



מדוע חיות מזדקנות ומתות?

André C. R. Martins^{1*} | Josh Mitteldorf²

EACH, – NISC¹ אוניברסיטת סאו פאולו, סאו פאולו, ברזיל
²המכון הלאומי למדעי הביולוגיה (NIBS), בייג'ינג, סין

סוקרים צעירים

KAYSVILLE
JUNIOR HIGH

גיל: 12–13



MAREN

גיל: 12



כשאנחנו מזדקנים, אנו נחלשים ונהיים פגיעים יותר למחלות. במוקדם או במאוחר, בריאותנו כושלת, ואנו מתים. זה קורה לרוב זני החיות, אך לא לכולם. אם ברצוננו לחיות חיים ארוכים יותר, חשוב להבין מדוע אנו נחלשים. אנשים רבים מנסים לפענח כיצד תהליך ההזדקנות מתרחש, כלומר, מבקשים להבין כיצד התאים והרקמות החיות מתנהגים כשאנו מזדקנים. אולם ישנה שאלה עמוקה יותר: מדוע בני אדם וחיות אחרות מזדקנים בכלל? האם הגוף האנושי פשוט מתבַּלָּה, כמו מכונת יְשָׁנוֹת? או שאולי ישנה סיבה אבולוציונית חשובה לתהליך ההזדקנות? במאמר זה נחקור את השאלות הללו. אנו סבורים שתהליך ההזדקנות והמוות מְשֻׁרְתִים מטרם חשובה: כאשר המבוגרים מתים, הצעירים יכולים להסתגל מהר יותר לעולם המשתנה.

תהליך ההזדקנות הוא דבר כמעט גורף... אבל מדוע?

כמעט כל החיות מזדקנות. חשוב מכך, בהגיע רוב החיות ובני האדם לזקנה מופלגת, הם מתחילים להיחלש, ואם הם חיים מספיק זמן, חולשה זו אף הורגת אותם בסופו של דבר. הגוף האנושי פשוט לא בנוי לחיות לְנֶצַח. אבל מדוע? אולי אנו בנויים כמו רהיטים. בחלוף

הזמן, הספה למשל סופגת נזקים ומתפרקת. עם זה בניגוד לרהיטים, לאורגניזמים חיים יש מנגנונים מובנים לתיקון. ישנם זני חיות שמזדקנים מהר מאוד ומתים בתוך פחות מיום, בעוד שנראה כי מינים אחרים, כמו זנים מסוימים של מדוזות וצדפות, לא מזדקנים לעולם. ישנה סבירות גבוהה מאוד שאדם בן 100 ימות לפני יום הולדתו ה-101, אך נער בן 15 יכול לצפות ליום הולדתו ה-16. אם נשווה זאת לצדפות: הסבירות שצדפה ענקית בת 100 תמות, נמוכה בהרבה מהסבירות שצדפה בת 15 בגודל בינוני תמות. הן הצדפות והן בני האדם סובלים מנזקים הנגרמים לגוף כאשר הם מזדקנים. ההבדל הוא בכך שהצדפות מתקנות את הנזקים הגופניים הנגרמים להן, בעוד שבני אדם מתקנים נזקים שמתחוללים לגופם רק באופן חלקי, כך שהנזקים הללו מצטברים. מדוע בני האדם אינם מתקנים את כל הנזקים הנגרמים לגוף, כפי שעושות הצדפות, וממשיכים לחיות לנצח? האם יש סיבה כללית יותר לכך שרוב החיות מזדקנות, נחלשות ולבסוף מתות?

אבולוציה (Evolution)

העובדה המוכיחה את עצמה, שלפיה יצורים החיים כיום שונים מאלו שחיו בעבר. אבולוציה הוא השם שנתנו לשינוי הזה, המתרחש באיטיות על פני דורות רבים.

הברירה הטבעית (Natural Selection)

הדרך שבה האבולוציה פועלת. בטבע, החיות אינן שוות. חלקן חזקות יותר, ואחרות בריאות יותר. החיות בעלות המאפיינים המסייעים להן לשרוד מסתגלות בצורה טובה יותר. כיוון שיש סיכוי טוב יותר שישרדו, הן מותירות אחריהן מספר גדול יותר של צאצאים. בטווח הרחוק, התחרות המתקיימת בטבע מכרעה מָהם המאפיינים שהופכים את הפרטים הללו טובים יותר.

קהילה (Community)

בהקשר המאמר הזה, קהילה היא קבוצה של חיות שיש ביניהן קשרי משפחה. הן יכולות להיות הורים וילדים, אחים, בני דודים וכד'.

מערכת אקולוגית (Ecosystem)

מערכת הכוללת את כל החיים המתקיימים באזור מסוים, ואת כל הפרטים באותו המקום, בכלל זה צמחים, חיות, חיות מיקרוסקופיות ותוואי השטח.

בילוג חכם אמר פעם: "אין שום דבר הגיוני בביוֹלוגיה, אלא אם כן בוחנים אותה לאור האבולוציה מסבירה מדוע החיות שנמצאות בחיים בתקופה זו שונות מאוד מאלו שחיו לפני מיליוני שנים. היא מסבירה כיצד חיות-ים הגיעו ליבשה, וכיצד הן הפכו לדינוזאורים, לציפורים ולקופים. הרעיון הוא פשוט. חשבו על כל האריות שחיים באזור מסוים. חלקם גדולים יותר, אחרים קטנים יותר, חלקם חזקים יותר, וחלקם מהירים יותר. כל אחד מהם הוא שונה. חלק מהמאפיינים הללו יסייעו לאריה לשרוד. לדוגמה, לאריה מהיר קל יותר לתפוס טרף. לכן, יש יותר אריות מהירים ששורדים, מאשר אריות איטיים, דבר שמקנה לאריות המהירות זמן רב יותר להתרבות. כמו כן, אריות מהירים נוטים להמליט גורים מהירים, ולכן, לאורך זמן, אוכלוסיית האריות הכוללת תהיה מהירה יותר. תהליך בחירת המאפיינים אשר מקילים על ההישרדות נקרא הברירה הטבעית. כך פועלת האבולוציה.

אבל מה בדבר ההזדקנות? אם בתהליך הברירה הטבעית ישנה העדפה לחיות שנשארות בחיים למשך זמן רב יותר ומייצרות יותר צאצאים, כיצד הדבר מסתדר עם הזדקנות והיחלשות? האם באבולוציה לא צריך להיעשות שימוש במנגנוני תיקון, כמו אלו של הצדפה, כדי שחיות יהפכו יותר ויותר חזקות, וכך יוכלו להתרבות עוד? אם חיות חזקות יותר שחיות זמן רב יותר טובות יותר ביצירת עוד צאצאים ובהעברת הגנים הלאה, מדוע רוב החיות נחלשות? מדוע ההזדקנות היא דבר כה נפוץ בקרב חיות, עד שהאבולוציה יצרה אותה?

פרטים לעומת קהילות

עוצמה ומהירות הן לרוב תכונות טובות לתחרות בין פרטים, אך 'טוב' יכול להתייחס גם לקהילה. כל האורגניזמים החיים במערכת אקולוגית מסוימת צריכים לתפקד יחד בצורה יציבה. חוסר יציבות עלול לגרום לאסון עבור כל אחד מהפרטים, ולהביא להכחדת כלל המערכת האקולוגית.

נחשוב על אריות בהקשר המערכת האקולוגית הרחבה שלהם. מדוע האריות כה חזקות ומהירות? הם צריכים להיות מהירים כדי שיוכלו לצוד את הטרף שלהם – הצבאים. הצבאים במערכת האקולוגית התפתחו כך שהם רצים מהר, כדי לחמוק מהאריות, והאריות התפתחו כך שהם רצים מהר כדי לתפוס את הצבאים. כאשר הצבאים מתפתחים כך שהם רצים מהר אף יותר, גם האריות צריכים להתפתח כך שירוצו מהר יותר, או שימותו ברעב.

כאשר האריות רצים מהר יותר, הצבאים חייבים להגביר את מהירותם, או שייאכלו. הבה נניח שהאריות יכולים לרוץ קצת יותר מהר מהצבי המהיר ביותר. זה נהדר עבור האריות המסוימים הללו, כי יהיה להם מספיק טרף, והם ייצרו צאצאים מוכשרים בדור העוקב, אך אלו חדשות רעות עבור הצבאים. בדור העוקב, יהיו יותר אריות ופחות צבאים, ובאחד הימים, האריות המהירים והרעבים יתפסו את הצבי האחרון. הצבאים ייעלמו מהערבות, וזמן קצר לאחר מכן, האריות יגועו ברעב.

הבה נניח שהדבר ההפוך קורה: הן האריות הן הצבאים מתפתחים להיות מהירים לאורך הדורות, אך הצבאים מהירים מעט יותר מהאריות. האריות רודפים אחרי הצבאים, אך הם יכולים לתפוס רק את הצבאים החולים, או אלו שיש להם פגם כלשהו. במצב דברים זה, האריות והצבאים יוצרים קהילה יציבה. הצבאים החלשים ביותר הם אלו שנטרפים, כך שעד הצבאים נשאר בריא. הדבר נכון גם עבור האריות – החולים והאיטיים מביניהם יגועו ברעב. עבור המערכת המשותפת של האריות ושל הצבאים, נראה שזו התוצאה הקַדִיפָה.

עבור הקשרים שבין האריות לצבאים, ההזדקנות עוזרת להפוך את המערכת יציבה וחסונה. כל צבי מזדקן והופך איטי יותר, וכך האריות זוכים לטרף, ורוב הצבאים יכולים לגדול ולהתרבות כל עוד הם צעירים ובריאים. נראה כי הדרך שבה האריות והצבאים התפתחו יחד טובה עבור שני המינים, בין השאר, כיוון שהצבאים הם חזקים ומהירים למשך זמן מה, ואז הופכים איטיים וחלשים יותר ככל שהם מזדקנים. ייתכן שהזדקנות היא אחד המפתחות למערכת אקולוגית בריאה! אך האם המדע תומך בתיאוריה הגורסת כי במקרה של הזדקנות, הברירה הטבעית מעדיפה את רווחת המערכת האקולוגית כולה, ולא את רווחת הפרט? המשיכו לקרוא וגלו את התשובה!

תיאוריות קודמות של אבולוציה והזדקנות

לאורך השנים, מדענים העוסקים באבולוציה הציעו שתי תיאוריות עיקריות המסבירות את הקֶשֶׁר שבין הזדקנות לאבולוציה. בשנת 1957, הביולוג האמריקאי ג'ורג' וויליאמס הציע כי הזדקנות עשויה להיות תופעת-לוואי שלילית של גְנִים המסייעים לנו בצורה כלשהי. לדוגמה, אולי אותם גנים שעוזרים לחיה צעירה להיות חזקה ופורייה מקשים מדי על המערכת, עד שלבסוף הם גורמים לנזק. בניסויים שנערכו על זבובי-פירות ועל תולעי-מעבדה, מדענים מצאו כי חלק מהגְנִים שעוזרים לחיות להיות מהירות ופוריות, אכן כרוכים בתופעות-לוואי מזיקות, כפי שהוצע בתיאוריה. עם זה ישנם גנים רבים אחרים שמגבירים את הכוח ואת החיות בשלבים המוקדמים של החיים, ובד בבד תורמים להארכת חיי החיה! מכך משתמע שהחיות יכולות להשתמש בגנים האלו כדי להאריך את חייהן, ללא השלכות שליליות, כלומר, הרעיון שישנן השפעות מזיקות הוא מוטעה.

התיאוריה השנייה הייתה כי תיקון הנזק המוביל להזדקנות מצריך השקעת אנרגיה. כיוון שאנרגיה מקורה במזון, ולפעמים קשה להשיגו, על גופנו להשתמש בחוכמה במאגרי האנרגיה! השקעת האנרגיה מייד ברבייה היא 'הימור בטוח' להעברת הגנים, בעוד שצבירת אנרגיה במטרה לתקן את הגוף בעתיד מסוכנת יותר – אם חיה בוחרת 'לחסוך' אנרגיה לזמן מאוחר יותר במקום להתרבות מייד, אולי לא תהיה לה הזדמנות להעביר הלאה את הגנים שלה. התיאוריה הזו נראתה הגיונית מאוד כשהביולוג האנגלי תומס קירקווד הציג אותה

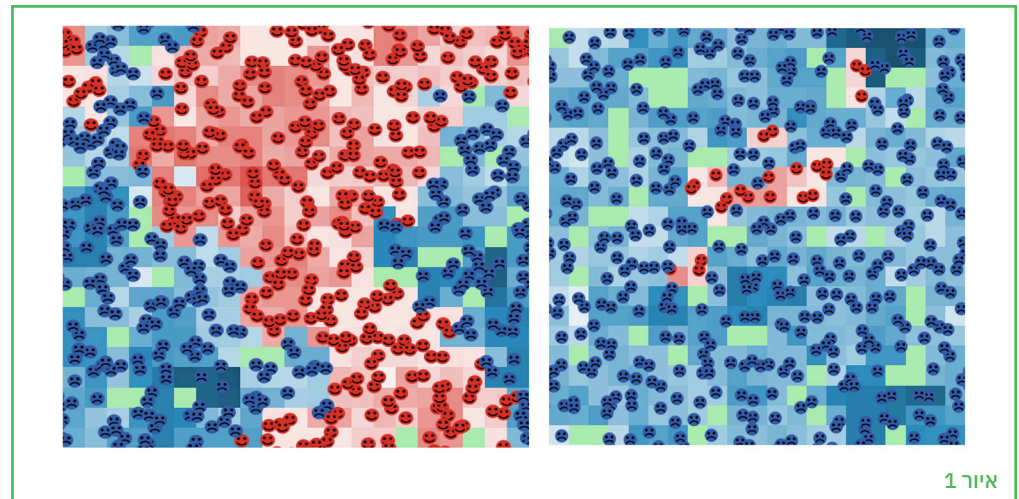
בשנת 1977, אך כמה שנים לאחר מכן, מדענים גילו שכאשר חיות אוכלות פחות, החיים שלהן למעשה ארוכים יותר! העובדות הללו סותרות את התיאוריה של קירקווד.

כיוון שלא נראה כי מי מהתיאוריות הללו מסבירה לגמרי כיצד הברירה הטבעית תומכת בתהליך ההזדקנות, החלטנו לחקור זאת בעצמנו. הצבנו לעצמנו מטרה, והיא – לבנות **מודל מתמטי** שיחשוף כיצד בתהליך האבולוציה עשוי להיות תעדוף של חיים קצרים על פני חיים ארוכים. חשבנו כי אולי תהליך ההזדקנות, על אף שיש לו מחיר, יכול גם להוות יתרון בפני עצמו.

שינוי – המרכיב החסר!

המודל המתמטי שלנו [1] התבסס על רעיון מקורי של André [2], אחד מכותבי מאמר זה. André הוסיף מרכיב חדש למודלים המתמטיים הקודמים שבהם השתמשו כדי להסביר את האבולוציה של ההזדקנות: שינוי. משמעות האבולוציה היא שינוי מדור לדור. חיות צריכות להשתנות, משום שהסביבה שלהן משתנה תמיד. מאפיינים 'טובים' המְקִינים יתרון להישרדות בזמן מסוים, אולי יכזיבו לאחר מכן, כאשר העולם שונה. תהליך ההזדקנות עוזר להחליף פרטים מבוגרים בפרטים חדשים, שעשויים להסתגל לנסיבות החדשות בצורה טובה יותר.

תכנתנו את המודל המתמטי שלנו כך שלכל פרט יש עֶמְדָה על לוח משחק, כפי שניתן לראות ב-1. **איור** על כל ריבוע יכול להיות רק פרט אחד, וצבע הריבוע מרָאָה מי חי שם. ריבועים כחולים שיש עליהם פרצופים כחולים עוצבים מייצגים חיות שמתות מְזִקְנָה. ריבועים אדומים עם פרצופים אדומים שמחים, מייצגים חיות שגילן לא משפיע עליהן לרעה.



איור 1

כאשר החיות התיאורטיות שלנו מתרבות, הצאצאים נולדים קרוב להורים. לכן, כשלפרצוף כחול עצוב יש צאצא, פרצוף כחול עצוב חדש מופיע בקרבת ההורה. המשמעות היא שאחרי זמן מה, כנראה שכל הפרטים באזור מסוים יהיו מקורבים. בטבע, משאבים כמו מזון הם מוגבלים. כדי לייצג זאת, רק פרט אחד יכול לשרוד על כל משבצת. כאשר שני פרטים או יותר נמצאים על אותה המשבצת, הם מתחרים ביניהם. לפרט הכשיר יותר שעבר תהליך

מודל מתמטי (Mathematical Model)

תיאור של מצב באמצעות כלים מתמטיים. בדרך כלל התיאור אינו שלם, אלא מקורב. המודל יכול לסייע לנו ללמוד מדוע ואיך דברים קורים.

איור 1

המודל המתמטי שלנו מְדַמָּה הזדקנות ואבולוציה.

משבצות כחולות שעליהן פרצופים עצובים מייצגות חיות שמזדקנות, בעוד שמשבצות אדומות עם פרצופים שמחים מייצגות חיות שלא מזדקנות. משבצות ירוקות הן ריקות. גוונים כהים יותר של כחול ושל אדום מייצגים פרטים שהסתגלו טוב יותר. האיור השמאלי מציג את תמונת הלוח ברגע נתון, והאיור הימני מציג כיצד אותו המקרה התפתח מאוחר יותר. ניתן לראות כי חיות שמזדקנות לאט תופסות את המקום שבו החיות שלא מזדקנות חיו פעם. כשהזמן חולף ונולדים צאצאים, כל קבוצה מתחרה על מקום עם מי שנמצא בקרבתה, ואנו רואים זאת באיור.

הסתגלות (Adaptation)

מאפיין של אורגניזם חי, המאפשר לו לשרוד בצורה טובה יותר. לדוגמה, כאשר אריה נהיה מהיר יותר, הוא יכול לתפוס טרף בקלות רבה יותר וסיכויי ההישרדות שלו עולים.

כשירות (Fitness)

ערך מתמטי המייצג את מידת ההסתגלות של חיה מסוימת. הערך מנסה לקבץ את כל הפרטים המסובכים לכדי מספר אחד שאנו יכולים להבין. ככל שהכשירות גבוהה יותר, כך סביר יותר שהחיה תשרוד.

הסתגלות טוב יותר לסביבתו, יש סיכוי גדול יותר לשרוד. זו התחרות היחידה במשחק; אף פרט אינו צריך להיות מודאג ממתחרים בצד האחר של לוח המשחק. בטווח הרחוק, ישנן משפחות אזוריות שנוטות להתפרס על שטח רב יותר מאחרות. כך, באופן טבעי, נוצרו קבוצות של חיות בעלות קשרי משפחה, שגבולותיהן לא סדירים ומשתנים ללא הרף. תחרויות מתרחשות רוב הזמן בין חיות שיש ביניהן קרבה משפחתית. משמעות הדבר היא שהחיות שמזדקנות נוטות להתחרות עם חיות אחרות שגם מזדקנות, וההזדקנות הופכת את התחרות קשה אף יותר. היא מאלצת את החיות להסתגל מהר יותר – והסתגלות מהירה היא יתרון חשוב.

הצורך להסתגל לסביבה משתנה היה גורם חשוב במודל שלנו. שינוי, משמעו שדברים שעבדו בעבר אולי לא יעבדו טוב מאוחר יותר. מסיבה זו, גרמנו לכל הפרטים להיחלש מעט עם הזמן, גם לאלו שהזדקנו, וגם לאלו שלא. באופן עקרוני, לכל חיה יש עוצמה המיוחסת לה, שאותה כינינו 'כְּשִׁירוּת'. הפרטים בעלי הכשירות הגדולה יותר הם חזקים יותר, ויש להם סיכוי טוב יותר לשרוד כאשר הם מתחרים. כמו בחיים האמיתיים, כאשר צאצאים נולדים, הם עשויים להיות מעט חזקים יותר מהוריהם, או מעט חלשים מהם. כלומר, הכשירות שלהם עשויה להיות גבוהה מעט יותר מהכשירות של הוריהם, או נמוכה מעט ממנה. בדרך זו, הקבוצות יכולות להשתנות ולשרוד. במשחק, המשמעות של תוחלת חיים ארוכה יותר היא שחיות מבוגרות יותר יחיו חיים ארוכים יותר. החיות נחלשות כיוון שבאותו הזמן, הסביבה במודל משתנה. כלומר, החיות המבוגרות יותר נוטות להיות החלשות מכולם. כיוון שקהילות החיות משתנות רק כאשר חיות חדשות (השונות מהוריהן) נולדות, המשמעות היא שכאשר חיי החיות ארוכים יותר, הקבוצה מתפתחת לאט יותר. קהילה בעלת תוחלת חיים קצרה יכולה להתפתח מהר יותר מאשר קהילה בעלת תוחלת חיים ארוכה יותר, וכך להסתגל מהר יותר לסביבה המשתנה. קהילות המתפתחות מהר מסתגלות בצורה טובה ומהירה יותר מאשר קהילות המתפתחות לאט.

באופן אקראי, הקצינו לחלק מהפרטים תוחלת חיים קצרה יותר, ולחלק ארוכה יותר. הקהילות עם תוחלת החיים הקצרה יותר התפתחו מהר יותר, ויצרו פרטים שהסתגלו בצורה טובה יותר.

מהי משמעות התוצאות שלנו?

המודל המתמטי שלנו מציע כי אולי אנו מזדקנים מפני שהעולם משתנה! אין ספק שההזדקנות עשויה להזיק לפרטים, בכך שהיא קוטעת את הסיכוי שלהם להתרבות. עם זה ההזדקנות מועילה לקהילה כמכלול, כיוון שהזדקנות ממוות מגבירים את קצב האבולוציה, וכך מסייעים לאוכלוסיות להסתגל לשינויים המתרחשים בסביבתן. ייתכן שזה חשוב יותר לבריאות הקהילה ככלל, מאשר הנזק הנגרם ממוות מוקדם. מסיבה זו, ייתכן שההזדקנות היא אכן תהליך חשוב, הנתמך על ידי האבולוציה. לפעמים, הברירה הטבעית עשויה להעדיף תוחלת חיים קצרה יותר על פני תוחלת חיים ארוכה יותר, עבור רווחת הקהילה כולה!

מאמר המקור

Mitteldorf, J., and Martins, A. C. R. 2014. Programmed life span in the context of evolvability. *Am. Nat.* 184:289–302. doi: 10.1086/677387

מקורות

1. Mitteldorf, J., and Martins, A. C. R. 2014. Programmed life span in the context of evolvability. *Am. Nat.* 184:289–302. doi: 10.1086/677387
2. Martins, A. C. R. 2011. Change and aging senescence as an adaptation. *PLoS ONE* 6:e24328. doi: 10.1371/journal.pone.0024328

פורסם אונליין: 06 במרץ 2025

נערך על ידי: Martha Helena Ramírez-Bahena

מנחים מדעיים: Christopher Emerling | Jacob Scott

ציטוט: Martins ACR | Mitteldorf J (2025) מדוע חיות מזדקנות ומתות? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.530721-he

תורגם והתאם מ: Martins ACR and Mitteldorf J (2021) Why Do Animals Get Old and Die? *Front. Young Minds* 9:530721. doi: 10.3389/frym.2021.530721

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

זכויות יוצרים © Martins | Mitteldorf 2025. 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

KAYSVILLE JUNIOR HIGH, גיל: 12–13

התלמידים שסקרו את המאמר הזה נבחרו מתוך 7 כיתות המדעים של מר Lanford בחטיבת הביניים Kaysville. התלמידים שגרים באזור זה מגיעים מקהילות חזקות, שידועות להעריך את הטבע של מערב ארה"ב, וליהנות ממנו. משפחות רבות נוהגות לצאת לטיולים, דיג, טיולי מחנאות, ליקוט אבנים, שטי בנהרות ורכיבת אופניים, והן עוסקות בתחביבים נוספים שקצרה היריעה מלהכיל.



**MAREN, גיל: 12**

אני תלמידה שאוהבת ללמוד, לקרוא ולכתוב. מנגנת בפסנתר זה כשבע שנים, והתחלתי לשחק טניס הקיץ. בבית הספר, אני אוהבת את המקצועות ההוגמניים, ומתמטיקה. בבית, אני אוהבת לקרוא ספרים ולצפות בסרטים.

הכותבים**ANDRÉ C. R. MARTINS**

אני עוסק בחקר מערכות מורכבות שמעוררות את סקרנותי בתחומים שונים, מתחום הפיזיקה, עבור בדרך שבה דעות מופצות ועד הסיבות להזדקנות האנושית. חוקר מצבים שונים: כאשר אנו מסכימים זה עם זה, מדוע איננו מסכימים ומדוע אנו מחזיקים בדעות קיצוניות, וכיצד חוסר ההסכמה הזה עשוי להוות בעיה בתחום המחקר המדעי. כמו כן אני חוקר את העובדה שמודלים פשוטים של אבולוציה לא מספרים את כל הסיפור; אנו זקוקים לתיאורים מורכבים יותר של דרכי התקשורת בין בעלי החיים כדי להבין דברים כמו הזדקנות ושיתוף פעולה. אני אב לילד בן 5 שאוהב ללמוד על הכול. תוכלו לגלות עליי יותר באתר www.vieses.com: amartins@usp.br*

JOSH MITTELDORF

Josh Mitteldorf הוא חוקר עצמאי וסופר מדעי פופולרי. כתב שני ספרים המבוססים על התיאוריה שלו, העוסקת באבולוציה של ההזדקנות, והוא כותב על הזדקנות עבור ScienceBlog.com. בתחומים אחרים בחייו, Josh מלמד יוגה, מנגן בפסנתר וכותב שירה. הוא חי ועבד בסין, נשם אימץ את שתי בנותיו. מוקדם יותר בחייו, קיבל דוקטורט עבור המחקר שלו באסטרופיזיקה. אם אתם סקרנים לדעת על מה הוא חושב היום, בקרו בעמוד: Daily-Inspiration.org.

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



קרן משפחת
שעשוע
Shashua
Family Foundation