



כיצד עצמות שבורות מחלימות?

Magdalena Warczak^{1*}, Katarzyna Krajewska², Justyna Chałubińska-Fendler³, Magdalena Osial⁴

¹המכון לכימיה פיזיקלית, האקדמיה הפולנית למדעים, ורשה, פולין

²בית חולים גרוקה להוראת אורתופדיה וטראומה, אוטווק, פולין

³המחלקה לרדיותרפיה, המכון הצבאי לרפואה, ורשה, פולין

⁴הפקולטה לכימיה, אוניברסיטת ורשה, ורשה, פולין

סוקרות צעירות

JULIA,
HARNOOR,
SRIJIA,
DHAANIYA,
MAI,
XIANGYU,
ROOPA, SYBIL,
AND
SARRANYA

גיל: 15–16

ANANEAH

גיל: 13



השלד האנושי הוא דבר מדהים. הוא מהווה מסגרת נעה שמגינה על רקמות ואיברים רכים, ובד בבד מאחסן מינרלים ומייצר תאי דם ותאים חיסוניים. לעצמות יש גם יכולת מדהימה להיבנות מחדש ולתקן את עצמן. אם שברתם עצם אין צורך שתדאגו מדי – בעזרת תמיכתם של רופאיכם והמטפלים שלכם, העצם אמורה לרפא את עצמה. לעצמות מבנה גמיש המשמש כפיגומים למינרלים, שיוצרים שלד חזק ויציב. לרוע המזל, חוזקן של עצמות עשוי לפחת עם הגיל או עקב חֶסֶר תזונתי או ליקויים הורמונליים. כשאתם חווים כאב, נפיחות, או חבלה בעקבות נפילה, עליכם לגשת לרופא כדי לבדוק אם נגרם שֶׁבֶר בעצם. אך אל תדאגו – זכרו שהעצמות יכולות לתקן את עצמן! האם אי פעם תהיתם כיצד מתרחשת החלמה של עצם? במאמר זה תוכלו לגלות את התשובות.

תפקידים של עצמות

האם ידעתם שבני אדם נולדים עם 270 עצמות לערך? אולם, במהלך הילדות וההתבגרות, חלק מהן מתאחדות, וכתוצאה מכך כמבוגרים יש לנו 212 עצמות בלבד. לדוגמה, לילודים

יש עצמות גולגולת שאינן מאוחדות, מה שגורם לראש להיות גמיש יותר, וכזה נשקל יותר ללחוץ החוצה דרך תעלת הלידה של האם. כשתינוק גדל, עצמות הגולגולת שלו מתאחדות.

תפקידיו העיקריים של השלד הם להגן על הגוף; להקנות מבנה לגוף; לאפשר תנועה, ואפילו לאפשר שמיעה! האם ידעתם שהעצמות הקטנות ביותר בגוף ממוקמות באוזן התיכונה? הן אחראיות להגברת הצלילים שמועברים לאוזן הפנימית. העצמות הגדולות ביותר בגוף הן עצמות הירך ברגליים. עצמות אלה חזקות למדי, ותומכות בכל הגוף. לעצמות יש גם תפקידים חשובים אחרים. הן יכולות לאחסן מינרלים, כמו למשל סידן וזרחן, ולשחררם. מינרלים אלה חשובים לשמירה על העצמות חזקות וקשות. סידן הוא מינרל חיוני לא רק עבור היווצרות העצם, אלא גם עבור תפקוד תקין של עצבים, שרירים והלב. לכן, סידן משוחרר מהעצמות למחזור הדם כאשר חלקים אחרים בגוף זקוקים לו.

חלק מהעצמות מכילות מֶחַ עצם אדום – רקמה רכה וספוגית שמייצרת תאי דם לבנים, אשר מגינים עלינו מפני זיהומים; תאי דם אדומים, אשר נושאים חמצן, וטסיות דם, אשר מסייעות לדם להיקרש במקרה של פציעה. מה שגורם לעצמות להיות נפלאות אפילו יותר, הוא העובדה שהן יכולות לרפא את עצמן. כדי להבין את התהליך המרתק הזה, נבחן תחילה ממה עצמות עשויות.

המבנה הפנימי של העצם

בלי להשתמש במיקרוסקופ, אנו יכולים לראות שעצמות מורכבות מרקמה פנימית דמוית-ספוג שנקראת **עצם ספוגית**; משכבה דחוסה וקשיחה שנקראת **עצם קומפקטית** ומשכבת כיסוי חיצונית שנקראת **פריאוסטאום** (איור 1). מינרלים רבים מאוחסנים בעצם

עצם ספוגית (Cancellous bone)

רקמה ספוגית, נקבובית וקלה בתוך העצם.

עצם קומפקטית (Compact bone)

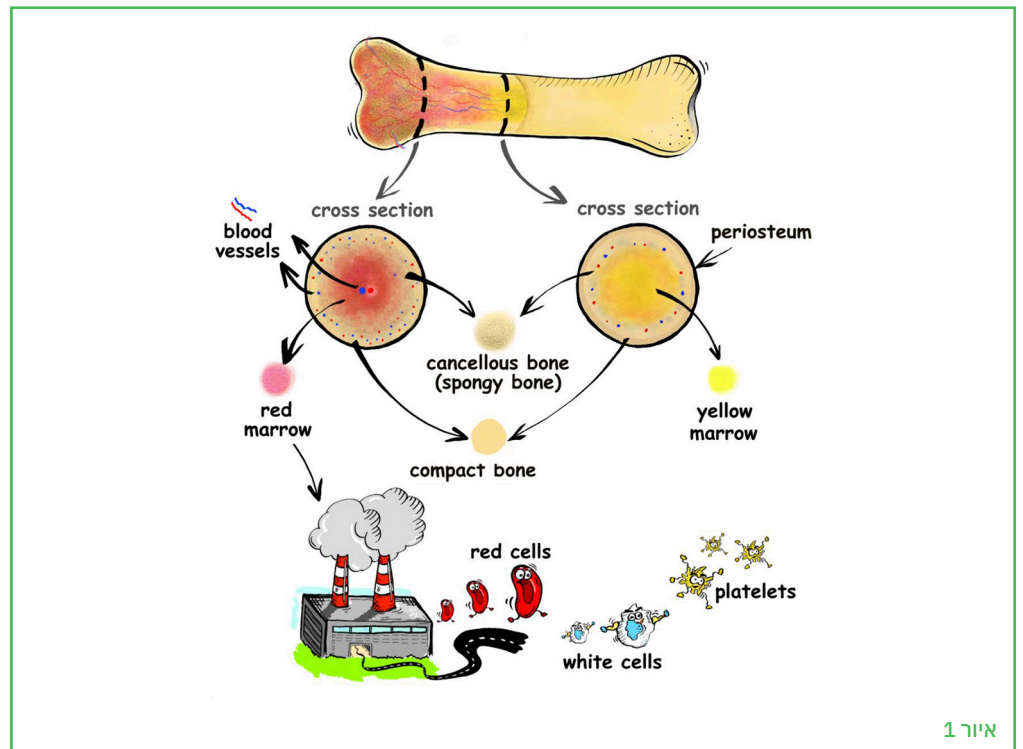
שכבה חיצונית של עצם, קשה ודחוסה הרבה יותר מעצם ספוגית.

פריאוסטאום (Periosteum)

הכיסוי החיצוני של עצם, שמכסה עצם קומפקטית.

איור 1

מבנה העצם. עצמות מכילות סוג עצם פנימית וספוגית שנקראת עצם ספוגית (cancellous bone). עצם זו מוקפת על ידי עצם דחוסה יותר שנקראת עצם קומפקטית (compact bone). העצם הקומפקטית מכוסה בכיסוי חיצוני שנקרא פריאוסטאום (periosteum), אשר מזין את העצם ומלא עצבים שיכולים להעביר אותות כאב אם העצם נפגעת. חלק מהעצמות מכילות במרכזיהן מח עצם אדום, אשר מייצר תאי דם אדומים (red cells), תאי דם לבנים (white cells) וטסיות דם (platelets).



איור 1

הפנימית, הספוגית, הנקבובית, ובה ממוקם גם מח העצם. עצם קומפקטית מקיפה עצם ספוגית, והיא הרבה יותר קשה וחזקה ממנה. עצם ספוגית מספקת לעצמות את מְרֻבֵּית חוזקן. הפריאוסטאום, בין תפקודיו האחרים, מספק תזונה לאזורים אחרים של העצם. שכבת כיסוי זו מלאה עצבים שמעבירים מידע לגבי כאב, וזו הסיבה לכך שאתם חשים כאב כשהעצם שבורה.

הידרוקסיפטיט (Hydroxyapatite)

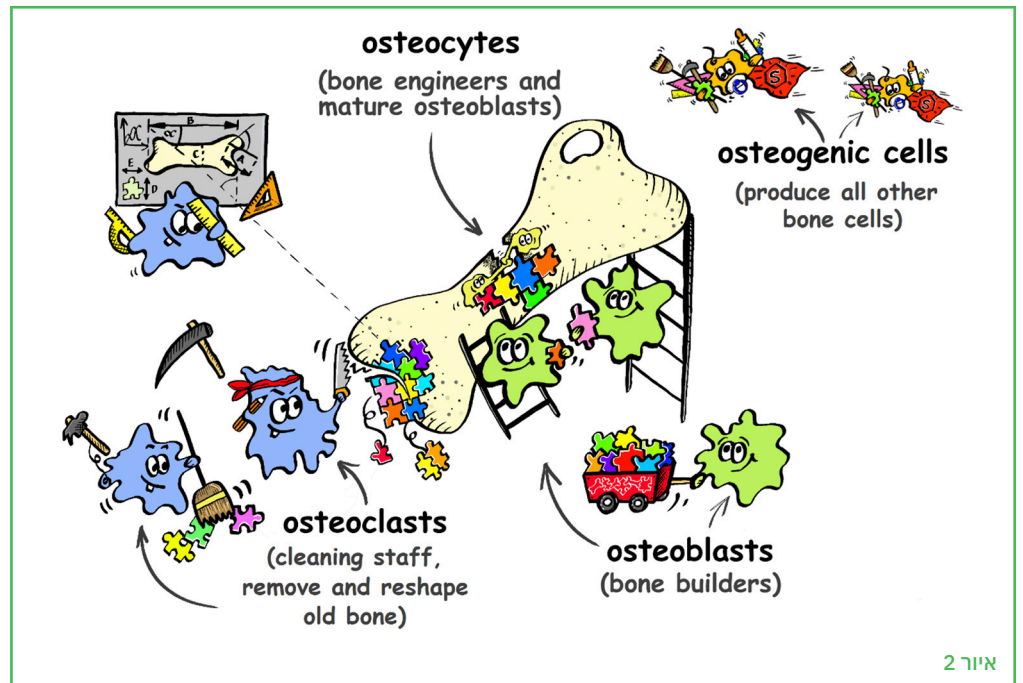
מינרל טבעי שבונה את העצמות ומקשה אותן.

קולגן (Collagen)

סיב טבעי שתומך ברקמת עצם, ועושה אותה אלסטית יותר.

איור 2

ארבעת סוגי תאי העצם המתמחים – פועלים יחד כצוות כדי לסייע בתיקון עצמות לאחר שבר. = Osteoblasts אוסטאובלסטים (בנאי עצם) = Osteoclasts אוסטאוקלסטים (צוות הניקיון, אחראים להסרת עצם ישנה ועיצוב העצם מחדש) = Osteocytes אוסטאוציטים (מהנדסי עצם ואוסטאובלסטים בוגרים) = Osteogenic cells תאים אוסטאוגנים (מייצרים את כל תאי העצם האחרים).



איור 2

עצמות מכילות ארבעה סוגים של תאים מתמחים (איור 2):

1. תאים אוסטאוגנים – סוג של תא גזע, כלומר ביכולתם לייצר סוגי תאים אחרים. תאים אוסטאוגנים הם תאי העצם היחידים שיכולים להתחלק, וחשיבותם היא בכך שהם מייצרים את כל סוגי תאי העצם האחרים, כאמור.
2. אוסטאובלסטים – אחראים לבניית עצמות. תאים אלה גורמים לעצמות להיות חזקות על ידי כך שהם יוצרים וממקמים תערובת של חלבונים שעל גביה נבנה הידרוקסיפטיט. אוסטאובלסטים מהווים כ-5% מכל תאי העצם, וממוקמים בעיקר באזורי עצם שגדלים, בפני השטח של העצם.
3. אוסטאוציטים – המהנדסים והבנאים המנוסים. מהווים כ-90% מתאי העצם, ונמצאים במטריצת העצם. תאים אלה מְתַקְשְׁרִים עם תאים אחרים ומווסתים

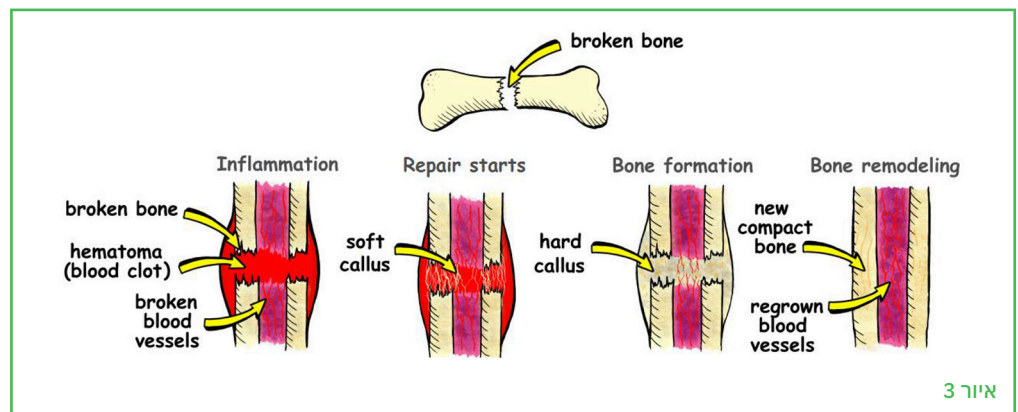
את עבודתם של אוסטאובלסטים ואוסטאוקלסטים לעיצוב העצם. אוסטאוציטים אחראים לגדילה של עצם חדשה, ולתיקונה. הם אחד מסוגי התאים בגוף שחיים הכי הרבה זמן – יכולים לחיות במשך עשרות שנים!
 4. אוסטאוקלסטים – פועלים כצוות הניקיון שתומך בעצמות. אחראים להסרה של עצם ישנה כאשר העצם זקוקה לתיקון.

ארבעה שלבים בהחלמת עצם

שברים בעצם מתרחשים לעיתים תכופות למדי, במיוחד כשאנו צעירים. הם עשויים להיגרם על ידי דחיסה פתאומית של העצם, כמו למשל עקב נפילה מהירה. שבירה עלולה לפצל את העצם לפיסות קטנות יותר; העצם עשויה להיסדק, להיחרץ, או להתנפץ. רופאים יכולים לאחות פיסות עצם קטנות, או להסירן בניתוח. מייד לאחר היווצרות שבר בעצם, הגוף שולח אותות כדי להתחיל בריפוי העצם. אותות אלה גורמים לתגובות תאיות וכימיות. תוכלו לדמיין את התהליך כפס ייצור בסדנת מומחים, שבה לכל אחד יש תפקיד מסוים. החלמת עצם היא תהליך בן ארבעה שלבים הכולל דלקת; תיקון; היווצרות עצם חדשה ועיצוב מחדש של העצם (איור 3) [2].

איור 3

החלמת עצם מתרחשת בארבעה שלבים. בשלב הראשון לאחר הפגיעה מתפתחת דלקת (inflammation). לאחר מכן, העצם עוברת לשלב התיקון (repair) ויוצרת יבלת (callus) רכה. בשלב השלישי, העצם מתחזקת ויוצרת יבלת קשה. בשלב האחרון, העצם הקומפקטית החדשה נוצרת, וכלי הדם מתחדשים.



איור 3

המטומה (Hematoma)

מתארת את האזור בגוף שבו דם נאסף מחוץ לכלי הדם.

יבלת (Callus)

רשת זמנית של סיבים וסחוס שנוצרת במהלך שלב התיקון בהחלמה של עצם. יבלת מחליפה את המטומה, ומספקת בין החלקים השבורים של העצם.

סחוס (Cartilage)

רקמת חיבור קשיחה וגמישה שמופיעה בקצוות של עצמות, במפרקים ובאזורים אחרים בגוף, לרבות האף והאוזניים.

שלב 1 – דלקת

האם ידעתם שכאב הוא אחד הסימנים הראשונים של שבר? אחרי תאונה כמו נפילה מעץ מתרחשות באזור הפגוע גם התנפחות וחבלה. אות הכאב שנשלח מהעצם מעביר מסר: "אל תזוז; אל תחריפו את הפגיעה בעצם השבורה; הישארו דוממים ורגועים". כשעצם נשברת, בדרך כלל גם כלי הדם שבה נשברים. לעיתים, כשתאי הדם דולפים, תוכלו לראות **המטומה**, שהיא המונח הרפואי לחבלה. המטומה מתהווה כאשר קרישי דם נוצרים אחרי שדם דולף לתוך האזור שסביב לשבר בעצם. אנו מעוניינים שהדבר יתרחש, מאחר שדם קרוש מתפקד כחוליה מקשרת בין חלקי העצם השבורה, ופועל כתבנית שעל גביה נוצרת רשת זמנית של סיבים וסחוס, שנקראת **יבלת**. **סחוס** הוא רך וקל סיבית חזקה, דמוית ג'ל, שמורכבת מתאים מתמחים המייצרים קולגן. מערכת החיסון מתחילה את תהליך הדלקת באזור הפגוע. תאים אחרים במערכת החיסון אחראים לניקוי מקום הפגיעה ולהכנת האזור הפגוע להיווצרות עצם חדשה. תאים אלה מסירים את קרישי הדם ופסולת אחרת

כדי לאפשר זרימת דם בריאה לאזור הפגוע. אחרי שהם מסיימים את עבודתם, הגיע הזמן לתיקון.

שלב 2 – תחילת התיקון

צעד זה מתרחש בעיקר הודות לתאים אוסטאוגנים. תאים אלה מתחילים את עבודתם על ידי יצירה של אוסטאובלסטים ותאים אחרים שאחראים על יצירת סיבים בעצם. העצם החדשה מתחילה להיווצר כאשר ההמטומה מוחלפת על ידי יבלת רכה, המכילה בתוכה כלי דם חדשים. בהיווצרות החוליה המקשרת הרכה בין חלקים של עצם שבורה, מעורבים סיבים וסחוס.

שלב 3 – היווצרות עצם

כמה שבועות לאחר הפגיעה, הודות לאוסטאובלסטים ולמינרלים, היבלת הרכה והסיבית מתחזקת ונהיית יבלת סחוסית קשיחה. יבלת זו חלשה יותר מעצם רגילה, אך עמידה יותר כנגד כוחות חיצוניים.

שלב 4 – עיצוב מחדש של העצם

השלב האחרון מְעַרְב יצירה של עצם חדשה וחזקה. היבלת הקשה מוחלפת ומעוצבת מחדש לכדי עצם חדשה, אשר תואמת לצורתה ולגודלה המקוריים של העצם שנשברה. מדהים כיצד הגוף זוכר את הצורה והגודל הראשוניים של העצם – דבר זה אינו מתרחש עבור כל איברי הגוף. אוסטאוקלסטים ואוסטאובלסטים הם מנקים וארכיטקטים מדהימים, ואחראים על פיסול העצם. תאים אלה פועלים במשך כמה חודשים כדי להשלים את עבודתם. כאשר ההחלמה מסתיימת, העצם נראית ופועלת כאילו הייתה חדשה לחלוטין.

תמיכה בבריאות העצם

עצמות שבורות מחלימות מהר יותר כשאנו צעירים. תהליך ההחלמה תלוי בגורמים רבים, בהם צפיפות העצם, אשר מתייחסת לכמות המינרלים בעצם. כאשר צפיפות העצם תקינה, העצם בריאה, בעוד שצפיפות עצם נמוכה משמעותה שהעצם נקבובית יותר וחלשה יותר. סדקים ושברים מתרחשים בִּיְתֵר קלות בעצמות חלשות. צפיפות העצם גְּדֵלָה במהלך הילדות וההתבגרות, והיא הכי חזקה בגילי 11-13. בסביבות גיל 16, צפיפות העצם מתייצבת, אך נותרת פעילה. צפיפות של עצם בריאה מצריכה שמירה על דיאטה מתאימה, במיוחד כשאתם גדלים. זכרו לאכול מזונות עשירים בסידן כדי "להזין" את עצמותיכם. סידן נמצא במְרֵבֵית מוצרי החלב, בדגים, ואפילו בפירות ובירקות. לעיתים, נדרשים תוספי סידן. חומרי מזון אחרים, כמו למשל ויטמין D3, נדרשים לתפקוד תקין של מערכת החיסון ועבור עצמות בריאות. ויטמין K חיוני לקרישת דם ולהחלמה של עצמות, בעוד שמגנזיום ואשלגן מסייעים לספוג סידן ממערכת העיכול, כך שיוכל לשמש את שאר הגוף. אם לא תספקו לגופכם מספיק מהרכיבים החיוניים האלה, עצמותיכם ייעשו פריכות יותר, ונטות יותר להישבר.

נוסף על כך עליכם לזכור להתאמן ולהיות פעילים פיזית. האם ידעתם כי צפיפות העצם של ספורטאים, במיוחד אלה שמתאמנים בענפי ספורט שבהם נדרש מאמץ גבוה, גדולה באופן משמעותי ביחס לאנשים שאינם ספורטאים? פעילויות ספורט שגרתיות מצוינות לעצמותינו מאחר שהן מגדילות את צפיפות העצם. אם כן, אל תהיו 'בטטות כורסה' – הישארו פעילים כדי לפתח את שריריכם ולחזק את עצמותיכם [3]. אולם זכרו כי העיסוק בחלק מענפי הספורט עלול להוביל לשברים, לכן בחרו את הפעילות הספורטיבית שלכם בזהירות, והקפידו להשתמש בצידוד ההגנה הנדרש. הגנה על עצמות היא חשובה, מאחר שהשלד לא רק תומך ביציבה ומגן על הגוף, אלא גם מייצר תאי דם ומווסט אחסון של מינרלים. אם אתם שוברים עצם, אל תדאגו! העצמות מקיימות תהליך מעניין ויעיל מאוד של תיקון עצמי. הודות לתאים חיים, כאשר מתרחש שבר, תהליך הריפוי הטבעי מתחיל. החלמה עשויה להיראות כמו תהליך מורכב, אך הוא מתבצע באמצעות עבודת צוות של תאים מתמחים רבים. כל התאים האלה יודעים את תפקידיהם, וכיצד להחזיר את העצם השבורה לתפקודה הראוי ולצורתה התקינה.

מקורות

1. Oryan, A., Monazzah, S., and Bigham-Sadegh, A. 2015. Bone injury and fracture healing biology. *Biomed. Environ. Sci.* 28:57–71. doi: 10.3967/bes2015.006
2. Canale, S. T., and Beaty, J. H. 2012. *Campbell's Operative Orthopaedics*. Vol. 3. Mosby, St. Louis: 2012, 2777–820.
3. Andreoli, A., Monteleone, M., Van Loan, M., Promenzio, L., Tarantino, U., De Lorenzo, A. 2001. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:507–11. doi: 10.1097/00005768-200104000-00001

פורסם אונליין: 28 באפריל 2023

נערך על ידי: Jorge Galindo-Villegas

מנחים מדעיים: Keri McCrickerd and Nevil Singh

ציטוט: Warczak M, Krajewska K, Chatubińska-Fendler J and Osial M (2023) כיצד עצמות שבורות מחלימות? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.579201-he

Warczak M, Krajewska K, Chatubińska-Fendler J and Osial M (2021) How Do Broken Bones Heal? *Front. Young Minds* 9:579201. doi: 10.3389/frym.2021.579201

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

זהו © 2021 © COPYRIGHT © 2023. Warczak, Krajewska, Chałubińska-Fendler and Osial. 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 למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרות צעירות

JULIA, HARNOOR, SRIJIA, DHAANIYA, MAI, XIANGYU, ROOPA, SYBIL, AND SARRANYA, גיל: 15-16

אנו קבוצה של תלמידות צעירות וסקרניות שמגלות עניין רב במדע. אוהבות לגבש תובנות חדשות ולבחון מדע בעין ביקורתית. אנו מפתחות תשוקה למדע מעבר לתוכנית הלימודים ולסילבוס שלנו. תהליך הסקירה הזו היה יוצא מגדר הרגיל עבורנו, וזימן לנו חוויה מאירת עיניים! יחד אנחנו סיביל, רופה, שיאנגיו, מאי, דהאניה, סריג'ה, הרנור, ג'וליה וסראניה.

ANANEAH, גיל: 13

אני אוהבת לחשוב על מדע, ויודעת שכשאגדל, ארצה להיות ביולוגית של סרטן. אני אוהבת חיות, ונהנית לבלות זמן עם הכלבה שלי, התרנגולים והארנבות שלי. אני נהנית ממוזיקה ומנגנת בחליל ובפסנתר. אני גם אוהבת לשייר. בזמני הפנוי, משחקת כדורסל וכדורגל עם חבריי.

הכותבות

MAGDALENA WARCZAK

מגדל'נה וורק'צק היא מדענית מהמכון לכימיה פיזיקלית באקדמיה הפולנית הלאומית למדעים. היא עורכת מחקר בסיסי שמוכוון למודיפיקציות כימיות ואלקטרוכימיות בפני השטח של ננו-חומרים, עבור יישומים פוטנציאליים בתחומי ביו-רפואה (השתלות עצם) ואנרגיה מתחדשת. בזמנה הפנוי, מגדל'נה נהנית לרכוב על אופניים ולקרוא ספרים. *warczak24@wp.pl; mwarczak@ichf.edu.pl

KATARZYNA KRAJEWSKA

קת'רז'ינה קר'יינסקה היא רופאה שעוסקת בבעיות של שברים גופניים. זה עתה סיימה את התמחותה באורתופדיה בבית חולים גרוקה להוראת אורתופדיה וטראומה באוטווק, פולין. היא מתמחה בריפוי עצמות וחברה בצוות בין-תחומי שתומך במדענים ביישום טיפול חדש בשברים. קת'רז'ינה אוהבת לטייל ולנגן בפסנתר.

JUSTYNA CHAŁUBIŃSKA-FENDLER

ג'סט'ינה צ'לו'בינסקה פ'נדל'ר היא רופאה במכון הצבאי לרפואה בוורשה. עשתה את הדוקטורט שלה באונקולוגיית קרינה באוניברסיטה הרפואית של לודז'. ג'סט'ינה נהגה לעבוד על מגוון פרויקטים בין-תחומיים לרבות ביוסטטיסטיקה. היא נהנית מרכיבה על סוסים ומטיולים.

MAGDALENA OSIAL

מגדל'נה אוסיאל היא מדענית מאוניברסיטת ורשה. המחקר שלה מתמקד בפיתוח טיפולים עבור מחלות שונות. היא כימאית ומשתפת פעולה עם מדענים מתחומים שונים שעובדים על מגוון פרויקטים



בין-תחומיים. מגדלנה שואפת להנגיש את המדע לקהל הרחב, ולכן כשאינה במעבדה היא נהנית להעביר סדנאות מדע לילדים. היא גם נהנית מטיולים, מציוה, ממשחקי לוח וממשחקי מחשב קלאסיים.

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