



SubCAS: תא לחץ לדגים

Bart Shepherd^{1*}, Hudson T. Pinheiro², Matt Wandell^{1†}, Luiz A. Rocha²

¹אקווריום שטיינהרט, האקדמיה למדעים של קליפורניה, סן פרנסיסקו, קליפורניה, ארצות הברית
²המחלקה לאיכטילוגיה (חקר דגים), האקדמיה למדעים של קליפורניה, סן פרנסיסקו, קליפורניה, ארצות הברית

החלקים העמוקים יותר של שוניות אלמוגים, שנקראים מערכות אקולוגיות של אלמוגים מְזוֹפּוֹטִים (mesophotic coral ecosystems), או "אזור הדמדומים", הם אחד המקומות הפחות נחקרים על פני כדור הארץ. צוות המדענים שלנו משתמש בציוד צלילה טכני כדי לשחות לתוך אזור הדמדומים. מאחר שהשוניות האלה עמוקות כל כך, אנו יכולים להישאר בהן במשך 15-20 דקות בלבד בכל צלילה. זה זמן קצר מאוד בשביל לחקור את החיות ששם, לכן רצינו להביא את החיות האלה לאקווריום שלנו כדי לחקור אותן לזמן רב יותר. אולם למרבית הדגים יש שלפוחית שחייה מלאה בגז שתתפוצץ אם פשוט נוציא אותם לפני המים. פיתחנו תא לחץ מיוחד שמאפשר לנו להביא דגים לפני המים בלי לפגוע בהם. באמצעות המכשיר הזה אספנו 174 דגים במטרה לחקור אותם באקווריום שלנו, ולהראות אותם ל-1.5 מיליון האנשים שמבקרים במוזיאון שלנו כל שנה.

שוניות אלמוגים

שוניות אלמוגים הן מערכות אקולוגיות ימיות באזורים טרופיים סביב לעולם. הן מכסות פחות מ-1% מהאוקיינוס, ועם זה עדיין יש בהן את המגוון הביולוגי הגדול ביותר מבין כל הסביבות

סוקרים צעירים

ABDUL

גיל: 12



MUHAMMAD

גיל: 10



ALI

גיל: 11



BENJAMIN

גיל: 11

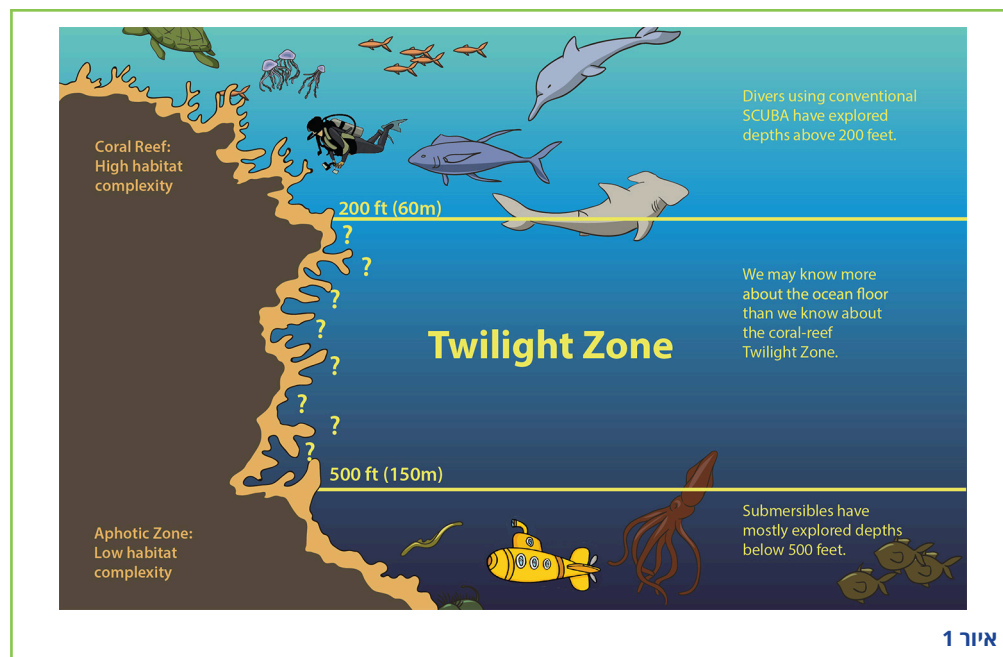


מגוון ביולוגי (Biodiversity)

מדד למגוון של צמחים וחיות
(מספר המינים) במערכת
אקולוגית על פני כדור הארץ.

איור 1

אזור הדמדומים נמצא בעומק של בין 60 ל-150 מטרים, בין אזור שוניות אלמוגים רדודות לבין האזור העמוק והחשוך לחלוטין של האוקיינוס. מאחר שמדענים אינם יכולים לצלול לעומק כזה באמצעות ציוד צלילה רגיל, ומאחר שמכשירים שאפשר לשקוע אותם (submersibles) נמצאים בשימוש רק במים עמוקים יותר, אזור הדמדומים הוא אזור שבו מתגלות תגליות חדשות רבות.



איור 1

מזופוטי

(Mesophotic)

באופן מילולי "אור אמצעי", האזור המואר באופן מעומעם בין אזורים מוארים שבשוניות אלמוגים רדודות ובין מעמקי האוקיינוס החשוכים.

ריברידר

(Rebreather)

סוג מיוחד של ציוד צלילה שמחזר אוויר באמצעות הסרת הפחמן החד-חמצני והוספת חמצן, מה שמאפשר לצוללן לנשום את אותו האוויר שוב ושוב.

הימיות על פני כדור הארץ, שם מתאכסנים יותר מרבע מכל הצמחים והחיות שנמצאים באוקיינוס כולל דגים, אלמוגים ואצות. אף על פי שמדענים חקרו שוניות אלמוגים רדודות במשך מאות שנים, הם לא יודעים כמעט כלום על שוניות אלמוגים עמוקות, שידועות כמערכות אקולוגיות של אלמוגים **מזופוטיים (mesophotic)**, או "אזור דמדומים" [1]. אזור הדמדומים נמצא בין 60 ל-150 מטרים מתחת לפני המים, שזה עומק גדול מדי לציוד צלילה רגיל (איור 1). צוות המדענים שלנו משתמש בציוד של צלילת מערכת סגורה, **ריברידר (rebreathers)**. זוהי טכנולוגיית צלילה מתקדמת שמאפשרת לנו לבקר בהרבה שוניות אלמוגים עמוקות סביב לעולם. מכשירי ריברידר ממחזרים ומסננים את הנשיפה, מה שמאפשר לנשום את אותו האוויר פעמים רבות שוב ושוב.

תגליותינו באזור הדמדומים

בעבר מדענים רבים חשבו ששוניות אלמוגים עמוקות חלקו מינים דומים עם שוניות אלמוגים רדודות. אולם כאשר התחלנו לחקור את אזור הדמדומים גילינו שזוהי מערכת אקולוגית שונה לחלוטין [2]. שוניות עמוקות הן כהות וקרירות יותר, והן מאכלסות חברות דגים שונות מאוד. באזור הדמדומים אנו מגלים ומתארים חיות חדשות רבות שמעולם לא נראו קודם לכן [3, 4]. לעיתים קרובות מדענים משתמשים במכשירים שאפשר לשקוע במים כמו רכבים המופעלים מרחוק (ROV) או צוללות, כדי לחקור את מעמקי האוקיינוס. אולם הכלים האלה אינם הטובים ביותר לחקר אזור הדמדומים מאחר שהאורות הבהירים שלהם והרעשים החזקים שהם מייצרים מבריחים את הדגים הקטנים. זה כמו לנסות להשתמש במסוק במטרה לחקור ציפורים ביערות גשם. אתם יכולים לדמיין את זה? במקום זאת, מערכות ריברידר מאפשרות לנו לשחות לעומק של 150 מטרים. מאחר שאנו צוללים עמוק כל כך, אנו יכולים גם להישאר למטה במשך 15-20 דקות לפני שאנו צריכים לעלות לפני השטח, בעודנו מבצעים עצירות בטיחות כל שלושה מטרים. עם כל עצירות הבטיחות, הצלילות שלנו אורכות בין 3 ל-5 שעות, כך שאנו מבצעים רק צלילה אחת בכל יום. זה מקנה לנו כמות זמן מוגבלת מאוד לחקור את הדגים השונים

והייחודיים האלה. כדי להיות מסוגלים לחקור אותם במשך זמן רב יותר, היינו צריכים להביא אותם איתנו אל פני השטח, מה שהיה אתגר גדול מאוד.

לדגים יש בלון בתוך הגוף, ואיננו רוצים לפוצץ אותו

לדגים רבים יש שלפוחיות מלאות בגז בתוך הגוף שלהם. הם משתמשים בשלפוחיות שחייה ממש כמו שאתם הייתם משתמשים בצעצוע בריכה או במצופים כדי לשמור על חלק מגופכם מחוץ למים. דגים יכולים לכווץ את הציפה שלהם כדי לצוף או לשקוע למטה במים באמצעות הוספת גז או הסרתו מתוך שלפוחיות השחייה שלהם. הם עושים זאת באמצעות העברת גז פנימה והחוצה מתוך ורידים מיוחדים. זה דומה לאופן שבו הריאות שלנו מושכות חמצן מהאוויר שאנו נושמים, ודוחפות החוצה פסולת של פחמן דו-חמצני שנעה במחזור הדם. התהליך הזה איטי מאחר שדגים יכולים להזיז רק כמות קטנה של גז לאורך הוורידים האלה אל תוך שלפוחיות השחייה או מחוץ לה בזמן נתון.

חוק חשוב בפיזיקה הוא **חוק בויל**. החוק הזה מציין שהלחץ והנפח של גז קשורים זה לזה. אם אתם מגדילים את הלחץ נפח הגז יקטן, ואם אתם מקטינים את הלחץ נפח הגז יגדל. אנו קוראים לזה יחס הפוך, והוא מתנהג כמו נדנדה. אם אתם דוחפים למטה צד אחד, הצד השני עולה למעלה! אם רק נביא דגים ישר אל פני השטח, הלחץ יקטן (פחות מים לוחצים כלפי מטה) כך שנפח הגז בשלפוחיות השחייה יגדל. אם נביא את הדגים למעלה מהר מדי שלפוחיות השחייה יכולה ממש להתפוצץ בתוך גופם של הדגים. כיצד אתם חושבים שזה ירגיש אם יהיה לכם בלון בתוך הגוף שיגדל עוד ועוד, ואולי אפילו יתפוצץ?

אם כן, כדי שלא לפוצץ את הדגים עלינו למצוא דרך לשמור על לחץ קבוע בזמן שאנו מביאים את הדגים במהרה אל פני השטח. ברגע שהם בפני השטח אנו יכולים באופן איטי ובטוח לשחרר את הלחץ על הדגים במשך תקופה של כמה ימים, מה שמקנה לדגים את הזמן הנדרש להסיר גז משלפוחיות השחייה שלהם ולכווץ את הציפה שלהם באופן עצמאי.

ה-SubCAS: תא לחץ נייד ובר-שיקוע עבור דגים

כדי לשמור על הדגים תחת לחץ קבוע ולהביא אותם אל פני המים, היינו זקוקים למכל מספיק חזק לעמוד בלחץ הזה, מספיק גדול כך שהדגים יוכלו לשחות בתוכו ובכל זאת מספיק קטן כך שנוכל לסחוב אותו איתנו בזמן הצלילה. המכל הזה גם צריך להיות מורכב מחלקים שאנו יכולים לתקן או להחליף בקלות, מאחר שאנו לוקחים אותו איתנו כשאנו מטיילים סביב לעולם. לכן, בנינו את המכל הזה ממסנן שמשמששים בו עבור ניקוי מי שתייה. אנו קוראים להמצאה שלנו בשם SubCAS, קיצור של "submersible chamber for ascending specimens" (בתרגום חופשי: מכל בר-שיקוע עבור דגימות עולות; איור 2). CAS הם גם ראשי התיבות של המוזיאון שבו אנו עובדים: האקדמיה למדעים של קליפורניה (California Academy of Sciences).

יצרנו צנצנת איסוף מיוחדת שמתאימה לחלק הפנימי של המסנן. אנו אוספים דגים באמצעות רשתות-יד בזמן שאנו צוללים, ואנו שמים אותם בתוך צנצנת. כשאנו מסיימים לצלול ומוכנים לעלות לפני המים, אנו שמים את הצנצנת בתוך המסנן, מרכיבים את המכסה ואוטמים אותה

ציפה

(Buoyancy)

כוח אשר מרים אובייקט למעלה כשהוא שקוע בים או בזרם אחר.

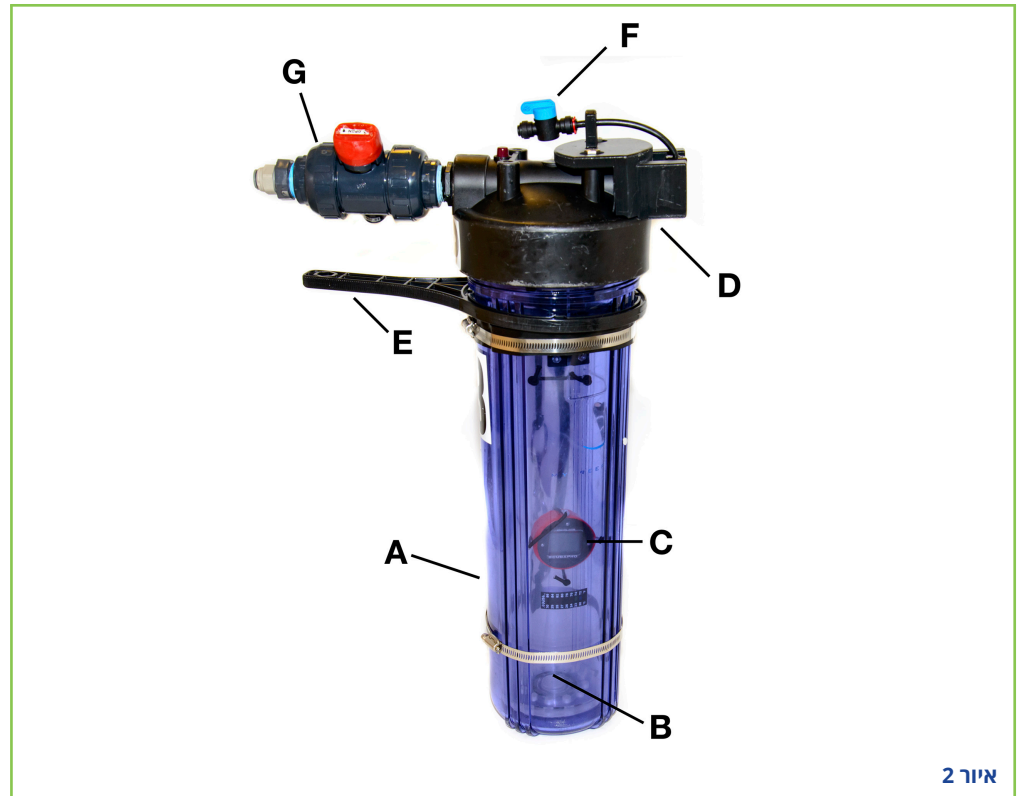
חוק בויל

(Boyle's law)

חוק נסיוני שמתאר את הקשר שבין לחץ ונפח של גז. לפי חוק בויל לחץ הגז גדל כשנפח המכל קטן.

איור 2

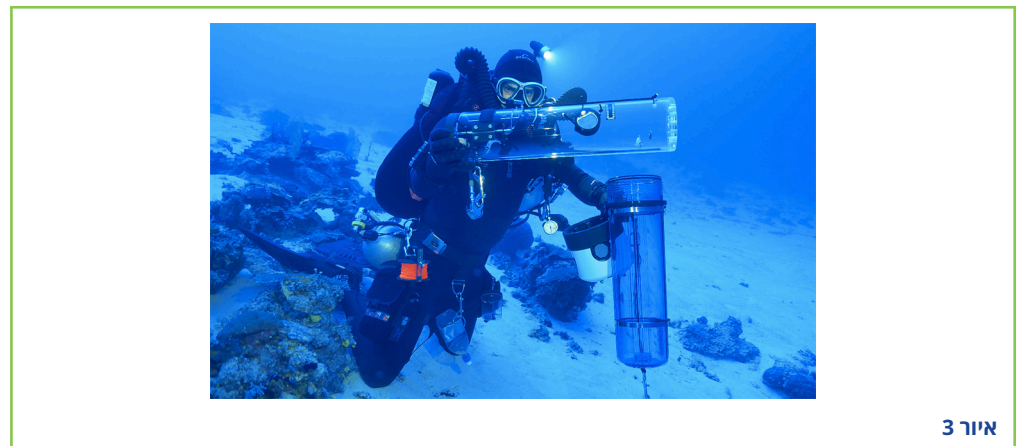
ה-SubCAS, או submersible chamber for ascending specimens. מסנן (A) canister filter, אשר משמש כנוף המכל (B). צנצנת האיסוף הפנימית, שבה ממוקמים הדגים. (C) מד לחץ שמראה את העומק בתוך ה-SubCAS. (D) מכסה ניתן להסרה, אשר אוטם את המכל ושומר על הלחץ. (E) ידית שמסייעת להסיר את המכסה ולחברו. (F) פתח כניסה למים, שאליו אנו מחברים את משאבת המים בלחץ גבוה. (G) פתח יציאת המים, אשר משמש גם כידית שנייה להסרה של המכסה או לחיבורו.



איור 2

איור 3

צוללן ריבריזר במקום את צנצנת האיסוף הפנימית (שמכילה דגים) בתוך ה-SubCAS לפני שהוא עולה מהצלילה באזור הדמדומים.



איור 3

באופן הדוק (איור 3). אחד הדברים החשובים ביותר שצוללן צריך לזכור הוא לשים בועת אוויר קטנה בתוך ה-SubCAS יחד עם הדגים. בועת האוויר הזו מתרחבת כשאנו עולים לפני המים (זוכרים את חוק בוייל?), ומחזיקה את הלחץ קבוע בתוך ה-SubCAS.

כשהצוללנים מגיעים אל פני המים אנו מחברים את ה-SubCAS למשאבת מים בלחץ גבוה. המשאבה הזו משמשת להזרים פנימה מי ים נקיים דרך המכל, כך שהדגים יוכלו לנשום ולהישאר בריאים. המשאבה בלחץ גבוה מחוברת לשסתום בקרה שמאפשר לנו להוריד או להגדיל בהדרגה את הלחץ בתוך המכל. במהלך תקופה של 2-3 ימים אנו מורידים בהדרגה את הלחץ במערכת כדי להתאים אותו ללחץ בפני המים, שבו אנו חיים. במהלך הזמן הזה הדגים מסירים את הגז שלהם משלפוחיות השחייה כדי לכוון את הציפה שלהם בהתאם

לשינויי הלחץ. באופן זה הדגים משתחררים בהדרגה מהלחץ, ושלפוחיות השחייה שלהם לא מתפוצצות!

במהלך שלוש שנים טיילנו למקומות מדהימים באוקיינוס השקט במטרה לחקור אזורי דמדומים של שוניות אלמוגים, כולל בונואטו, בפיליפינים בפלאו ובמיקרונזיה. באתרים האלה אספנו סך הכול 174 דגים. באמצעות מיכל ה-SubCAS היינו מסוגלים להביא חזרה יותר מ-150 מהדגים האלה לאקווריום שלנו כך שנוכל לחקור אותם ולהגדיל את הבנתנו לגבי אזור הדמדומים. אנו גם חולקים אותם עם המבקרים שלנו, ומסייעים לאנשים להעריך חיות שחיות באזור הייחודי הזה.

שגרירי חיות למזופוטים

כיום הדגים שאנו מגלים וממשיכים לחקור מטופלים על-ידי ביולוגים של אקווריום שטיינהרט באקדמיה למדעים של קליפורניה, בסן פרנסיסקו, קליפורניה, ארצות הברית. הדגים הם חלק מתערוכה שנקראת "אזור הדמדומים: שוניות עמוקות נחשפות", אליה מגיעים יותר ממיליון איש בשנה במטרה ללמוד על חשיבותן של שוניות אלמוגים מזופוטים ועל השימור שלהן. תא ה-SubCAS של הדגים הוא גם מוצג פופולרי בתערוכה. שוניות של אלמוגים מזופוטים רבות מושפעות על-ידי דיג יתר וזיהום. המשימה שלנו כמדענים היא לחקור את החיים בכדור הארץ, להסביר לגביהם ולשמרם. החיות שאספנו משמשות כשגרירות של המשימה הזו. אנו מאמינים שהצגת החיות היפהפיות האלה מאזור הדמדומים לעולם, היא אחת הדרכים הטובות ביותר להעלות מודעות לחשיבות של המערכת האקולוגית הבלתי מוכרת הזו, ולצורך לשמר אותה.

מאמר המקור

Shepherd, B., Wandell, M., Pinheiro, H. T., and Rocha, L. A. 2018. SubCAS: a portable, submersible hyperbaric chamber to collect living mesophotic fishes. *Front. Mar. Sci.* 5:187. doi: 10.3389/fmars.2018.00187

מקורות

1. Pinheiro, H. T., Goodbody-Gringley, G., Jessup, M. E., Shepherd, B., Chequer, A. D., and Rocha, L. A. 2016. Upper and lower mesophotic coral reef fish communities evaluated by underwater visual censuses in two Caribbean locations. *Coral Reefs* 35:139–51. doi: 10.1007/s00338-015-1381-0
2. Rocha, L. A., Pinheiro, H. T., Shepherd, B., Papastamatiou, Y. P., Luiz, O. J., Pyle, R. L., et al. 2018. Mesophotic coral ecosystems are threatened and ecologically distinct from shallow water reefs. *Science* 361:281–4. doi: 10.1126/science.aag1614
3. Shepherd, B., Phelps, T., Pinheiro, H. T., Perez-Matus, A., and Rocha, L. A. 2018. *Plectranthias ahiahiata*, a new species of perchlet from mesophotic coral ecosystems at Rapa Nui (Easter Island) (Teleostei, Serranidae: Anthiadae). *ZooKeys* 762:105–16. doi: 10.3897/zookeys.762.24618

4. Rocha, L. A., Pinheiro, H. T., Wandell, M., Rocha, C. R., and Shepherd, B. 2017. *Roa rumsfeldi*, a new butterflyfish (Teleostei: Chaetodontidae) from mesophotic coral ecosystems of the Philippines. *ZooKeys*709:127–34. doi: 10.3897/zookeys.709.20404

פורסם אונליין: 28 בינואר 2021

נערך על ידי: Vishal Shah, West Chester University, United States

ציטוט: Shepherd B, Pinheiro HT, Wandell M and Rocha LA (2021) SubCAS: תא לחץ לדגים. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00040-he

תורגם והותאם:

Shepherd B, Pinheiro HT, Wandell M and Rocha LA (2019) The SubCAS: A Pressure Chamber for Fish. *Front. Young Minds* 7:40. doi: 10.3389/frym.2019.00040

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

COPYRIGHT © 2019 © Shepherd, Pinheiro, Wandell and Rocha 2020. 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

ABDUL, גיל: 12

אני מתעניין מאוד במגוון ביולוגי עם תשומת לב מיוחדת למינים שנכחדו או שנמצאים בסכנת הכחדה. אני אוהב את החיים באוקיינוסים ובהרים, ואני רוצה למצוא חיים בחלל. הייתה לי אהבה מופלאה לציור נופים שונים בטבע.

MUHAMMAD, גיל: 10

אני אוהב לצייר סביבות טבעיות, גבעות, נהרות, אוקיינוסים, ולהיכן מבנים תלת-ממדיים כמו מטוסים, לווייתנים ומכונות קטנות מבצק למשחק. אני אוהב חיות פרא שחיות ביערות מרוחקים שם בני אדם לא מפריעים להן.

ALI, גיל: 10

קוראים לי עלי ואני מגיע מליווינגסטון שבסקוטלנד. בית הספר שלי הוא Merchiston Castle באדינבורו. ההורים שלי מפקיטון. סוגי הספורט האהובים עלי הם קריקט ורכיבה על אופניים. אני גם אוהב כדורגל ואוהד את ארסנל. הנושאים האהובים עלי הם מתמטיקה ומדע. אני גם לומד לנגן בפסנתר.





BENJAMIN, גיל: 11

בית הספר שלי הוא Merchiston Castle באדינבורו. נולדתי בפרויז, אני מדבר צרפתית באופן שוטף. אני גם לומד ספרדית ולטינית. הסבים שלי חיים במרכז הים התיכון. בליגת הפוטבול הלאומית (NFL) אני אוהד את הברונקס. יש לי תשוקה לרוגבי ואני אוהד את סקוטלנד. ההורים שלי בעלי חנות תה שמוכרת בראוניז.

הכותבים

BART SHEPHERD

כמנהל ראשי של אקווריום שטיינהרט באקדמיה למדעים של קליפורניה, אני אחראי על האוסף של האקדמיה שמונה כמעט 40,000 חיות החל מנמלים חותכות-עלים וכלה בפינגווינים אפריקאיים. קיבלתי את התואר השני שלי מקולג' Vassar שבו חקרתי כיצד דגים בצורת צלופח שוחים אחורה וקדימה. כיום אני עורך מחקר על מערכות אקולוגיות מסוג mesophotic coral ecosystems, על רבייה של אלמוגים ועל שיקום של שוניות אלמוגים. יש לי שתי בנות בגילי חטיבת ביניים, כלב קוקפו ששמו D'oggi ואני מנגן בגיטרה לעיתים הקרובות ביותר שניתן כשאני מתחת למים. *bshepherd@calacademy.org

HUDSON T. PINHEIRO

חוקר קהילות דגים בשוניות mesophotic הוא אחד מתחומי המחקר העיקריים שלי. אני חוקר מגוון ביולוגי ותהליכי אבולוציה של דגי שוניות בשוניות אלמוגים מבודדות ובאיים באוקיינוס. הפרויקט הנוכחי שלי כולל קהילות דגים של שוניות עמוקות מהאוקיינוסים האטלנטי והאינדו-פסיפי. אני גם משתמש בנתונים ובידע שלי לקחת חלק ביוזמות שימור, ולאחרונה הצעתי את יצירתם של אזורי שימור שמורת הביוספרה הימית ואזורים מוגנים ימיים בחלק הדרום-מערבי של האוקיינוס האטלנטי.

MATT WANDELL

אני מנהל פרויקט באקווריום מפרץ מונטריי. הייתי ביולוג באקווריום שטיינהרט, באקדמיה למדעים של קליפורניה במשך כמעט 10 שנים לפני שהצטרפתי לאקווריום מפרץ מונטריי כאקווריסט. אזורי המומחיות שלי הם דגי שוניות אלמוגים וחסרי חוליות, והמצאות בציד מכני וטכני לקידום מדע האקווריום. אני הממציא של תא הלחץ לדגים SubCAS ששימש לעריכת המחקר הזה. †הכתובת הנוכחית: אקווריום מפרץ מונטריי, מונטריי, קליפורניה, ארצות הברית

LUIZ A. ROCHA

אני האוצרת של הדגים באקדמיה למדעים של קליפורניה. אני חוקרת של נשיונל ג'יאוגרפיק, פרופסור לביוולוגיה ימית, פרסמתי יותר מ-120 מאמרים מדעיים וספר אחד, וביליתי יותר מ-5,000 שעות מתחת למים בחקר דגים. כיום תחום העבודה העיקרי שלי כולל חקירה של אזור הדמדומים בשוניות אלמוגים באזורים טרופיים. יש לי שני ילדים בתיכון.

Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

