

כיצד מערכת החיסון המולדת נלחמת עבור בריאותכם

Mieke C. Louwe^{1*} | Pål Aukrust^{1,2,3}

¹מכון מחקר לרפואה פנימית, בית החולים של אוניברסיטת אוסלו, אוסלו, נורווגיה

²הפקולטה לרפואה, אוניברסיטת אוסלו, אוסלו, נורווגיה

³היחידה לאימונולוגיה קלינית ולמחלות זיהומיות, בית החולים ריקשופיטלט באוניברסיטת אוסלו, אוסלו, נורווגיה

סוקרים צעירים

AARUSH
גיל: 12



VIBHAV
גיל: 9



מערכת חיסון (Immune system)

מערכת מורכבת של תאים ואיברים המגינה על הגוף מפני מיקרואורגניזמים מזיקים. מערכת החיסון המולדת פועלת באופן מיידי, בעוד שלמערכת החיסון הנרכשת נדרשים כמה ימים כדי להתחיל לפעול.

כאשר גופנו פוגש פולשים כמו נגיפים, חיידקים, פטריות, או טפילים, פלישה זו מעוררת תהליך מורכב ומדהים שנקרא 'תגובה חיסונית'. הפעלת מערכת החיסון של הגוף חיונית כדי להילחם בפולשים אלה, אך עליה גם להבחין בינם לבין הרקמות הבריאות של הגוף. מטרת התגובה החיסונית היא לשמור על הגוף בריא. התגובות המוקדמות ביותר שמתרחשות במטרה להגן על הגוף מפני אורגניזמים פולשים נקראות 'תגובה חיסונית מולדת'. במאמר זה, נסביר על הרכיבים של מערכת החיסון המולדת, וכיצד היא מסייעת לשמור על הגוף בטוח מפני פולשים מסוכנים.

תגובות חסוניות מהירות לעומת איטיות

מערכת החיסון קיבלה לאחרונה תשומת לב תקשורתית רבה, עקב מחלת נגיף קורונה 2019 – קוביד 19, שהייתה למגפה עולמית. מונחים כמו 'חסינות' ו'חיסונים' הם כעת חלק מהשפה הרווחת שלנו. מרבית תשומת הלב ממוקדת בחלק אחד מסוים של מערכת החיסון, שנקרא 'מערכת חיסון נרכשת'. 'נרכשת' במובן זה שהיא מסוגלת להשתנות, או להסתגל

למצבים חדשים. אם כן, מערכת החיסון הנרכשת מתפתחת צעד אחר צעד, עם כל זיהום חדש. יתרונה הוא בכך שיש לה זיכרון – ביכולתה לזכור פולשים שנתקלה בהם בעבר. אם אותו מיקרואורגניזם מנסה לפלוש שוב לגוף, תאי מערכת החיסון הנרכשת יכולים להגיב מהר יותר וחזק יותר. חסרונה של מערכת החיסון הנרכשת הוא שבמגע עם זיהום בפעם הראשונה, נדרשים לה כמה ימים עד להפעלת התגובה הראשונית. במקרה של זיהום חמור, כל דקה חשובה! אפילו כמה ימי המְתָנָה בודדים עלולים להיות ארוכים מדי ולהוביל למוות. למרבה המזל, למערכת החיסון הנרכשת יש שותפה: **מערכת החיסון המולדת**, אשר מגיבה מייד כנגד פלישה של מיקרואורגניזם מחולל מחלות לגוף.

מערכת חיסון מולדת (Innate immune system)

חלק ממערכת החיסון אשר מגיב ראשון ובאופן מידי במטרה להגן על הגוף מפני אורגניזמים פולשים.

קו הגנה ראשון: הַמְבָצֵר

מנגנון ההגנה הבסיסי של מערכת החיסון פשוט להפליא: הוא מבחין בין תאים של גופנו – 'עצמי', לעומת דברים זרים – 'לא-עצמי'. טפילים, נגיפים וחיידקים, כולם פולשים שנתפסים על ידי מערכת החיסון בתור 'לא-עצמי'. מאחר שרבים מהפולשים האלה עלולים להיות מסוכנים, יש לחסלם במהירות האפשרית.

למערכת החיסון המולדת לא משנה אם הפולש הוא חיידק, טפיל, פטרייה, או נגיף – היא פשוט רוצה לעצור כל פולש ו/או להרוג אותו. יש לה כמה קווי הגנה שמטרתם להאט כניסתם של פולשים לגוף, או למנוע אותה כליל. ייתכן שתופתעו לדעת כי מְדֵי יום אתם נוגעים במחסום הפיזי הגדול ביותר של מערכת החיסון – עורכם. כמו מבצר, העור מגן עלינו מפני כל פולש שרוצה להיכנס לגוף. לפתחים הטבעיים בעור יש נשקי הגנה משלהם. למשל, שערות זעירות בתוך האוזניים והאף שיכולות להרתיע פולשים פוטנציאליים, או ליחה – נוזל דביק שלוכד מיקרואורגניזמים. ודאי נוכחתם בפעולתו של מנגנון הגנה זה בשעה שהייתם מצוננים: בעת מחלה אנו חווים ייצור ליחה מוגבר, וצריכים לקנח את האף או לכחכח בגרון לעיתים קרובות. בעיניים, דמעות שוטפות החוצה מיקרואורגניזמים בלתי רצויים לגוף. הדמעות עצמן מלאות חומרים שיכולים לתקוף חיידקים ולפרקם. מיקרואורגניזמים שמנסים להיכנס לגוף דרך המזון שאנו אוכלים נתקלים באנזימי עיכול בפה, ובחומצות חזקות בקיבה ובמעיים.

קו הגנה שני: מְטַעְנֵים ממולכדים

אם מיקרואורגניזמים פולשים מצליחים לעבור דרך המחסומים הפיזיים של הגוף, ישנם כמה מטענים ממולכדים שְמְבָנִים בגוף כהגנה פנימית. רכיב מְפָתֵחַ בקו הגנה שני זה הוא זיהוי מבנים שכיחים על פני השטח של פולשים. על תאיהם של חיידקים, נגיפים וטפילים יש תבניות שאינן נמצאות בגוף בריא. מולקולות על תאי מערכת החיסון המולדת, שנקראות **קולטני זיהוי דְפּוּסִים**, יכולות להיקשר למבנים הזרים האלה. אופן פעולתן של המולקולות הללו מזכיר מעט סְדֵרֵן צורות: רק דפוסים מסוימים מתאימים ומפעילים את הקולטן (איור 1) [1]. תאים חיסוניים עם קולטני זיהוי דפוסים נמצאים אסטרטגית בכל המיקומים האפשריים שבהם פולשים עלולים להיכנס לגוף, להתחבא ולהתרבות. כאשר מיקרואורגניזם פולש מפעיל קולטן זיהוי דפוסים, מצלצלים בגוף פעמוני אזהרה, אשר מפעילים תוכניות הגנה ותיקון במטרה לסייע לגוף להיפטר מהמיקרואורגניזם הפולש במהירות האפשרית.

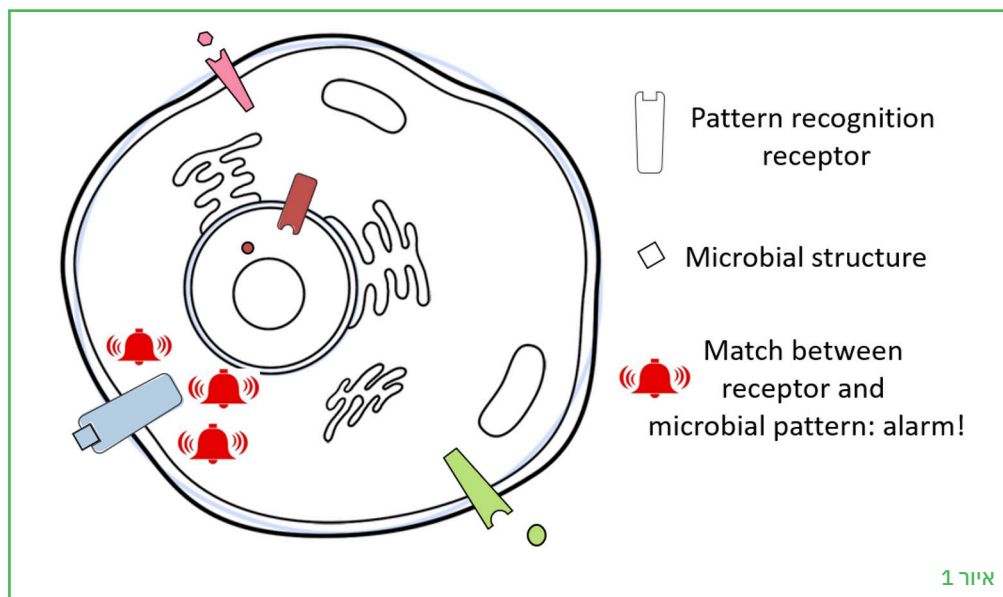
קולטני זיהוי דפוסים (Pattern recognition receptors)

מולקולות על תאים חיסוניים שיכולות לְאִתֵר מבנים 'לא-עצמיים' המצויים על פני השטח של מיקרואורגניזמים.

איור 1

קולטני זיהוי דפוסים על תאים חיסוניים יכולים לזהות מבנים מסוימים במיקרואורגניזמים. כאשר מבנים ממיקרואורגניזמים נקשרים לקולטני זיהוי דפוסים, 'מערכת האזעקה' של הגוף מופעלת, ומפעילה תוכניות הגנה ותיקון שמחסלות את הפולש.

Pattern recognition receptor – קולטן זיהוי דפוסים – Microbial structure מבנים על מיקרואורגניזמים – Alarm – אזעקה.



איור 1

קו הגנה שלישי: דלקת

כאשר קולטני זיהוי דפוסים על תאים חיסוניים מזהים פולש, אחת מתגובות ה'אזעקה' היא שחרור של חומרים הנקראים **מתווכי דלקת**, אשר גורמים לדלקת. דלקת היא תגובה תקינה לזיהום או לתאים פגועים או גוססים בגוף. האזור המושפע נעשה אדום, כואב, חם ונפוח, ולעיתים קרובות מפחית את יכולת התנועתיות, לדוגמה במצב של זיהום ברגל. מטרת הדלקת היא לשמור על הזיהום במקום אחד, כדי למנוע ממנו להתפשט ולזהם אזורים אחרים בגוף. במטרה להשיג זאת, יש לחסל את הפולש במהרה [2]. מתווכי דלקת יכולים גם לגרום לכאב, אשר מעורר את מודעותנו לכך שמשהו אינו תקין. כאב מורה לנו להגן על אזור פגוע/ מזוהם בגוף, ולנוח. מנגנון הגנה אחר שמופעל על ידי מתווכי דלקת הוא התרחבות כלי דם קטנים באזור המזוהם. זה גורם לזרימת דם מוגברת, והאזור נהיה אדום, חם ונפוח. התרחבות כלי הדם מאפשרת לתאים חיסוניים נוספים (המתוארים למטה) להתקדם במהירות דרך הדם לאזור הבעייתי. תהליך זה מסייע לחסל את הזיהום.

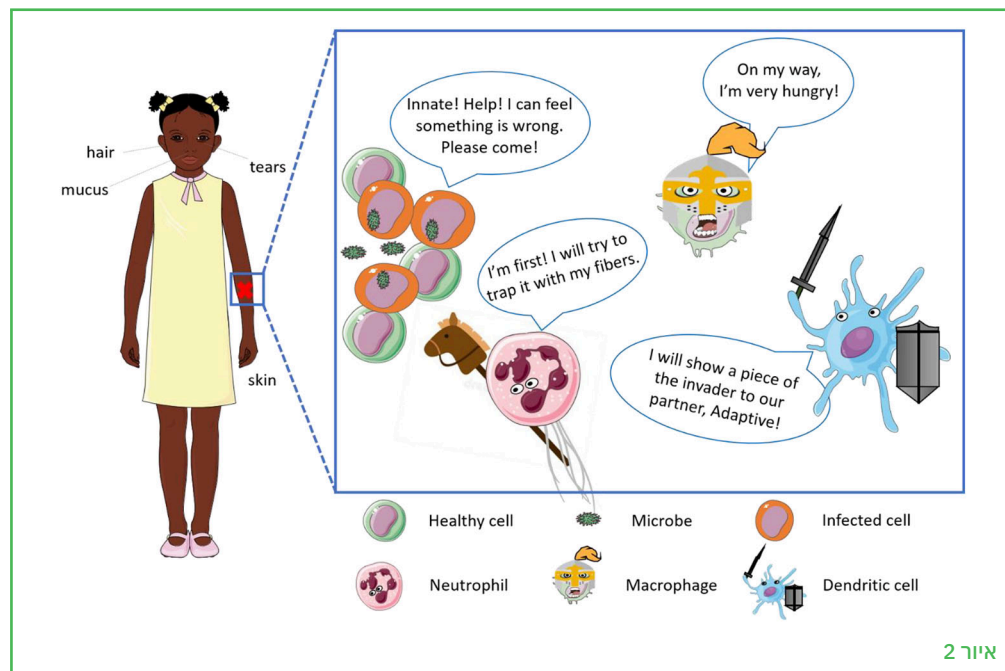
זיהומים רבים מלווים בחום, כלומר בעלייה בטמפרטורה של הגוף. טמפרטורת גוף גבוהה מסייעת לגוף להתמודד עם הזיהום. ראשית, עלייה בטמפרטורה יכולה להרוג מיקרואורגניזמים מסוימים. חיידקים, לדוגמה, שונאים טמפרטורות גבוהות. שנית, טמפרטורה גבוהה יותר מעוררת את תהליכי התיקון של הגוף, מאחר שחום מגביר את זרימת הדם. הדבר מוביל לזרימה מוגברת של חמצן וחומרי מזון אל אזור הגוף המזוהם. לבסוף, חום מעודד אותנו לנוח, מה שחשוב להבראה. אם כן, בפעם הבאה שגופכם יפתח חום, זכרו כי זהו ביטוי לפעולת מערכת החיסון המולדת שלכם, אשר נלחמת עבור בריאותכם!

מתווכי דלקת (Inflammatory mediators)

חומרים שפועלים על תאים ו/או כלי דם, ומעודדים דלקת.

תאים חיסוניים מולדים – מומחים בהגנה

תאי מערכת החיסון, המוכרים גם כתאי דם לבנים, חיוניים להפחתת דלקת ולחיסול זיהום (איור 2) [3]. אנו נדון בשלושה סוגים חשובים של תאים חיסוניים מולדים: נייטרופילים, מקרופגים ותאים דנדריטיים.



איור 2

לוחמי החזית שמגיעים בתוך דקות ספורות לאחר את האזהרה הם תאים שנקראים **נייטרופילים**. זהו סוג תא הדם הלבן השכיח ביותר. נייטרופילים יכולים לייצר סיבים שיוצרים רשתות, כמעט כמו קיגרי עכביש, אשר יכולות לכלוא חיידקים. נייטרופילים מבצעים את הסריקה הראשונית של האזור המזוהם; הם מבצעים פגוציטוזיס (בליעה) של מיקרואורגניזמים, וכן מייצרים חומרים שנקראים **ציטוקינים**. חומרים אלה הם כמו הודעות הטקסט של מערכת החיסון, שמייצרות תקשורת בין תאים חיסוניים לבין מערכת החיסון ושאר הגוף. ציטוקינים מנחים את התאים החיסוניים לאן ללכת, ואומרים למערכת החיסון אילו סוגי תאים חיסוניים נדרשים כדי להילחם בפולש המסוים.

מקרופגים מגיעים זמן קצר אחרי הנייטרופילים, אך נשארים ברקמות הגוף זמן רב יותר. חלק מהמקרופגים נמצאים באופן רגיל ברקמות הגוף, ומחכים להגן עלינו מפני מתקפה. המטלה העיקרית של מקרופגים היא לבצע פגוציטוזיס של פולשים רבים ככל הניתן. למקרופגים יש יכולת פגוציטוזיס אדירה, ולכן הם מסוגלים לבלוע הרבה יותר מאשר נייטרופילים! מקרופגים צדים מיקרואורגניזמים ותאים פגועים, כמעט כמו פק-מן (משחק הווידאו הפופולרי משנות ה-80 של המאה הקודמת).

לבסוף, **תאים דנדריטיים** נמצאים ברקמות אשר באות במגע עם החלק החיצוני של הגוף, בעיקר בעור, אך גם באף, בריאות, בקיבה ובמעיים. תאים דנדריטיים משתתפים בחלק מכריע של התגובה החיסונית: הצגת הטרף. תאים אלה מראים למערכת החיסון הנרכשת חלקים מהמיקרואורגניזמים שנהרגו, כך שמערכת זו תוכל לתאם את התגובה ההגנתית

איור 2

התמודדות מערכת החיסון עם פלישת מיקרואורגניזמים לגוף. העור, ליחה, דמעות ושערות זעירות באף ובאזניים מסייעים למנוע ממיקרואורגניזמים פולשים להיכנס לגוף. אם מיקרואורגניזמים מצליחים לעבור את ההגנות האלה, תאי מערכת החיסון המולדת יתקפו אותם. נייטרופילים מגיעים ראשונים ויכולים לייצר סיבים אשר לוכדים מיקרואורגניזמים. מקרופגים בולעים מיקרואורגניזמים רבים. תאים דנדריטיים מפעילים את מערכת החיסון הנרכשת על ידי כך שהם מציגים לה את הפולש.

נייטרופיל (Neutrophil)

סוג תא הדם הלבן השכיח ביותר, מגיע ראשון אל הזיהום. מבצע סריקה ראשונית של האזור, בולע מיקרואורגניזמים ומייצר ציטוקינים.

פגוציטוזיס (Phagocytosis)

אכילת תאים, תהליך שבו תא בולע ומעכל מיקרואורגניזמים וכן תאים פגועים או גוססים.

ציטוקין (Cytokine)

שליח שמוצר על ידי תאים, וחיוני עבור תקשורת בין תאים.

מקרופג (Macrophage)

סוג של תא דם לבן אשר צד מיקרואורגניזמים ותאים פגועים, ואוכל אותם.

תא דנדריטי (Dendritic cell)

סוג של תא דם לבן שמציג למערכת החיסון הנרכשת פיסות של מיקרואורגניזמים שחוסלו. משמש כגשר בין מערכת החיסון המולדת למערכת החיסון הנרכשת.

הראויה. מאחר שתאים דנדריטיים הם חלק ממערכת החיסון המולדת אך מפעילים את מערכת החיסון הנרכשת, הם משמשים כגשר בין שני חלקיה השונים של מערכת החיסון.

סוף הקרב

בסופו של דבר, תאים חיסוניים מולדים מקבלים סיוע מתאי מערכת החיסון הנרכשת. אין נקודה קבועה שבה מערכת החיסון המולדת עוצרת ומערכת החיסון הנרכשת לוקחת פיקוד; שתי המערכות מתקשרות זו עם זו כל הזמן. במרבית המקרים, התגובה הדלקתית פוסקת כאשר המיקרואורגניזם הפולש מחוסל על ידי תאי מערכת החיסון הנרכשת, ורקמות גוף פגועות משוקמות. כאשר מסירים שֶׁבֶב עֶץ שְׁחָדָר לאצבע, האזור יהיה אדום וכואב במשך זמן מה, אך בסופו של דבר העור יחלים. כך, אף על פי שדלקת היא חלק חיוני של התגובה החיסונית, חשוב שהדלקת תיעצר לאחר שהמיקרואורגניזם הפולש איננו. אם הדלקת אינה נשלטת, מערכת החיסון נמצאת כל העת בכוננות גבוהה. זה עשוי להוביל לדלקת כרונית [4], אשר עלולה לגרום נזק לאיברי הגוף ולרקמות, ולתרום להתפתחות בעיות כמו אֶסְתֵּמָה ומחלות לב וכלי דם. לכן, סיום הקרב חשוב באותה המידה כמו תחילתו!

מסקנות

מערכת החיסון היא רשת מורכבת בעלת מטרה אחת: לשמור עלינו כמה שיותר בריאים! מערכת החיסון המולדת היא חלק חיוני של מערכת החיסון, אשר מופעל מייד כאשר פולש מנסה להיכנס לגוף. היא מגינה עלינו בכך שהיא מְשַׁמֶרֶת מְבַצֵּר סביב לגוף, ועל ידי כך שהיא לוכדת את כל המיקרואורגניזמים המסוכנים שמצליחים לפלוש לגוף, והורגת אותם. מערכת החיסון המולדת מגינה עלינו עד שמערכת החיסון הנרכשת תופסת פיקוד, מסיימת את הקרב ומייצרת זיכרון של הפולש במטרה להגן עלינו מפני מתקפות עתידיות. מאחר שמערכת החיסון חשובה כל כך, עלינו לעשות כל מה שביכולתנו כדי לשמור עליה בתפקוד מיטבי. כיצד? לצרוך מזונות בריאים; לשתות הרבה מים; לישון מספיק; לעסוק בפעילות גופנית באופן קבוע ולנסות להימנע מִסְטֵרֵס (דָחֵק) ככל הניתן. מערכת חיסון בריאה משמעותה גוף בריא!

הודות

האיורים נוצרו באמצעות Servier Medical Art. עבודה זו נתמכה על ידי מענק מטעם הרשות הנורווגית הדרום-מזרחית האזורית (MCL, 2019058).

מקורות

1. Takeuchi, O., and Akira, S. 2010. Pattern recognition receptors and inflammation. *Cell*. 140:805–20. doi: 10.1016/j.cell.2010.01.022
2. Medzhitov, R. 2008. Origin and physiological roles of inflammation. *Nature*. 454:428–35. doi: 10.1038/nature07201

3. Chaplin, D. D. 2010. Overview of the immune response. *J Allergy Clin Immunol.* 125:S3–23. doi: 10.1016/j.jaci.2009.12.980
4. Schett, G., and Neurath, M. F. 2018. Resolution of chronic inflammatory disease: universal and tissue-specific concepts. *Nat Commun.* 9:3261. doi: 10.1038/s41467-018-05800-6

פורסם אונליין: 27 ביוני 2024

נערך על ידי: Sagar Chittori

מנחים מדעיים: Aswani Kumar Kancherla | Ambika MV Murthy

ציטוט: Louwe MC | Aukrust P (2024) כיצד מערכת החיסון המולדת נלחמת עבור בריאותכם. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.609074-he

תורגם והותאם מ: Louwe MC and Aukrust P (2021) How the Innate Immune System Fights for Your Health. *Front. Young Minds* 9:609074. doi: 10.3389/frym.2021.609074

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

זכויות יוצרים © 2021 © 2024 Louwe | Aukrust. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). 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

AARUSH, גיל: 12

היי, אני גר בהולנד. לומד בבית הספר מתמטיקה, מדעים ושפות רבות. מחוץ לבית הספר, אני אוהב לשחק בֶּדְמִינְטוֹן, ומנגן בכינור. בבית, אני מבלה את זמני בעיקר במשחקי וידיאו ובמשחקים יצירתיים כפיים עם אחותי.

VIBHAV, גיל: 9

אני ויֶבְהַב מהודו, לומד בכיתה ה'. תחומי העניין שלי הם מדע, מתמטיקה והנדסת מחשבים. אני אוהב לשחק שחמט ומשחקים בחוץ כמו למשל קְרִיקֵט וְבֶדְמִינְטוֹן. נהנה לקרוא ספרי סיפורים, לפתור חידות ובמיוחד בחינות של פתרון חידות כמו ב-Olympiads (מרכז לחינוך מדעי במומביי, הודו). אני גם אוהב לנגן בחליל.



הכותבים

MIEKE C. LOUWE

אני נלהבת לגבי התפקיד שמערכת החיסון המולדת ממלאה בהתפתחות מחלות לב וכלי דם. חקרתי את הנושא הזה במהלך הדוקטורט שלי בליידן, הולנד, ולאחר מכן עברתי לנורווגיה. כחוקרת פוסט-דוקטורנטית בבית החולים האוניברסיטאי של אוסלו, אני חוקרת חלק מסוים מאוד במערכת החיסון המולדת, וכיצד כווננו יכול לסייע במניעת שֶבֶץ ומחלות לב. בזמני הפנוי אני אוהבת לרוץ, לשחק עם ילדיי ולאפות עוגות. *m.c.louwe@ous-research.no

PÅL AUKRUST

אני פרופסור בבית החולים האוניברסיטאי של אוסלו ובאוניברסיטת אוסלו, חוקר דלקת ומנגנונים הקשורים למערכת החיסון במחלות לב וכלי דם, ליקויים חיסוניים וזיהומים. אני עובד כרופא במרפאה שבה אני מטפל במטופלים הסובלים מזיהומים חמורים ומליקויים חיסוניים. מאז פברואר 2020, הייתי עסוק ביותר במגפת הקורונה, והובלתי בדיקות של תרופות חדשניות בנורווגיה כחלק ממחקר הסולידריות של ארגון הבריאות העולמי. כשאיני חוקר בבית החולים (לצערי, זה קורה לעיתים רחוקות), אני אוהב לצאת להרים, להאזין לסוגים שונים של מוזיקה, לקרוא ספרים (בעיקר ספרי פשע) ולבלות עם משפחתי



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK