth et al. (2008). Simulations of Mideast Transboundary Ozone Transport: A Source Apportionment Case Study. Atmospheric Environment. 42: 3700-3716.
Yuval et al. (2007). Allocation of Routinely Monitored Mixing Ratios of Nitrogen Oxides to Their Sources. Environmental Science and Technology. 41: 7215-7221.

אף שהידע בקשר להשפעות הבריאותיות ומקורות המזהמים על-גבי החלקיקים עדיין אינו שלם, יש צורך לשלב אותו בפיתוח אסטרטגיות להפחתת זיהום אוויר חלקיקי.

מעבודה שפרסמו בעת האחרונה סרנת וחבריו (Sarnat et al., 2010) עולה כי בשנת 2007 היה הממוצע השנתי של הרכב חלקיקים נשימים עדינים שקוטרים קטן מ-2.5 מיקרומטר (PM2.5) - בחיפה, תל-אביב וירושלים - כ-30% אמוניום-סולפט ואמוניום-ניטרט, 35% תרכובות מכילות פחמן וכ-10%-15% חומרים מקרום כדור הארץ. מחקר נוסף של פון שניידרמסר וחבריה (von Schneidermesser et al., 2010) הראה כי מרבית החלקיקים המכילים פחמן נוצרים באוויר בתהליכים פוטוכימיים מתרכובות אורגניות נדיפות, ושמונעי כלי רכב ושרפת ביומאסה תורמים להם תרומות קטנות יותר. אף שמחקרים אלו מספקים בסיס לפיתוח אסטרטגיות להפחתת ריכוזי חומר חלקיקי עדין באוויר, אין בהם די תובנות בעניין האסטרטגיות האופטימליות למזעור הנזק הבריאותי הנגרם מחלקיקים אלו. משום כך דרושות אסטרטגיות





לבו של זיהום האוויר

מחלות לב, ולא מחלות ריאה, הן הגורם המשמעותי לתמותה מזיהום אוויר חלקיקי



פרופ' רוברט ברוק

לא מזמן פרסם ארגון הלב האמריקני נייר עמדה (שני מסוגו) על הקשר בין זיהום אוויר למחלות לב. הנייר סוקר את מגוון המחקרים המוכיחים כי זיהום אוויר חלקיקי בעקבות בערה מכלי תחבורה או תהליכים תעשייתיים עלול לגרום להתקפי לב. מטרת הכותבים הן ראשית לעורר מודעות לעובדה שזיהום אוויר חלקיקי הוא גורם לתחלואה קרדיו-וסקולרית בדיוק כמו השמנת-יתר, מחסור בפעילות גופנית, תזונה לא בריאה ועוד; ושנית - לגרום לצוותי הבריאות להזהיר את הציבור מהאוויר המזוהם ולנקוט אמצעי זהירות. עד כמה גדולה השפעת הזיהום על הלב? איך היא מתרחשת? אילו פעולות עלינו לנקוט כדי להיזהר מהאוויר המזוהם? על כך בשיחה עם פרופ' רוברט ברוק, מוביל צוות החוקרים שכתב את נייר העמדה וקרדיולוג מאוניברסיטת מישיגן.

הוכחות חותכות

איך הצלחתם להוכיח את ההשפעה האקוטית של זיהום אוויר על הלב?

יש סוגים שונים של הוכחות לכך שחלקיקי זיהום אוויר יכולים לעורר התקף לב; יחד הם מהווים הוכחה חזקה שזיהום חלקיקי אכן עלול לגרום להתקפי לב. מקורו של הסוג הראשון במחקרים אפידמיולוגיים. ברחבי העולם נעשו מחקרים שהראו כי עלייה בכמות החלקיקים באוויר בימים שלפני ובמקרים מסוימים בשעות לפניו קשורה לעלייה בסיכון להתקפי לב. מקור אחר של הוכחה מגיע ממחקרים על הקשר בין זיהום אוויר חלקיקי לשינויים פיזיולוגיים שיכולים להעלות סיכוי להתקפי לב פתאומיים, כגון עלייה בלחץ דם, התכווצות ותפקוד לקוי של כלי דם, שינויי אק"ג המרמזים על ירידה בזרימת דם ללב, דלקת סיסטמית ונטייה מוגברת להיווצרות קרישי דם. לבסוף, ניסויים בחיות ומחקרים של חשיפה מבוקרת בבני אדם הראו שבעקבות חשיפה לרמות גבוהות של חלקיקים נגרמות השפעות שליליות העלולות להוביל להתקפי לב בקרב אנשים בקבוצות סיכון שונות.

עד כמה גדולה השפעת זיהום האוויר על הסיכוי להתקף לב? כמה אנשים לוקים במחלות לב בגלל זיהום אוויר?

ברמת הפרט, חשיפה לרמות גבוהות של זיהום אוויר חלקיקי, מעלה את הסיכון להתקף לב באותו יום או

ביום למחרת ב-1%. משמעות הדבר היא שבימים שזיהום האוויר גבוה, באוכלוסייה בת מליון איש, יש מקרה מוות אחד נוסף מהתקף לב. אם מביאים בחשבון שמיליוני אנשים ברחבי העולם חשופים בכל יום לזיהום אוויר, האיום על בריאות הציבור הופך ממשי ועל פי ארגון הבריאות העולמי עלול לגרום ל-800,000 מקרי מוות מיותרים בשנה - הגורם ה-13 ברשימת גורמי המוות בעולם של ארגון הבריאות העולמי. צריך לזכור שעד כאן דיברנו רק על הסיכון מחשיפות לטווח קצר. ההשלכות על בריאות הציבור בגלל הקשר בין חשיפה ממושכת לזיהום אוויר לבין תמותה ממחלות לב עלולות להיות גבוהות עוד יותר. מחקרים על חשיפה לטווח ארוך מראים שהסיכוי ללקות בהתקף לב גבוה יותר אצל אנשים החיים כמה שנים באזורים של זיהום אוויר חלקיקי גבוה. העלייה בסיכון דומה לעלייה בסיכון בעקבות השמנת-יתר.

חשיפה לרמות גבוהות של זיהום אוויר חלקיקי, מעלה את הסיכון להתקף לב באותו יום או ביום למחרת ב-1%.

מפתיע לראות בזיהום אוויר כגורם לתחלואות לב. איך זה קורה?

בזמן זיהום אוויר חלקיקי גבוה יכולים החלקיקים הקטנים להשפיע על המערכת הקרדיו-וסקולרית בשלוש דרכים: החלקיקים שמגיעים לרקמת הריאות גורמים בה לתגובה דלקתית. הדלקת הופכת מערכתית ועלולה לגרום למגוון תגובות קרדיו-וסקולריות כגון פגיעה בתפקוד כלי הדם, כיווץ כלי דם, עלייה ביצירת קרישים וחוסר יציבות של הפלאק האתרוסקלרוטי. התגובות האלה עלולות לפגוע בזרימת הדם ללב או למוח וכך לגרום להתקף לב או לשבץ.

בדרך השנייה, חלקיקים הנשאפים לריאות עלולים לגרום לגירוי של העצבים ברקמת הריאה. הוכח שהגירוי גורם לשינויים מהירים ברפלקסים של המערכת האוטונומית הקרדיו-וסקולרית, הבאים לידי ביטוי בעליה בלחץ הדם וקצב הלב והשראה של הפרעות קצב. תגובה זו יכולה להתרחש בתוך דקות מרגע החשיפה. יש הוכחות גם לדרך שלישית: החלקיקים הקטנים ביותר שנשאפים יכולים להגיע

הישר למערכת הדם ולפגוע ישירות במערכת הקרדיו-וסקולרית.

מי נתון לסיכון גבוה?

השפעה ארוכת-טווח עלולה לגרום נזק לכולם. מחקרים הראו שחשיפה לזיהום אוויר מקצרת את תוחלת החיים הממוצעת. חשיפה קצרה בת כמה ימים או שבועות מסוכנת בעיקר לאנשים עם רקע של מחלות לב והתקפי לב, קשישים, וכפי הנראה גם לחולי סוכרת וללוקים בהשמנת-יתר.

מגמות חדשות במחקר

מה הוביל אותך לחקור את השפעת זיהום האוויר על התקפי לב? האם היה בכך חידוש? התחלתי לחקור את העניין ב-1998, אחרי שאחי הבכור, מדען אטמוספירה, האיר את עיני לעלייה בבעיות הבריאות בעקבות זיהום האוויר. בערך באותה תקופה התחילו להופיע מחקרים אפידמיולוגיים שהראו שמחלות לב, ולא מחלות ריאה, הן הגורם המשמעותי לתמותה עקב חשיפה לזיהום אוויר חלקיקי (בערך 68% ממקרי המוות בעקבות חשיפה לזיהום אוויר הם בגלל מחלות לב). התחלנו לחקור את הקשר כדי לספק לו הסבר ביולוגי.

הייתי בר מזל כיוון שבדיוק באותו זמן התחילה הסוכנות לאיכות הסביבה האמריקנית (U.S. Environmental Protection Agency) לתת את הדעת לעניין ברצינות. היא העלתה אותו על סדר יומה והחלה להפנות משאבים לתמיכה במחקרים שעסקו בו.

האם לדעתך עלינו לראות בגורמים סביבתיים את הגורמים בני זמננו להתפרצות מגפה, כשם שהיו החיידקים בעבר?

איני חושב שהייתי מרחיק לכת עד כדי כך. אני חושב שהרבה מהגורמים האלה אינם באמת חדשים (במובן זה לא מדובר כאן על התפרצות מגפה). רק המודעות להם עלתה. לדוגמה, לפני מאה שנה רמות זיהום האוויר באזורים עירוניים היו גבוהות בהרבה מהרמות כיום בערים בצפון אמריקה ובמערב אירופה. המפתיע הוא שאפילו ברמות הנמוכות האלה יש עלייה בסיכון להתקפי לב בהשוואה למצבים שבהם זיהום האוויר החלקיקי נמוך יותר. מצד שני, במדינות מסוימות באסיה ובמזרח התיכון יש עלייה ברמות

זיהום האוויר החלקיקי. אפשר אפוא לדבר במדינות מתפתחות אלו על "התפרצות" או לפחות החמרה של בעיה משמעותית לבריאות הציבור, (בפרט כיוון שאנשים באזורים אלו חשופים יותר לסיכון בגלל אורח חיים הכרוך בגורמי סיכון נוספים כגון השמנה, סוכרת, לחץ דם, תזונה לקויה ומיעוט בפעילות גופנית).

מה הן תכניותיך העתידיות למחקר?

אנחנו עובדים על כמה פרויקטים שבודקים אם ייתכן שזיהום אוויר גורם לסינדרום מטבולי, ולא רק להתקפי לב. יש לנו כמה הוכחות התחלתיות שחשיפה ממושכת לזיהום אוויר עלולה להיות הסיבה לסוכרת, תנגודת לאינסולין, יתר לחץ דם ואולי גם השמנה. למעשה, אנחנו עושים צעד נוסף ובודקים אם אפשר לראות בזיהום אוויר גם גורם למחלות כרוניות, ולא רק מאיץ להתפרצות מחלה.

מה יכול אדם פרטי לעשות כשרמות זיהום האוויר גבוהות? הרי איננו יכולים להפסיק לנשום?

זה לא מדויק. אחת ממטרות נייר העמדה היא ליידע את הרופאים שעליהם להזהיר אנשים ולהמליץ לאוכלוסיות בסיכון שלא לצאת מהבית בימים שבהם זיהום האוויר גבוה; ובמקרה שהם נן יוצאים, לנסוע במכונית שבה מופעל מיזוג עם מחזור אוויר. זהירות ברמה האישית בהחלט יכולה להוריד את הסיכון להיפגע.

זיהום אוויר גורם לתגובה דלקתית מערכתית ברקמת הריאות ובמערכת הלב המביאה לפגיעה בתפקוד כלי הדם ועלייה ביצירת קרישי דם.

מה מטרות נייר העמדה של ה-AHA? האם הוא נועד להמריץ פוליטיקאים לעשות שינוי?

מטרות נייר העמדה הן לספק לחוקרים, מדענים וסוכנויות סיוע עדכני של העדויות והמחקרים המוכיחים את הקשר בין זיהום אוויר חלקיקי למחלות לב. מטרתנו הייתה לסקור בעין ביקורתית את החומר המדעי בתחום ולספק דעת מומחים בעניין העובדות שהתגלו וכן להתוות תכנית למחקרים עתידיים. הייתה

גם מטרה ברורה לחנך את אנשי צוות הבריאות בתחום חשוב זה. הקפדנו לספק גם המלצות מעשיות לצוות הרפואי, כדי שיוכלו להמליץ למטופליהם מה לעשות לפי רמת הסיכון שלהם. אנחנו מקווים שההנחיות האלה יוטמעו באופן קליני.

לו היית חבר בוועדה מחליטה, איזה סוג של זיהום אוויר היית מנסה להפחית קודם כול? מה לדעתך ראלי לנסות לשנות, ומה משתלם?

בינתיים אין די הוכחות חד-משמעיות כדי לקבוע איזה סוג או מקור של זיהום אוויר חלקיקי הוא המזיק ביותר לבריאות. אבל יש עדויות המרמזות על כך. למשל, המחקרים מראים כי זיהום חלקיקי מכלי רכב תחבורתי מהווה סיכון בריאותי חמור, אך ייתכן שחלק מהסיכון נעוץ גם בגורמים אחרים הכרוכים בשימוש בתחבורה (כגון מתח ורעש). לכן צריך להתייחס לסוגיה בשני אופנים: ראשית, המדיניות הציבורית חייבת לשאוף להפחית חשיפה לכל סוג זיהום אוויר חלקיקי ולמזהמי האוויר הגדלים (היכולים בעצמם לגרום לנזק בריאותי ו/או להיהפך לתרחיף חלקיקי באוויר). ארגון הבריאות העולמי (WHO) המליץ על הנחיות בקשר לרמות זיהום האוויר החלקיקי. היות שלא ידוע על "סף בטוח" לרמות זיהום אוויר חלקיקי, ככלל, צריך לשאוף להפחית את הפליטות ככל האפשר במטרה להגן על בריאות הציבור. שנית, ברמה אישית, צריכים ליידע אנשים על הסיכון הבריאותי. אני חושב שיש לשים דגש על חינוך של אנשי הצוות הרפואי וגם של הציבור הרחב, ובפרט של קבוצות סיכון (חולים במחלות לב, סוכרת וקשישים). אי-אפשר להקטין סיכון אם לא מודעים לבעיה. לאחר מכן אפשר לנסות ללמד אמצעי זהירות כדי להפחית חשיפה אישית במטרה להקטין את הסיכון להתקף לב. ייתכן שאם תהיה מדיניות לאומית להפחתת מזהמים בצירוף מעט זהירות אישית, תרד כמות התקפי הלב.

פרופ' רוברט ברוק, מומחה לקרדיולוגיה אוניברסיטת מישיגן, ארה"ב

ראיינה: אראלה טהרלב בן שחר עריכה: ד"ר אלון פרץ



זיהום אוויר ותוצאי לידה

באמצע שנות התשעים החלו חוקרים לדווח על קשרים בין זיהום אוויר לבין תוצאי לידה בלתי רצויים. קשרים אלו מלמדים לא רק על מצב הפעוט אלא גם על בריאותו בעתיד

חקר תוצאי הלידה באפידמיולוגיה סביבתית התפתח רק ב-15 השנים האחרונות; בארץ נעשה כעת מחקר ראשון בתחום. תוצאי לידה בלתי רצויים (adverse birth outcomes) כוללים בין היתר לידות פג, משקל גוף נמוך בעת הלידה (LBW), עיכוב גדילה תוך-רחמי (UGR) ולידות מת. תוצאים אלו מוכרים בעולם הרפואה בתור אינדיקטורים לבריאות הרך הנולד, בין השאר לסיכון גבוה יותר לתמותה ותחלואה (בילדות) ולסיכון מוגבר ליתר לחץ דם, מחלות לב וסוכרת שאינה תלוית-אינסולין (בבגרות).

בדרך כלל תוצאי לידה לא-רצויים הם ביטוי לקשיים בהתפתחות העובר. ראשיתם עשויה להיות בחשיפה למזהם סביבתי. העובר המתפתח רגיש יותר מהאם לנדקים בדנ"א, ומערכות האיברים המתפתחות שלו פגיעות יותר לרעלים סביבתיים בשל הקצב הגבוה של התרבות התאים ושינויים ביכולות המטבוליות. בתקופות ההתפתחות הקריטיות בעובר עלולה חשיפה למזהם להיות משמעותית מבחינה ביולוגית, גם אם מינונה נמוך.

במדינות מתפתחות שבהן נהוג לחמם ולבשל באמצעות עץ, פחם וכדומה, החשיפה לזיהום האוויר מתרחשת בעיקר בתוך הבית. מחקר מטה-אנליזה שפורסם לא מזמן הצביע על עלייה של כ-50% בסיכון ללידת ילד במשקל לידה נמוך ובלידות מת בקרב נשים החשופות לשימוש בחומרי בערה מוצקים בתוך הבית. בעולם המערבי נבחנת בעיקר החשיפה לזיהום שמקורו בתחבורה. עד ראשית שנות האלפיים לא היו תוצאות המחקרים בתחום זה עקביות, אולם במחקרים מהשנים האחרונות התוצאות ברורות יותר: מחקר קנדי מצא עלייה בסיכון לעיכוב בגדילה התוך-רחמית ולמשקל לידה נמוך (בלידה המתרחשת במועדה) עם העלייה בחשיפה לחנקן חד-חמצני (NO) ולפחמן חד-חמצני (CO) שמקורם תחבורתי.

מחקר מקליפורניה שהתמקד בלידות פג כלל מחקר מעקב (קוהורט), ובתוכו גם מחקר מקרה-בקרה (case-control) שהתייחס לגורמי סיכון מיילדותיים נוספים. המחקר מצא שעם העלייה ברמות הפחמן החד-חמצני (CO) בטרימסטר הראשון חלה עלייה בסיכון היחסי לפגות (עד 25% עלייה בסיכון ברמות

משרפת דלקים בתחבורה ובתעשייה ונמצאים גם בעשן הסיגריות). מזהמי אוויר אלו מסרטנים, וככל הנראה הם גם בעלי השפעה אנטי-אסטרוגנית. השפעתם ניתנת לזיהוי באמצעות מדידה של תצמידי דנ"א (DNA adducts) בעובר. בבדיקה מהרמות שנמצאו אצל האמהות. מנגנון הפעולה של הפחמימנים הארומטיים והשפעתו על העובר דומה למנגנון ההשפעה של עישון סיגריות.

עוברים נחשפים לרכיבי זיהום האוויר הנספגים במחזור הדם האימהי והחוצים את המחסום השלייתי.

המחקר האפידמיולוגי והביולוגי המתפתח מתחיל לגלות את רגישות העובר לזיהום אוויר. הוא מתאפשר בזכות יכולת טובה יותר להעריך חשיפה לזיהום אוויר ולהבחין בהשפעות בריכוזים שאליהם אנו נחשפים מדי יום ביומו.

ד"ר רונית קלדרון-מרגלית

חוקרת ומרצה, ביה"ס לבריאות הציבור ורפואה קהילתית ע"ש בראון, האוניברסיטה העברית

מקורות:

Brauer, M. (2008). A Cohort Study of Traffic-Related Air Pollution Impacts on Birth Outcomes. *Environ Health Perspect.* 116: 680–686.

Lacasaña, M. (2005). Exposure to Ambient Air Pollution and Prenatal and Early Childhood Health Effects. *Eur J Epidemiol.* 20: 183–99.

Pope, D.P. (in print). Risk of Low Birth Weight and Stillbirth Associated With Indoor Air Pollution from Solid Fuel Use in Developing Countries. *Epidemiol Rev.*

Ritz, B. (2007). Ambient Air Pollution and Preterm Birth in the Environment and Pregnancy Outcomes Study at the University of California, Los Angeles. *Am J Epidemiol.* 166: 1045–1052.

Šrám, R.J. et al. (2005). Ambient Air Pollution and Pregnancy Outcomes: A Review of the Literature. *Environ Health Perspect.* 113(4): doi:10.1289/ehp.6362

Wu, J. (2009). Association between Local Traffic-Generated Air Pollution and Preeclampsia and Preterm Delivery in the South Coast Air Basin of California. *Environ Health Perspect.* 117: 1773–1779.



רחף חומרי הדברה ופגיעה עצבית בילדים

פרופ' יורם פינקלשטיין

מנהל היחידה והשרות לניורולוגיה ולטוקסיקולוגיה המרכז הרפואי שערי צדק

עבודתי המחקרית בטוקסיקולוגיה החלה בשנות השמונים במכון ויצמן, בעקבות אירוע של הרעלה קטלנית בחומרי הדברה חקלאיים (זרחנים אורגניים). כניורולוג בבית חולים שילבתי את המחקר הבסיסי בעבודתי הקלינית באותה העת. לנוכח הממצאים גיבשנו עמיתיי ואני במרכז ההרעלות הארצי בחיפה פרוטוקול טיפולי אחיד לכל המאושפזים עקב הרעלת זרחנים אורגניים. הפרוטוקול נתקבל כהנחיה בישראל ובמדינות שונות (בהיותו חלק מפרויקט של ארגון הבריאות העולמי). במסגרת זו התוודעתי למחקר שבדק את השפעתה הבריאותית של החשיפה לרעלים הללו במינון נמוך ולאורך שנים. היזום והמניע למחקר היה פרופ' אליהו ריכטר מביה"ס לרפואה בירושלים, והוא נעשה בשיתוף המחלקה הניורולוגית וביה"ס לרפואה של הטכניון שבהם עבדתי.

במסגרת המחקר ניסינו לגבש תפיסה כוללנית בקשר ליחסי הגומלין בין בריאות לסביבה. בחנו מדדים להרעלה בעקבות חשיפה תעסוקתית וסביבתית של חקלאים, של שכניהם שאינם חקלאים ושל שכניהם העובדים בעיר. בכל קבוצות הנבדקים נמצאה עדות לפגיעות חולפות בתפקוד מערכת העצבים המרכזית וההיקפית ואף מתאם בין הפגיעות העצביות לבין רמות תוצרי הפירוק של זרחן אורגני שנמדדו בשתן. לעבודה ולממצאיה היו השלכות מעשיות על בריאות הציבור: הוכנסו שינויים בתקנות הבטיחות, והם השתלבו בתהליך שנמשך כעשור, תהליך שבו צומצמו גידולי השדה (בעיקר כותנה), הופחת השימוש בחומרי הדברה ליחידת שטח והוקטנה כמות הריסוס מן האוויר, הן באזור הנבדק והן ברמה הלאומית.

קורס שיזמה קרן יד הנדיב בשנת 2006 בנושא הטוקסיקולוגיה הסביבתית וחשיבותה המדעית והלאומית העלה עבודה אפידמיולוגית זו על הפרק. כאן הצטרף לפרויקט עמית אופיר, חוקר צעיר ומבטיח. במסגרת עבודת דוקטורט במדעים (PhD) בהנחייתנו, באוניברסיטה העברית, עמית שב ובודק תושבים שנבדקו לפני שלושה עשורים. נוסף על כך (באופן

תקדימי) הוא בודק גם ילדים מאותם יישובים - דור שני לחשיפה. הנחת הבסיס היא שהילדים חשופים לרחף חומרי ההדברה באוויר. הבדיקות כוללות שיטות אבחון חדשות, כגון חיפוש הסמן הגנטי PON1 שיכול לסייע באיתורם של הילדים המועדים לסיכון. אנו מיישמים אותן במעבדות אוניברסיטת ונדרביילט בארה"ב. ממצאי המחקר יוכלו לקבוע אם נגרמה פגיעה עצבית בחלוף השנים. את המחקר בילדים מממנת הקרן לבריאות וסביבה. האקדמיה האמריקנית לניורולוגיה חברה בו לעבודה בולטת (highlight) בשנת 2010.

בד בבד עם המחקר האפידמיולוגי, שותפתנו למחקר, ד"ר יעל דובובסקי מהטכניון, עוסקת בכימות מקורות החשיפה מהשדות החקלאיים. בכך מקושרים הידע הסביבתי והרפואי. הממצאים יאפשרו ליישם אמצעים המאבחנים הרעלה ומתריעים מפניה עוד בטרם נצפתה ההסתמנות הקלינית. המידע המחקרי יאפשר להעריך את מידת החשיפה ואת הסיכון, להשפיע על המודעות הציבורית וליצור תשתית עובדתית להתוויית מדיניות כוללת לקידומה של בריאות הציבור ושל חקיקה, למען הפחתתן של רמות החשיפה והסיכון הנוכחיות.

להבנה איך זיהום סביבתי משפיע על הבריאות תורם מחקר בין-תחומי משותף של חוקרים ממדעי הסביבה ומדעי הבריאות. במחקר הנסקר כאן, הראשון מסוגו בישראל, ד"ר דובובסקי בוחנת אילו חומרי הדברה נותרים באוויר ועל-פני משטחים לאחר ריסוס השדות, ופרופ' פינקלשטיין בודק אם הם גורמים לפגיעה עצבית בילדים.

ד"ר יעל דובובסקי

מרצה בכירה, היחידה להנדסת הסביבה מים וחקלאות הטכניון

את המסלול האקדמי שלי התחלתי בלימודי מדעי כדור הארץ, ובמהלך הדוקטורט והפוסט-דוקטורט התמקדתי בתחום הכימיה האטמוספרית. עם תחילת עבודתי בטכניון בחרתי לחקור תהליכי פירוק של מזהמים אורגניים במטרה להבין טוב יותר את הגורל הסביבתי שלהם ושל תוצרי פירוקם, וכפועל גזר - את חשיפתנו אליהם.

במחקר הנוכחי מיכל סגל-רוזנהיימר, אוהד זיוון ואנוכי מתמקדים בחומרי הדברה שנעשה בהם שימוש נרחב במגזר החקלאי והעירוני. לא מעט מחקרים נעשו כדי להבין את גורלם הסביבתי, אך עד כה יוחדה עיקר תשומת הלב לפירוק בקרקע ובמים. תגובותיהם הכימיות עם קרינת שמש ועם מחמצנים אטמוספריים (בעודם ספוחים על פני השטח) זכו לתשומת לב פחותה.

מיעוט המידע והעובדה שבתנאי האקלים ומשטר ההשקיה בארץ צפויים החומרים להימצא על פני השטח זמן רב לאחר ריסוסם משכו אותי להיכנס לתחום. במחקרנו זה אנו מנסים להבין באופן כמותי את תהליכי הפירוק של חומרי הדברה זרחניים אורגניים על פני משטחים, כגון עלים, קרקע ואירוסולים, וכן את מידת הסעתם באטמוספירה. עבודה זו כוללת מציאת קצבי הראקציות, זיהוי תוצרי הפירוק ומדידות שדה הבוחנות את ריכוזי חומרי ההדברה באוויר ואת תלותם הן בזמן הן במרחק ממקום הריסוס. בשילוב נתוני ריסוס ומודלים של פיזור אטמוספרי נוכל לקבל תמונה טובה יותר של מידת ההסעה והפירוק באטמוספירה, ובעקבותיה - של הריכוזים באוויר והחשיפה האנושית. על אלו יצטרפו גם תוצאות המדידות הניורולוגיות והביוכימיות, בהובלת פרופ' פינקלשטיין.

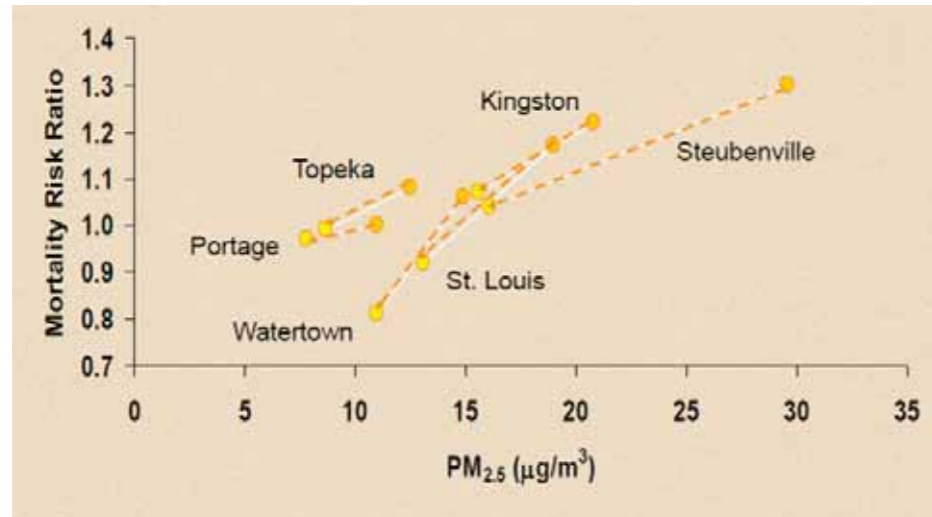
בשל החשיבות הרבה של חומרי הדברה לחקלאות ובשל השלכותיהם הבריאותיות והסביבתיות, מידע רחב ומהימן עליהם ועל השפעותיהם הוא עניין הכרחי. הוא יאפשר לקובעי המדיניות למזער ככל האפשר את הנזק הנלווה לשימוש בחומרים אלו.



הפחתת זיהום אוויר - הפחתת תמותה

בתחילת העלון שאלנו אם "חוק אוויר נקי" ישר את בריאותנו. מחקר בארצות הברית הראה כי הפחתת זיהום אוויר בשש ערים, בעקבות תחיקה למען אוויר נקי, הביאה לידי הפחתת התמותה בערים אלו. בתרשים שבהמשך, ציר ה-x מייצג את ריכוז החלקיקים שקוטרם קטן מ-2.5 מיקרומטר (חלקיקים עדינים) וציר ה-y מייצג את שיעור התמותה בערים ביחס לעיר שנקבעה לשמש קו הבסיס, העיר פורטייג' (Portage). הקווים המקווקווים מצביעים על שינוי בזיהום ושינוי בסיכון לתמותה בערים שנבדקו. בכל הערים פחת זיהום האוויר בשנים 1979 עד 2000, ואתו גם הסיכון לתמותה.

יחס שיעורי התמותה המתוקננים בערים שנבדקו ורמות PM2.5 בערים אלו



● מייצג את רמת ה-PM2.5 הממוצעת בין השנים 1985-1980 והסיכון לתמותה בין השנים 1974-1989
● מייצג את רמת ה-PM2.5 הממוצעת בין השנים 1998-1990 והסיכון לתמותה בין השנים 1990-1998

בישראל, המשרד להגנת הסביבה מנטר את רמת החלקיקים העדינים באוויר. נתונים מ-2008 מראים כי ריכוז החלקיקים העדינים בישראל חורג בערכים שנעים בין 30% ל-50% מתקן היעד של המשרד להגנת הסביבה ומההמלצה הבריאותית של ארגון הבריאות העולמי שעומד על 10 מק"ג/מ"ק. בישראל ריכוז החלקיקים נע בין 20 ל-29 מק"ג/מ"ק (דומה לזיהום האוויר בשתי הערים המזוהמות ביותר שנבדקו במחקר מהרוורד, סטובנוויל וקינגסטון (לפני שזיהום האוויר בהן הופחת). בערים אלו בארה"ב נמדד עורף תמותה של 31% ו-19% בהתאמה ביחס לערים מזוהמות פחות.

זיהום אוויר חלקיקי נפלט בעיקר מתהליכי שרפה בתחבורה ותעשייה וגורם בין היתר להחרפת אסתמה, ירידה בתפקוד הריאות, ברונכיט כרונית, הפרעות בקצב הלב והתקפי לב ואף למוות מוקדם בקרב חולי לב ומחלות ריאה. בעקבות המחקרים הנערכים בעולם ועם יישום "חוק אוויר נקי" בישראל בשנת 2011, תהיה חשיבות רבה לא רק במעקב אחר הירידה הצפויה בזיהום האוויר, אלא גם במעקב אחר נתונים בריאותיים על תמותה ממוצעת, תפקוד ריאות ותחלואת נשימה, לב וכלי דם.

מאיה שדה, MSc

פיתוח תכניות, הקקן לבריאות וסביבה

מקורות:

Laden et al. (2006). Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality: Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 173(6), 667-672. | Dockery DW et al. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. N Engl J Med 1993, 329, 1753-1759.

על העלות הבריאותית של זיהום אוויר

המחיר הבריאותי של הנזק ממפעלי תעשייה ונסיעה ברכב הוא מחיר שאנו נוטים להתעלם ממנו. נדרשת מעורבות ממשלתית ושיפור ניתוחי עלות-תועלת

נוכל להסיק שערך החיים שלנו אינו אינסופי, אפילו בעבורנו. השאלה הרלוונטית אפוא היא אם אנו חברה נהיה מוכנים להשקיע כדי **למנוע** את המוות. בכדי לאמוד את ערך המניעה למפרע, הדרך המקובלת כדור אספירין); **התועלת** היא בסכום שפרט כלשהו יהיה מוכן לשלם כדי להימנע מכאב הראש הזה. חישוב על-פי עלות המחלה מודד **עלות ולא תועלת**. עם זאת, קשה ליישם מחקרים המבוססים על מודלים של תועלת, כלומר של נכונות לשלם בעבור הפחתת זיהום, ולכן רוב האומדנים עוסקים בסימפטומים אקוטיים ובמונחים של עלות ולא של תועלת.

החישוב לתמותה מוקדמת המקובל כיום בארה"ב נעשה למפרע, והוא עומד על 6.2 מיליוני דולר לחיי אדם נחשכים. לו היה ערך חיי האדם מחושב על-פי ערכו בדיעבד היה מגיע בקושי למיליון דולר. בזכות ההכללה של ערכי חיי אדם לפי הגישה למפרע נחקקו בארה"ב גם חוקים בכל הקשור בתחבורה, כגון חוק הגריטה המוקדמת וחובת התקנת ממירים קטליטיים בכלי רכב, חוקים שיש בהם כדי לתרום להפחתה בזיהום האוויר ובכך לשיפור בבריאות הציבור.

על-פי נוהל פר"ת, בישראל ערך חיי אדם הוא 4 מיליוני שקלים (נכון לשנת כתיבת הנוהל, 2006). הפרמיות לאנגרייה מתחדשת מביאות בחשבון את הנזקים על-חול, ואין כמעט מחקרים מקוריים המנסים לכמת את הנזקים על בסיס הנכונות לשלם, להבדיל ממחקרים האומדים עלויות מחלה. אילו היו מחקרים מקומיים, סביר להניח שהיו מוצאים כי ערך התחלואה והתמותה בישראל גבוה יותר. שינוי במקדמי הנזק היה גורם לגורמי התכנון בישראל לתת את הדעת ביתר-רצינות למאמצים להפחית את זיהום האוויר, למשל על-ידי הקמת תחנת כוח פחמית או קידום מערכות להסעה יציבורית על חשבון הפחתת כלי רכב מכבישים עירוניים.

פרופ' ניר בקר

החוג לכלכלה וניהול, מכללת תל חי

יזרון לביא קרא והעיר הערות מועילות

השלכות התחלואה: היעדרות מהעבודה, עלות תרופות ועלות כוח האדם הרפואי. קשה לחשב את התועלת האמיתית של מניעת מחלה, שהרי התועלת מהיפטרות מכאב ראש איננה 2 שקלים (מחירו של כדור אספירין); **התועלת** היא בסכום שפרט כלשהו יהיה מוכן לשלם כדי להימנע מכאב הראש הזה. חישוב על-פי עלות המחלה מודד **עלות ולא תועלת**. עם זאת, קשה ליישם מחקרים המבוססים על מודלים של תועלת, כלומר של נכונות לשלם בעבור הפחתת זיהום, ולכן רוב האומדנים עוסקים בסימפטומים אקוטיים ובמונחים של עלות ולא של תועלת.

במחקר כלכלי משווה מטעם הממשל האמריקני שנודע לבחון את ההשפעה הכלכלית של חוק האוויר הנקי התגלה כי החוק חסך למשק האמריקני סכומים אדירים. הורדת רמות זיהום האוויר בשנים 1970-1990 הביאה לידי רווח מצרפי של 22,171 מיליארד דולר (נכון לשנת 1990) לעומת העלויות בצמצום הפליטה שעמדו על 523 מיליארד דולר. יותר מ-80% מהתועלת הבריאותית מההפחתה בזיהום אוויר נבעה מחיסכון בחיי אדם. מקצת הניתוחים הצביעו על גורמי זיהום ספציפיים, וצמצומם (בעיקר צמצום שיעור החלקיקים וכן העופרת שהוצאה מהדלק) תרם רבות להפחתת התמותה. בניתוח עתידי (שהתייחס אז לשנים 1990-2010) התגלה כי התקן לחלקיקים קטנים (PM2.5) צפוי לחסוך כסף וחיים רבים¹.

הדרך המקובלת לכימות ערכי חיי אדם היא כימות **ערך חיי אדם סטטיסטי**. ערך זה בנוי על שתי הנחות יסוד: הראשונה היא שהדיון הוא בעניין ערך חייו של אדם אנונימי ולא ספציפי (אחרת אין לחישוב משמעות כלכלית אלא פילוסופית); השנייה היא שהערך אמור להיות מחושב **למפרע ולא בדיעבד**. הגישה המשפטית מחשבת את זום ההכנסות העתידי של הנפטר במונחים נוכחיים וכן את הפיצוי לשאריו על עגמת נפש. הגישה הכלכלית לעומת זאת מחשבת את ערך חייו של הנפטר עברו עצמו ולא עבור קרוביו. יש הבדל גדול בין שתי הגישות. על-פי הממצאים בספרות ערכם למפרע של חיי אדם גדול פי כ-7 מערכם לפי חישוב בדיעבד. מאידך, ערכם של חיי אדם, גבוה ככל שיהיה, אינו אינסופי. כל מי ששקל פעם אם לטוס או לקפוץ בנג'י (או סתם לנסוע בכבישי ישראל) יודע שכולנו מסתכנים במידה זו או אחרת. נראה שהתועלת שבהסתכנות גדולה מהעלות הכרוכה בה, ומכאן

לו ניתנה בידינו הבחירה אם לחיות כיום או לפני מאה שנה, רובנו היינו בוחרים ודאי לחיות בדורנו אנו. אולם היתרונות הרבים בני זמננו גובים מחיר; והמחיר הבריאותי הוא מחיר שלעתים אנו נוטים להתעלם ממנו. נביא כאן שתי דוגמאות לכך מחיי היום-יום: האחת - מפעלי התעשייה שאינם מתייחסים במלוא הרצינות לנזק הבריאותי שהם גורמים; והשנייה - התעלמותנו מהנזק הבריאותי שאנו גורמים לזולת בכל נסיעה ברכבנו. נדרשת אפוא יד מכוונת, מעורבות ממשלתית, בכל הקשור בהפחתת זיהום אוויר.

הרשויות בישראל כבר ניסו להעלות למודעות הציבור את השלכות זיהום האוויר ולהפנים את עלויותיהן הכלכליות. הדברים באו לידי ביטוי ב"מסמך המיסוי הירוק", פרי מאמציו של צוות בין-משרדי בהובלת משרד האוצר. המסמך העלה הצעות אחדות, וקצתן יושמו (מיסוי דיפרנציאלי על כלי רכב ותכנית הגריטה - תכנית ל"הצערות" כלי הרכב שעל הכביש, ובכך להפחתת זיהום האוויר). גם נוהל פר"ת (פרויקטים תחבורתיים) שכתבו משרדי התחבורה והאוצר בשיתוף גורמים אחרים עוסק בחלקו בנקודות המשיקות לקשר שבין זיהום אוויר לבין פרויקטים תחבורתיים, והוא בבחינת מסמך מנחה לכל ניתוח כלכלי של פרויקט מוצע. הבעייתיות הגדולה בתהליך קבלת ההחלטות בעניין צמצום זיהום האוויר היא בהערכת הנזקים שהוא גורם (כימותם או כימות התועלת שבהפחתתם). מורכבות העניין נובעת בין השאר מהעובדה שעלויות תחלואה ותמותה מחולקות לתתי-תחומים: בעלויות תחלואה מבחינים בין תחלואה אקוטית (סימפטומים קצרי-טווח) לתחלואה כרונית (למשל התפתחות של סרטן לסוגיו ומחלות לב וריאה); ובעלויות תמותה מתעוררות לעתים שאלות כגון האם תמותה של אנשים בני 65 בממוצע שקולה לתמותה של בני 40? האם תמותה בעקבות תאונת דרכים או תאונת עבודה שקולה לתמותה מזיהום אוויר מתמשך?

הדרך המקובלת לחישוב עלויות תחלואה היא חישוב **עלות המחלה**. בתחלואה שמקורה בזיהום אוויר נעשה חישוב זה בשלב האחרון של השרשרת: פליטות - ריכוזים - השפעות בריאותיות - כימות כלכלי. החישוב הכלכלי מסתמך על חישובים מוקדמים של אפידמיולוגים סביבתיים. אלו מנסים לבחון את

¹Samet, J., & Krewski, D. (2007). See page 3

פעולות הקרן לבריאות וסביבה

מה חדש בקרן לבריאות וסביבה?

מה מתוכנן לשנת 2011?

ד"ר לינדה בירנבאום בישראל - פברואר 2011
ד"ר לינדה בירנבאום, ראש המכון הלאומי האמריקאי למדעי בריאות וסביבה, תנחה סדנה שתתקיים בשיתוף עם משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה. הסדנה תעסוק בכיוונים חדשניים במחקר הבינלאומי בבריאות וסביבה. בנוסף, תעביר ד"ר בירנבאום הרצאת מפתח בכנס אילנית, הכנס המרכזי של אגודת המחקר הביולוגי בישראל.



הקורס השני באפידמיולוגיה סביבתית

מאי 2011

הקורס השני באפידמיולוגיה סביבתית, בן שלושה ימים, מיועד לחוקרים פעילים בנושא בריאות וסביבה. את הקורס תלמד פרופ' מישל מרקוס מאוניברסיטת אמורי בארה"ב, חוקרת של פוריות האישה.



סדנת מדיניות, בריאות וסביבה - יולי 2011

כיצד הופך הידע המדעי בבריאות וסביבה למדיניות שמטרתה להפחית את הזיהום ולשפר את הבריאות? מה מקומו של משרד הבריאות, ומה תפקידו של המשרד להגנת הסביבה? איך מיישמים מדיניות על-סמך הערכות כלכליות של עלות התועלת הבריאותית שבהפחתת זיהום? בכל אלו נדון בסדנה, נלמד מהניסיון הרב של מדינות העולם ונבחן את מנגנוני המדיניות בישראל ואיך נוכל ליישם לקחים מהעולם.



השפעת זיהום סביבתי על בריאות ילדים

נובמבר 2011

הכנס השנתי הרביעי יתמקד בהשפעת זיהום סביבתי על בריאות ילדים. מחלות ילדים רבות מושפעות מגורמים סביבתיים, כגון אסתמה, אוטיזם והפרעות קשב וריכוז. המחקר בנושא בעולם מתפתח במהירות ובכנס יוצג הידע העדכני ביותר בנושא.



מדע ומידע בבריאות וסביבה

אתר האינטרנט המחודש

אתר האינטרנט המחודש של הקרן לבריאות וסביבה מעמיד לרשות הציבור בפעם הראשונה מרכז ידע בשפה העברית. המרכז יציג מידע מבוסס ומעודכן על הקשר שבין מחלות נפוצות - כגון אסתמה, מחלות לב וכלי דם, סרטן ופרקינסון - ובין מזהמים באוויר, במים ובמזון. חוקרים, סטודנטים, אנשי מקצוע וגם מתעניינים מהציבור הרחב יוכלו למצוא באתר קישורים בין המחקרים שהקרן לבריאות וסביבה מממנת, הקורסים והמלגות שהיא מציעה והידע המצטבר בארץ ובעולם, ויקבלו תמונה עדכנית של הידע בבריאות וסביבה ושל העוסקים בתחום זה בישראל.



הכנס השנתי לבריאות וסביבה

לבו של זיהום האוויר, 30 בנובמבר 2010
בית חיל האוויר, הרצליה

לקראת החלת חוק אוויר נקי יעסוק **לבו של זיהום האוויר** - הכנס השנתי השלישי של הקרן לבריאות וסביבה - בהשפעת זיהום האוויר על מחלות לב וכלי דם. בשנים האחרונות הצטבר ידע מדעי נרחב בתחום זה, אך המודעות לנזקים הגורמים ללב וכלי הדם עדיין נמוכה. ואולם, השפעת זיהום האוויר על מחלות לב רבה אף יותר מהשפעת זיהום האוויר על מחלות נשימה, והיא הבסיס לתקינה ולמדיניות בכל הקשור באיכות אוויר בעולם. בכנס יתארחו המומחים המובילים בעולם לחקר האפידמיולוגיה והמנגנונים הביולוגיים המסבירים אותה.



מענקי מחקר, מלגות לדוקטורט ולפוסט-דוקטורט

מצוינות וחדשנות בבריאות וסביבה בישראל

הקול הקורא הרביעי למחקרים אינטר-דיסציפלינריים בבריאות וסביבה יצא לדרך. עד כה מימנה קרן המחקרים בבריאות וסביבה תשעה מחקרים כאלה - החל באפיין זיהום האוויר בישראל והקשר בין זיהום אוויר לאסתמה ולמחלות לב בישראל ועד ניטור ביולוגי של מזהמים באוכלוסייה והשפעת חומרי הדברה נירוטוקסיים על ילדים. באוקטובר 2010 התקיים בפעם הראשונה יום העיון **חידושים וכוונות בחקר בריאות וסביבה בישראל**. הוצגו בו עבודות המחקר של החוקרים והדוקטורנטים של הקרן לבריאות וסביבה. הקרן ממשיכה לממן בכל שנה מלגות לפוסט-דוקטורט באוניברסיטאות המובילות בעולם כדי להרחיב ולשפר את המחקר והמקצועיות בישראל בשנים הקרובות. להשקעה זו בחוקרים צעירים נוספות המלגות לדוקטורט בישראל המיועדות לסטודנטים למחקר בבריאות וסביבה. רשימת המענקים והמלגאים המלאה מופיעה באתר הקרן לבריאות וסביבה. קולות קוראים למלגות לדוקטורט בארץ ופוסט-דוקטורט בחו"ל יפורסמו בינואר 2011.



מרכזי הצטיינות אוניברסיטאיים בהקמה

אחת מפעולות הדגל של הקרן לבריאות וסביבה היא הקמת מרכזי הצטיינות. הקרן תעניק שלושה מיליון דולר להקמת מרכזי הצטיינות בשלושה מוסדות אקדמאיים לצורך העמקת הידע, המחקר והמומחיות בכל הקשור בחשיפה לזיהום סביבתי והשפעתו על הבריאות בישראל. המרכז הראשון יוקם בטכניון ויתמקד **בהערכת החשיפה לזיהום אוויר והשלכותיו על בריאות האדם**. לרשות המרכזים יעמדו משאבים ותמריצים כדי שיוכלו לגייס מדענים מובילים, לבצע מחקרים ולמשוך תלמידי מחקר ופוסט-דוקטורט.



קול קורא לכנס ה-ISEE

מרכז המחקר לאפידמיולוגיה

סביבתית בברצלונה

16-13 בספטמבר 2011

הכנס השנתי של האגודה הבינלאומית לאפידמיולוגיה סביבתית
The International Society for
(Environmental Epidemiology - ISEE)
יתמקד הפעם בהשפעתה של התחבורה על
הבריאות, השפעות בריאותיות של התחממות
כדור הארץ והשפעת חשיפות סביבתיות
שלכל העוברי ובשלב ההתפתחות המוקדמת
על הבריאות בשלבים מאוחרים יותר בחיים.

ISEE היא האגודה המדעית המרכזית
העוסקת בחשיפה סביבתית ובהשפעותיה
על הבריאות. בכנס המרכזי של האגודה
משתתפים בכל שנה כ-1,500 אפידמיולוגים
סביבתיים, חוקרים ומומחים להערכת חשיפה,
ביולוגיה, בריאות הציבור, רפואה ועוד.

התאריך האחרון להגשת בקשה לסימפוזיון:

1 בפברואר 2011

התאריך האחרון להגשת תקצירים:

15 במרץ 2011

מידע נוסף באתר הכנס:

www.isee2011.org