

הביולוגיה של ברזל: כל הסיפור הוא איזון

Leah J. Kim, Jeeyon Jeong*

המחלקה לביולוגיה, קולג' אמהרסט, אמהרסט, מסצ'וסטס, ארצות הברית

סוקרת צעירה

TIANA
גיל: 13



אדם, עטלף, או שיח גינה-כולם זקוקים לברזל כדי לשרוד. ברזל נחוץ עבור התהליכים הבסיסיים ביותר בחיים. עם זה, עודף ברזל הוא רעיל מאוד לגוף. כתוצאה מכך, כאשר בגופכם יש פחות מדי ברזל או יותר מדי ברזל, אתם עלולים לחלות מאוד. במאמר זה נדון באופן שבו נוכל לקבל מספיק ברזל, ולכן מגיע הברזל בגופנו לאחר צריכתו. כמו כן תגלו על מחלות שקשורות לברזל, כולל אחת שנפוצה בעטלפים בגן חיות בשנות ה-80 של המאה הקודמת.

עטלפים חולים בגן החיות-סיפור של ברזל

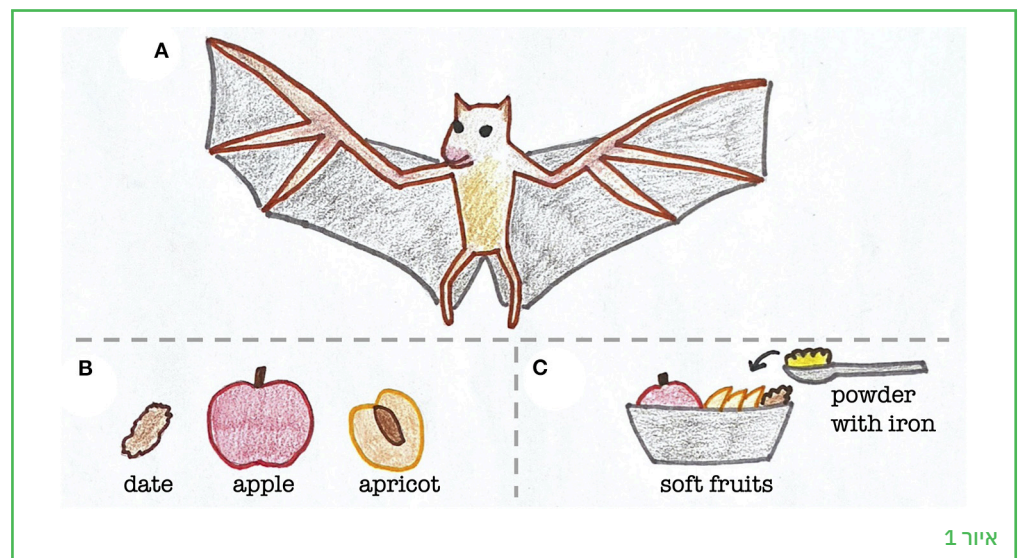
לפני כ-30 שנים, מין עטלפים שנקרא עטלף פירות מצרי, או מצוי (*Rousettus egyptiacus*), להלן עטלף פירות מצוי/ עטלף פירות) הִקָּל לחלות באופן חמור בגן החיות בטורונטו, קנדה [1]. עטלפי הפירות האלה חלו כל כך, עד שחלקם אף מתו. בסביבות אותו הזמן, עטלפי פירות בגני חיות אחרים הראו תסמינים דומים. מה יכול היה לגרום לעטלפי הפירות לחלות כל כך? מדענים חקרו זאת במטרה למצוא את הסיבה, והחלו לפסול גורמים מסוימים. לדוגמה, הם לא סברו כי החולי היה תוצר של מחלה זיהומית. כמו כן הם לא חשבו

שהעטלפים הללו מתו בשל גורמים טבעיים, מאחר שכל העטלפים היו בגילים שונים, ובריאים לפני פרוץ המחלה.

רמז פוטנציאלי נבע מתפריט התזונה שלהם. בגן החיות בטורונטו, עטלפים ניזונו בעיקר מפירות רכים, שמהם ניזונים גם עטלפים מזן עטלף הפירות המצוי שחיים בטבע באפריקה שמדרום לסהרה, בצפון אפריקה ובמזרח התיכון [2]. אולם שומרים בגן החיות הוסיפו למזונם של העטלפים אבקה שהכילה חומרי מזון שונים, בדומה לוויטמינים בצורת גומי לילדים (איור 1). שומרי גן החיות נתנו לעטלפים את האבקה הזו במטרה לשמור על בריאותם, אך אחד הרכיבים, ברזל, גרם לעטלפים לחלות, שלא במכוון. בפרט, האבקה הכילה יותר מדי ברזל בהשוואה לכמות הברזל שעטלפי הפירות בדרך כלל ניזונים ממנה בטבע.

איור 1

דיאטה של עטלפים מזן עטלף פירות מצוי, בטבע ובגן החיות. (A) עטלפים מזן זה בדרך כלל אוכלים דיאטה של (B) פירות רכים, ובגן החיות (C) אבקה שמכילה ברזל וחומרי מזון אחרים שהוספו למזונם.



איור 1

מעניין לציין כי מין אחר של עטלף בגן החיות, עטלף הערפד, לא חלה למרות צריכת הדיאטה העשירה בברזל. כדי להבין טוב יותר מדוע ברזל רב מדי גרם לעטלפי פירות לחלות בעוד שעטלפי הערפד לא חלו בעקבות צריכתו, הכרחי ראשית להבין מהו ברזל ומדוע צריכתו בכמות מתונה חשובה לרווחתן של חיות.

חשיבותו של הברזל

ברזל הוא יסוד חיוני למרבית האורגניזמים שחיים על פני כדור הארץ. העצים מחוץ לחלונכם זקוקים לברזל כדי לשרוד ממש כמוכם, כמו הכלב שלכם, או החיידקים שחיים סביבכם. בדרך כלל, חיות מקבלות ברזל על ידי אכילת מזונות שמכילים ברזל. ייתכן ששמעתם כי בשר אדום עשיר בברזל, אולם ניתן למצוא ברזל במזונות רבים נוספים בהם ביצים, מאכלי ים, תרד, טופו ומגוון מזונות אחרים. לעיתים המזון עשוי שלא להכיל ברזל באופן טבעי, אך ניתן להוסיף לו ברזל כשהוא מעובד, מאחר שזהו רכיב מזון החיוני לשמירה על בריאותם של אנשים. כתוצאה מכך, אפילו החלב או דגני הבוקר שלכם עשויים להכיל ברזל.

ברזל מהווה רכיב מפתח לתהליכי יסוד רבים שנדרשים בחיים. לדוגמה, אנו זקוקים לו כדי ליצור אנרגיה לתדלוק גופנו, כמו גם כדי להשתמש כראוי בחמצן שאנו נושמים [3]. אולם, האיזון עדין-עודף ברזל עלול לגרום נזק חמור. כדי להתמודד עם כך, גופנו מצא דרכים לווסת את כמות הברזל בכל זמן נתון.

מסעו של הברזל ברחבי הגוף

האם אתם סקרנים לגבי האופן שבו גופנו צורך ברזל ומשתמש בו? כדי לגלות, נעקוב אחרי מסעו של הברזל ברחבי גוף האדם. חשוב להדגיש כי אף על פי שנשתמש בבני אדם כדוגמה, תהליכים דומים מתרחשים אצל חיות אחרות, כמו למשל עטלפים.

כשאתם אוכלים מזון שמכיל ברזל, כמו בשר אדום, בשלב הראשון הוא נכנס לבטנכם ומתחיל להיות מעוכל (איור 2). לאחר מכן, במעי הדק, שהוא חלק ממערכת העיכול המתחבר לקיבתכם, הברזל נספג. כדי שהספיגה הזו תתרחש, ישנו מבנה מיוחד שנקרא **מוביל ברזל** אשר מאפשר לברזל לנוע בין תאי הגוף. ברזל זקוק למובילי ברזל כדי לנוע מאחד שכל תא תחום על ידי מְמֶבְרָנָה, שהיא החלק החיצוני ביותר של התא. חשבו על ממברנה בתור הקירות שמקיפים את חדרכם. במקום להשליך את עצמכם על הקיר ולקוות שתיכנסו לחדר הבא, אתם משתמשים בדלת כדי לעבור בין החדרים. הדבר דומה לאופן שבו ברזל משתמש במובילי ברזל כדי לנוע מתא לתא בתוך הגוף [4].

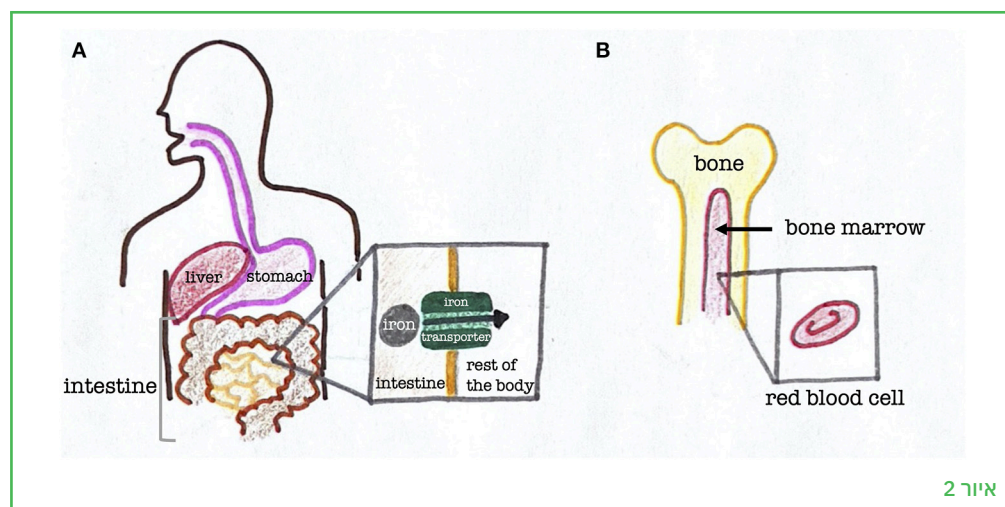
מובילי ברזל

(Iron transporters)

מבנים המאפשרים לברזל לנוע בין ממברנות אל תאים אחרים ברחבי הגוף.

איור 2

המסלול שברזל עובר דרך גוף האדם. (A) מבנה של הקיבה (Stomach), המעיין (Intestine) והכבד (Liver) בבני אדם. ברזל (Iron) נספג דרך דופן המעי הדק, בסיוע מובילי ברזל (Iron transporter). (B) מבנה של עצם (Bone) אנושית, אשר מראה את מעם העצם (Bone marrow), ותקריב של תא דם אדום (Red blood cell).



איור 2

כאשר ברזל נספג על ידי מערכת העיכול, הוא נע דרך הדם ומגיע ליעדים אחרים ברחבי הגוף. מאחר שברזל עלול להיות רעיל, מולקולות בדם שנקראות חלבונים מקיפות אותו לאורך תהליך ההובלה, כך שלא יוכל לפגוע בנו. מרבית הברזל בגופנו מגיע אל מעם העצם-רקמה במרכזן של העצמות שלנו (איור 2). הסיבה לכך היא שמעם העצם מייצר תאי דם אדומים, שהם תאים אשר נושאים חמצן ברחבי הגוף. תאי דם אדומים מכילים **המוגלובין**-חלבון בצורת דֶּנְט (סופגנייה) שזקוק לברזל כדי לסייע לו לשאת חמצן במרכזו. אם כן, מרבית הברזל בדם מופנה למעם העצם מאחר שהמוגלובין זקוק לו לצורך נשיאת חמצן לשאר הגוף.

המוגלובין

(Hemoglobin)

חלבון שנושא חמצן, ולתפקודו דרוש ברזל. זהו רכיב של תאי דם אדומים.

חלק מהברזל שאנו צורכים בתזונה מאוחסן לשימוש עתידי. בפרט, הברזל מופנה לכבד, שהוא איבר בחלק הימני העליון של הבטן, מתחת לבית החזה (איור 2). אחד מתפקודיו הרבים של הכבד הוא אחסון ברזל.

ברזל: כל הסיפור הוא איזון

בהתחשב בכמות תהליכי החיים החשובים שתלויים בברזל, תצדקו אם תניחו שבלי מספיק ברזל, תחלו מאוד. המצב הזה נקרא **אנמיית מחסור בברזל**, והוא יכול להתרחש מכמה סיבות, לרבות אובדן דם ודיאטה שאינה כוללת כמות מספקת של ברזל. אנמיית מחסור בברזל גורמת לכם להיות חלשים ועייפים, ועלולה אפילו לגרום לכם לרצות לאכול קרח או עפר. למרבה המזל, למצב זה ישנה תרופה פשוטה יחסית בדמות גלולות ברזל שרופאים יכולים לרשום עבורכם [3].

התופעה ההפוכה לכך היא **עודף ברזל** (המוכרומטוזיס)-מצב המתרחש כאשר יש יותר מדי ברזל בגוף. מטופלים עם עודף ברזל חווים גם הם תסמינים שונים, כמו למשל חולשה ותשישות. מצב זה יכול אפילו להזיק לאיברים, כמו למשל לכבד, שבו ברזל מאוחסן. אחד הטיפולים לעודף ברזל מְעַרְב שאיבת דם ממטופלים עד שרמות הברזל שלהם יורדות. רופאים יכולים לאבחן הן אנמיית מחסור בברזל הן עודף ברזל באמצעות בדיקות דם.

למרבה המזל, בגופנו ישנו חומר שנקרא **הֶפְסִידִין**, אשר מווסת את רמות הברזל (איור 3) [3]. כאשר יש יותר מדי ברזל בגוף, כמות ההפסידין עולה, מה שגורם לרמת הברזל לצנוח. כאשר אין מספיק ברזל, כמות ההפסידין יורדת, מה שמאפשר לגוף לספוג כמות גדולה יותר מהברזל שנצרך.

אנמיית מחסור בברזל (Iron deficiency anemia)

מצב שנגרם עקב מחסור בברזל בגוף ומוביל בין השאר לתשישות ולחולשה.

עודף ברזל (Iron overload, hemochromatosis)

מצב שנגרם עקב עודף ברזל בגוף ועלול לגרום נזק לאיברים שונים בגוף.

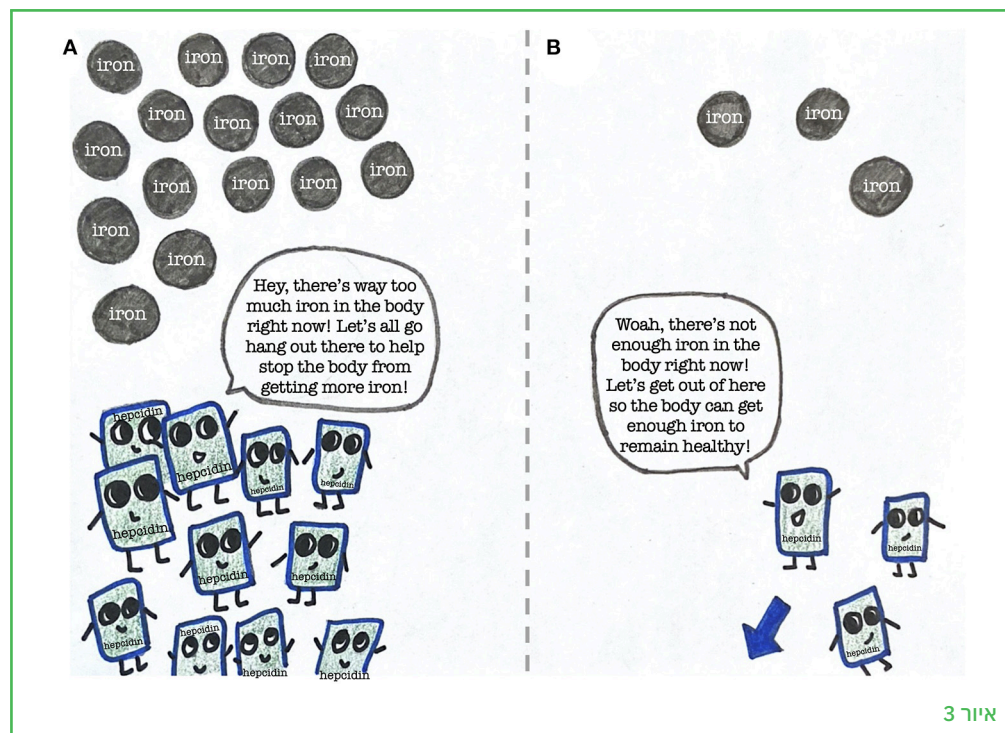
הפסידין (Hepcidin)

חלבון שמווסת ברזל בגופנו. כאשר יש יותר מדי ברזל בגוף, הפסידין גורם לרמות הברזל לרדת, וכאשר יש פחות מדי ברזל בגוף, הפסידין גורם לרמות הברזל לעלות.

איור 3

חשיבותו של הפסידין בוויסות ברזל בגוף. (A)

בתגובה לכמות גדולה מדי של ברזל בגוף, רמות ההפסידין עולות כדי לסייע להוריד את רמת הברזל. (B) כאשר יש כמות קטנה מדי של ברזל בגוף, רמות ההפסידין יורדות כדי לאפשר ליותר ברזל להיכנס לגוף.



איור 3

הפְּסִידִין: החתיכה האחרונה בפאזל

נחזור למקרה של עטלף הפירות המצוי בגן החיות. מתוך ידיעת הסכנות הכרוכות באנמיית מחסור בברזל, תוכלו להבין כעת מדוע השומרים בגן החיות רצו להוסיף אבקה מזינה המכילה ברזל למזונם של העטלפים. כמו כן תוכלו להבין כיצד האבקה הזו הובילה לעודף ברזל, אשר בסופו של דבר גרם לעטלפים לחלות ופגע בכבד שלהם. גם בני אדם עשויים לחוות עודף ברזל, זאת אם הם אוכלים יותר מדי מזונות עתירי ברזל, או אם גופם אינו מצליח להתמודד כראוי עם כמות הברזל שהם צורכים.

כפי שצוין קודם לכן, נותרה חתיכה אחת מסקרנת מאוד בפאזל. אף על פי שעטלפי ערפד בגן החיות אכלו את אותה דיאטה עשירה בברזל כמו העטלפים מזן עטלף הפירות המצוי, הם לא חלו כלל! הסיבה יכולה להיות ההפסידין-החומר המווסת אשר שולט בכמות הברזל שנספגת על ידי הגוף. עטלפי ערפד כיווננו את כמות ההפסידין בגופם כך שתאזן את כמות הברזל המוגברת במזונם, אך עטלפי הפירות התקשו בכיוון רמות ההפסידין שלהם [5]. מאחר שעטלפי ערפד רגילים לצרוך דם, שהוא עשיר בברזל, הגופים שלהם כנראה הסתגלו לעמוד בכמויות גבוהות של ברזל. מנגד, עטלפי פירות רגילים לאכול דיאטות דלות בברזל. זו עשויה להיות הסיבה לכך שמנגנון ההפסידין שלהם התקשה להגיב לעודף הברזל, ולהסביר מדוע עקב כך הם חלו מצריכת דיאטה עשירה בברזל.

סיכום

ברזל חיוני לרווחתנו, אולם הוא גם עלול להזיק כאשר הוא מצוי בעודף. דרך מזוננו, אנו מקבלים ברזל, אשר עובר תהליך נרחב כדי להגיע מהקיבה כל הדרך למח העצם, מחזור הדם והכבד שלנו. כיוון שהוא הכרחי לתהליכי החיים, מעט מדי ברזל עלול להוביל למצב של אנמיה, אולם עודף ברזל עלול לגרום להמוכרומוטוזיס. זה בדיוק מה שקרה לעטלפים מזן עטלף הפירות המצוי בגן החיות בטורונטו! לפיכך, אורגניזמים חיים, לרבות בני אדם ועטלף הפירות המצוי, צריכים לאכול מזונות המכילים ברזל בכמות מתונה, כדי להישאר בריאים.

מקורות

1. Crawshaw, G., Oyarzun, S., Valdes, E., and Rose, K. 1995. "Hemochromatosis (iron storage disease) in fruit bats," in *Proceedings of the First Conference on Zoo and Wildlife Nutrition* (Scarborough, OT: AZA Nutrition Advisory Group).
2. *IUCN Red List of Threatened Species*. Available online at: <https://www.iucnredlist.org/species/29730/22043105> (accessed June 19, 2020).
3. Abbaspour, N., Hurrell, R., and Kelishadi, R. 2014. Review on iron and its importance for human health. *J. Res. Med. Sci.* 19:164–74.
4. Waldvogel-Abramowski, S., Waeber, G., Gassner, C., Buser, A., Frey, B. M., Favrat, B., et al. 2014. Physiology of iron metabolism. *Transfus. Med. Hemother.* 41:213–21. doi: 10.1159/000362888

5. Stasiak, I. M., Smith, D. A., Ganz, T., Crawshaw, G. J., Hammermueller, J. D., Bienzle, D., et al. 2018. Iron storage disease (hemochromatosis) and hepcidin response to iron load in two species of pteropodid fruit bats relative to the common vampire bat. *J. Comp. Physiol. B Biochem. Syst. Environ. Physiol.* 188:683–94. doi: 10.1007/s00360-018-1155-4

פורסם אונליין: 23 במאי 2023

נערך על ידי: Daniel F. Hermens

מנחה מדעית: Christina Driver

ציטוט: Kim LJ and Jeong J (2023) הביולוגיה של ברזל: כל הסיפור הוא איזון. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.575121-he

תורגם והותאם מ: Kim LJ and Jeong J (2021) Bats, Blood, and the Biology of Iron: It Is All About Balance. *Front. Young Minds* 9:575121. doi: 10.3389/frym.2021.575121

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

COPYRIGHT © 2021 © Kim and Jeong 2023. 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.

סוקרת צעירה

TIANA, גיל: 13

היי, קוראים לי טיאנה. אני נהנית לרקוד ולהיות יצירתית. אני אוהבת לבלות את זמני בחוף הים, ומעוניינת ללמוד עוד על האופן שבו גוף האדם פועל.

הכותבות

LEAH J. KIM

אני בוגרת טרייה של קולג' אמהרסט, שם אני עובדת כיום בתור עוזרת מחקר במחלקה לביולוגיה. במעבדה, אני חוקרת כיצד צמחים מובילים ברזל, מאחסנים אותו ומשתמשים בו. אני גם נהנית לתאם אירועים של הגנשת מדע עם בתי ספר מקומיים. בסתיו, אתחיל ללמוד בבית ספר לרפואה. בזמני הפנוי, אני נהנית לשחק עם הכלב שלי, לרוץ, לאפות וללמוד שפות.



**JEEYON JEONG**

אני פרופסורית לביוולוגיה בקולג' אמהרהסט. אני מלמדת גנטיקה מולקולרית וביוכימיה, וחוקרת גננים וחלבונים המסייעים לצמחים להשיג ברזל ולהשתמש בו. פרט למחקר ולהוראה, אני אוהבת לבלות עם ילדיי ונהנית ללכת לקונצרטים-מוזיקה קאמרית ומחזות זמר הם האהובים עליי. *jjjeong@amherst.edu

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