

כלי דם מתחת למיקרוסקופ

Maria J. C. Machado^{1†}, Christopher A. Mitchell^{2†}, Jemma Franklin¹, Aaran Thorpe³,
Catrin Sian Rutland^{1*†}

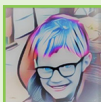
¹מעבדת רותלנד ללב וכלי דם, בית הספר לרפואה וטרינרית ולמדע, הפקולטה לרפואה, אוניברסיטת נוטינגהם, נוטינגהם, בריטניה
²המרכז לביו-מדעים מולקולריים, אוניברסיטת אולסטר, קולריין, בריטניה
³אבחוני רושה, בורנס היל, בריטניה

סוקרים צעירים

AMY
גיל: 11



EDWARD
גיל: 12



קיצור (Abbreviation)

כ"ד, כלי דם.

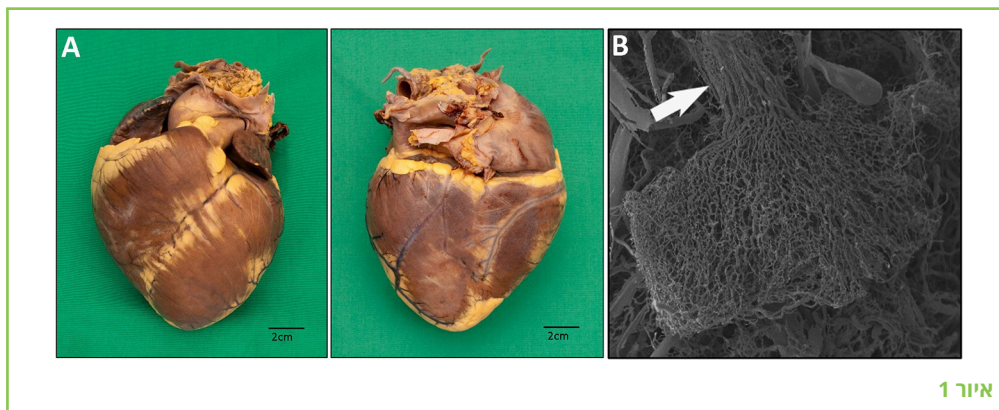
המאמר הזה בוחן כלי דם. לכל בני האדם והחיות יש כלי דם, כולל ארנב או כלב המחמד שלכם, לווייתן וג'ירפה! אנו זקוקים לכלי דם כדי להישאר בחיים. המאמר הזה עונה על שאלות רבות, כולל מהם כלי דם, למה הם משמשים ומדוע אנו זקוקים להם. הוא מסתכל על האופן והסיבה לכך שכלי דם גדלים, וכיצד הם נראים. הוא גם בוחן מה קורה כשדברים משתבשים עם כלי דם, ואם כלי דם אף פעם לא מזיקים לנו. אם כן, אם אתם רוצים לדעת כמה קילומטרים של כלי דם יש בגוף שלכם, ללמוד על בעיות של אסטרונוטים בחלל, לראות כלי דם אמיתיים דרך המיקרוסקופ, או ללמוד כיצד לשמור על כלי הדם שלכם בריאים, אתם קוראים את המאמר הנכון.

מהם כלי דם ומדוע אנו זקוקים להם

כלי דם (כ"ד בקיצור) מעבירים דם ברחבי הגוף כולו. דם מורכב מתאי דם אדומים (שנושאים חמצן וחומרי מזון כדי להזין את הגוף), מים, הורמונים, חלבונים, מלחים, טסיות דם ותאי דם לבנים (שמגינים על הגוף כנגד חיידקים ומחלות). רופאים ומדענים קדומים ידעו על כ"ד. מסמך

איור 1

(A) תמונות לב מהחזית (שמאל) ומאחורה (ימין) - דם נמצא ברחבי הלב והוא נדחף לכל הגוף. אתם יכולים לראות חלק מכלי הדם בלב שמעבירים חמצן וחומרי מזון ללב עצמו. **(B)** תמונה ממיקרוסקופ אלקטרוני סורק של תאי דם באיבר שנקרא בלוטת יותרת המוח. יותרת המוח היא בלוטה שמייצרת הורמונים חשובים, כולל הורמון גדילה אשר שולט על קצב הגדילה שלכם. בתמונה הזו, המיקרוסקופ העוצמתי מגדיל רקמה של 1.5 מילימטרים ומראה את כלי הדם (חץ לבן) שנכנסים לאיבר החיוני הזה ויוצאים ממנו. תאי הגוף מחוקמים ממש בצמוד לכלי דם!



איור 1

מצרי עתיק שנקרא Ebers Papyrus ונכתב לפני כ-3,400 שנים דיבר עליהם. אולם מערכת הדם הרבה יותר מבוגרת מזה. ככל הנראה היא התפתחה לפני 600 מיליון שנים [1].

הלב דוחף דם לכ"ד, והדם מתפשט ברחבי הגוף. מגיע לכל חלק בגוף שלכם כדי להביא חמצן, חומרי מזון, ותאי דם לבנים למקומות שבהם הם נדרשים, וכדי לאסוף פחמן דו-חמצני וחומרי פסולת אחרים כך שהגוף יוכל לשחרר אותם. ללב אפילו יש כ"ד משלו (איור 1; ראו כתבה נוספת של פרונטייר - מדע לצעירים על הגנטיקה של מחלות לב [2]).

כיצד כלי דם נראה?

ישנם סוגים שונים של כ"ד. תסתכלו על אחורי היד שלכם, ואתם עשויים לראות שחלק מכלי הדם נראים כחולים, אף על פי שהדם הוא אדום. **עורקים** (איור 2) בדרך כלל נושאים דם עם חמצן (**דם מחומצן**), ו**ורידים** בדרך כלל נושאים דם עם פחות חמצן (**דם לא מחומצן**). ורידים לוקחים דם בחזרה ללב ולריאות, כדי לקבל עוד חמצן.

קפילרות הן סוג כ"ד הקטן ביותר - יכולות להיות 10 מיליארד קפילרות בגוף שלכם! מעריכים שלילדים יש יותר מ-95,000 קילומטרים של כ"ד בגופם. אם הייתם מטיילים יותר מפעמיים סביב לכדור הארץ, זה היה אותו המרחק! למבוגרים יש בסביבות 160,000 קילומטרים של כ"ד - ארבע פעמים היקף כדור הארץ! אולם כיצד הם נכנסים לתוך הגוף שלכם? כ"ד יכולים להיות בעובי של עד 2-3 סנטימטרים, אולם מרביתם קטנים הרבה יותר, לדוגמה 5 **מיקרון** (כלומר 5 אלפיות המילימטר, גודל זעיר), כך שתאי דם אדומים צריכים להתקפל כדי לעבור בהם. קפילרות קטנות כל כך עד שאנו יכולים לראות אותן רק עם מיקרוסקופ - הן דקות יותר אפילו משיער, וקטנות יותר מנקודה על פיסת נייר.

כיצד ומדוע כלי דם גדלים?

תינוק קטן בתוך אימו מתחיל לגדל כ"ד בתוך 3 שבועות. בזמן שהעובר בגודל של פחות מ-2 מילימטרים, עדיין אין לו כ"ד, כך שחמצן וחומרי מזון מועברים לתאים דרך תהליך שנקרא דיפוזיה. כ"ד מתחילים לגדול כשחלק מהתאים של התינוק, שנקראים המנגיובלסטים, מתפתחים לכ"ד ולדם. ברגע שכ"ד נוצרו, הם מתחילים להתארך, ויותר כ"ד יכולים לגדול

עורק

(Artery)

כלי דם שלוקח דם הרחק מהלב אל כל חלקי הגוף.

דם מחומצן

(Oxygenated Blood)

דם שנושא הרבה חמצן. באופן רגיל הוא נע בעורקים.

וריד

(Vein)

כלי דם שנושא דם מהגוף אל הלב.

דם לא מחומצן

(Deoxygenated Blood)

דם בעל רמות נמוכות של חמצן. דם זה בדרך כלל נע בוורידים.

קפילרה

(Capillary)

כלי דם קטן בקוטר - בין 5-10 מיקרון בלבד. דופן של קפילרה היא בעובי של תא אחד בלבד.

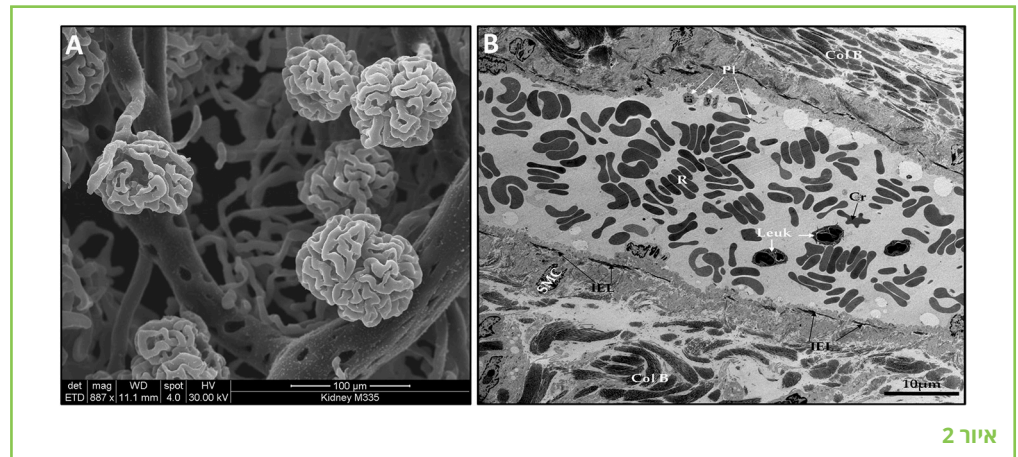
מיקרון או מיקרומטר

(Micrometre or Micrometer)

יחידת אורך. 1 מילימטר חלקי מילימטר היא 1 מיליונית המטר, אלפית המילימטר היא 0.001 מילימטר.

איור 2

(A) תמונה ממיקרוסקופ אלקטרוני סרוק שמראה מבנה שנקרא גלומרולי בכליה. לבני אדם יש כמיליון גלומרולים בכל כליה, והם משמשים לניקוי הדם [3]. (B) תמונת מיקרוסקופ שמראה כלי דם, כולל לאוקוציטים / תאי דם לבנים (Leuk) וטסיות דם (PI). תאי דם אדומים (R) יכולים להיות בעלי צורת אבנורמליות, ואנו קוראים לזה crenation (Cr). תאי שריר חלקים (SMC) ולמינה פנימית אלסטית (IEL) גורמים לעורקים להיות גמישים יותר, וקולגן (ColB) גורם לכלי דם להיות חזקים.



איור 2

מתוכם. המילה המדעית לתהליך של גדילת כ"ד היא **אנגיוגנזה**. עד שהתינוק נולד, יש לו קילומטר וחצי של כ"ד בגופו הקטן. חמצן וחומרי מזון מועברים מהאם לתינוק דרך כ"ד באיבר שנקרא שליה.

מה קורה כשכלי דם משתבשים?

כל יום, בסביבות 6,813 ליטרים של דם מטיילים דרך כ"ד שלכם, שזה אומר יותר מ-2,530,000 ליטרים בשנה – מספיק כדי למלא בריכת שחייה אולימפית! אין זה מפתיע שיכולות להתעורר בעיות עם הזמן. הגוף שלנו כל הזמן מתקן כ"ד שבורים או דולפים, ומייצר כ"ד חדשים. לעיתים כ"ד גדלים במקומות שהם בלתי רצויים, ואנשים יכולים לחלות. הרבה מהמחלות ששמעתם עליהן כולל סרטן, דלקת פרקים, סוכרת, ואפילו אלצהיימר, כוללות בעיות בכ"ד.

כ"ד יכולים להישבר בכל חלק בגוף. עיטוש או שיעול חזקים מאוד יכולים לשבור כ"ד בעין. קינוח אף פעמים רבות או בעוצמה רבה יכול לשבור כ"ד באף, ואתם יכולים לראות דימום מהאף. אם אתם נופלים ופוגעים בברך שלכם, העור עשוי להישבר, ואתם עשויים להתחיל לדמם בגלל שכ"ד שבורים נותנים לחלק מהדם לצאת. כואב לכם, אולם אתם ככל הנראה מנקים את הדם כדי למנוע מחיידקים ומלכלוך להיכנס לגוף. שימת פלסטר גם מסייעת לשמור על הפצע נקי. אתם עשויים גם לראות הופעה של חבורה. שברי כ"ד האלה בדרך כלל בסדר, אם אנו מטפלים בעצמנו. למזלנו, לגוף שלנו יש דרכים מיוחדות להחלים. טסיות דם בדם חוסמות חורים בכ"ד. אם יש חתך עמוק מאוד, אנו עשויים להצטרך ללכת לרופא או לאחות שיסגרו את החור, כך שכ"ד יוכלו להחלים.

אף על פי שחתך בברך או אף מדמם הם בסדר לגמרי, תאונה רצינית כמו תאונת דרכים עשויה לחתוך כ"ד רבים, ולכן אנו חוגרים חגורות בטיחות כדי למנוע פציעות. למבוגר הממוצע יש בין 4.5-5.5 ליטרים של דם. כמות הדם שיש לילדים יכולה להשתנות מאוד כתלות בגודלם, אולם ישנם כ-75 מיליליטרים של דם פר קילוגרם של משקל גוף, או לדוגמה ישנו ליטר אחד של דם בילד ששוקל 13.3 קילוגרמים. לתינוק שנולד זה עתה יש רק כוס אחת (0.2 ליטרים) של דם. אם אתם מאבדים כ-20% מהדם שלכם, הגוף שלכם יתחיל להתקשות וצריך לתת לו, או שהוא יקבל, דם נוסף. דם כזה מגיע מאנשים שנקראים תורמי דם. כשתורמים נותנים דם,

הגוף שלהם בסופו של דבר מחליף את הדם שאבד. תורמי דם, רופאים ואחיות מצילים חיים על-ידי הכנסת דם לאנשים שצריכים אותו.

כ"ד קטנים בעור שלכם עשויים להיכבות באופן זמני כשקר, כדי לסייע לשמור על חום בתוך הגוף שלכם, והם נפתחים כשחם, כדי לקרר אתכם. הפתיחה והסגירה האלה הן נורמליות, אולם יכולות לגרום לכאב אם קר לכם זמן רב מדי. זו הסיבה לכך שאנו לובשים כפפות במזג אוויר קר. אם אתם אוכלים משהו קר, המוח שלכם עשוי להרגיש קר, ואנו קוראים לזה קיפאון מוחי. בקיפאון מוחי, כ"ד בפה שלכם נעשים קטנים יותר, ואתם מרגישים כאב. האם מישהו אי פעם אמר לכם לא לגרוב גרביים רטובים או לא לנעול נעליים רטובות? או הציע שתנעלו את נעלי הבית שלכם כדי לשמור על כפות רגליכם חמות? הסיבה לכך היא שכשלאנשים קר או רטוב מאוד לאורך זמן, כ"ד בכפות הרגליים שלהם סובלים, ועשויה להתפתח מחלה בשם רגל חפירות. רגל חפירות מתרחשת כשכ"ד מתכלים ונהרסים, מה שמוביל למוות תאי באזורים הסמוכים.

לכ"ד יש מלכודות קטנות בתוכם שנקראות מסתמים, כדי לגרום לדם לזרום בכיוון הנכון. לעיתים המסתמים האלה מפסיקים לפעול, או ניזוקים, ודם יכול לזרום בכיוון לא נכון. זה גורם להופעה של דליות בצבע סגול כהה, או להופעה של ורידי עכביש. על כדור הארץ, המסתמים מסייעים לדם לנוע מהרגליים חזרה לגו, מאחר שהכבידה מושכת את הדם למטה. אצל אסטרונוטים, הדם מגיע יותר גבוה למעלה, אל החזה והראש, כך שהפנים שלהם מתנפחות והם עלולים לחוות כאבי ראש!

לעיתים כ"ד נחסמים, מה שעוצר את זרימת הדם. כ"ד סתום יכול לגרום לכאב, ואם כ"ד נמצא בלב, הלב עשוי להפסיק לפעול. כ"ד חסום יכול גם להפחית את כמות החמצן שמגיע לחלקי גוף שונים, ואם זה קורה במוח האדם עשוי לחוות שבץ. ראו את כתבת פרונטיר - מדע לצעירים המדהימה הזו, בנושא זרימת דם במוח [4]. במקרים מסוימים, פתיחה של כ"ד מצריכה תרופות או ניתוח.

כ"ד יכולים, לכן, להיות לא בריאים באופנים רבים. הם עשוי להישבר, להיחסם, לדלוף, להתכווץ, להכיל תאי דם אבנורמליים או תאי דם מתים (איור 2), או כמה מצבים אבנורמליים אחרים.

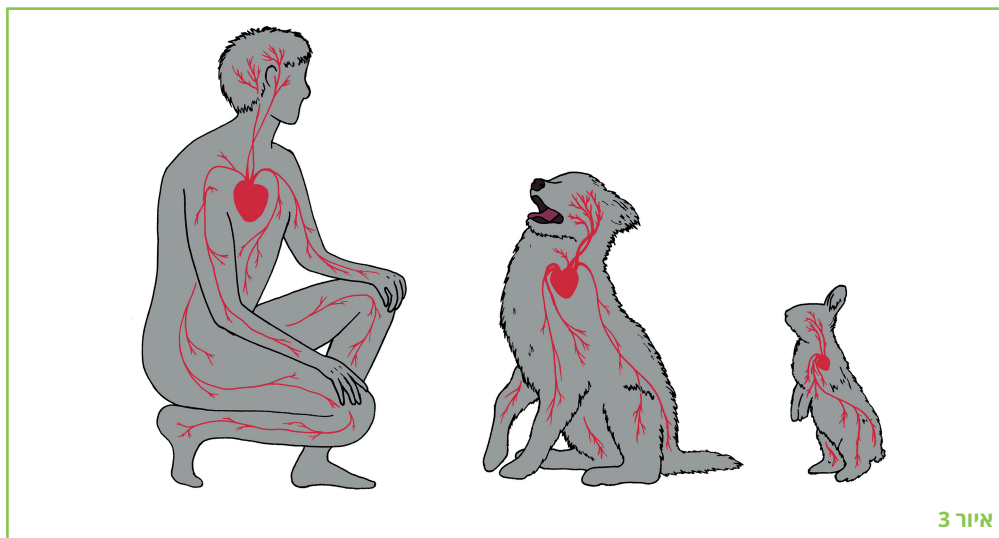
האם כלי דם תמיד טובים עבורנו?

לתינוקות שנולדים מוקדם עשויים להיות כ"ד בעיניהם שמונעים מהם לראות טוב, ולעיתים התינוקות האלה עיוורים [5, 6]. כ"ד האלה לא צריכים להתקיים כשאנו גדלים, אולם הם מסייעים לעיניהם של תינוקות לגדול לפני שהם נולדים. אנשים עם מחלה שנקראת סוכרת יכולים לפתח בעיות עיניים. כ"ד בעיניו של חולה סוכרת יכולים להפוך לדולפים, הדם בורח וכלי דם חדשים גדלים כשהם לא אמורים לגדול. הגוף מנסה לתקן את זה, אולם כ"ד הפגומים יכולים לגרום לבעיות כמו למשל זיהום, עיוורון, כאב וחוסר היכולת להעביר דם ברחבי הגוף באופן תקין.

באופן כללי, גידולים וסרטנים חייבים לגדול לגודל של 1-2 מילימטרים לפני שהם זקוקים לחמצן ולחומרי מזון, כך שכ"ד חדשים חייבים להיווצר עבור גדילתם של גידולים. מדענים מנסים למצוא

איור 3

בין אם אתם כלב, ארנב, או אדם, כלי דם מפוזרים ברחבי הגוף שלכם, ונושאים דם שנע פנימה והחוצה מהלב. זרימת דם מאפשרת לכל התאים שלכם לקבל חמצן וחומרי מזון, ולהיפטר ממוצרי פסולת.



דרכים למנוע את גדילת כ"ד, מאחר שבלי כ"ד הגידול לא יוכל לגדול יותר. עצירת כ"ד מגדילה בגידולים היא קשה, מאחר ששאר הגוף זקוק לכ"ד, ולכן איננו יכולים פשוט להיפטר מכולם.

תאהבו את כלי הדם שלכם

כלי דם הם הכרחיים; הם שומרים עלינו ועל כל החיות בחיים (איור 3). עוברים, תינוקות, ילדים, מבוגרים וזקנים, כולם זקוקים לכלי דם שיאפשרו לחומרי מזון ולגזים, כמו למשל חמצן, להגיע לכל רחבי הגוף. גוף בריא בדרך כלל ייצר כלי דם בריאים, ויגן על כלי דם מפני דליפה או נזק. שתיית מים רבה, אכילת מזונות טובים כולל פירות וירקות, ביצוע פעילות גופנית ואכילת כמויות סוכר ושומן קטנות, יכולים לסייע לשמור על כ"ד שלכם בריאים. הרגלים כמו עישון אינם טובים לכ"ד. כשאתם בחוץ רוכבים על אופניים עם חבריכם, אוכלים תפוח, או הולכים עם המשפחה שלכם, אתם עוזרים לכ"ד שלכם.

תודות

אנו אסירי תודה לעובדים שלנו על הבנת חשיבות תקשורת המדע. CR גם רוצה להודות לאוניברסיטת נוטינגהם ולאגוד המדע הבריטי על מימון מלגת BSA Media Fellowship בשנת 2019, ולחברה האנטומית עבור סיוע במימון העבודה הזו באמצעות מענק Public Engagement and Outreach שניתן ל-CR ונקרא —Anatomy for ALL— Making Anatomy Accessible. JF הייתה בדוקטורט שמומן על-ידי BBSRC ואוניברסיטת נוטינגהם (BB/M008770/1). המנחה הראשית שלה הייתה דוקטור סבין טוטמאיר. אנו מודים לכל הסוקרים הצעירים על קריאת המאמר הזה ועל תרומתם יקרת הערך.

מקורות

1. Monahan-Earley, R., Dvorak, A. M., and Aird, W. C. 2013. Evolutionary origins of the blood vascular system and endothelium. *J. Thromb. Haemost.* 11:46–66. doi: 10.1111/jth.12253

2. Clark, N., Alibhai, A., and Rutland, C. S. 2018. Mending a broken heart—the genetics of heart disease. *Front. Young Minds*. 6:19. doi: 10.3389/frym.2018.00019
3. Kelly, P., Denver, P., Satchell, S. C., Ackermann, M., Konerding, M. A., and Mitchell, C. A. 2017. Microvascular ultrastructural changes precede cognitive impairment in the murine APP^{swe}/PS1^{dE9} model of Alzheimer's disease. *Angiogenesis*. 20:567–80. doi: 10.1007/s10456-017-9568-3
4. Carter, S., Holder, S., Thijssen, D., and Hopkins, N. 2019. Taking regular breaks from sitting prevents reductions in brain blood flow. *Front. Young Minds*. 7:77. doi: 10.3389/frym.2019.00077
5. Rutland, C. S., Mitchell, C. A., Nasir, M., Konerding, M. A., and Drexler, H. C. 2007. Microphthalmia, persistent hyperplastic hyaloid vasculature and lens anomalies following overexpression of VEGF-A188 from the alphaA-crystallin promoter. *Mol. Vis.* 13:47–56.
6. Rutland, C. S., Jiang, K., Soff, G. A., and Mitchell, C. A. 2009. Maternal administration of anti-angiogenic agents, TNP-470 and Angiostatin4.5, induces fetal microphthalmia. *Mol. Vis.* 15:1260–9.

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Tansy C. Hammarton

מנחה מדעי: Helen Price

ציטוט: Machado MJ, Mitchell CA, Franklin J, Thorpe A and Rutland CS (2022) כלי דם מתחת למיקרוסקופ. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00151-he

תורגם והותאם: Machado MJ, Mitchell CA, Franklin J, Thorpe A and Rutland CS (2020) Blood Vessels Under the Microscope. *Front. Young Minds* 7:151. doi: 10.3389/frym.2019.00151

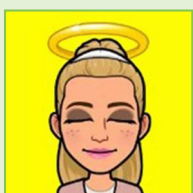
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

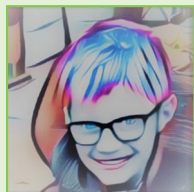
COPYRIGHT © 2020 © Machado, Mitchell, Franklin, Thorpe and Rutland 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה). השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

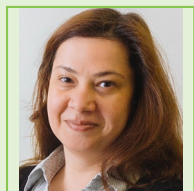
AMY, גיל: 11

Amy היא בת 11 והיא אוהבת את מרבית סוגי הספורט, אבל שחייה במיוחד. היא גם אוהבת לאפות עוגות ולבלות עם חברים. היא לא אוהבת פטריות, והייתה רוצה להיות מורה כשתגדל.

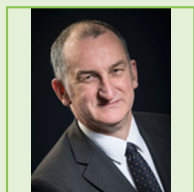


**EDWARD, גיל: 12**

Edward הוא ילד בן 12 שאוהב אומנות ומרותק ממדע. הוא אוהב להעביר את הזמן בצפייה ביוטיוב ובמשחקים בנינטנדו סוויץ' שלו. בעתיד, הוא היה רוצה להיות מהנדס או טכנאי מחשבים.

הכותבים**MARIA J. C. MACHADO**

חקרתי כלי דם בהרבה מקומות ברחבי העולם. הסתכלתי על איך פצעים מחלימים, מה משתבש כשמוטציות גורמות לכשל בכלי דם אצל תינוקות של חיות, על דרכים לשפר גפיים שניזוקו או חלו וכיצד כלי דם שונים במצב של סרטן. אני אוהבת צילום וטיוולים. אני שומרת על כלי הדם שלי בריאים באמצעות יוגה, הליכות על חוף הים ומשחקים עם החתול שלי! machado.mjc@gmail.com; orcid.org/0000-0002-2729-4809

**CHRISTOPHER A. MITCHELL**

אני פרופסור לשחזור רקמות באוניברסיטת אולסטר. אני מלמד מחקר ופתולוגיה מולקולרית לסטודנטים במדעי הרפואה ובביולוגיה כאן בצפון אירלנד. המחקר שלי בוחן את האופן שבו כלי דם גדלים במצבים של בריאות ומחלה, כמו גם כיצד אנו יכולים לשפר את גדילת הרקמות אחרי נזק (כמו עצמות שנשברו לא טוב). בזמני הפנוי, אני מתאמן ונלקח להליכות על-ידי אש – הכלב הלבן הגדול. אני אוהב לנגן על גיטרה ולשיר (אפילו עם סטודנטים לפעמים), ואני מנסה לשמור על כלי הדם שלי בריאים על-ידי אכילת דגים רבים, וכל כך הרבה סלט שלפעמים אני מרגיש כמו ארנב. ca.mitchell@ulster.ac.uk; orcid.org/0000-0002-4422-7400

**JEMMA FRANKLIN**

אני דוקטורנטית בבית הספר לרפואה וטרינרית ומדע באוניברסיטת נוטינגהם. המחקר שלי מתמקד באופן שבו אפשר לשמור על חיות בריאות בדרך של הפסקת גרימת מחלות על-ידי זיהומים. אני שומרת על כלי הדם שלי שמחים על-ידי חיבוקים תכופים עם שתי הארנבות שלי, קאס וג'ודי, כמו גם שירה במקלהת הקמפוס שלי ונגינה על הקלרינט שלי בלהקת ביג בנד, ובזווילה בכנסיה שלי. אני גם פעילה חברתית. stxjmf@exmail.nottingham.ac.uk

**AARAN THORPE**

אני מדען חוקר באוניברסיטאות ובתעשייה כבר יותר מ-20 שנים. הסתכלתי על לב וכלי דם, ועל הרבה הפרעות שונות בבני אדם ובחיות. אני מתמחה בדימות, כך שאני אוהב מיקרוסקופים. אני שומר על הלב וכלי הדם שלי בריאים על-ידי רכיבה על אופניים בהרים, השתתפות במרוצי סיבולת ולקיחת אתגרי ריצה ורכיבה קשים. aaran.thorpe@gmail.com

**CATRIN SIAN RUTLAND**

אני פרופסורית לאנטומיה וגנטיקה התפתחותית באוניברסיטת נוטינגהם. אני מלמדת אנטומיה וגנטיקה לסטודנטים לרפואה וטרינרית, ואני מובילה קבוצה של מדענים חוקרים. המחקר שלי בוחן את הסיבות לכך שאנשים וחיות סובלים ממחלות לב וכלי דם, ומנסה למצוא דרכים לסייע להם. כשאני בעבודה, אני אוהבת לטייל ברחבי העולם, לבקר במוזיאונים ולכתוב מדע בדיוני. אני הולכת לחדר כושר עם

חברים שלי ועם חבר שלי אנדרו, אני רצה ואוכלת הרבה סלט כדי לשמור על כלי הדם שלי בריאים.
†orcid.org/0000-0002-2009-4898; *catrin.rutland@nottingham.ac.uk

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