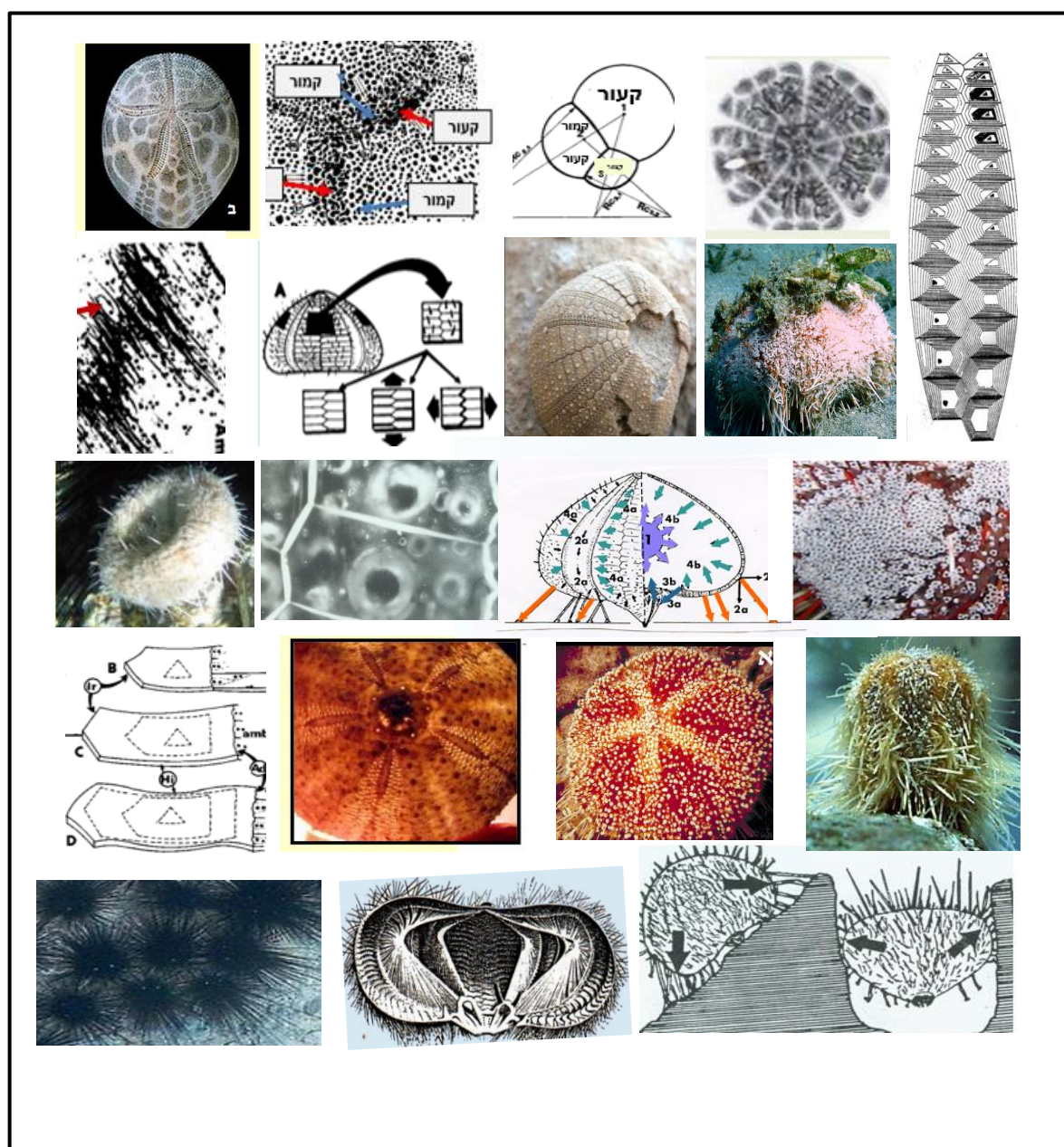




יעקב דפני

החיה שכולם אוהבים לשנוא



תוכן הדפים והנושאים

1. מה יש לך עם קיפודי ים -- במקום הקדמה
2. בכמה מילים על... קווצי העור ומה מייחד אותם
3. לאן ולמה נעלמו קיפודי-הים השחורים מאילת ?
4. מחקר על מגוון יצורי-ים בסביבות-מזוהמות
5. מחקר על מגוון המינים והרלוונטיות הסביבתית שלו
6. מי 'שאהבנו לשנוא' נעלמו מים סוף - עד להודעה חדשה
7. החיה שמפגינה עיוותים מכניים - במפגש עם זיהום
8. השערה: עיוותים כתוצאות מזיהום תעשייתי באילת
9. מגוון של קיפודי-ים שמזדמנים לנו במפרץ אילת
10. הנזרן והקטיפן נכללים בקבוצת קיפודי-ים העיגוליים
11. לעניינינו: השפעת "רגלי המים" על הפרופיל של קיפודי-ים
12. פרמטרים של עיוות ותאונות עבודה
13. מגוון המינים של אלמוגים וקיפודי-ים בטבע
14. קטיפן: מערכת העיכול והחיבור שלה למרכיביה - השן והמעץ על חלקיו
15. התפרים של חוטי קולגן בין לוחיות כהוכחה ללחצים ומתחים מכניים
16. המבנה הכדורי של גוף קיפוד הים שסוגר על חלל מלא במי ים. מהיכן זה בא
17. השוואת קטיפן אילתי מעוותים משני הסוגים: עיוות א משמאל ו- ב מימין
18. בעקבות המודל הביו-מכני כמוטציה לגדילת קיפוד-הים
19. המודל כולל את כלל הגורמים שמשפיעים בדרך של שילוב או בנפרד
20. עוד ניסוי: איך משפיע הלחץ-מתח על לוחיות השלד ?
21. הגובה/קוטר האם הוא תלוי בסוג המצע - חול מול סלע
22. המשך לניסויים להוכחת התפקיד הביומכני של רגלי המים
23. שינויים מורפו-מטריים של ארבע סדרות מירודים לעבר מתקדמים
24. חד-שנתי או רב-שנתי - איך זה נקבע ולמה זה חשוב?
25. המשך: מעבר דרך הלגונה לרוחב שמורת האלמוגים
26. איך מעורב בצד המכני הקולגן בר-שינוי ?
27. נקודת מפנה - חילוף של קוצים בקוצבתים / ניסוי של רונית*
28. דברי סיכום: איך השפיעו הדטרגנטים ליצירת עיוות א' מתחנת הכוח
29. 'מרובעים' ומרובעים לכאורה - עיוות טבעי וסיבותיו
30. סיכום העיוותים באמצעות החוטים המחברים את הדופן למעי
31. נקודות מפנה אבולוציוניות נוספות - מעבר לחיים בחול
32. העיוותים כ'ארגז הכלים' שנוצל לפתח יצור חדש (אפי-גנטיקה)
33. "זכרונות שומר 'טבע'" - אהבה שהחלה בזריחה ראשונה
34. בסיכום: מה עיצב את צורת השלד - מתיחות ולחצים
35. מה פשר התקשרות לקיפודי-ים ולקטיפן בפרט
36. שאלת המשך ורשימת ספרות בעברית ואנגלית בקישור
37. מילון מונחים בתחום הביולוגיה והאקולוגיה הימית

מה יש לך עם קיפודי-ים? במקום הקדמה

מי לא שונא קיפודי-ים? שיקום. אני מכנה אותם "החיה שאוהבים לשנוא". אני זכיתי להכירם מקרוב, ובתום שלוש שנות מחקר במסגרת המלחמה על איכות הסביבה של צפון מפרץ אילת חוזר לימיו אלה, כאילו לא חלפו כמעט ארבעים שנה מציג לפניכם מין יפהפה של קיפוד ים דל קוצים, במופע קטיפתי וצבעוני לעילא.

אם שואלים את ד"ר יעקב דפני, מי ש"מופקד" על מאגר הכולל כאלפיים מיני יצורי ים, מאלמוגים, דגים, סרטנים ומי לא - מיהו היצור הכי קרוב לליבו, בלי לחשוב פעמיים הוא ישיב - **קיפוד הים קטיפן אילתי**. בחוויה האישית שלו חיה זו מעוררת אצלו זיכרון המשלב את המאבק נגד זיהום הים, מאבק הישרדות של חיה שהייתה נפוצה מאד בעבר וכרגע היא על סף כיליון, והכי חשוב - היא מייצגת את המאבק על החי הטבעי של ים-סוף, הנמצא בסכנת היכחדות.

מאמר זה מטרתו להראות כי קיפודי-ים, יותר מכל יצור חי אחר, בנויים על פי עקרונות ביו-מכניים, כמעט הנדסיים. אפשר כמעט לומר שזוהי חיה שתוכננה על ידי מהנדס ו"נפלה משולחן השרטוט"

אענה לכם בשאלה: איזו חיה אתם מכירים שאין לה או יש לה המון תכונות שונות שמייחדים חיה שאין כמוה - החל מאי הנורמליות המלווה את תכונותיה, וכלה ביתרונות בניצול הטכנולוגיה.

אין לה ראש, רגליים, עיניים, מערכת עצבים - מוח אלא עצבים פזורים. בקיצור - אין חיה כזאת.

היא נראית כמו ביצה, עם קליפה דקה כקליפת הביצה, שנוצרת וגדלה כל חייה (יש הטוענים שיכולה לחיות עד 100 שנה - אם לא נדרסה, ואפילו אם כן נדרסה היא משתקמת בצורה מעוותת, כל עוד מערכת העיכול - הנקראת "פנס אריסטו" קיימת והמעי קיים. המזון נקטף על ידי מערכת של חמש לסתות שבכל אחת מהן שן הגדלה במקביל אך מתחזקת ונשחקת בו בזמן בקצה הפעיל אך גדלה מהקצה הרחוק שלה, כל הזמן.

הגוף שלה הוא כדור של גיר - במקור הוא כדורי, אשר כל הזמן מוסיף לוחיות לשלד - הנכנסות כטיפת נוזל המקבלת מיד את הצורה של המרווח שהיא מילאה. וצורתה כצורת אותו מרווח בגיר בנקודה 'משולשת. מכאן ואילך, היא ממשיכה לגדול, תוך כדי מגע פעיל עם מערך הלוחיות הקיים. במרכזו של הכדור הזה - נוזל - מי ים החודרים תדיר, מעי - מערכת אכילה ועיכול, ואברי מין (זכר ונקבה) כולם מושכים לעבר הקוטב העליון, שם נמצא פי הטבעת.

ללא עיניים - אך בכל זאת רואים שם קולטן עצבי רגיש לאור מרוכז **ברגלי המים** שהם אבר התנועה ההידראולי, שמספרם מתחיל בעת המעבר מפגית לבוגר בכ-40 צינוריים שיוצאים מחירי השלד, שמתפקדים כמערכת הידראולית ומספרם מגיע בפרטים בוגרים עד כדי 400-500 רגלי מים, כשבתוך השלד יש לכל אחד מהם שלפוחית - **כנדור הנלחץ בטפטפת**, מוקף שריר ולאורך רגל המים סיבי שריר מכווצים ובקצה הסופי - כפתור היצמדות. לחץ המים בשלפוחית מותח את ה'רגל' עד שתאחז בעצם מוצק, שאליו תיצמד. והשריר האורכי מכווץ אותם. אם טור של רגלי המים פועל להיאחז חייב טור בצדו האחר למשוך לכיוון ההפוך (קונטרה) כדי למנוע התהפכות.

ועוד לא דיברנו על המעבר מעובר - פגית - לבוגר, מחד שנתי לרב שנתי - מטיפת נוזל המגדל את האברים המוצקים - לוחיות, קוצים, קוצבתים שכולם עשויים גיר ובלוטות ארס בקוצבתים - ולתפקיד האקולוגי הסביבתי שיש לה בשוניית האלמוגים. אם אתם אוהבים אלמוגים, שימרו על קיפודי-ים. משנות הטיפול שלי בחיה מיוחדת זו, שמרתי כמה פריטים-שלדים אש קטיפנים. הם משמשים בביתי '**פנסי לילה**', שאורם החודר דרך נקבובי קיפוד הים והשלד עצמו מזכיר לי אותם בלילות קרים - כאלה של היום הזה.

לי, החיה הזאת נראית כאילו עוצבה על ידי הנדסאי-ביוטכנולוג, שנראה לי כאילו נפלה משולחן העיצוב. מה שברור הוא שגם הרעים' שבהם אינם ראויים לגינוי - ההיפך הגמור - אל תשנוא אותם ואל תגרמו להכחדתם. ניפגש בסוף הספרון שלנו. קראו ותיווכחו שאין כמותה - **יש חיה כזאת!**



בכמה מילים על... קווצי העור ומה מייחד אותם

קבוצת יצורים ייחודית לים הם מערכת (phylum) **קווצי-העור** - ששם מבליט את המשותף לרובם – הם **קווצים** = "נושאי קוצים". הם מקובצים בחמש מחלקות שונות זו מזו החל ממחלקת **קיפודיים** (Echinoids), עבור **כוכבי-ים** (Asteroida) דרך **נחשונים** (Ophiuroida), **מלפפוניים** (Holothuria). היחידים שהם חסרי קוצים ככלל הם **חבצלות-ים** (Crinoidea). צורתם הבסיסית עיגולית. הם מיוצגים כמאובנים בשכבות הסלע שגילן מאות מיליוני שנים. תחילה סברו החוקרים שהם ירודים - פרימיטיביים בלשון עממית – אך סברה זו הופרכה. ייחודם כקבוצה של תכונות שלמראית עין פרימיטיבית, אך מוזרה, נשאר בעינו (את הספרי הדיגיטלי עליה כיניתי "מוזר הוא שם האמצעי").

קווצי העור אכן מייצגים שלב התפתחות מתקדם, דרגה המהווה שלב לפני החולייתנים (מדגים ועד יונקים). מכאן העניין הרב שמגלים בהם החוקרים. כמי שעסק במחקר של קיפודיים ים לעומקו יכול אני להעיד על אוסף תכונות מוזרות שיצורים אלה מציגים:

- ✓ הם **חסרי ראש** במובן המקובל אצל רוב רובם של היצורים החיים, וגם זנב אין להם.
- ✓ **אין להם מערכת דם**. גופם חלול שנוזל – בעצם מים – ממלא את חללם.
- ✓ לכולם **שלב עשוי מגיר**, לעיתים מחוזק במגנזיום. כמה מהם (**קיפודיים**) יוצרים מעטפת עגולה או משוטחת ולאחרים זרועות גמישות או קשיחותם, **שחוליות** (נחשונים) או מחטי שלד טבועים בעורם (**כוכבי-ים**, **מלפפוניים**).
- ✓ לרובם **מעי שמתחיל בפה שרק בכמה מהם נושא שיניים**, ומסתיים בחלקם בפי-טבעת ליציאת צואת המזון. לאחדים – כוכבי-ים, נחשונים וחבצלות-ים אין כלל פי-טבעת.
- ✓ **מי הים חוזרים למערכת סגורה למחצה ומוסעים** בצינוריים המשמשים **אבר תנועה פניאומטי (!) הקרוי רגלי מים**. יש כאלה בקיפודיים, כוכבי-ים ומלפפוניים, אך לא בחבצלות-ים.
- ✓ **רובם חסרי עיניים**, אך אור השמש נקלט בעור העוטף אותם, בו פזור חומר דמוי **רודופסין** שמשרת את כל העיניים ביצורים האחרים. הם מבחינים בין אור וצל, שכן חלקם מכונן את פעילותו על ידי אור השמש או ללילה בחשכה.
- ✓ **לכל אחת מחמש המחלקות במערכת זו מזון יחודי: קיפודיים הם צמחוניים, כוכבי-ים טורפים, נחשונים וחבצלות-ים - מסנני פלנקטון** מהקרע **מלפפוניים** מלקטים גרגרי חול, בולעים אותם ומעכלים מתוכו את הניתן לעיכול, בטרם יפלטו אותו למים כשרוכי חול נקיים למשעי.
- ✓ **רובם חד-מיניים, זכרים או נקבות**, תוצרי הרבייה - ביצים ונוזלי הזרע, יפלטו לחלל המים בצירוף **פרומון** - הורמון המעורר את כל בני מינם בסביבה להצטרף ל"אורגייט" רבייה.



בתמונות: משמאל למעלה ובכיוון השעון: **גלילן** (מלפפוניים) (*Holothuria impatiens*), **כוכב-ים** (*Astropecten*), **נחשון-ים** (*Ophiocoma*), **קיפוד-ים** (*Echinus*), **מטבעון** (*Clypeaster*), **קיפוד-ים** החי בחול וחבצלת-ים. **צילומים: י. דפני, מ. לוין.**

בשנה האחרונה נעלמו בבת אחת, בתוך כמה שבועות רוב קיפודי-ים השחורים מאילת והאירוע הזה החזיר אותי לתקופה הראשונה מאז הגעתי לאילת בפעם הראשונה. 1955 - אחרי נסיעה של יומיים הגענו בחושך מוחלט לחוף אילת, מותשים מהנסיעה נפלנו אל הקרקע והתחפרנו לשינה, בבוקר קמנו עם שחר ומצאנו עצמנו ליד גדר של צריף ששימש כקנטינה של שקם שהיה הבניין כמעט היחיד בכל המרחב שהשתרע מאחורינו.. ראשית לכל יצאנו לשוטט על שפת הים הריקה, וטיפסנו גל המבנה ההולך ונבנה של בית מלון. ממנו השקפנו על השמש היוצאת מאחרי הבניין ותמהנו מה יביא אותנו הבוקר. נכנסנו יחפים לים ועד מהרה נדקרנו בכף הרגל - ציפינו לכך, אבל את השעה הבאה התאמצנו לשלוף את הקוץ, שהשאיר פצע קטן, שלשמחתי לא הפריע לנו בשוטטות בחוף. זה היה המפגש הראשון עם קוציו של היצור שעשרות ממנו יכולנו לראות בתוך המים. מוזר, אך בכף ידי נשאר כתם כהה, שמציק לי לפעמים.

כיום, 70 שנה מאותו בוקר, לא יכולתי להתרשם מהאירוע ההוא ובעקבותיו הרומן שלי עם השחורים הללו.. חמש שנים לאחר כן, בעקבות החלטה להתקשר אל החברה להגנת הטבע (חל"ט) ולהתנדב לשמור על שמורת האלמוגים - משהו חדש שלא היה קודם, ראשוני המבקרים התלהבו מהשפע של מיני אלמוגים ויצורי הים, אך הגו רעיון לקבוע שטח לאורך החוף של אילת שהרשויות מאד שמחו להעביר לרשותה את השטח היה הכי רחוק מהישוב אילת ב"חוצפה יהודית" החליטה להשתלט על קטע מחוף אילת, שהיה אז פרוץ לכל רוח, ולהפכו לשמורת טבע. לימים התברר לי כי שמורה זו היא שמורת הטבע הימית הראשונה בעולם. עשר שנה מאז קמה מדינת ישראל וחמש שנים מאז ייבוש ימת החולה, ובעקבותיה נזק סביבתי - האלמוגים נעקרו, ואיסוף קונכיות - צדפים בלשון העם, הפכו למכת מדינה. אני, בן העיר תל אביב הגעתי לאילת, בשנת 1960, בהמלצת אחד מחבריי שהיה פעיל, וגם בילה תקופת מה באילת כמדריך בחל"ט, לשמש מדריך-פקח בשמורה, להסביר ולמנוע הרס נוסף. מאי-יכולתי להצליח בהסברה, וחוסר של בסיס חוקי - כמו חוק, אימצתי לי עוזר לא שגרתי - את קיפודי-ים השחורים שכולם פחדו מהם, הייתי שוחה בעת השפל, ועובר במרחק ס"מ ספורים מעליהם ורושם דו"ח לעברייניים. השופט, אליהו נאווי, המוכר לוותיקים כ"דאוד אל נטור" שהיה משדר בערבית סיפורים והלכות, שהיה מגיע מבאר שבע היה גוער בהם ומחלק קנסות מצחיקים, אך עצם הזימון למשפט היה דיו כדי להרתיע. בקיצור נחתם הסכם ביני לבין קיפודי-ים הים. למדתי לטפל בהם. בהדרכה, הייתי אוזח בקוץ אחד של הנזן, מרים אותו כלפי מעלה בתוך הים ומשחרר, והקיפוד היה צונח ברכות על כף ידי. כך רכשתי מוניטין כפקח ערום, שפחדו ממנו, כמעט כמו שוטר התנועה העירוני, הג'ינג'. עבודת ההסברה לא צלחה ביותר, וביקשתי לגדר את החוף מכיוון הכביש שנסלל בינתיים, אך חברי, משלמי המשכורת סברו ש"שמורת טבע" "אסור לגדר", אך בכל זאת פנו לקק"ל ואלה תרמו כלונסאות עץ, שננעצו במרחק קטן זה מזה, שדי מהר, נשלפו מהקרקע לשמש עץ בעירה למנגליסטים. כך או אחרת חלף זמן ושלוש שנים מהגעתי, התכנסה הכנסת לחוקק את "חוק שמורות טבע וגנים לאומיים" שהפך להיות הגוף שמטפל בטבע, ותפקידו כשומרי השמורה הפך למיותר. החל"ט, עד אז והלאה, המשיכה לכיוון חינוך, בדרך של בתי ספר שדה, שבו השתלבו חלק מהמדריכים. אני, שגיליתי עניין רב בנושא הביולוגיה הימית שמירת הטבע בפרט, המשכתי ללמוד את השונית ומוצאותיה. מחוסר ידע ופרסומים מעטים בעברית, צברתי חומר מדעי באנגלית ואף גרמנית ועד מהרה היו מתקשרים אלי מהאוניברסיטה בשאלות, שרק הגבירו את רצוני ללמוד יותר את נושא הים. כך, כעירוני, שהיה נער עובד, חסר לימודים תיכוניים, שאפתי להגיע לאוניברסיטה והתחלתי את דרכי כאן. בזמני הפרטי, למדתי בהתכתבות את לימודי התיכון והוצאתי תעודת בגרות 'רזה' ללא כימיה ופיסיקה. אך קיבלתי הטבה - ללמוד כשומע חופשי ולהבחן ואם אצליח - אתקבל. וכך נסללה דרכי לאקדמיה.



מחקר על מגוון המינים והרלוונטיות הסביבתית שלו

המחקר הראשון שעשיתי באוניברסיטה היה על מגוון המינים. התפלת מים היא משימה לאומית בארץ דלת מקורות מים כמו ארצנו. הניסיונות לזקק מים לשתייה היו אחת המשימות הראשונות שהתמודדו עימה מדעני המים בארץ. תחנות כוח הפועלות בדלק ככלל נבנות בחופים מן הסיבה הפשוטה שאחוז ניכר מהאנרגיה המיוצרת בהן הופכת לחום שממנו יש להיפטר, ומי הים מתאימים לזה.

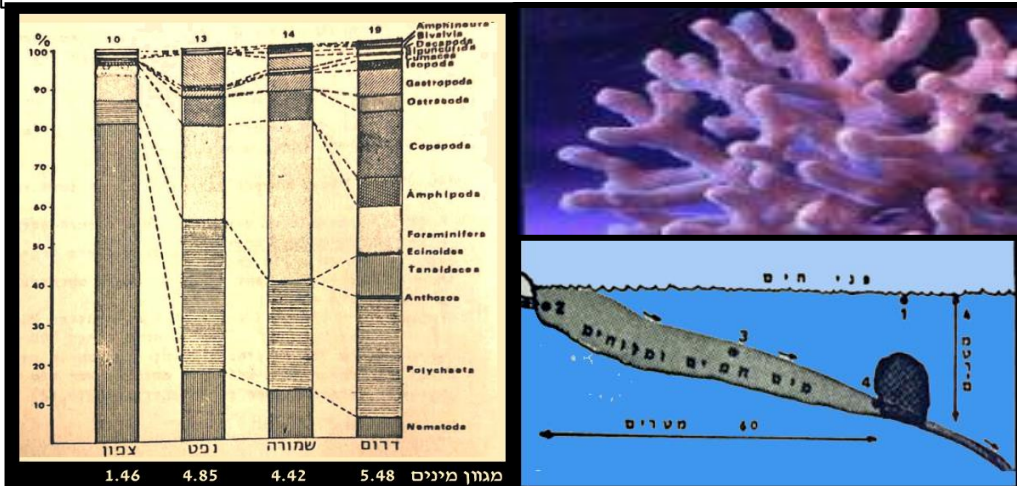
הרעיון לשלב יצור חשמל עם זיקוק מים איננו חדש. בעולם פועלות תחנות כוח כאלה די בהצלחה. מי ים המקררים את המנועים נשפכים למקווי מים, נהרות או אגמים. אך כידוע, המים מתאדים ואילו המלח שבהם נשאר מאחור, שוקע ונאסף כמלח בישול או מסולק בצורת מים מלוחים ביתר (תמלחת) שלעיתים הם גם חמים מעבר לחום המים בגוף המים שלתוכו זרמו.

באילת הוקמה בשנות השבעים של המאה העשרים תחנת כוח משולבת במתקן התפלה, בחוף הקרוי כיום "חוף החשמל". שאיבת המים מהים נעשתה באמצעות משאבות המשותפות לחברת החשמל וחברת המלח. את התמלחת החמה הוציאו לים בצינור דק שהזרים תמלחת לים. כתלמיד מחקר באוניברסיטת ת"א אהבתי להתפלש במים החמים. בו בזמן, כמי שמועד היה ללמוד את הנושא "מגוון המינים" גיליתי שהחוף הזה הינו אחד מהחופים המזוהמים ביותר בחוף הישראלי.

הזיהום התבטא הן בחום המים (עד 39 מעלות בחורף) והן במליחותם שהגיעה ל- 4.7% (פי 1.15 ממליחות ים סוף, שהיא הגבוהה ביותר - 4.1%, הגבוהה ביותר בגוף מים המתחבר לאוקיינוס. לכאורה, הטמפרטורה הגבוהה לא הייתה אמורה להוות בעיה, שכן מים חמים צפים על מים קרים יותר ונמהלים בהם תוך ירידה במליחותם, כאן, הצירוף של מליחות וטמפרטורה ששניהם משפיעים על צפיפות המים פעל בצורה הפוכה: המליחות גברה על חום המים שהפכו לכבדים יותר, ושקעו אל הקרקעית. התוצאה: מי התמלחת החמים והמלוחים יצרו 'מניפת' מים חמים במדרון ועל קרקע הים הרדודה, שהמיתה את רוב בעלי החיים שגדלו על קרקע הים. שרדו רק כמה קבוצות של תולעים האופייניות למים מזוהמים, (כמו נמטודות).

במחקר שנערך בעקבות זיהום זה וזיהומי נפט תדירים נספרו המינים של חסרי חוליות ימיים – סרטנים, תולעים, קווצי עור ואחרים על מצע במבנה בעל צורה טיפוסית - (אלמוגים מתים מהסוג שיחן *Stylophora*). בחופים המזוהמים בשפכים תעשייתיים, כמו ב"תחנת צפון" המזוהמת (עמודה שמאלית) לעומת חוף 'נקי' שאינו סובל מעקה אקולוגית (עמודה ימנית) נמצא כי המגוון בעמודה הראשונה פחות סוגי יצורים, בקיצור, מזהה זיהום.

אחת המסקנות של המחקר (דפני, 1974) הייתה שחובה להזהיר מפני שילוב של מי תמלחת עם מים חמים, מה שמאפיין תחנות כוח גרעיניות או כאלה שמופעלות בדלק פוסילי. למסקנה דומה הגיעו גם אחרים (קרס ושהם-פרידר, 2014).

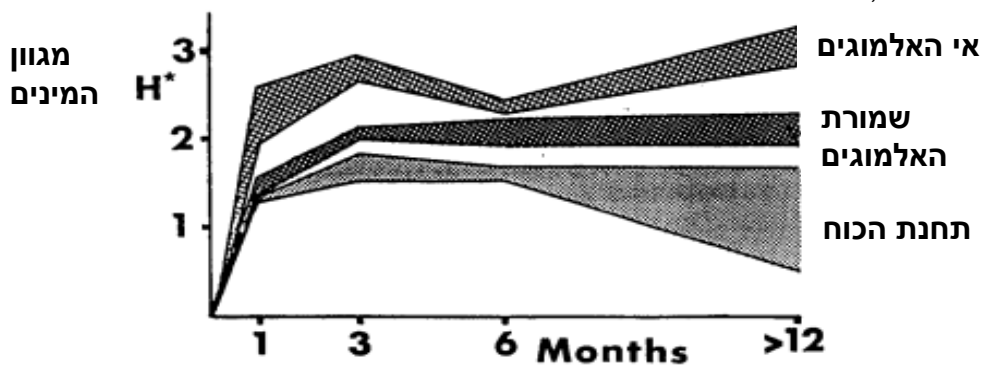


בתמונות: מימין, האלמוג שיחן כשלד ומצע לבעלי חיים שעליהן נערך המחקר; למטה מימין: פיזור המים החמים שנפלטת מתחנת הכוח. בשל מליחותם הגבוהה שקעו אל קרקע הים עד לעומק של 4-5 מ'; משמאל, מספרי הקבוצות החי שהיו בתחנות השונות ותאור גרפי של המגוון, מתחנת הכוח ('צפון') ועד לתחנת הביקורת ('דרום'). **צילומים:** י. דפני, 1974: חברות בע"ח המלווים אלמוגים מתים בתנאי זיהום (אונ' ת"א).

מחקר על מגוון יצורי-ים בסביבות מזוהמות

את לימודי הבסיס באוניברסיטה למדתי בחירוק שיניים, אך את לימודי הביולוגיה והבוטניקה ניתבתי להיבט סביבתי: באותה תקופה הושמע לראשונה הביטוי **מגוון מינים**, ונתבקשתי לחקור את מגוון המינים בעומקים שונים, הצעתי כי מאחר ומדד זה אמור להשפיע או להיות מושפע מהמצב הסביבתי בבית הגידול, מה ייגרע מהעולם המדעי אם אציע לחקור את **מגוון המינים של מיני יצורי ים מסביבת גידול מזוהמת**. לא הקלתי ראש ולמדתי את המתמטיקה של מדד זה ודגמתי שוניות מסביבות שונות, ואת מי שהצליח להתבסס בהן. בחרתי בעיקר אלמוגים מהסוג **שיחן** (*Stylophora*) שהוא אחד הנפוצים בכל הסביבות שהיו חוף מזוהם, חוף בנמל הנפט, בשמורת האלמוגים והביקורת – חוף בצידו האחר של הגבול שהיה הכי פחות מושפע מהאחרים. דגמנו כמה אלפי פרטים מקבוצות מיוניות שונות (שוכני מצע מוצק) וסיכמתי (א) את מספר המינים או לחילופין את מספר היחידות המיוניות בכל דגימה, (ב) את מספר הפרטים היחסי (ג) ומידת השליטה של כל מין. בחרתי מספר מדדים שנקבעו ע"י חוקרים שונים, ובחרתי להציגם כדי שאוכל לבחור ולהציג בתוצאות. הביטוי המקובל למדוד את השפעת שני סוגי הגורמים הללו על "חברת החי" או הצומח, הוא **מגוון המינים**. זהו מדד שמורכב ממספר היחידות המיוניות (מינים או סוגים) ומידת השפע שלהם.

מי שעבד עליהם לפניי, היה פרופ' יוסי לוי שכתב אז עיבד את הנתונים של הדוקטורט למדד מגוון המינים באלמוגים. לצורך המחשה אני מביא כאן שני מצבים שבהם מגוון המינים הוא מפורש – שני מופעים שתוארו באזורים שונים של השונית – מגוון נמוך מול מגוון גבוה, בשונית האלמוגים באילת,



בתמונה: מגוון של מיני יצורים בסביבה כלשהי. עם הזמן, ניכרת עליה במספרי הפרטים ומתחילה להסתמן מגמה של עליית המגוון עד הכי גבוהה, בתחנות המדידה (במקרה זה מדד המגוון, עם הזמן מתחדד ההבדל ביניהן. הכי נמוכה, ('צפון'), הולכת ושוקעת, ואילו המגוונות יותר ('דרום') מאמירה. (מקור: דפני, י. 1974 חברות בע"ח המלווים אלמוגים מתים בתנאי זיהום מחקר לתואר שני באול"ת"א).

מספר מינים קטן 1-2 ל-מ' של כיסוי,
זה קורה כשמינים מעטים
משתלט על רוב השטח.

מגוון מינים נמוך



מגוון מינים גבוה



מספר מינים גבוה, לפחות 10 מינים
על חתר דומה. אחוז הכיסוי מתקרב ל-
100. זה קורה כשהתחרות בין המינים
רבה

בתמונות: שני קטעי שונית בשמורת האלמוגים באילת, המראים ערכי מגוון שונים – נמוכים או גבוהים. אין לפקפק בתוצאה – מין שולט תוקפני, שדוחה מינים יותר "צנועים" החיים כל מין בגומחה משלו. צולמו באותו יום. **צילום י. דפני**



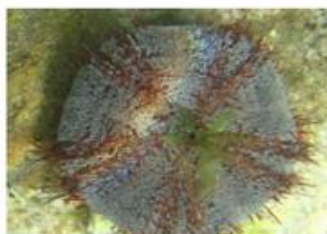
יום אחד הגיע אלי למכון המחקר ע"ש שטייניץ חברי יחיעם, ששלח אותי ל"חוף החשמל", האתר המזוהם בחופי אילת, אותו חקרת במחקרי למגוון המינים. סרתי לשם וגיליתי מאות קיפודי-ים ים רובם מתים, חלקם גוססים. אלה וגם אלו היו מעוותים בצורתם הכללית – והחלטתי להקדיש זמן מה לגילוי סיבות הזיהום – כאמור, הנושא סביבתי היה ברור. מה גם שאילו היתה התופעה מחלה כלשהי, לא הייתה מרוכזת על כברת חוף מצומצמת. העיוות והתבטא בגידול לגובה עד כדי כפול ומשולש פגע במין אחד – קטיפן, הגדול בקיפודי-ים שהיה דל קוצים, מזה של קיפוד ים רגיל. 'בעוד זה מדבר' ונמסר לי **שבִּלְגוֹנָה המלאכותית** שנחפרה זה מכבר, נמצאו קטיפנים מעוותים מסוג אחר – משוטחים – ששלדיהם קרסו במרכזם. כינתי עיוות זה **עיוות ב'** ואת הקודם - **עיוות א'** לעומתם, יש "טובים" קיפודי-ים ים שאינם דוקרים, והם בסך הכול שוחרי שלום. הטוב שב"טובים" הוא **הקטיפן**, קיפוד ים גדול יחסית, שקוציו קהים, ומרוכזים בתחתית הגוף, ואת רוב שטחו החיצוני (טורים אינטר-אמבולקרלים) - עוטרים קוצים זעירים נושאי צבתות (קוצבתים, שנדבר עליהם בהמשך), וכמו שתיווכחו להלן, הוא גיבור ספרנו זה. בתמונות להלן, שני מיני "שחורים" בנוסף לשלישי מופיע בתמונה העליונה,



החיה שמפגינה עיוותים מכניים - במפגש עם זיהום



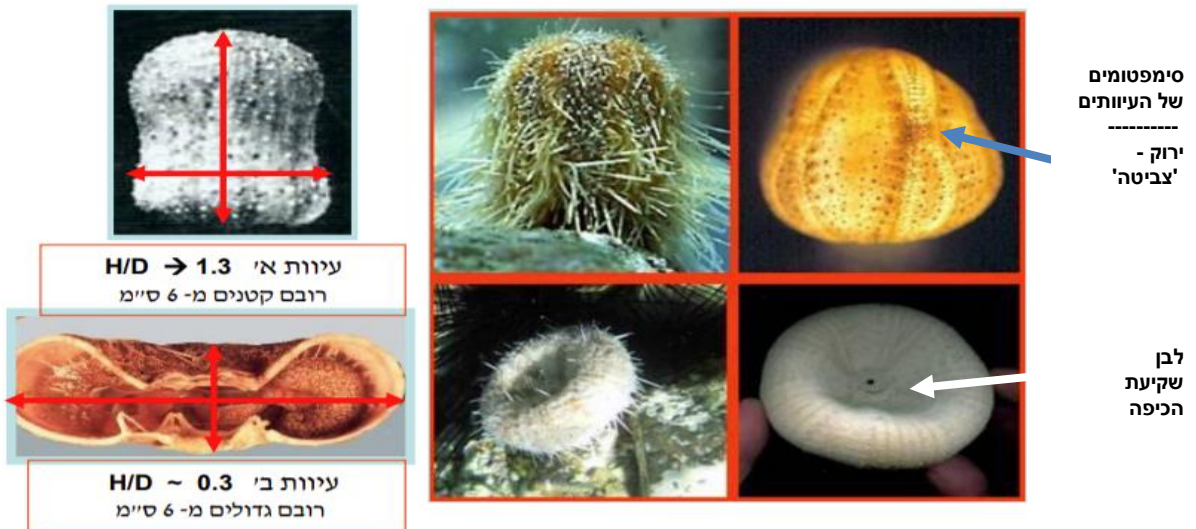
תת-המין שחקרתי, **קטיפן אילתי**, איננו היפה מכל קיפודי הים*, אבל אי אפשר להתעלם ממגוון הצבעים העשיר שמקורו בצבע **רגלי המים** והרקע שנדמה ל**קטיפה רכה** - מכאן שמו **קטיפן**. רב-גוניות זו אפשרה לי להבחין בפרטים ספציפיים תוך כדי מדידתם. יכולתי, לו רציתי, לתת להם שם פרטי - ג'ינגי, בלונדי, למשל. גם אני שמתני לב שלא כל מדידות הקוטר בקליבר היו זהות, ולא הבנתי שאין זה בשל דיוק. מאוחר יותר למדתי שהחיה '**נועלת**' את **חוטי הקולגן** המקשרים בין לוחיות שכנות מה שמוריד מהקוטר מ"מ ספורים, אך סותר את טענתם של חוקרים שהקיפוד חווה הקטנת מידות גופם, קרי סופגים את שולי הגיר ובכך מצטמצמות מידות הגוף שלהם, ולא כן: הנעילה גם עוזרת להבחין במידת הגמישות שהם מציגים - המתבטאת בצמצום הרווח הבין-לוחייתי. בעת עקה לא חשוב לשמור הגמישות אלא על מוצקות השלד. **מלך היופי*** במשפחתם הוא **ארסן-ים פרחוני** הנמנה על משפחת -קיפודי-הים **בעלי קוצבתיים ענקיים**, כפרחים. אך לא אצלנו - חבל, אבל תמונה שלו (למעלה במרכז) מהאינטרנט ממשפחת הקטיפניים ותודה לצלם על הצילום



במרכז: קטיפן קוצני וסביבו שמונה גווני צבע של קטיפן אילתי
רגלי המים והקוצבתיים

השערה: עיוותים כתוצאות מזיהום תעשייתי באילת

היה ברור שהעיוותים פגעו בעיקר בשלד של הקטיפן, ומערך הלוחיות הבונות של השלד. מכיוון שמחקר בבעלי חיים ללא ידע על מעמדם הטקסונומי לא היה אמין. כדי לחקור את המבנה שלו, עלי לזהותו. קיפודיים הם יצורים משונים. שרידותם מתחילת כהופעת המטאורית של בעלי חיים גדולים בים, בראשית העידן הפליאוזואי, לפני 500 מיליוני שנים מוצגת כראיה מתריסה כנגד הרפיסות שלהם. בעידן הנוכחי ידועה חשיבותם באזורים הטרופיים 'קבוצת מפתח' אקולוגית, הממונה על האיזון שבין התבססות אצות והתיישבות פגיות אלמוגים. קיפודיים מנקים את המצע המוצק ומסייעים להתיישבות האחרונים ובכך קיום השוני. מותנית בהם. הפגיעה בהם – בסערות, בטריפה וזיהומים מסייעת לאצות להשתלט על שוניות שנוקו מאלמוגים. העיוותים והעלמות מין דומה בשנות הששים באיים הקריביים זיהומים נראו לי כגורם מתאים למחקר סביבתי על הקטיפן האילתי. שתואר על ידי (Dafni 1983) כתת-מין אנדמי. ולעובדות: עיוות א' – נתגלה בתדירות של 66% באוכלוסייה שמנתה מאות קיפודיים, בחוף שגובל עם תחנת כוח של חברת החשמל באילת, שהיה נתון לזיהום בכימיקלים שהשתמשו לשמור על ניקיון הצנרת במפעל. אופייני להם היה שגדלו במידה מוגזמת בכיוון האנכי. חלקם מת או נטרף ושלדיהם פזורים על קרקע הים בקרבתו. לעומת יחס נורמלי שבין גובה השלד וקוטרו (H/D) כ-0.65) הזדקרו חלקם לגובה יחסי העולה מגובהם היחסי – כלומר $H/D < 1.0$ גם צורתם סטתה מהצורה הנורמלית של קטיפנים – צורות שהזכירו אגסים או בוטנים, ונשאו על צידם 'צביטות' (חץ ירוק) – להעיד על לחץ על הסידור הנורמלי. עיוות ב' – קטיפנים משוטחים במידה קיצונית, (היחס בין גובה הגוף וקוטרו היה קטן מ-0.4 ($0.4H/D <$) ובצידם הגבי, שהוא כרגיל עגול-כיפתי הופיעו שקעים. בדימוי "ארכיטקטוני" (חץ לבן) אפשר לחשוב על 'קריסה' של כיפת השלד. מאות קטיפנים שגדלו בפתח ה'לגונה המלאכותית' באילת (כיום אינם יותר – הלגונה זוהמה). לימים התפשטה התופעה גם לחופים אחרים, ובעת כתיבת שורות אלה ניתן למצאם בתקופות נדירות לאורך כל החוף המערבי של מפרץ אילת שבגבולות ישראל. בשום מקום בספרות על השפעות זיהומים על 'דפורמציות' לא גיליתי תופעה בהיקף כזה (למעלה ממחצית). מחקר בשטח גילה הן את הסיבות – גם כאן דטרנטים ממכבסת בית מלון שהטיל שפכיו ללגונה. המחקר הורחב כדי להבין טוב יותר את מבנה השלד ואברים של קבוצת המעוותים. הבאתי רשומה זאת כדי לעורר את סקרנותכם, והמודעות להשפעת זיהומים. לא ידוע מדוע פגע העיוות רק בקטיפן.



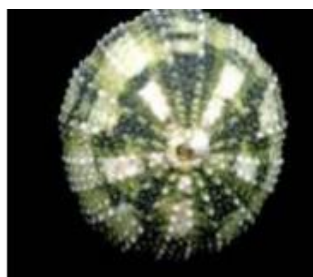
בתמונות: עוותי שלד המוניים בקטיפן האילתי בשני אתרים שונים במפרץ אילת. שורה עליונה: עיוות א' צמיחה מופרזת לגובה במדידת גובה/קוטרו. בשורה התחתונה: עיוות ב' בו חלה קריסה מכנית בשלד (יחס גובה/קוטרו נמוך, והופעת שקעים בכיפת השלד). מקור: מועתק מספריי הדיגיטליים "אין חיה כזאת" שתמצאו בדף השער של "מדריכי הים של יעקב דפני וספר שני: מוזר הוא שמם האמצעי", (הוא גם תורגם לאנגלית. אם תחפצו - ראו למטה לספר באנגלית.

[Strange is their middle name Dafni.com](http://Dafni.com)

מגוון של קיפודי-ים שמזדמנים לנו במפרץ אילת



קיפודון הדור



קיפודון עירום



עפרונן העפרונות



קיפודון השונית



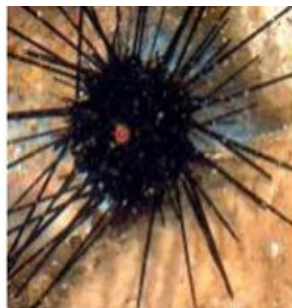
ארסנית ים-סופית



צידר קטן



שחורן שונה קוצים



נזרן ארוך קוצים



סלמצית אדמונית



קטיפן אילתי (צעיר)



קדחנית השוניות



קטיפן אילתי (בוגר)

ואלה -האחרונים -- נתקפו בעבור עליהם נגע העיוותים. מחמת הזהומים

עיוות א':
יחס גובה לקוטר
 $H/D > 1.4$

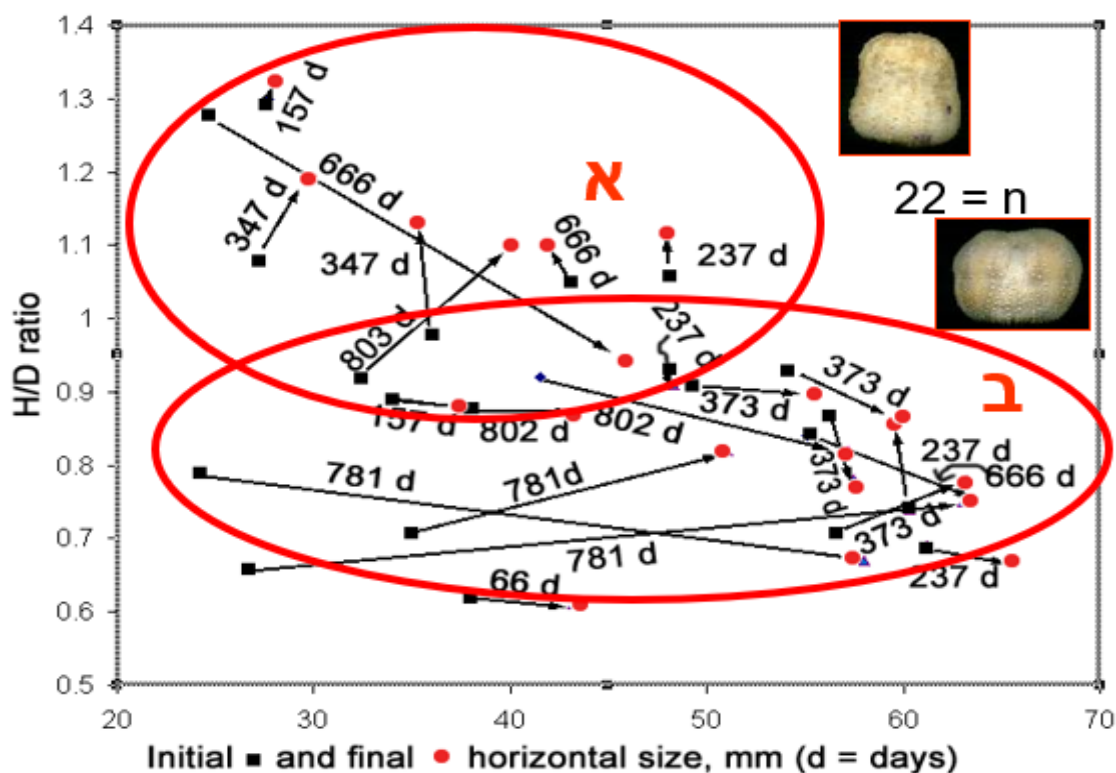


עיוות ב':
גובה לקוטר
 $H/D = .4$

הנזרן והקטיפן נכללים בקבוצת קיפודי-ים העיגוליים

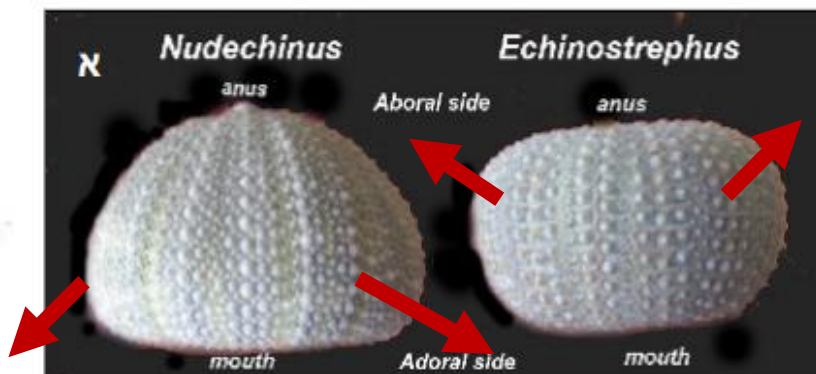
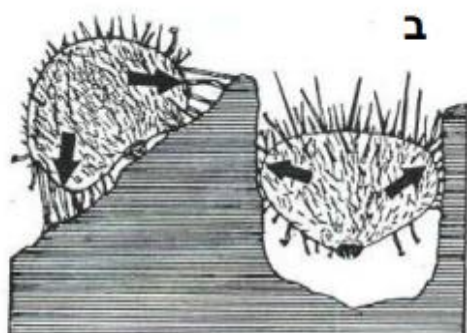
ניסוי 1. האם העיוות השפיע על הגדילה והאם השתקמו המעוותים?

קיפודי-הים המעוותים, בעיקר אלה שנאספו בחוף חב' החשמל, הוחזקו באקווריונים בשבי, והואכלו כרצונם למשך תקופה ארוכה, ונמדדו מספר פעמים במהלך התקופה. בניסוי 1 (איור 41) מוצגים הנתונים ההתחלתיים והסופיים הן של הקוטר והן של היחס קוטר/גובה (H/D). הוא מוכיח (א) שקיפודי-ים שהיו מעוותים מאד (הקבוצה השמאלית עליונה) כמעט שלא הוסיפו גובה, ורובם נותרו מעוותים. (ב) אלה שהיו פחות מעוותים (H/D קטן מ- 0.8 גדלו ובכמה מקרים שינו את היחס קוטר/גובה לאורך של כשנתיים ימים.

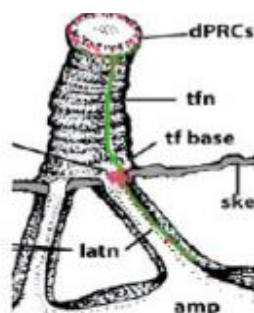


"רגלי המים" הקשורים לדופן השלד ומתחברים למצע חיצוני (או עצמים לא מחוברים - עלים או אבנים קטנות) מושכים את השלד וגורמים לו להיות פחוס. הם מהווים גורם משמעותי בשינויים בפרופיל השלד - (ראו באיור בדף הבא) מרכיבים אחרים של קיפודי-ים קשורים לבית גידולם הטרופי. **צידריים** משפחה עתיקה של קיפודי-ים עבי קוץ, שקוציהם לא דוקרים, אלא גם משמשים לתנועה על הקרקע, כקביים - **לעפרונן** (קיפוד העפרונות) קוצים לא חדים. הוא נכנס לננזיקים ונאחז בקירותיהם. מין אחר ממשפחתם **איננו** מצוי בים סוף - **עפרונן-קטום** - מין קרוב לו - משוטח קיצוני שקוציו עבים אך קצרים והם מרצפים כאריחים את חלקו העליון ובכך מונעים מטורף גישה אל השלד. כאשר בודקים את קוצי **העפרונן** מתגלים גם בהם קווי גידול - טבעות כהות על רקע בהיר יותר - המזכירות טבעות שנתיות בעץ. סבורים כי טבעות כאלה נגרמות - כבגזעי העצים - על ידי שינויים עונתיים בקצב הגדילה, ולכן אחד מעמיתיי הסתייע בהם לשער ואף לקבוע את גיל החיה. לעומתם גורסים אחרים כי קווי הגידול אכן מסמנים שינויים בקצב הגדילה, אך נגרמים על ידי פגיעת טורף, חשיפה ליובש או כל גורם טראומתי אחר. מיוחד הוא קיפוד-הים **ארסנית**, שקוציו נושאים שלפוחיות ארסיות 'על באמת', שאין להם קשר ישיר לגיל. נזכיר את ייחודם במאפיינים אחרים הנוגעים לענייננו בהקשר לפעילות הכמו-מכנית (הם משנים את גמישותם ויכולתם לשנות את הפרופיל שלהם - מכדורי כמעט, למשוטח, הודות לשרירים המזנטריאליים של מין זה, ההומולוגים (ממוצא זהה) לחוטים שמעוותים את השלד **בעיוות ב'**).

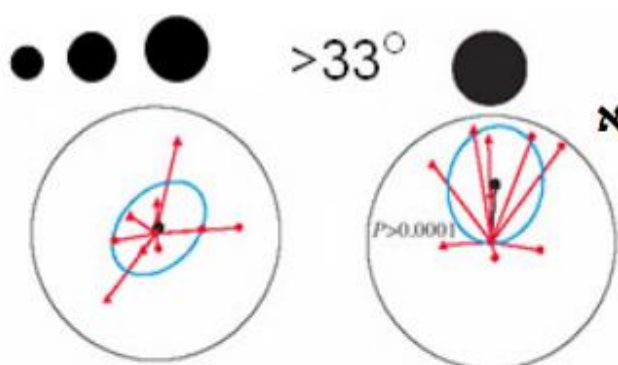
לעניינינו: השפעת "רגלי המים" על הפרופיל של קיפודי-ים (שני מינים)



ראיית עור (לא, לא טעות דפוס!) - אין להם עיניים, איכה יראו? **אופסין** - פיגמנט דמוי רודופסין המופיע אצל קיפודי-ים, כוכבי-ים וחבצלות-ים וקווצי עור אחרים. הם (**נזרניים**) מבחינים בין יום ולילה ומתכנסים בשעות היום בנקרות או בקבוצות צפופות, ובלילה הם יוצאים לפעילות. גם חוש ריח יש להם? - איך תסבירו את תגובתם לפרומונים המופצים בסביבה בה נטרף פרט אחד, חומר שבוקע מחלל הגוף של הנתקף גורם להם להתפזר במהירות (מי חקר?).



ב



איור 15: (א) תוצאות מחקר (Belvins & Johnsen, 2004) המראה כי קיפודי-ים שהונחו במרכז זירה נמשכים אל כתם כהה המוצג בפניהם, רק כשהוא מעבר לגודל של 33° מהיקף הזירת הניסוי. כתמים בגודל קטן מזה לא גרמו לתגובה מובהקת (שמאל) ו-(ב) אזורי רגשיים לאור (באדום) על רגל מים של קיפודי-ים והקישור שלהם עם מערכת העצבים (Ullrich-Lüter et al., 2011).

תאורה משחקת תפקיד חשוב בקווצי עור - היא מעורבת בהמון תהליכים - בהתרעה על פחות אור, מעבר להתנהגויות לילה **בחבצלות-ים ונחשוניים** (נחשונק). פעם הייתי באירוע של ליקוי חמה בים, וראיתי כיצד כמה **חבצלות-ים** החלו 'לעלות' לראש השונית (התבלבלו), ולרדת אל החלקים התחתיים בתום הליקוי. **מלפפוני-ים** מבצעים הזדקפות והטלה בצוותא - תמיד בלילה, גם כוכבי-ים טורפי אלמוגים (**כיפת קוצים** בשמם העברי) פועלים בשעות החשכה, וגם **הנזרניים** רועים בשעות הלילה, וביום מתקבצים. הרבה צוללנים חושבים שהנקודות הלבנות - צבעוניות בכמה קיפודי-ים - הם עיניים, אך נראה שאין להם קשר עם אלה ולא ברור איזה פונקציה כימית, ליקוי, משיכה או דחיית טפילים הם ממלאים. נספר לכם כשנדע.

מקורות: ציטוט מהספר הדיגיטלי "מוזר הוא שמם האמצעי"

קודם שניכנס למאפייני העיוותים, הבה ונבהיר מהם המאפיינים הרגילים של קיפוד הים **קטיפן**. בתנאים הרגילים, **הקטיפנים** הם בעלי צורה אופיינית, עם יוצאי דופן מעטים ביותר. שלד קיפוד-הים הוא עגול, במבט-על, עם נטייה קלה לצורת מחומש (בלועזית היא קרויה סימטריה מחומש-רדיאלית). ציר הסימטריה עובר מהקוטב התחתון, האוראלי, שבו פתח הפה ("דרומי", בהשאלה מכדור הארץ), אל הקוטב ה"צפוני", **הפריפרוקט** שנקרא אבאורלי (מבט-על), שבו נמצא פי הטבעת ויציאות תוצרי הרבייה ושם נולדות לוחיות חדשות. והשלד עשוי לוחיות גיר בטורים אנכיים, שמתחילים מלמעלה והולכים ומשנים את מיקום כלפי מטה. החלק הרחב ביותר של השלד, הקרוי אמביטוס, שהוא "קו המשווה". את הגדילה מודדים באמצעות הקוטר (Diameter) העובר דרך ה"קו המשווה", ואילו את הצורה קל להגדיר בעזרת היחס שבין הקוטר לגובה השלד (Height), היחס H/D . הנורמלי הוא 0.65 בקירוב.

כאמור לעיל, חצי שנה מאוחר למציאת העיוותים ב"חוף החשמל" נמצא מוקד נוסף של עיוותים המוניים מסוג שונה, והפעם בחוף הלגונה המערבית בחוף הצפוני של אילת, בסמוך למלון "קיסר" שליד חופה. גם הפעם המעוותים היו בני הסוג קטיפן שפורסם **כקטיפן קוצני** שעבר שקיעת החלק האבאורלי - של השלד. כדי להבדיל בין שני סוגי העיוותים, הגדרתי את העיוות שנתגלה בחוף החשמל **כעיוות א'** ואת העיוות שנמצא בפתח הלגונה בחוף הצפוני **עיוות ב'**.

עיוות א' הצטיין ביחס H/D של יותר מ-0.7 ואילו **עיוות ב'** הצטיין ביחס H/D נמוך (0.43 באוכלוסייה המעוותת ביותר), אבל כאמור לעיל, העיוות לא התמצה ביחס הזה אלא בצורה אירגולרית מעוותת בעיוות א' ושקעים **אבורליים** עמוקים **בעיוות ב'**. חשוב לציין שלא היה כאן פגיעה פיסית אלא גדילה מעוותת.

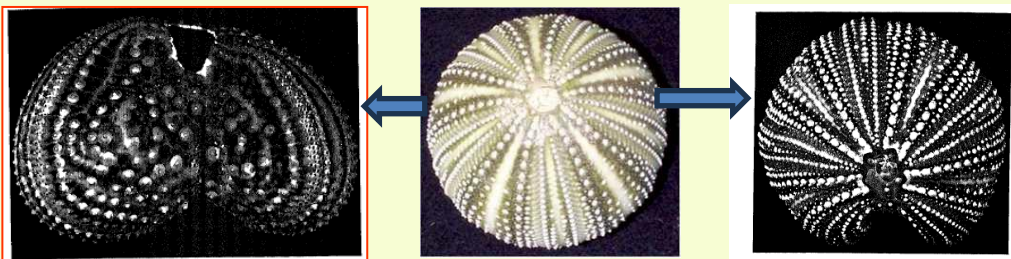


תאונות עבודה.

גרענו מהתיאור פרטים שנקטעו, נדרסו והפגינו את התאונות ביד אדם, או טריפה שלא הסתיימה במות הקורבן. מאלה ששרדו וקל לזהותם לא מעטים עברו **רפאות**, וכושר מולד להשתקם, ושרדו. בביקור בארה"ב של אמריקה נפגשתי עם מדען מומחה בתחום זה,

H.B. Moore. שכתב ב-1974 בנושא **דפורמציות** של המין הקרבי וחוקר אחר

Allain, ב-1978 במין **קטיפן קוצני - פרט משוטח**, ובכל מקרה לא עיוותים המוניים ב- *Tripneustes lorioli* במזיאון במאוריציוס, ולשאלתי האם מדובר היה בעיוות המוני, נענית בשלילה.



בתמונות : שני: פרטים פגועי דריכה ואמצעי לא-פגוע --מראים כיצד אפשר לשרוד פגיעה פיזית

ומה כל זה אומר על המנגנון של בניית השלד בקיפודי-ים, בינתיים כבר הוחלט על נושא המחקר שלי, שנוסח כ"**הגדילה והשקעת הגיר בשלד קיפודי-ים מהסוג קטיפן קצר קוצים**. ריכזתי מספר רב של שלדים והשוויתי ביניהם (ראו הפרסום המדעי משנת 1973 ברשימת המקורות).. בשל של רשומה ארוכה של צילומים ואזכורים של עשרות מינים שפורסמו, רוב המינים שתוארו נפסלו בשל אי-מיומנות. כדי להימנע בפסילתו כמין חדש הגדרתי כ-**תת-המין קטיפן אילתי** (*Tripneustes g. elatensis*). ואכן, **קטיפן אילתי** כבר הוכר כמין תיקני (הגם שתיאורו כמין חדש מתמהמה), מה שמאפשר לי להשוות אותו למינים האחרים, ולחקור תכונות אופייניות למין זה, הייתה זו תגלית מדהימה. אך לפני הכל תמונה של כלל מיני קיפודי-ים המוכרים כמו **נזרן ארוך הקוצים** במפרץ אילת, שמאמת את האמרה הגזענית "הכושי עשה את שלו, הכושי יכול כבר ללכת".

מגוון המינים של אלמוגים וקיפודי-ים בטבע

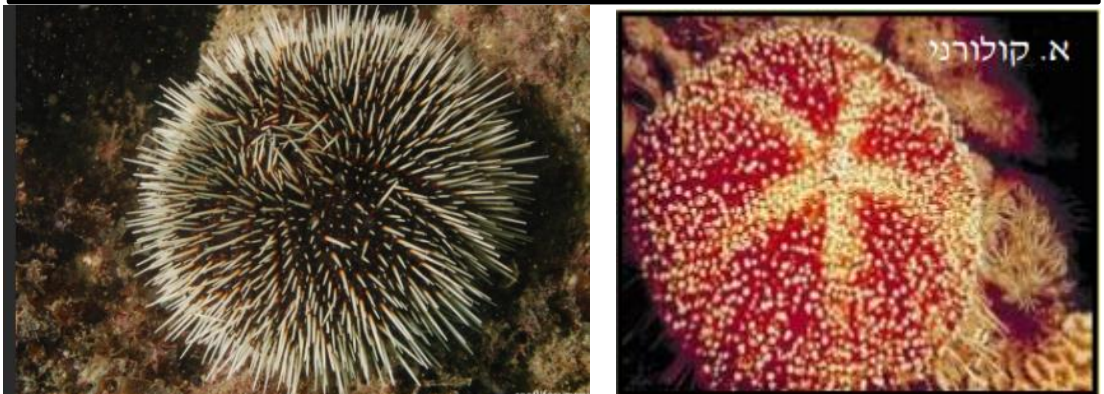
מי שעבד עליהם לפניי, היה פרופ' יוסי לוויה שכבר אז עיבד את הנתונים של הדוקטורט למדד מגוון המינים באלמוגים. לצורך המחשה אני מביא כאן **שני מצבים שבהם מגוון המינים** הוא מפורש – שני מופעים שתוארו באזורים שונים של השונית – מגוון נמוך מול מגוון גבוה, בשונית האלמוגים באמריקה ובאילת,

מה שגרם נזקים ארוכי טווח לשונית הקריבית הוא **נזרן** שנעלם לפני 40 שנה, וגם על אצות **הקלפ** (אצות ארוכות עלים ששולטות בעומק רדוד באזור הממוזג). שמו **נזרן קריבי** (*Diadema antillarum*)

הפעם נעלמו כמה מינים ים-סופיים- (*Diadema setosum*). **נזרן ארוך-קוצים** ועוד מבני משפחת **נזרניים** – הבעיה העיקרית איננה מין הזה או אחר, כולם ניזונים מאצות זעירות המשתלטות כל שטח שמתפנה מאלמוג שנשבר או נעקר. גם כאן הוא מתכסה במהירות באצות, בעיקר בתקופת **ההיפוך** (בסוף החורף, מים קרים עמוסי דשן עולים מהעומק). **היעלמות הנזרן** שמכנים אותו "**גן השונית**", מנמיכה את הסיכוי לשמור על האיזון בינו לאלמוג, לבל תהפוך השונית ל"**שונית של אצות**". ברור שללא קיפודי-ים השונית תתקשה לשרוד. דגים אוכלי אצות לא יהוו תחליף מספיק. יתכן שגם אוכלי אצות אחרים כמו רכיכות, או שהיחס בין קיפודי-ים נזרניים לבין אחרים ישתנה ולכך אנו מקווים.

מה שתקף את **הנזרן הקריבי** אז קורה היום כאן. בימינו נעשים כיום מאמצים להשתלט על הנגע ולהביא מזרז לעקה הנוכחית. אוסיף להציג הוכחות לנטייה של המוטציה לנצל את '**ארגז הכלים**'

מיני קיפודי-ים עם אמצעי הגנה. מימין: **ארסנית** עם שלפוחיות ארס מול **קטיפן רב קוצים**.



למטה: עיוות 'מארגז הכלים' מול עיוות מימין - 'צביטה' שמייצרת שלב אבולוציוני ועוד כאלה

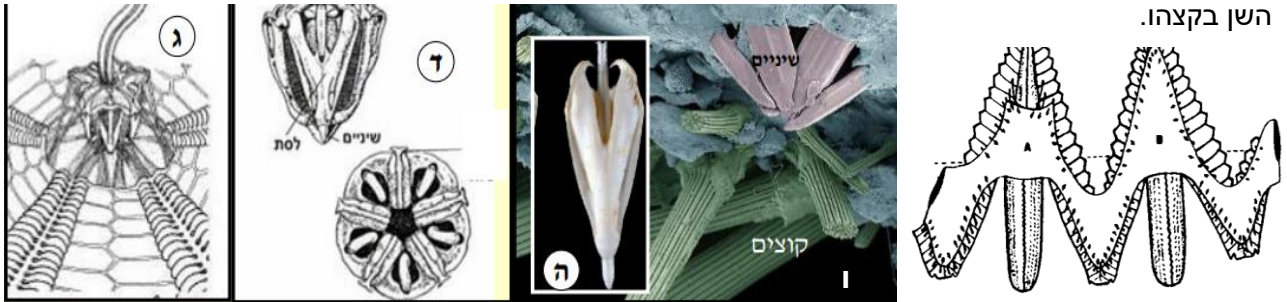


נתתי לנטייה להשתמש בהיבט הביו-מכני בתהליך האבולוציוני פירסום:

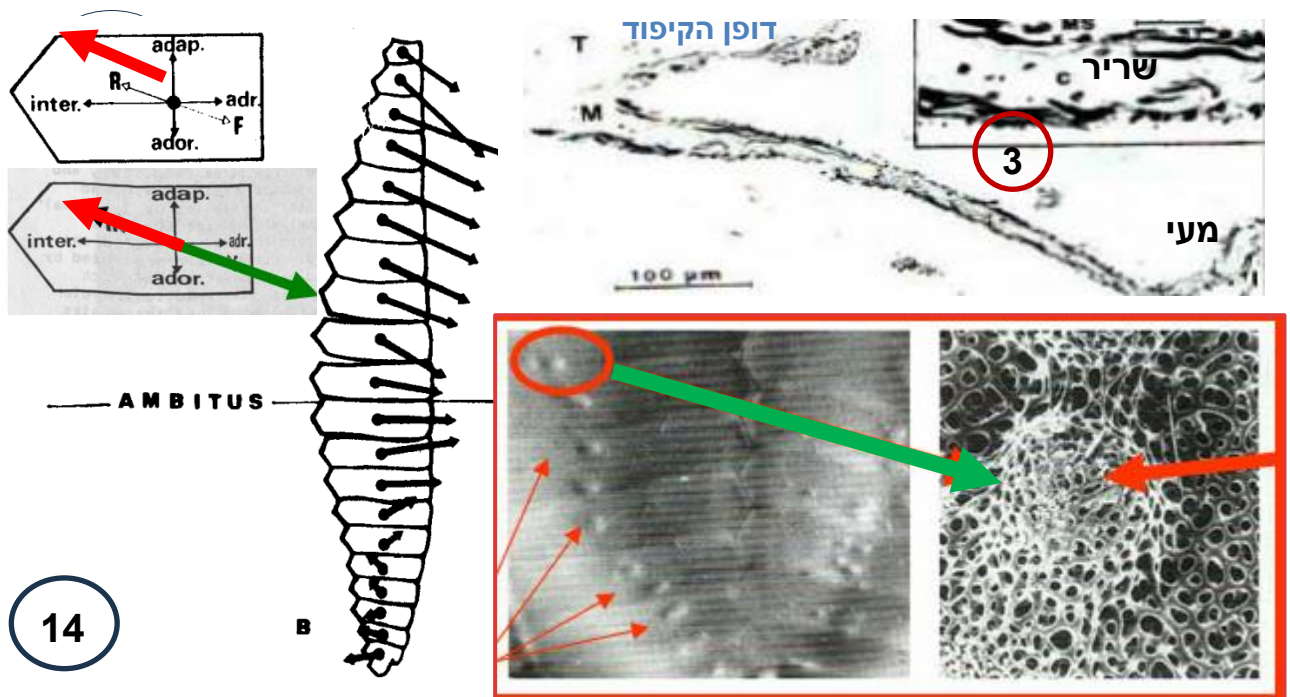
https://www.dafni.com/jdafni/Dafni_2007.pdf

קטיפן: מערכת העיכול והחיבור שלה למרכיבי השלד - שן קבועה על חלקיה

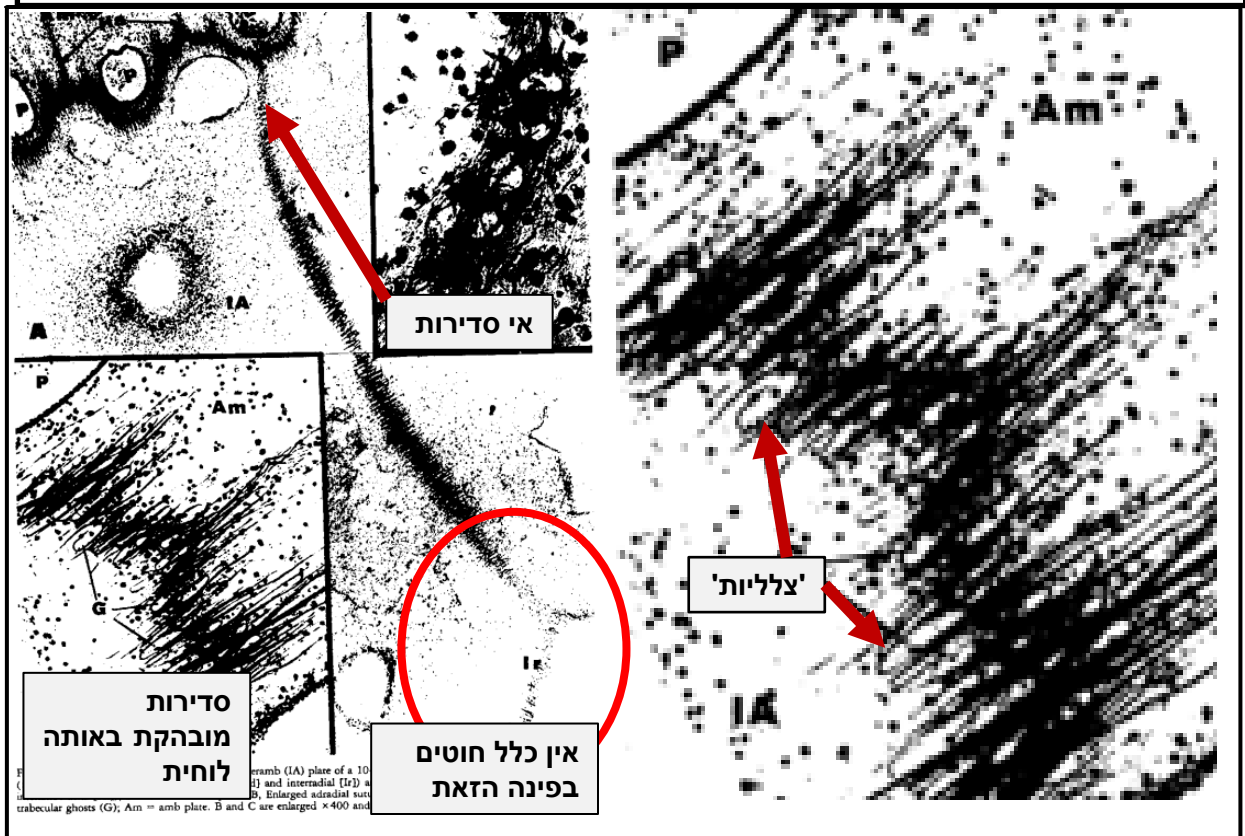
קטיפן ורוב קיפודיים אוכלי האצות הם **מכסות של צומח נמוך**. הפה המצויד במערכת האכילה ומעביר את המזון דרך מבנה אופייני הקרוי "**פנס אריסטו**" (ג). מקצהו העליון של הפנס מתחיל המעי המקיף פעמיים את חלול הפנימי של הגוף כשהוא מחובר **בחוטי קולגן+שריר** אל דופן השלד מפנימו. לאחר שתי הקפות (השנייה חופה על הראשונה), עולה המעי אל ה"קוטב העליון" שם נמצא **הפריפרוקט** העשוי מלוחיות מנוקבות, שמשמשות גם כפי טבעת, וליציאת פתחי הגונדות, דרך פולט הקיפוד את הביצים או תאי הזרע, **שני ה'פנס' מכוונות החוצה**, שם נפתחת מהפתח התחתון של השלד, **משם בתנאים רגילים רואים את השיניים שמכוונות לכיוון מטה**, אל המצע ששם הוא מכרסם. הציר משמאל (ד), שהוא בעצם מבנה המכיל חמשה דגנים שכל אחד מהם מסתיים למטה בשן הבולטת כלפי מטה, ואם נציץ לתמונה הנוספת (ה), נראה את המשכה העליון של השן, בצורת גליל דק שהוא נקודת המוצא של השן. השן מורכבת **מסידן קלציטי מחוזק במינרל מגנזיום**, המקשה אותו מאד. כל חמש השיניים פונות למרכז הפה, וככלל הפנס מלמעלה עגול, וכל קצוות העליונות של ה'פנס' מוטות לכיוון המרכז. **8 שרירים מפעילים כל שן** (בסך הכל 40 לכל הפנס). החשיפה למשך כמה דקות, ובדיקה של החומר המוצק שבו מדדתי את הערכים של רדיואקטיביות. רמת ה- קלציום-45 של השן בחלק העליון, המושקע כל הזמן, גבוהה מאד, אך בתחתון נמוכה בשל השחיקה. מחקר מודרני גילה שכל הזמן מופעל תהליך המשחזר את השן בקצהו.



למטה הגדילה של שולי הלוחיות במחקר הרדיואקטיבי בכל אחד מהכיוונים הייתה שונה, בציר, מדגיש **חץ אדום** את כיוון וקטור הגדילה של כל לוחית. ההנחה היא שהקו (**חץ ירוק**) מיצג את המשיכה של המעי אל הדופן **הופכית** לווקטור **האדום**, הרי **שצבעו של החץ הירוק (1) ותואם את הקשר של כל הלוחיות במעי** באמצעות **חוט קולגן+שריר (3)**. אני גם מראה שכל לוחית מצידה הפנימי יוצרת תפיחת אחיזה **בחוט הנ"ל**, ש'מציירת' בפועל את הדגם (**חצים דקים משמאל למטה**) הזה. בתמונה מימין הלוחית מראה את התפיחה שאליה מתקשר החוט המתואר **בירוק**. השוו זאת לתפיחות בצידה הפנימי של דופן השלד. שנראות בצילום המרכזי בשורה התחתונה ע"פ אורכם היחסי מול טורי הלוחיות אחד לאחד.



התפרים של חוטי קולגן בין לוחיות כהוכחה ללחצים ומתחים מכניים



בתמונות: למעלה – חוטי הקולגן+שריר בקטיפן מיובש, וחתך מיקרוסקופי. בשחור – חוטי הקולגן ; למטה: משמאל סך הכל החוטים מכל צדי לוחית בין-אמבולקרלית' המראה הבדל בסדירות בחוטים הללו (בשחור) בקטעים שבהם צפויה דחיסה (**אי סדירות**) לעומת הצפיפות והכיוון המאורך בקטעים שם מרוחקות הלוחיות יתרחשו מתיחה וגידול אינטנסיבי. שימו לב לאליפסות הלבנות (שהם חתכים בסיכות הגיר שנמסו וכינתי 'צלליות'). הממד האורכי של הצלליות מבטא מתיחה בכיוון החוטים. זוהי הוכחה ברורה למתח שהיה בין הלוחיות השכנות בכיוון האורכי של החוטים. צילום : מעבדת האוניברסיטה.

במיוחד ראוי להתייחס לשני הפרמטרים האופייניים לחוטי הקולגן+שריר. ראשית, (1) הם מאותו '**ארגז כלים**' לשרירים שיש לארסנית וקשורים למוטציה שעבר קיפוד אחר. אך מצורת המתיחה שלהם, ובעיקר מה**סדירות** (2) ו'**הצלליות**' (3) מכוונות באוריינטציה שמתאימה ללחץ או לחילופין **מתיחה** בין הלוחיות הללו. ויתר על כך, אי-הסדירות שאובחנה בארגון החוטים הדגישה שבמקומות אלה אין מתיחה. זו הוכחה - נוכח הביקורת שנמתחה עלי בעת המחקר על ש'כאילו אין הוכחה על לחץ או מתח כלשהו שם, שכן אילו הייה לחץ, בין שתי הלוחיות לא היינו מצפים '**לסדירות**'. צריך גם לזכור שהמבנים שעברו את הארגון הזה היו תוצאה של מעטפת הקולגן **בר-שינוי** שהלוחית גדלה בה והייתה משנית ללחצים הללו.

המבנה הכדורי של גוף קיפוד הים שסוגר על חלל מלא במי ים

את אחת הדוגמאות לאבולוציה "מקומית" גיליתי במחקרי על קטיפן האילתי דל הקוצים, לעומת הקטיפן הקוצני שנפוץ בכל רחבי האוקיינוסים הטרופי ההודי-שקט שמשתרע על פני מחצית מכדור הארץ, הוא מנצל את האמצעי הייחודי להגנה נגד דגים טורפים, התמונה האמצעית מראה אותו, כשהוא מוסיף עליה את האצות והאבנים שבהם הוא מכסה את רוב שטח הפנים שלו בהמוני הקוצים הנשאי צבתות ארסיות (הקוצבתים) שיש גם ברוב קיפודיים, אך כאן התרבו במידה רבה, שניתן להסבירה רק על ידי מוטציה (ראו בצירוף מימין עוד דוגמה של מין נושא קוצבתים (ארסן-ים). הקטיפן האילתי מצוי בכל ים סוף, והמין שממנו התפלג מצוי רק באוקיינוסים, מדרום, ובפתחו הדרומי של ים סוף, בבאב אל מנדב. זהו ה'טריק' שמאפיין בעל חיים במפרצים מבודדים. ארסיותם של הקוצבתים, שמבשילה רק בבוגרים מאפשרת לו להגיע לגיל מופלג אם רק יצליח לעבור אל השונית. הפתרון – הסתמכות על קוצבתים ארסיים המחליפים את הקוצים בהגנה מפני טורפים. כך נוצר (מסקנה שלי) המין הייחודי קטיפן אילתי. לימים הצדיקו חוקרי ים סוף את מסקנותי (כדאי לראות גם את קיפוד הים גדול- הקוצבתים ושהשוני של תתי-המין הים-סופי, קטיפן אילתי מול קטיפן קוצני, הוא אמיתי.



התכונות שמאפיינות את היותו של הקטיפן (הרגולרי) חיה ביו-מכנית הן (בראשי פרקים – ונפרט בהמשך):

- ✓ המבנה הכדורי של גוף קיפוד-הים שסוגר על חלל מלא במי ים שנכנס בנקבים מיוחדים מהקוטב העליון השלד הוא מעטפת חלולה שמהווה תבנית (מטריקס) למילוי של הגיר, העשוי סיכות משולבות כמבור.
- ✓ נפח המעטפת הוא סטראום הכולל גם מילוי פלסמתי המתנהג כנוזל לכל דבר (מודל 'בועות הסבון').
- ✓ הקטיפן האילתי דל קוצים בחציו העליון (מוחלף בקוצבתים שלהם בסיסים זעירים והם כקטיפה צבעונית).
- ✓ גבישים הנוצרים בלוחיות הם מהמינרל קלציט, ומראים צורה של טרפז נטוי. וגם הקוצים גבישי קלציט.
- ✓ הגביש והקולגן שניהם פעילים אופטית. כל לוחית מתנהגת כגביש אחד, וכמותה גם הקוצים.
- ✓ מתחת לעין המיקרוסקופ המקטב הם זורחים בשדה אפל רואים וגם מצלמים אותם (ראו בעמוד 27).
- ✓ מספר לוחיות השלד בכל טור אנכי עולה עם הגיל, והן קשורות זו זו בחוטי הקשירה מקולגן בר-השינוי.
- ✓ הלוחיות גדלות הן בעובי והן בהיקף השוליים. לכל לוחית הגדילה בשוליה, כך שצורתה ממלאת את התבנית.
- ✓ ככלל הלוחיות בשלד מקושרות אלה באלה בקולגן+שריר הסוגר על הרווח, כחוטי הקשירה של כדורגל.
- ✓ הלוחיות מהוות כל אחת כ"טלאי" הכדור והחוטים המקשרים ביניהם מתוחים יותר בכיוון שבו גדילה מועדפת.
- ✓ לכל שתי לוחיות יש תפרים הקושרים את הלוחיות – שצורתם נקבעת על פי הלחצים שניכרים בצורת ה'תפר'.
- ✓ כדי שהשלד יישאר בממדי הגדילה שנקבעים בתפרים רוב הגדילה של הלוחיות הדיפרנציאליות: רובה מתבצעת בשוליים האופקיים שלהן והן אלה שממול, ו-אפילו יותר – בשוליים אנכיים, בצדדיים, בתפר הבין רדיאלי (לכל אחד שם נפרד), ואלה אמורים לסגור את הפער שנוצר עם המתיחה.



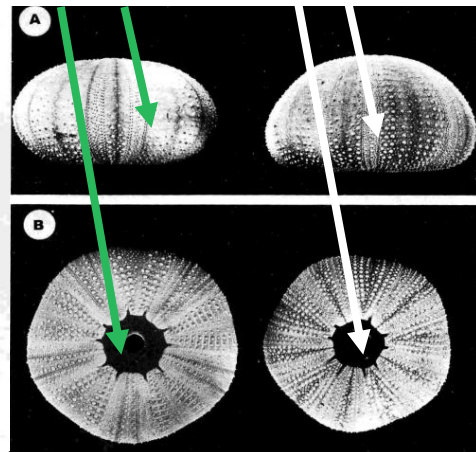
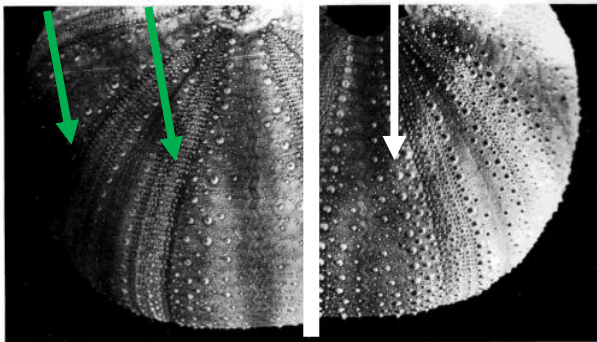
בתמונות: מימין, שלד שלם של קטיפן קוצני (מחוף אפריקה) בקוטר 12 ס"מ המראה היטב את שורות הנקבים ליציאת רגלי המים והשורות המלאות של בסיסי הקוצים, בצדו העליון. בקטיפן האילתי רובם חסרים; שמאל: שלד של קטיפן אילתי, מים סוף, קטן יותר 6 ס"מ קוטר - העיגול האדום שבו רוב בסיסי הקוצים חסר- מעיד על ניוון הקוצים מעל לקו האמצע

השוואת קטיפן אילתי מעוותים משני הסוגים: עיוות א משמאל ו- ב מימין



המינים שנבדקו – קטיפן קוצני (חץ לבן) מימין, וקטיפן אילתי (ירוק) משמאל

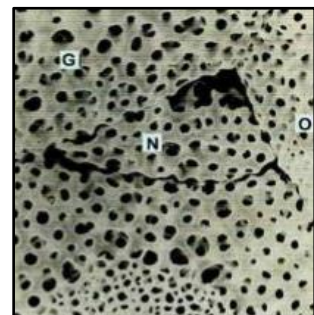
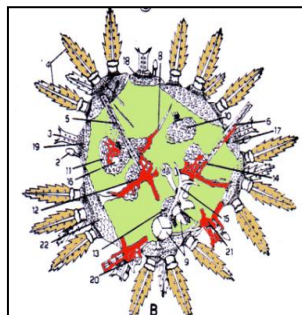
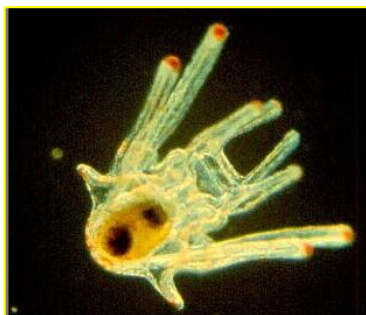
נראה שלקטיפן אילתי פרופיל יותר מעוגל וחסרות בסיסי קוצים וגודל יחסי של הפריסטום שונה (חצים ירוקים לעומת אלה שבקטיפן קוצני - חצים לבנים)



פרטי הקטיפנים שבדקתי, מימין קטיפן קוצני (חץ לבן, מאפריקה) ומשמאל קטיפן אילתי

Status and No. ²	Diameter (HD)		Height (VD)		Apical system		Peristome		No. of plates		Oculars insert
	Size	% of HD	Size	% of HD	Size	% of HD	Size	% of HD	A	IA	
Holotype (HUJ EC 1)	68.9	35.1	50.9	13.4	19.4	23.7	34.4	?	24–25	I, V	
Paratype (HUJ EC 2)	74.3	40.2	54.1	15.2	20.5	24.2	32.6	73	27	I, IV, V	
(HUJ EC 3)	108.0	61.8	57.2	16.0	14.8	29.0	26.9	117	34–35	I, V	
(HUJ EC 4)	94.0	52.2	55.9	17.5	18.6	26.5	28.2	90	29–30	I, V	
(HUJ EC 5)	50.0	28.5	57.0	10.0	20.0	18.5	37.0	57	21–22	I, V	
(HUJ EC 6)	69.0	38.0	55.1	13.5	19.6	24.0	24.8	77	26	I, V	
(HUJ EC 7)	67.0	41.7	62.2	12.0	17.9	22.0	32.8	73	25	I, IV, V	
(BMNH/1981.11.30.13)	103.0	57.7	54.0	16.8	16.3	28.5	27.7	106	34–35	I, IV, V	

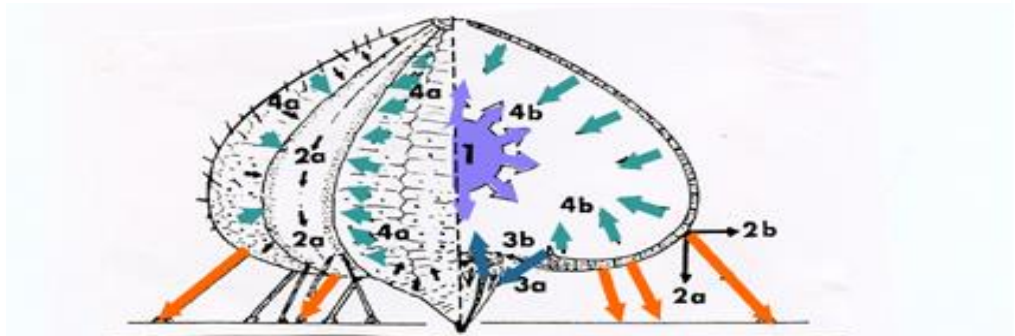
גדילה של פגית - עובר של - דרך המעבר לבוגר ומימין - רווח משולש לבוגר



משמאל: פגית של קיפוד עיגולי; אמצע: מעבר לבוגר ומימין - לוחית חדשה בבוגר.

בעקבות המודל הביו-מכני מוטציה ? לגדילת קיפוד-ים

1. המודל מציע כי ארבעה סוגי לחצים וכוחות גרמו למהפך בעיצוב השלד בצבע סגול: הלחץ ההידרוסטטי של הנוזל בתוך השלד, התופח כחלק מתהליך הגדילה ומילוי אברים אחרים, מאיים לקרוע את חוטי התפרים. (אם משווים את נפח החלל הפנימי לבלון בגודל זה, צפוי שהוא מתנהג כמתח פנים שנמצא בשוויו משקל עם לחץ הפנימי)
2. חיצים ירוקים: כוחות שמושכים את משיכת השלד כולו וכן פעילות 'רגלי המים' המעגנים את הגוף כולו לקרקע מוצקת.
3. כוחות הנוצרים על ידי שרירי מנגנון העיכול ('פנס אריסטו') שלא הזכרנו בינתיים ('ירוק כהה')
4. חיצים המושכים את השלד הגמיש פנימה על ידי חוטי הקשירה של המעי (חוטי המזנטריות), ואחרון, מתח התפרים שמהדקים את הלוחיות מחוברות ביניהן. מגיבים פסיבית אם כי במיקרו הם מאד בולטים



מוטציה ?



קטיפן אילתי *Tripneustes g. elatensis* > *Tripneustes gratilla* **קטיפן קוצני**

וגם זו 'מוטציה'? : מערך שרירים שלם מול חוטי קולגן מזנטריאליים+סיבי שריר

אני נזהר מהמונח מוטציה, שכן מוטציה מוגדרת כשינוי גנטי כלומר הוא קדם למאמציו של הג'ירף מובהק ואין לי הוכחות שאמנם התערבות הסביבתית גורמת לשינוי הגנטי - זה מחזיר אותנו לוויכוח בן מאתיים שנה בין דרווין לבין לאמארק: האם צווארו של הג'ירף התארך בשל מאמציו להגיע לראש העץ, או שהמוטציה הגנטית שדרווין ניחש קדמה להופעת ההתארכות הצוואר שלו. יש לא מעט עדויות על אבולוציה שנגרמת על ידי תהליך אפי-גנטי (סביבתי).



השערה לפיה קיים לחץ פנימי הדוחף את השלד ומתח החוטים התופרים אותו הוכח כי הכוחות הללו - או כוחות שקשורים לחיבור בין הלוחיות לשטח אותם או לגרם לקיפודיים ים שלמים לשנות חתך ישר לקעור/קמור ולהיפך, כמו שהודגם על ידי מורטנסן או ד'ארסי תומפסון בספריהם.



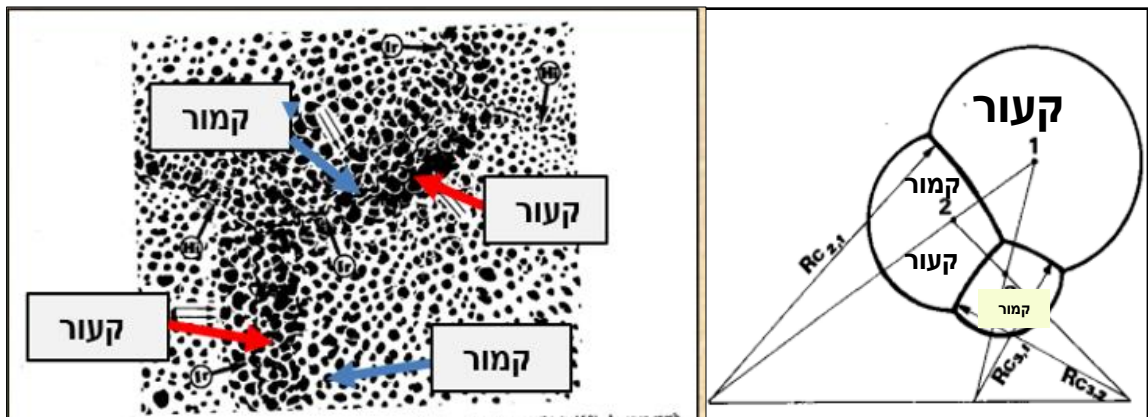
השערה נוספת:

מערכת המתחים הפוערת את הרווח שבין הלוחיות, מעודדת השקעת קלציט וזהו הגורם הפיסי לגדילת השלד בכיוון המתח המרבי. במצבי עקה ננעל הקולגן הבין-לוחיתי והגדילה נעצרת. בשל כך, חוקרים מדווחים לעתים על גדילה שלילית (או המסת לוחיות) שנדמות להם בין ממדי השלד בחזרה על מדידות הקוטר (בקליבר). גם בתקלות, הגורמות לשבירת לוחיות (דריכה) או כשלוחיות נפגשות בפער שנוצר, מתאחות, כאשר הגבול שביניהן סוטה מישר, ומתנהג על פי המודל של 'בועות הסבון'.

מאמר בנושא זה:

Dafni, J. (1986) A biomechanical model for the morphogenesis of echinoid tests. *Paleobiology*, 12:143-160.

דפני, י' 1986 מודל ביומכני לצורך יצירת הצורה של קיפודיים בביולוגיה. פאליאוביולוגיה 12:143-160 (מתורגם מאנגלית)

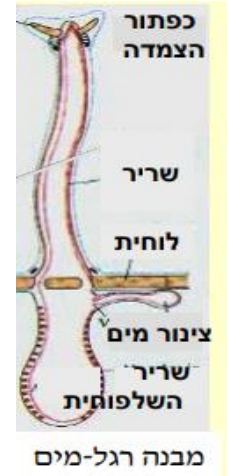


מודל "בועות הסבון": מימין - יחסי קעור-קמור בתיאוריה הם: בועה הכי קטנה מתקמרת אל מול בועה גדולה ובאמצע בועה דופן אחת קמורה מול הגדולה וקעורה מול הקטנה. כך זה בסבון. השוו לציוור השמאלי כשהבועה היא לוחית של קיפודיים.

הגובה/קוטר האם הוא תלוי בסוג המצע - חול מול סלע

המבנה החיצוני של קיפוד ים הוא מבנה כדורי. תצפיות מראות שבתנאים של המצאות **בלא מצע תחת** למשל הוא עטוף בעלים, או נתון חופשית במים יש לו **נטייה להיות כדורי מושלם**. לרוב זה לא קורה, כי הוא חי על פני מצע סלע ושם הוא נצמד למצע והחלק התחתון שלו הופך להיות שטוח. החשד היה שיש משהו שמכתיב לו להישטח וההשערה הייתה כי כובד הנוזל בפנים מהווה מעין משקולת שמכריחה אותו להיענות להישטח. השערת האפס הייתה שהשלד הוא מעין בלון ואם הוא נוטה לכיוון כלשהו הרי זה משום שמהו מושך או מכווץ אותו. בכיוון זה צריך לחפש מהם היוצרים מתיחה. אפשרות אחת – יתרים-חוטנים שמושכים כלפי מטה.

וכאן אני רוצה להוסיף נתון נוסף והם **"רגלי המים"**. אלה צינוריים סתומים מקדימה ונושאים שם **כפתורי הצמדה** (ואקום). הם מחוברים מצידו האחורי לשלד שיוצא מחירר דק בלוחית. בתוך חלל הגוף הוא מחובר לרשת שלמה של 'רגליים' כאלה, וכל רגל מים יש לה שלפוחית (מעין כדור לחיצה – כמו חוקן) שבה שריר היוצר לחץ שמונח את רגל המים קדימה (אפקט הידראולי). כשהקצה הקדמי נתקל במשהו מוצק הוא נצמד אליו עם כפתורי ההצמדה, ומפעיל שריר המכווץ את רגל המים לאורכו ומקצר אותו ובכך הוא מושך אחריו את המצע – או שהוא מתקדם לעברו. בקיפודים מהעוגיליים (רגולריים) יש חמישה רדיוסים-טורים אנכיים כפולים (ימני ושמאלי) ולאורכו של הטור מ-פתח הפה ועד לקצה העליון של השלד – יש לפחות עשרה פתחי נקבים ליציאת רגלי המים. אם זהו תיאור אמיתי, הרי שבקיפודים נורמליים של 2-3 מ"מ יש 10 כפול 2 כפול 5 = שהם 100 רגלי מים (בקטיפן בקוטר 15 ס"מ חישבתי 400 רגלי מים). שווה בנפשכם: לצורך משיכתו קדימה הוא מושך 80 'חבלי-רגלי מים לכיוון הרצוי לו, אך אם באותה עת גל פוגע בקיפוד והוא חייב להמשיך ולהחזיק 'קונטרה' וזה עדיין מינימום. מתיחת החלק התחתון של הקטיפן כלפי המצע, גורמת לשטח את חלקו התחתון. בהמשך (עמ' 29) נציג 'מרבועים' – ופגומים אחרים מהטבע.

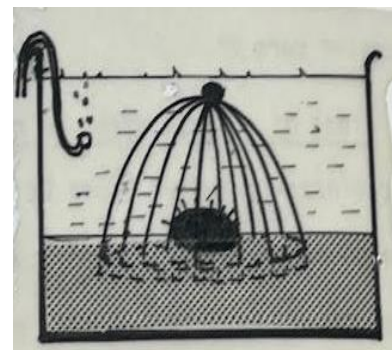


בניסוי שערתי בניתי 'כלוב' קטנטן, שהנחתי על מצע חול (שלא מאפשר לקיפוד להתחבר למצע הרך) והכנסתי קיפודים-ים למשך חודשיים ובדקתי את הממדים – הקוטר והגובה של הקטיפן לפני ואחרי, וקיבלתי תוצאה כמו בניסוי מתמטי התוצאה ב **א** - העברה לחול **מובהקת** וב **ב** פחות מובהקת << מה שהיה להוכיח.

הקבוצה	גודל חמדם מס'	מידות בתחילת הניסוי		משך הניסוי ימים	מידות בסוף הניסוי		ערכי t - ומובחנות סטטיסטי
		קוטר (ממוצע)	H/D ± ס. תקן		קוטר (ממוצע)	D/H ± ס. תקן	
א. ההעברה למצע חולי							
ביקורת	11	21.05 מ"מ	0.542±0.023	70	26.36 מ"מ	0.539±0.020	0.33 (-)
קב' נסוי א'	10	28.71 "	0.529±0.028	38	30.27 "	0.559±0.035	2.12 **
קב' נסוי ב'	18	10.59 "	0.539±0.034	42	26.44 "	0.572±0.026	3.27 ***
קב' נסוי ג'	19 (21)	36.35 "	0.537±0.032	17	36.81 "	0.557±0.031	2.00 **
ב. ההעברה בחזרה לים							
קב' נסוי ג'	16 (19)	36.81 "	0.557±0.028	30	37.75 "	0.541±0.028	1.68 *

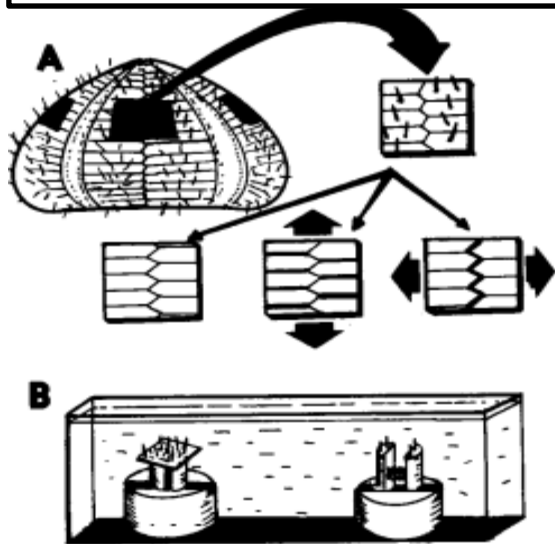
מידת המובהקות הסטטיסטית: (-) - לא מובהק; * - $p < 0.1$; ** - $p < 0.05$; *** - $p < 0.01$

בתמונות מימין: הכלוב ששימש לניסוי זה; **משמאל** לימין, קטיפן אחד בצבע לבן שהתהפך, הצליח בתוך כמה דקות להתיישר, תוך הפעלת רגלי המים מימין: **צילום: י. דפני**



בתמונות: מימין - הכלוב שאילץ את הקטיפן לשהות על חול בעת הניסוי; שמאל: התהפכות של קטיפן (חץ)

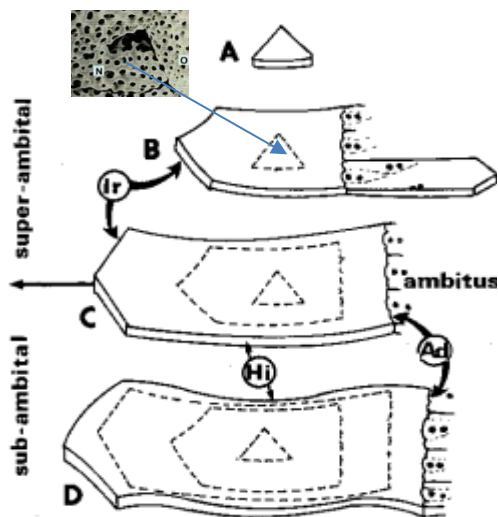
עוד ניסוי: איך משפיע הלחץ-מתח על לוחיות השלד ?



1. ניסוי רדיואקטיבי שנועד לבדוק את ההשערה שעל פיה לחץ מתיחה או דחיסה אמור להשפיע על ההשקעת הגיר הדיפרנציאלית.

- שמת'י לב שהשקעת האיזוטופ הרדיואקטיבי לא נפסקת אם ממיתים את קיפוד-הים, אלא לאחר מספר שעות – אם כי היא נחלשת. בניתי את המתקן המתואר כאן, של מתקן מתיחה דוקרני, בתוך מים רדיו-אקטיביים שעליו שיפדתי מרובעים חתוכים מיד לאחר והפעלתי את הקפיץ בשני כיוונים – אופקי לתפר שבין שני טורים אינטר-אמבולקרליים עליונים IA ואנכי לטור בכיוון האנכי שכלל בכל מקרה כמה לוחיות, בתפר האופקי שאמור לבדוק את הקשר בבין לוחיות בחתך זהה (הביקורת היה טור משמאל ללא טיפול). משך החשיפה ליון הרדיואקטיבי נמשך 8 שעות. התוצאות אישרו את ההשערה, והציור מראה זאת בעובי גבולות וקווי הגידול,

3. ארבע לוחיות ברצף מהקוטב העליון (משולש) דרך הרבע העליון וקו האמצע (אמביטוס) וממנו הלוחיות הולכות וקטנות עד לקרבת הפריסטום (המתקרבת לפה). בחלק העליון רואים התקערות קו הגבול, והתקמרות הגבול התחתון, ובקו האמצע קו הגבול עם הלוחית שממול ישר, ובלוחיות שמתחתיו הן הולכות וקטנות והקימור-קיעור מתהפך. ההסבר קשור למודל 'בועיות הסבון'.

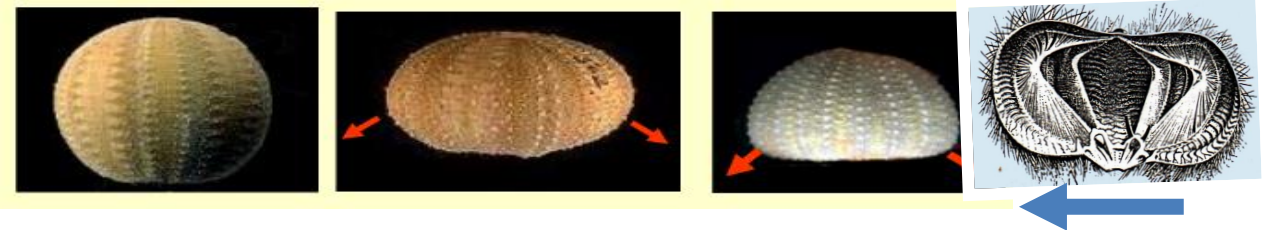


2. המחשה בצילום אלקטרו-מיקרוסקופי של 20 מ"מ פער בין שתי לוחיות שהטרבקולות (סיכות) של הגיר מתארכות כדי לסגור עליו בהגדלה כפול 40 X שמאל או 400 מימין.

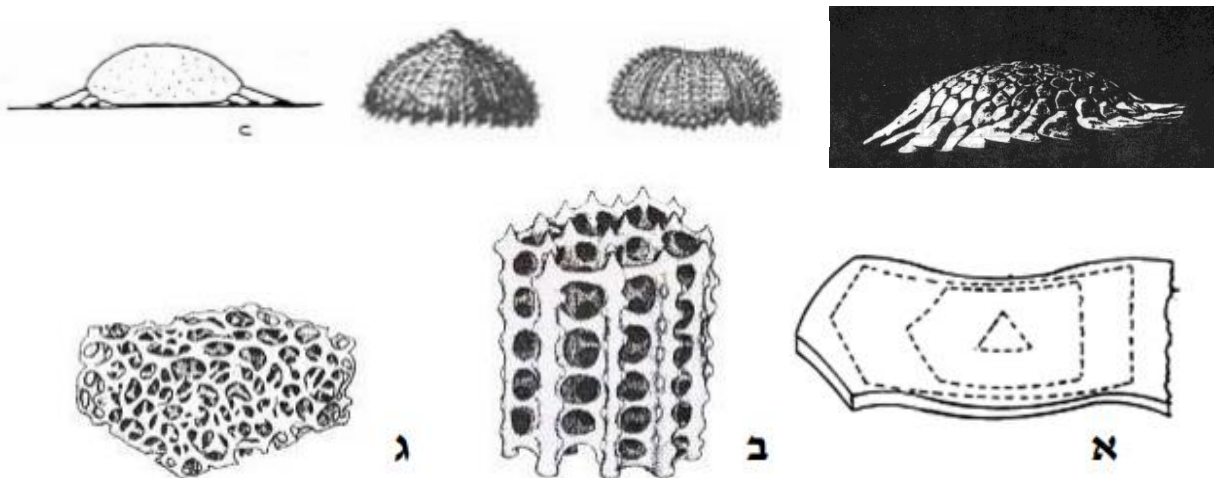
המשך לניסויים להוכחת התפקיד הביומכני של 'רגלי המים'

המחשות כיצד קיפודיים (א)– כבלון או ביצה כמבנה גיאודזי עם משיכה לצד או כנורמליים (ב) שנמצאו על ידי חוקר מפורסם (מורטנסן, 1935) הראה שעל קרקע ים מרופד בטין שלא ניתן היה להיצמד בתחתיתו הפכו כך; (ג) **כלוב הרשת** ששימש בניסוי בדף הקודם (צילומים מהספרות). על פי המשוער, קיפודים שיהיה משוחרר מלחצים חיצוניים – כובד או משיכה על ידי כוחות מבפנים – ישאף להיות כדורי, ואם הוא סוטה מהצורה הכדורית, יש לחפש את הגורמים המפעילים לחצים כאלה.

שאלה: האם לוחיות גדלות תחת בקרה גנטית או שהם עוקבים אחרי ציווי מכני כלשהו? הלכנו אל הלוחית הבודדת, היא נוצרת בלא ספק כטיפה של פלסמה בתוך מעטפת שמכילה בעיקר קולגן שכבר אמרנו שהוא ניתן להינעל. הגיר של הלוחית הוא מילוי של המעטפת (כמו למשל קרח שקפא בתבניתו), אלא שצורת הלוחית שהיא טיפה בגודל של תת-מילימטרים נכנסת לרווח משולש שבין הלוחיות הקיימות וממלאת אותו במתווה משולש. מעליה נוצר רווח, וטיפה נוספת נכנסת. הגבול שנוצר בין שתי הלוחיות שהחלו 'לרדת כלפי מטה בטור האנכי איננו פשוט. שמת' לב לכך שהטיפה האחרונה שנכנסה מתקמרת לעבר הגדולה יותר שמתחתה. חשבתי לרגע שאני טועה, אז עקבתי אחרי לוחיות צעירות נוספות מצאתי שזהו הכלל. אמרתי לעצמי: מה ההבדל בין שתי הלוחיות שבנות גבול קמור מול קעור שמול? נזכר שכך מתנהגות בועות סבון, או בלונים הנדחסים יחד כאשר הם נפגשים. אבל רגע: הלוחיות כבר מוצקות. האם הלוחיות מתנהגות כנוזל? המודל שהצעתי להסברת הנושא "מודל בועות הסבון", מוכיח שאף שהלוחיות מוצקות היא מתנהגת כמו נוזל שקפא. ושימו לב לצורת הלוחית: המשולש הראשון, נקבע כקו גידול המרכזי בלוחית. הניסוי-הדגמה שעשיתי כאן הוא כדלקמן (אבל צריך להזכיר שהמעטפת עשויה קולגן, וקולגן הוא מגיב במיקרוסקופ מקטב, שמשמש לצפייה בחומרים בעלי תכונות אופטיות מיוחדות כמו גבישים של קלציט, וקולגן בתוכם). הניסוי נערך בקיפודים ים מת ומשומר בפורמלין. הכנסתי אותו לחומצה והסידן של הלוחיות נעלם. אבל ראה זה פלא: השלד של הקיפוד לא קרס למרות שהוא היה שריון בנוזל. במיקרוסקופ ראיתי וצילמתי את הקיפוד שראו לו את המעי דרך מעטפת החיצונית (צילום). בניסוי שעשו חוקרים יפאניים הם ניקו קוץ של פגית קיפוד והכניסה לתמיסה שהכילה סידן מומס (ראו עמ' 26).



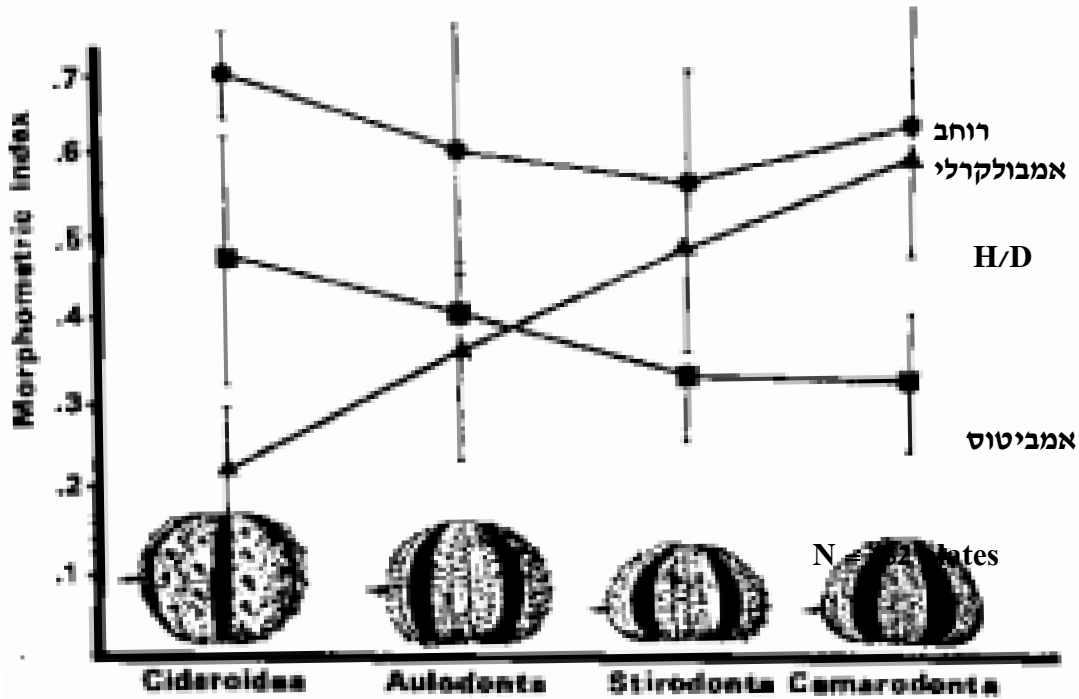
על התפקיד המכני של חוטי הקשירה שמותחים את דפנות השלד הראשי אפשר ללמוד מהשוואה בין הקטיפן לבין קיפוד-הים ארסנית שמביא את התכונות הללו מודגשות - ההשוואה בין קיפודים שבמקום השרירים שאחראיים לפחיסות התנוונו השרירים וקולגן בא במקומו (כיוון - חץ ירוק), למטה - בנוסף למיעוט של סיבי שריר, קיפודים משוטח בהתאמה לחיים בתחום המשברים בחוף עפרון משוטח (לא בים סוף) או אחרים על קרקע חולית או טינית.



איור 8. המבנה החלול של שלד קיפודים, העשוי רשת מרווחת של קורות גיר. בחללים מרוכזת הרקמה האורגנית: (א) לוחית שלד טיפוסית של קיפודים המראה קו גדילה קודמים (ב) מבנה חללים מסודר, האופייני לקוצים ושולי לוחיות הצומחות מהר. (ג) מבנה לא-מסודר, המאפיין את שלד פנים הלוחית. (מקור: א - מקורית; ב-ג: Smith, 1984).

שינויים מורפו-מטריים של ארבע סדרות, מירודים לעבר מתקדמים

ניצלתי את השהות במחלקה לביולוגיה בטובינגן, שם עמד לרשותי אוסף מכובד של קיפודים ים להשוות בין מספר מיני קיפודים מ-4 סדרות של רגולריים, ניכרת השטחה (עיגולים) ומגמות במיקום של האמביטוס (מרובעים) אני משער שיש מגמות הקשורות ברוחב לוחיות רגלי המים אמבולקראליות שככל שהסדרה מתקדמת מתרחבים הטורים הללו (משולשים). כאשר קטיפנים Camarodonta - קשות-לסת שייכים לסדרה הימנית



לכאורה פרטים זניחים, אך הפרמטר נראה במדידות של עשרות מינים בסדרות אלה. קשותי הלסת הם הסידרה הגדולה ביותר ורבת המינים שנבדקו.

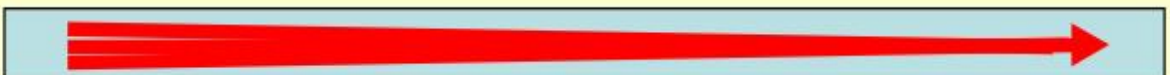
כשעפרון שטוח עוצב כך שהפרופיל שלו השתטח בהתאמה לחיים בתחום המשברים
או על קרקע חולית-טינית (Colobocentrotus) **צילום - Stander**



מין לא ידוע

עפרון עבה קוצים

עפרון שטוח



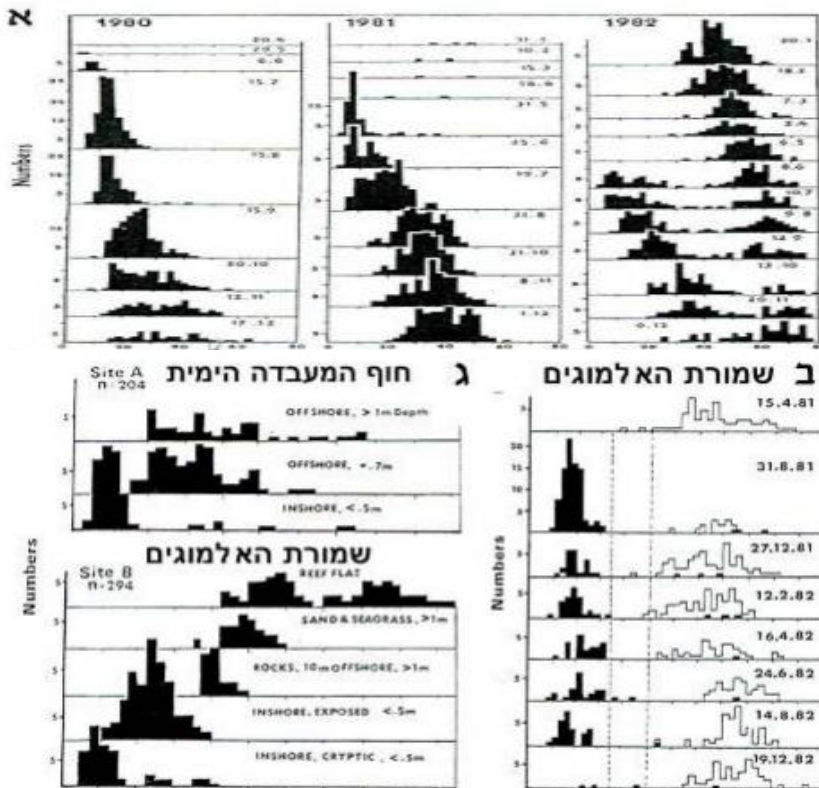
כל מי שמכיר צמחים, מגלה שיש צמחים שממשיכים לגדול עד לגיל מופלג, ויש אחרים שחייהם מסתיימים בגיל צעיר יחסי, לא לפני שהותירו צאצאים – כלומר, הוא מתוכננת למלא את משימותיו בטווח של עונה. לא תופתעו שגם בים מחזור חיים יכול להיות קצר מועד או רב-שנתי.

כשהכרתי את הקטיפן האילתי זיהיתי שהוא מתייחד בין קיפודי-הים הרגולריים (עגולים) ועוד יותר מאוחר, לאחר שלמדתי להעיר את מגבלותיהם התברר לי שאין חדש גם כאן, בסקר ספרותי סופר על קיפודים טרופיים שלטענת המספר הוא נפוץ על כמה איים שבכמה מהם מחזור חייהם רב-שנתי ובאחרים חד-שנתי.

מההתנסות עם אוכלוסיות המין האילתי ראיתי שהוא שונה מבני סוגו באוקיינוס. לעומת המין האוקייני (קטיפן קוצני) שהוא קוצני – לא במידה מוגזמת, אך במוטציה כלשהי (בשונה ממינים אחרים) הוא מצויד בקוצבנים ארסיים על חשבון הקוצים הארוכים. (כמתואר בעמוד הקודם), אלא שגיליתי שבשני אתרים סמוכים במרחק של כ-300 מ' זה מזה יש קטיפנים אילתיים משני הדגמים:

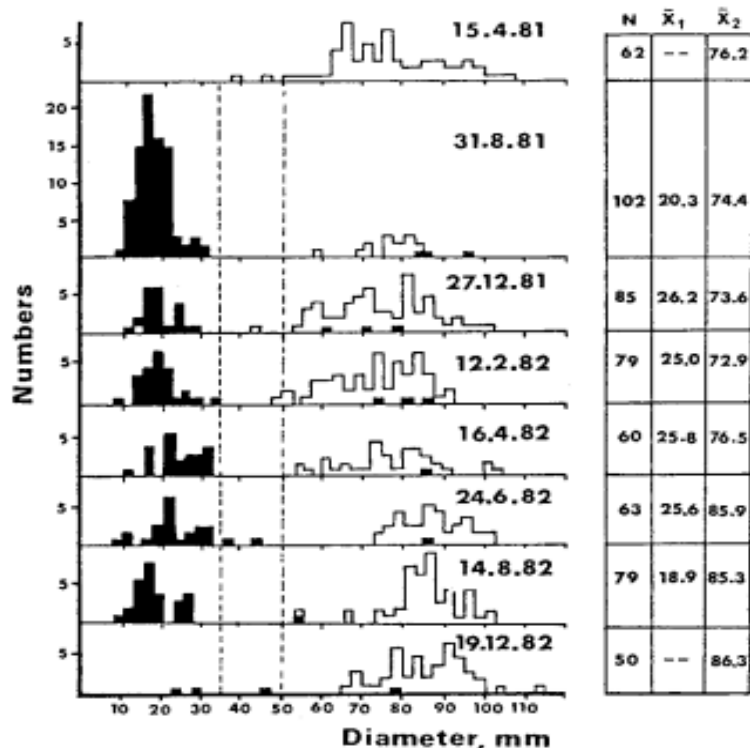
האחד, בחוף המכון באילת שם חקרתי את דגם האוכלוסייה - לאורך כשלוש שנים, שנתיים מתוך שלוש (א')- בתום העונה הראשונה, נעלמו כל קיפודי-הים. בשנה שאחריה, אני מגלה קבוצה חדשה, (עמודה ב') צעירים הגדלים מהר ובתום 4-5 חודשים, לקראת סוף החורף, הם כבר מעמידים דור חדש ולאחר מכך הם נסחפים בגלים (החוף חשוף, והסחיפה מכלה אותם).

בדרום שמורת האלמוגים סימנתי שלושה חתכים – (1) גבול המים, ס"מ ספורים מתחת למפלס המים, בין אבנים וסלעים, מופיעים צעירים בגודל 10 מ"מ בקוטרם, שבמהרה מנסים לחצות אל (2) חול הלגונה שרוחבה כמה מטרים, לעבר השונית. בלגונה משוטטים דגים טורפים, ממשפחת שפתוניים - תפאר, יולית וכו', ורק בודדים יצליחו להגיע אל (3) אזור השונית. כאשר הם כבר בגודל של 50 מ"מ ושם ישגשו לאורך שנים כשקוצבנים מגינים עליהם בצריבתם בפני דגים שאוהבים אותם בגיל זה, כשחלל הגוף שלהם כבר דחוס בביצים שהחלו להבשיל. הוספתי את האתר הזה, והריהו למטה והמדידות סוכמו בעמודות שבשרטוטם. ציר ה-X הוא ציר הזמן וציר ה-Y מספרם – לפי קוטרם, שלוש עונות בחוף המעבדה ו-ב') בשמורת האלמוגים, שם אני מפריד את שלושת הקטעים – משמאל הצעירים (בשחור), ומימין (בלבן). בוגרים. החלק הלגונרי סומן בקווים אנכיים, והיה ריק, שיערתי שאלה שהגיעו לכאן נטרפו. מיעוטם מציין את התמותה. באמצע, כמה מדידות במקטע הלגונה ומימין להם – השונית (בלבן). וסברתי שעד לגודל של 40 מ"מ הם פשוט נטרפו, ואם הצליחו לעבור היו לפחות בקוטר 40-60 מ"מ, והיו מוגנים ע"י הקוצבנים, תוחלת החיים שלהם בשונית ובמזיאון הגיעה עד 150 מ"מ. הצעירים, שנשארו על גבול המים, נידונים להישאר רעבים וננסים. הצבתי ניסוי, בו במרכז הלגונה עמדה חברתי למחקר, רונית ט, תלמידה מירושלים – עמדה במשך כמה שעות עם מגש שבו הציעה לטורפים (יולית מהשפתוניים) קטיפנים מכל הגדלים ואכן, גילינו שהדגים העדיפו לטרוף את הקטנים מקוטר 40 מ"מ ונמנעו מאכילת הגדולים, שמן הסתם היו מוגנים על ידי הקוצבנים. אחד ממבקריי הציע שלמעשה שהעובדה שרוב אלה שנטרפו 'בדרכם' לשונית, מוכיחות שזהו מה שהיה חסר כדי להפוך את התכסות בקוצבנים כמוטציה, שמשלימה את הממצא האפי-גנטי. קטע זה מוסבר באריכות בספר הדיגיטלי "מוזר הוא שמם האמצעי" והציור מועתק משם (עמ' 86).



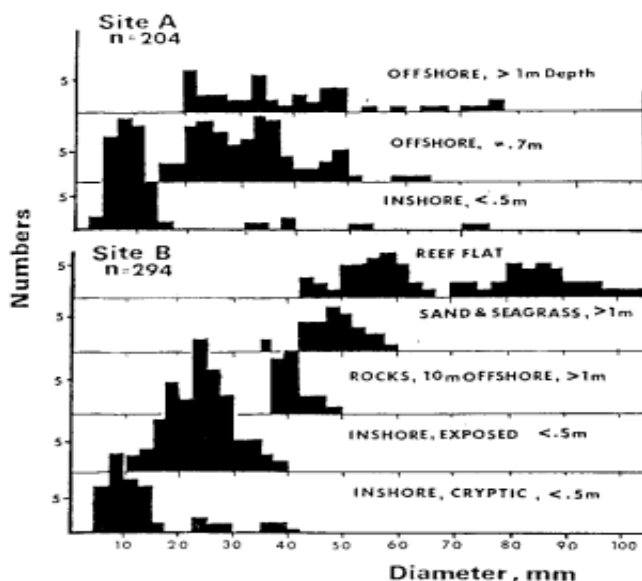
המשך: מעבר דרך הלגונה לרוחב שמורת האלמוגים

איור 67. התפלגות הגדלים (קוטר במ"מ) במדגמים תקופתיים של אוכלוסיות קטיפן אילתי משתי תחנות: (א) בחוף המעבדה הימית, שם התחילה האוכלוסייה בסערות החורף ב-1979 וב-1980 והחלה להבנות מחדש באביב, ואילו ב-1981-1982 לא נשמדה; (ב) בשמורת האלמוגים, בה נמצאו שתי תת-אוכלוסיות - קטנים, בגודל הנופל מ-30 מ"מ בקרבת החוף (בשחור), ובשונית (בלבן), שם היו בעיקר פרטים גדולים מ-50 מ"מ; (ג) מדגמים שנלקחו באותו שבוע בבתי גידול שונים באותו חוף, ממחישים את תהליך הנדירה מכיוון החוף למים עמוקים בחוף המעבדה (Site A) ובשמורת האלמוגים (Site B).



הסברים בעברית פשוטה:
הגרף הנוכחי מתאר את המצב בשנים 1981-1982 בדרום שמורת האלמוגים כ-300 מ' מנקודת הבדיקה בחוף המעבדה. כאן זוהתה הלגונה בין שני קוים אנכיים. כאן כמעט לא ניצפו קטיפנים הקבוצה השחורה (צעירים) ניסו לחצות אותו כי להצטרף לאלה (הלבנים) שהיו בוגרים אף בשל קטנותם נטרפו (ניסוי של רונית בדף הבא)

Fig. 4. Size frequency distribution of site B population, 1981-1982. N — sample size; $\bar{X}_1$ — mean F of the subtidal sub-population (dark columns); $\bar{X}_2$ — mean HD of the reef-flat sub-population (white columns). Broken vertical lines mark the 35-50 mm size group, almost absent from the sample.



בכמה נקודות בחוף המעבדה נבדקו הקטיפנים בשנים אלה ומצאו שתי אוכלוסיות, האחת התחילה בעומק 5 ס"מ ומשם עברה למים יותר עמוקים. בשנת 1982 נבדקו באותו שבוע כמה בתי גידול בחוף שהיה בעומקים שונים 0.5 מ' < 1 מ' ובאותה סביבה מדרון שוב מעומק קטן > 0.5 מ' ונקודות בעומקים עד משטחי האלמוגים וכאן זוהו 5 עומקים כל אחד מהם עמוק יותר, המטרה הייתה להראות את הנטייה לעבור הרחק מהחוף לשונית וזוהי היו הכי גדולים.



בעמוד הקודם הראינו כיצד הסתגלות להתגונן מפני טריפה משנה את אורח החיים מחד-שנתי לרב-שנתי, הקטיפן עבר להתגוננות על ידי הפעלת נשק (שהיה לו ב'ארגז' התכונות שלו) - השימוש בקוצבתיים שהתפתחו כנראה במהלך גידולם עד ש'הבשילו' בהגיעו לגודל של 40+ מ"מ, יער הקוצבתיים הפך למטרד המרתיע את הטורפים דגים מן הסתם. הניסוי של רונית נועד לבדוק השערה זו ואכן, הודות לחששם של הטורפים מן הקוצבתיים (הם מנעו את טריפתם), וזה הבטיח להם יכולת לצלוח את מצע החול ולהגיע לשונית, שם שרידותם מובטחת. קטיפן קוצני שעבר החלפת הקוצים בקוצבתיים. הוא כנראה האב הקדמון שממנו נוצר הקטיפן האילתי. *Tripneustes gratilla*

מיוחד: גם זו אולי מוטציה - פתרון נגד טריפה - ניסוי של רונית*

שהגישה לדגי יולית בשמורת אילת קטיפנים בגודל שונה; הקטנים מ-40 מ"מ נטרפו בלהיטות, ואילו הגדולים מ-40 מ"מ (10 לעומת 2) נמנעו הדג מטרפתם ובכך נתן 'צ'אנס' לאמיצים לחצות אל הבוגרים. אגב, קבוצת הצעירים שנשארו בחוף הפכו ננסים מחוסר מזון ותסכול? וכנראה שנטרפו (אין נתונים).

TABLE 1
Size-dependent predation of offered *T. g. elatensis* by adult wrasses (*C. aygula*):
Urchins were exposed to the predator singly or in pairs¹.

Size mm	Offered (n)	Ingested		Rejected
		within 1 min	1-5 min	
10-20	41	35	6	0
20-30	27	15	12	0
30-40	15	1	11	3
40+	12	0	2	10

¹ Chi-square test for Goodness of Fit: $\chi^2=86.47$, $p<0.0001$.

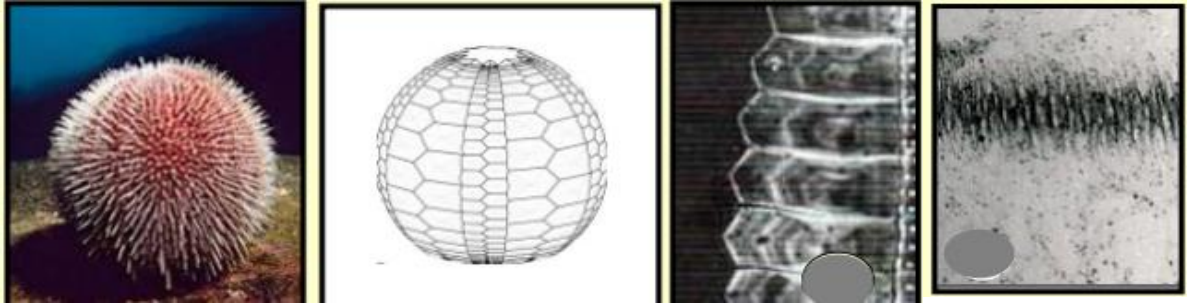
*פורסם במאמר משותף עם רונית (כותרת מתורגמת לעברית):

Dafni, J. & R. Tobol, 1986-87. Population structure patterns of a common Red Sea echinoid (*Tripneustes gratilla elatensis*). *Isr. J. Zool.* 34:191-204

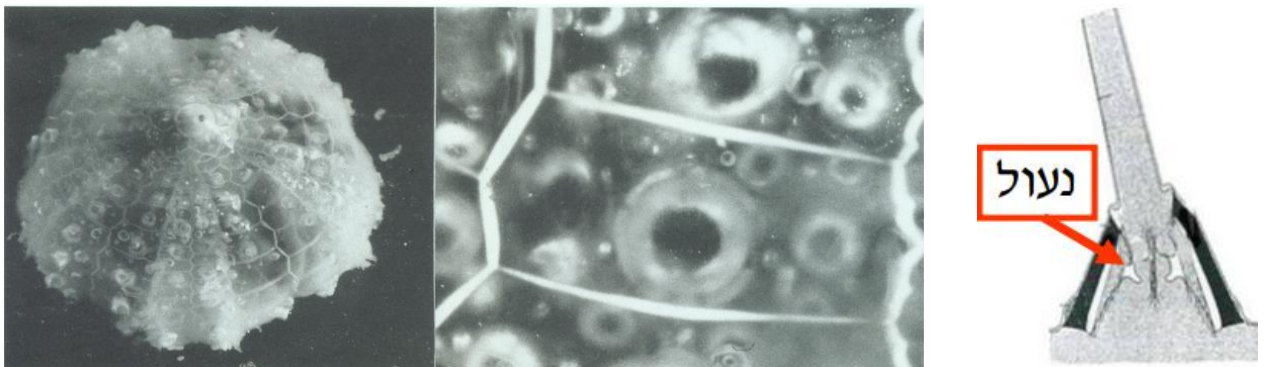
דפני, י. & ר. טובול. (1986/87) דפוסי מבנה אוכלוסייה של קיפוניים מהים האדום *Tripneustes gratilla elatensis* ירחון ישראלי לזואולוגיה 34:191-204

ואיך מעורב בצד המכני הקולגן בר-השינוי ?

הקטיפן הוא אחד הגדולים בין קיפודיים, הוא מצוי בעיקר בשונית, שם הוא מגיע לגיל מופלג. זכורני - פרט בקוטר 15 ס"מ חי במשך שנים באקווריון המצפה התת-ימי. כאמור הוא נוטה להיות כדורי לגמרי, אך בפועל רק בפרטים שלמים אפשר לראות את **חוטי הקולגן התופרים** את הלוחיות לכדור **שמזכיר מבחינה טכנית כדורגל** (בתמונה הימנית) חוטי קולגן כה צפופים הם הפעילים ביותר. בתפרים שאינם פעילים (מתוחים) האוריינטציה שלהם לא ברורה. השערתנו היא שהראשונים הם תחת מתח ואילו הלא פעילים פחות מעורבים במתח, יותרו **תחת דחיסה** - אינדיקטור טוב לכוחות המכניים המעורבים בשלמות התפירה בין הלוחיות בקיפוד השלם.



הניסוי הבא נערך בקיפודים מת ומשומר בפורמלין. הכנסתי אותו לחומצה לא מרוכזת ובתוך כמה דקות נמשך כליל הסיידן שבלוחיות. אבל – ראה זה פלא: **שלד הקיפוד שהתרוקן מהגיר לא קרס למרות שהוא שרוי בנוזל**. במיקרוסקופ ראיתי וצילמתי את הקיפוד שנראו דרך דופן הקולגן **את תוכנו של החלל הפנימי**. גם הקלציטי וגם הקולגן-בר השינוי בלטו בצילום **המיקרוסקופ המקטב** - התפרים בצבע זוהר, ואת המעטפת החיצונית (צילום). אחד התפקידים של הקולגן בר השינוי הוא לנעול את הקוצים או את החוטים המזנטריאליים בעת מצוקה.



1. מין קיפודים משוטח בהתאמה לחיים בתחום המשברים שליד החוף
Colobocentratus - לא בים סוף



2. נטיית קיפודיים בסביבת מצע מוצק הדורשת היאחזות באמצעות רגלי מים והישטחות המתגברת לאורך החץ



דברי סיכום: איך השפיעו דטרגנטים ליצירת עיוות א' בתחנת הכוח

כלל התצפיות שאגרת, כולל הסתעפויות לא מעטות שהמכנה המשותף שמצאתי בהם הוא יישום טבעי של כללים מכניים. האם היה על דעתכם עולה שחיה שאין לה עיניים יכולה להשתמש בעור החיצוני - עם תוספת פיגמנט - רודופסין מיוחד במינו להבחין באור, או גם לדעת שחבצלות-ים מנהלות אורח חיים שמבוסס על יכולת לחוש באור - השמש או מלאכותי למשל - כדי לדעת מה השעה ואם צריך כבר להתחיל בנהול לילה ומה בקשר לצינורות הידראולים בכמות עצומה של 'רגליים' להאחז ולנוע בסביבתם. או לנעול את קוציהם בעת מצוקה, וכו וכו

אני מביא כאן עדויות של תצפיות וניסויים שבהם ניצלתי ידע כדי לזהות חומרים המעוותים את השלד, או יוצרים צביטות בלוחיות השלד. כולם כאחד מצביעים על יצור בעל ידע או יותר נכון תכונות מכניסטיות המסתכמים באמיתות האמרה " אין חיה כמו זאת". אם תמצאו בו עניין חפשו את הספר של תומפסון -

On growth and form

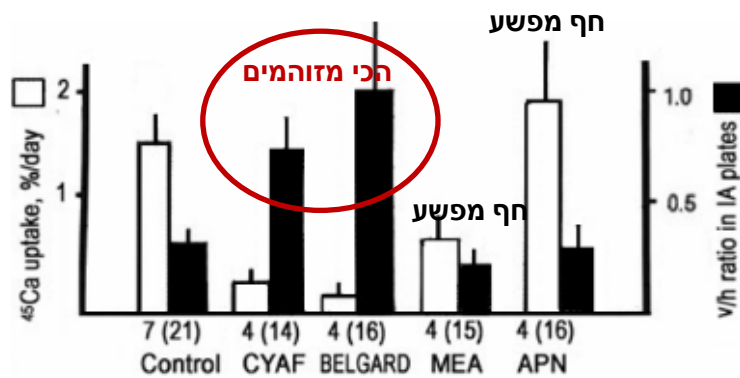
המקרה יחיד שבו גרמתי לעיוות מסוג A היה באמצעות הזרקת ריכוז מדולל של מזהם (Belgard EV) לחלל הצלום (פנים הגוף) (נ. דפני - בע"פ).



דטרגנטים ששמשו לניקוי הצנרת של תחנת הכוח

- Belgard EV (Ciba-Geigy). Based on polymeric carboxylic acid.
- CYAF 5021 (Cyanamid). Acrylamide-sodium acrylate resin.
- Monsanto Dequest 2054. Potassium salt of hexamethylene-diamine-tetra (methylene phosphonic acid).
- P-70 (Cyanamid). Sodium polyacrylate.

3.4 Pollutants influence on differential growth

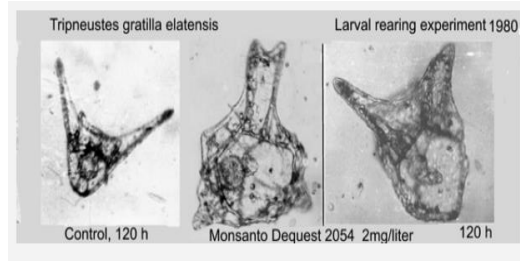


בניסוי רדיואקטיבי בו נחשפו קיפודי ים למזהמים, שניים מהם הם חומרים ששימשו בתחנת הכוח, בקרבנות נמצאו מעוותים מסוג א' ושניים הידועים בהשפעתם על מערכת הקולגן (ראו עמ' 52). נבדקו לוחיות שלד מאזור האמצע של השלד והן בשולי הלוחיות למציאת יחסי v/h.

קטיפן אילתי 'מרובע' בשמאלי - הפנס היה מחומש; - בימני - גם הפנס היה מרובע



החומר מונסנטו דקווסט 2054 בתמיסת הגידול של הפגיות - משמאל ביקורת



נקודה מעניינת: בעקבות הרצאה שנתתי לסטודנטים גרמניים באילת, הוזמנתי למכון מחקר בעיירה טובינגן, שם התוודעתי לקבוצת מחקר רב-צדדית (ביולוגים, ארכיטקטים ופיסיקאים) בשם "פנאו" - השם של צמיג בגרמנית, המוקדשת לתופעת בטבע שבהן הכוחות והנטייה הטבעית לאמץ תכונות הקשורות לשינוי ברוח הספר. ספרון שכתבתי שם הציג את תוצאות עבודתי באנגלית עוד לפני שזכיתי בתואר השלישי, בתוספת הערות חיוביות של קבוצת המחקר הזאת.

'מרובעים' ומרובעים לכאורה - עיוות טבעי וסיבותיו

לקיפודיים סימטריה מחומשת, חמשה טורים כפולים של לוחיות רחבות, וחמשה טורים כפולים של לוחיות צרות ומנוקבות, למעבר רגלי-המים (עמוד 9). קיפודיים עם סימטריה "מרובעת" נדירים מאד, והם נובעים מפגמים בהתפתחות הבוגר. אם הפגיעה היא בשלב מוקדם, אזי גם "פנס אריסטו" יהיה בעל 4 לסתות (זה המצב בשלד המוצג למטה משמאל), אך אם הפגיעה היא בשלב מאוחר יותר, אפשר למצוא בו פנס בעל 5 לסתות, ועיוות בפתח הרחב שבו מוצב הפנס – הפריסטום (באמצע). הקטיפן המוצג מימין (תאורה הוכנסה לתוכו כדי להבליט את טורי רגלי המים) מראה ארבעה טורים נורמליים וטור אחד, המסמן בכוכבית, מנוון. הניוון במקרה זה הוא מלאכותי. אני גרמתי לו בכוונה, על ידי דקירה בעצב הנמצא בבסיסו התחתון של טור הלוחיות (שאינו נראה בתמונה). תוצאת הפגיעה היא שארבעת הטורים השלמים עברו הטיה לעבר הטור הפגוע (חיצים), ונוצרה **סימטריה דו-צדדית*** שצירה הוא הקו המקטע. סימטריה כזאת מוצאים בקיפודיים **אי-עיגוליים***, שם נגרמה על ידי התפתחות הנובעת מאבולוציה (יש הקבלה בין צורות העיוותים לבין תכונות שהתפתחו בדרך אבולוציונית - לא כאן המקום לפרט).



במעט הומור אפשר לנסות להסביר מה קרה כאן: זה דומה למכוניות: **הנרי פורד**, היצרן הראשון שדגל במכונית אחת, בדגם סטנדרטי, ואפילו **בצבע שחור** (אצלי הלקוח יכול לבחור כל צבע, בתנאי שיבחר שחור). מרגע, שהחלו לשנות, הכל היה פתוח. כך גם **באבולוציה של קיפודיים**: בשלב הראשון עבר פי הטבעת הצידה (ימין), ונוצרה **סימטריה ברורה**: לא היה היגיון לקרב מדי את הפה (**פריסטום**) **אל פי הטבעת**, ובהמשך אכן עבר הפה מצד פי הטבעת הצידה ולמטה ליד הפה, וברור לאן מתקדמים. מגמה זו התפצלה לכמה מגמות-קבוצות (סדרות): **שטוחים** (**ביסקוויטים של ים**) שעד מהרה הפכו **ל'דולרים של חול'**. סוג אחד מהם **צבר ברזל** בשלד ו'הלשינו עליו' שהחל לנצל את השדה המגנטי של כדה"א לניווט. כיוון אחר - התארכות בכיוון הסימטריה (**עכברי ים** - **לובניה ותלומית**), בלי לשטח. בחלל הפנימי נעשו שינויים **'עמודות' תמיכה** למנוע השטחה מרבית. הקוצים שתפקידם התייתר החלו להפוך למשוטים ב'**שיט חולי' בתנועות חתירה**.



בספרי "הרי אילת" (עמ' 163-164), שיצא לאור לפני כעשור, סקרתי כמה מאובני קיפודיים המשנים את מיקום פי הטבעת ממרכז השלד העגול לפתח הנוטה הצידה ועד שמגיע לתחתית השלד. מכאן, כיוון האבולוציה לשנות את הפרופיל ולהפוך לאורכי כשהפה התבלט קדימה ופי הטבעת נע לאחור. תראו בעמוד הבא כמה דוגמאות של **אי-עיגוליים** שממחישים את הנאמר. בשלב הזה נמאס לי לנבור בהם. אם תרצו - הנושא חרג מהמנדט שלי ופתוח למחקר מצדכם ועיון.

נקודות מפנה אבולוציוניות נוספות - מעבר לחיים בחול

בשלב כלשהו במהלך קיומם של קיפודי-הים העיגוליים חל מהפך: בעדן המזוזואי החלו כמה קיפודי-הים להשתנות מעיגוליים* ללא-עיגוליים*. בשלב הראשון עבר פי-הטבעת לתחתית הגוף, ובכך נוצרה סימטריה דו-צדדית. בשלב מאוחר יותר, יצא הפה ממרכז הגוף והתמקם באחד הצדדים שהפך לצד הקדמי, כי התנועה של קיפודים אלה הייתה כבר מכונת לכוון זה. סעיף אחר של הקבוצה הזאת עבר השטחות ובצדו העליון הפכה מערכת רגלי המים למערכת נשימה, בצורת פרח מחמש. אברי התנועה בקיפודי-ים אלה הם הקוצים.

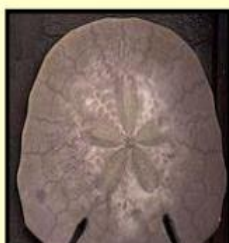
נציגים משלש קבוצות הנזכרות לעיל הם:

1. הסוג הנכחד **הולקטיפוס** המוכר לנו רק ממאובנים, שמוצאים כמותם בהרי אילת (למטה)



1. **בתמונות מימין:** שני מבטים על **הולקטיפוס** משמאלו את הקוטב העליון ללא פי-טבעת לימינו פרט שמראה ציר סימטריה על פי-הטבעת. בתמונה השמאלית מאובן של **נזרן שונה קוצים** מאותה תקופה המראה פי-טבעת מאורך. **דוגמא מהספר "הרי אילת". צילומים י. דפני**

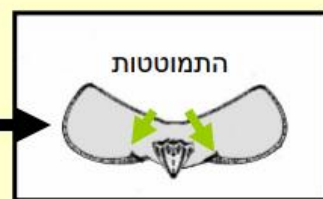
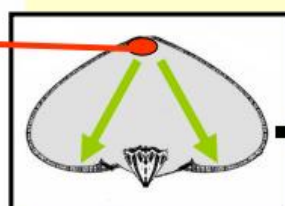
2. "עכברי-הים" – שם כללי לקבוצת קיפודי-ים תפוחים שנעים בחול הרך באמצעות קוציהם. נציגים טיפוסיים הם **לובניה מאורכת** (א), שחלק מקוציה קבלו צורת משוטים. נדירים הם **מטליה קרינית** (ב) ו**תלומית סביני** (ג).



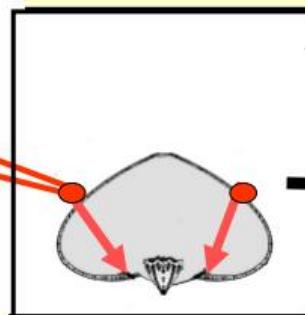
3. **מטבעון מרושת** (ד) – קיפודי-ים פחוס מאד, כמטבע (באנגלית הוא נקרא "דולר של חול"), ו-**דיסקיתן מפורץ**, שאף הם תת-קרקעיים. באחרונים, ולמעשה בכל האי-עיגוליים, הפך החלק העליון של מערכת רגלי המים לאיבר נשימה וקבל צורת פרח.

היו פרשנים שהציעו כי ה'דולרים' של חול' מסוגלים לזהות את השדה המגנטי של כדור הארץ ולנווט דרכם בחול

העיוותים כ'ארגז' הכלים' שנוצל לפתח יצור חדש (אפיגנטיקה?)



משיכה בנקודת תלייה עליונה השטחות וקריסה (עיוות ב')



משיכה בנקודת תלייה תחתונה, תפיחה והיווצרות "צביטות" (עיוות א')

מדוע נראה המעבר מעיוותים לאי-רגולרי כעיוות טבעי?

Ec01
RGEO



'צביטות' במעוות ובאי-רגולרי ('דולר של חול')

אין סיבה לא להאמין שהעיוות לא ניצל
נקודת חולשה - הצביטה -
כדי לייצר את ה'פרח'
האופייני לאי-עיגוליים
(ראו גם להלן)



'שקיעת הכיפה' במעוות ובאי-רגולרי (בעברית - תלומית)

מאותה סיבה השקע האמצעי מתאים
אף הוא ל'ארגז הכלים' שהעיוות
נוצל כדי להשקיע את ה'פרח'
כמערכת של 'תלמים'
בכמה אי-עיגוליים



זכרונות "שומר טבע" - אהבה שהחלה בזריחה ראשונה

עד כאן הנוסח המידעי-מדעי החיה כולם אוהבים לשנוא אני מקדיש אותו לנער שהייתי אז שלא ידע שבדיוק 70 שנה מאוחר יותר כשהפיגום יהפוך לבית המלון הראשון – "מלון אילת", והשמש תמשיך ותזרח מדי יום מעבר הרי אדום ומדיין, עד שנת 2025 כשאבוא לפרוש את היריעה בכמה עשרות העמודים שנותרו ולסכם מסכת חיים שבה אהבת הים גזלה את רוב בגרותי..לך, הגולש באינטרנט, זוהי אופציה מהסוג שאני סולד ממנה (יהלך זר ולא-פיר). אני מנצל הזדמנות בלתי חוזרת של העברת ידע ופעילות אישית, בין אם במכוון או שלא בכוונה, להפנות את הזרקור אל מי שישן במיטתי ומנצל שעות ערות בין החלומות, לבקש לעצמי רעיונות איך לקדם את מה שהקדשתי לו יותר מששים שנה. הרבה חוויות עברו עלי ועל בני ביתי, והותירו זכרונות ולטובתם אני מקדיש להם 'פירגון' בבחינת "רק על עצמי ובני ביתי לספר ידעתי"- חיבתי למי שהעבירו איתי את החיים על חוף אהבתי. מכאן ואילך, קצת מילים קצרות בהן אסכם את מה שהביאנו עד הלום.



זכיתי בשנת תשע"ח לקבל את אות הנגב לאיכות הסביבה למפעל חיים על תרומה ארוכת שנים לשמירת וחינוך לשמירת הטבע הימית במפרץ אילת. עם הבחירה הגיע הצילום המצורף שמזכיר לי את ימי הראשונים בהדרכה באילת, בגעגועים מובנים מאליהם. קבלו את הקטעים הבאים בחיך, כפי שנכתבו...בפאראפרזה על האמרה יהלך זר - ולא פיר"



בתמונות מימין: תלמידות מכללה להוראה עם המדריך, שמסביר וחוקר את קיפודי-הים באילת.

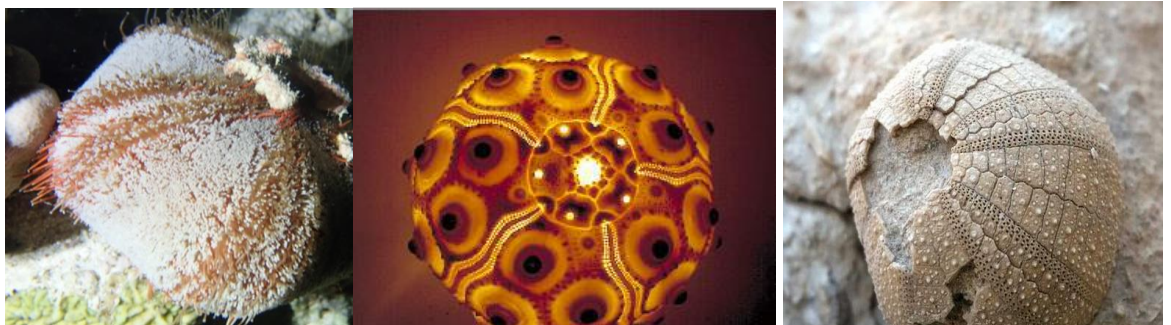
בסיכום: מה עיצב את צורת השלד - מתיחות ולחצים

הסוג קטיפן הוא מיוחד, ומעורר תחושה של כלי בדולח משובח, דק כקליפת הביצה, והוא משתנה באופן קיצוני ומוסיף חלקים-לוחיות כל חייו.

צורות העיוות שחקרתי, הראו שהחיה מתמודדת עם כוחות ממקור סביבתי ומתוך נפח הגוף המשתנה תדיר מתקבלת תחושה של פלסטיות מעין "חיה מכנית", מאחדת יחידית-טורים של לוחיות שנוספים, תוך שהמדדים של כן אחת מהן נקבע על ידי המגע עם לוחיות אחרות, מעוצב על ידי הצפיפות, והלחץ הפנימי של המעטפת שצורתה נקבעת על ידי "מודל בועות הסבון", ע.השקעת הגיר מזכירה כדורגל של טלאים (לוחיות) המתחברות על ידי חוטי קולגן המסוגל לעבור בבקרה עצבית של היענות ללחץ מול הקשחה, שמוטבעת כקווי גידול בלוחית. "המודל המכני של גדילת השלד". גורם פיסי נוסף הם 'רגלי המים' המהווים תחליף ראוי לרגליים. מספרם מאות (לא טעות) והם מופעלות ככפתורי הצמדה, בדומה לכפתורים פניאומטים (דומים לכפתורי ואקום המופעלים בהעברת נייר במכונת דפוס). המתח של כפתורי ההצמדה מושך את גוף קיפוד-הים ומקשר אותו עם הסביבה המוצקת. הוכחנו שרגלי המים מעצבים את הפרופיל של החיה - כפי שהראינו את השפעת המתיחה שלהם עליו. הראינו שכדי לגדול הם פוערים רווחים זעירים המהווים תבנית-מטריקס להתארכות סיכות הגיר (טרבקולות). קיפוד שחי על חול, איננו מאפשר לרגלי המים להיאחז והוא נשאר שטוח אל מולו. פרופיל של קדחנית הקודח בגיר פתח עגול בממדי גופו נאחז בדופן הפתח כלפי מעלה. כך צורתו הכללית מדמה אותו לכדורגל של 'טלאים' וחוטמים שכמו החוטמים החלבוניים (מקולגן בר-שינוי וסיבי שריר) מחברים את הטלאים בכדורגל, מקבעים את נפחותו וצורתו. בעת מצוקה, הקיפוד יכול לעצור את החוטמים והשקעת הסיידן נעצרת. כך גם ברעב. יתר על כן, הם מסוגלים לשנות צורתם כדי להיצמד טוב יותר למצע הקשיח. במחקר דנן זיהיתי לפחות ארבעה גורמים-מרכיבים הנזכרים כאן, הם המהווים את מרכיבי "פנס אריסטו". להלן דוגמאות מספרי המחבר המתארים את אורח חייהם ותוצאות של ניסויים, שמהווים מעין גירוי עבורכם להתעניין בחיה מופלאה זאת. ראו כאן כמה עובדות ותצפיות בניסויים:



מערכת העיכול ורכיביה (ג-ד) הפנס (ה-ו) שיניים (ז) פיתולי המעי הנתלים על הדופן בחוטי קולגן+שריר



בתמונות מימין: שלד של קטיפן שמצא טייל וחוקר ארכיאולוגיה, ומערות בהרי יהודה שצילם אותו כממצא 'ארכיאולוגי' במעלה האיסיים. ותודה לבועז לנגפורד על התצלום הנהדר.

במרכז: שלד של צידר, המראה את עובי בסיסי הקוצים, ואת הלוחיות של אזור הפריפרוקט (פי הטבעת) על חמשת פתחי הרביה. משמאל: קטיפן אילתי שמראה את 'שלטון הקוצבתים' במיטבו. מקור: המוזיאון הבריטי, מצלילת לילה בספינה טבועה בים סוף.

קיפודי-הים אימת הרוחצים בים



טור של לוחיות אינטראמב' עם סימני גידול פוטוגניים



שניים מהשחורים שנעלמו לנו והשאירו לנו "חורים בנשמה"

- אינני מזוכיסט, אך איני מתבייש לומר שאיטית, קיפודי-הים נגעו בי. אין זה נדיר שחוקר שהקדיש שנות מחקר לחקירת נושא כלשהו וצבר ידע ותובנות לא מעטות מתקשר רגשית למושא מחקרו, והופך את ליבו לאהבה אליהם. קצת מרגשות אלה מלווים את הספר הלימודי-חינמי הזה שכל קורא שורות אלה מוטב לו שיידע.
- כשהגעתי לאילת, בשנת תרפ"ו (1960 למניין הנוצרים) כנציג – פקח מודרך של החברה להגנת הטבע כדי להפסיק את שוד האלמוגים והרס השוניית שרק מעטים ידעו עליה יותר ממני (זה היה מעט). ניסיתי בנועם, הסברתי מדוע ומה יקרה אם... "נצליח למנוע את התענוג לעצור את הסוסים על יד המים (זכר למנהגי הפרשים בעבר) אך בהבדל קטן, היו אלה גייפים שחרשו את רוב המישורים הבתוליים של הערבה והנגב, ואיזה כיף היה לעצור על שפת המים ומה רוצה מהחיים שלנו "שומר הטבע" הזה?!
- אז ובמקביל לרכישת מיומנויות חשובות כמו צילול עם צנרן קצרצר כדי להגיע למקומות הפשע בהסתערות ותיאום עם השופט הסימפטי שהיה לנו אז – **אליהו נאווי** שלאחר מכן כיהן שנים רבות כראש העיר של באר שבע, שיחמיר ככל האפשר בקנס על מי שייחפס, יצאתי לצייד: הייתי חולף בגובה בלתי אפשרי מעל **קיפודי-הים השחורים, הנזון (Diadema) ונזרית (Echinothrix)** שלא שררו בינינו חברות, ולחלוף מעליהם במרחק אפס. ומאז ראיתי אותם כעור כנגדי ונגד העבריינים. בשנים האחרונות נכחדו כל הנזרניים שבחוף אילת, מחמת מחלה נגיפית, ופתאום נעשה יותר בטוח בים. **האם רק אני חושב שחבל ומצפה לשובם ?**
- **חיבתי עברה לקטיפן האילתי*** שהיה שונה מכל קיפוד-ים בסדרת הרגולריים, רק לימים הבנתי שהמין הזה עבר שינוי משמעותי, מן הסתם **מוטציה** שהחליפה את התפקיד של קוצי הקוצים העיקריים לשמור עליו מטריפה (בצילום מימין), ב"שדות" של צבתות גמישות וארסיות הנראים כקטיפה, משמאל, הקרויים **"קוצבתים"** (אדם ירגיש צריבה קלה במגע על עורו, כעין עקיצת יתוש אך יש כאלה שמפתחים אלרגיה אליו, אך אני מרגיש בסדר איתם) והם לימדוני על טבעה של החיה ש"מוזר הוא שמם האמצעי".



קוצבת רגל-צבת

קטיפן אילתי (*Tripneustes g. elatensis*)

קטיפן קוצני (*Tripneustes gratilla*)

*הקטיפן נפוץ במחצית הטרופית של כדור הארץ, והקטיפן הקוצני הוא אוקייני, אינו בים סוף. רובם נושאי קוצים ואילו הקטיפן האילתי הוא תת-מין אנדמי שכנראה התפתח ממנו בים סוף. הקטיפן הקוצני מגן על עצמו בקוציו, אך האילתי להפך - הוא מוגן מטריפה באמצעות "יער הקוצבתים" הארסיים, לחצות את הלוגנה הפרושים כקטיפה על שטחו העליון. גיליון שכדי לשרוד פרטים קטנים מ-5 מ"מ צריכים להגיע לשונית, נטרפים בלהיטות, ולא חוצים את הלוגנה החולית. הגדולים מאלה יותר מוגנים. המרת הקוצים לקוצבתים שהם כמו קטיפה מכסה יותר ממחצית שטחו החיצוני, היא אבולוציה אפי-גנטית ?, שבמוטציה כלשהי השתלטה והפכה לגנטית. מעניין - הלא כן?

למה דווקא אצלנו ?

השאלה המתבקשת מכל מה שכתבנו היא :

מדוע רק באילת נתגלו עיוותים כה קיצוניים והמוניים ?

שתי השערות :

1. תנאי המפרץ הסגור כמעט ומוגבל בחילוף מימיו מגבירים את השפעתו של זיהום חלש יחסית, שבתנאים אחרים היה מתפורר ונעלם במהירות גדולה יותר.
2. הקטיפן האילתי הוא עדין, דק-שלד ורגיש יותר ממינים אחרים.

ספרות, בעברית (באנגלית יש כ-20 פרסומים בקישור) :

https://dafni.com/jdafni/H_index.html

דפני, י. (1967) תצפיות בשמורת האלמוגים (1960-1967). "טבע וארץ"

כרך ט': 158-167

דפני, י. (1984), גדילה והשקעת הסידן בשלד קיפוד הים קטיפן קצר-קוצים. אוניברסיטה עברית, ירושלים.

דפני, י. (1986), "הרפתקה באילת" סידרת פשוט" הוצאת החברה להגנת הטבע

דפני, י. (2000), "מפרץ אילת מים-סוף ועד סופו". הוצאת צ'ריקובר, תל אביב

דפני, י. (2008), "שוניות האלמוגים של אילת". הוצאת "יעלה", אילת

דפני, י. (2010), "הרי אילת". הוצאת "יעלה", אילת.

דפני, י. (2010), "אין חיה כזאת", ו-"מוזר הוא שמם האמצעי" בהוצאת "יעלה", אילת

דפני, י. (2014), "יציבות ושינויים באוכלוסיות הרכיכות במפרץ אילת". בספר "הוד הים" (נ. סטמפלר), (עורכת) הוצאת העמותה הישראלית למדעי הימים. 379-394.

הלר, י. (2012), רכיכות הים של ארץ ישראל-אורחות חיים. הוצאת אלון-ספר, ירושלים

לוי, ז. (1987), "סקירה על מאובנים נבחרים מהטור הסטרטיגרפי של סיני" (מאובנים

גדולים של חסרי-חוליות ימיים), בספר: "סיני" (גבירצמן, ג. ועמיתיו, עורכים. כרך א' -

165-175 הוצאת משרד הביטחון.

עינב, ר. (2004 תשס"ד), אצות החוף של ישראל. הוצאת אוניברסיטת בר-אילן.

פישלזון, ל. (1973) "שוניות האלמוגים של אילת והזיהום הסביבתי".

"טבע וארץ", ט"ו: 60-65

שפיר, א., מלמד, י. דרום, ד. ופרידמן, ד. (תשמ"ז-1987), "בע"ח ימיים המסוכנים

לאדם במפרץ אילת". בספר: "סיני" (גבירצמן, ג. ועמיתיו, עורכים. כרך א' - 447-472

הוצאת משרד הביטחון.

דפני, י., (דיגיטלי), "מגדיר קווצי העור ב"אתרי הים של ד"ר יעקב דפני" (בקישור):

<https://www.dafni.com/echinodermata/index.htm> - אכינודרמטה

מילון מונחים בתחום הביולוגיה והאקולוגיה הימית *

אצה: צמח חסר פרחים החי במים בדרך כלל, ובנים בפטר. יש אצות חד-תאיות, שנראות רק במיקרוסקופ ויש גם אצות רב-תאיות גדולות.

בית-גדול: המקום והתנאי הסביבה שבהם חי או גדל בעל-חיים @ או צמח @. לכל יצור בית גדול המתאים לו.

בעל-חיים: שם אחר לחיה. כל היצורים הנזונים מאכילת צמחים או טרף של בעלי-חיים אחרים.

גיר: חמר מינרלי שממנו עשויים הקונכיית @, שלדי @ האלמגים וקפודי-הים, וגם סלעי הגיר, הבונים את רב הרי הארץ.

זהים: לכולוד והשחתת סביבת החיים של בעלי-חיים ואדם על ידי שפיכת אשפה ורעלים.

חולית (בעל-חליות): בעל-חיים שלו שלד @ העשוי חליות עצם, כמו דג, זוחל, לדוגמה צב, עוף ויונק @.

חסר-חוליות: בעל-חיים שלו שלד @ שאינו עשוי חליות עצם, כמו אלמוג, רכיכה ופרוק-רגל @, או שאין לו שלד כלל.

טורף: בדרך כלל חיה שהורגת חיה אחרת כדי לאכל את בשרה.

טפיל: מי שחי על מזון שמישהו הכין לעצמו או שהוא גורם לו נזק אחר.

יונק: בעל-חיים מהחליתנים, שולדותיו נזונים מחלב-אם. לדוגמה אדם, סוס, לוויתן או כלב-ים.

ים-סוף: הים שמדרום לישראל, ולחופו מדינות נוספות כמו מצרים וירדן, סעודיה וסודן.

כרית: תופעת הנאות והשפל. אזור הכרית נחשף בשפל ומתכסה בגאות.

מושבה: קבוצת בעלי-חיים חסרי-חליות @, שנלדו מאותם הורים, ונשארו לחיות מחברים זה לזה. לדוגמה: אלמגים.

מין: קבוצה של צמחים או חיות שדומים זה לזה שגם יולדים צאצאים, לאחר שהזדווגו. **סוג** - קבוצה בה נכללים כמה מינים.

משפחה: קבוצת צמחים או חיות הכוללת כמה סוגים שדמיונם זה לזה מעיד על קרבה.

נבוביים: מערכה של חסרי-חליות, הכוללת את ההדרתיים, המדוזות, שושנות-הים והאלמגים.

סחוס: חמר חלבוני רך הבונה את שלדי @ הכרישים ושל עוברי היונקים, שאחר כך מתגרמים והופכים לעצם קשה.

סלע משקע: סלע שנוצר על קרקע הים או בבישה מחומר מינרלי ששקע.

סמבית (יחסי-שתוף): קשר בין שתי חיות או חיה וצמח, לתועלת שני הצדדים.

ספוגים: חסרי-חליות @ שצורת גופם אינה קבועה, וצבעיהם שונים - ירוק, אדום, חום ועוד. הם מסננים מים מהים ונזונים מהפלנקטון.

פוליפ: פרט אחד מתוך מושבה של נבוביים @, כשושנת-ים, אלמוג או הדרתי.

פוטוסינתזה: תהליך יצור המזון בצמחים @, בו הופכים פחמן דו-חמצני ומים לחמצן ולסוכרים באור השמש.

פלנקטון: יצורים שצפים או מרחפים במים, הנסחפים עם זרמי המים. בהם נכללים הן צמחים @ והן בעלי-חיים @, כמו מדוזות. רובם קטנים מאד.

פרוקי-רגל: בעלי-חיים @ כמו סרטנים וחרקים שגופם מכוסה שריון.

צבע אזהרה, צבע ראווה, צבע התעזה: דגמי צבע המשמשים להפחדת בעלי-חיים טורפים. הוא מהנה "פרסומת" לבעלי-חיים רעילים. **צדפה:** רכיכה @ שקונכייתה המרכבת משתי קשוות. לרב שקועה בקרקע הים, אך לעתים צמודה לסלעים. לחלזון קשנה @ אחת, מסולסלת.

צמח: שם הכולל את כל היצורים הנרקים המסוגלים ליצר חמרי מזון בפוטוסינתזה @. ביניהם נכלל הפלנקטון @ הצמחי, צמחים זעירים המרחפים במים, אצות גדולות ועשבי-ים. כלם משמשים מזון לבעלי-חיים @.

צמחוני: בעל-חיים הנזון מאכילת צמחים.

קנזי-עור: מערכה המאגדת את קפודי-הים, מלפפוני-הים, חבצלות-הים, נחשוני-הים וכוכי-הים. לרבים קוצים או עצמיות גיר. מכאן שמם.

קנה-טרש: בעשבי הים, גבעול הזוחל על הקרקע שממנו יוצאים גבעולים ועלים כלפי מעלה ושרש החודר אל הקרקע.

קרני סנפירים: בדרגים, עצמות התומכות בקרום הרך של הסנפירים. לעתים הן משתררות ומסיעות בתנועה, כאצבעות או רגלים.

קונכייה: השלד @ החיצוני של הרכיכות @. לעתים הוא מפתל, ולעתים דו-קשונתי.

קשנה: אחד משני החלקים מהם מרכבת קונכיית @ הצדפה @.

רכיכה, רכיכות: קבוצת בעלי-חיים הכוללת חלזונות, צדפות, דיונונים ותמנונים. לחלזונות ולצדפות גוף רך הנחבא בקונכיית @ אבן.

שונית: סלע הנוצר על ידי בעלי-חיים @ או צמחים @. שונית אלמגים נוצרת על ידי אלמגים. חלק מהרי הארץ עשויים משוניות @ שהתאבנו.

שלד: רקמת חמר מינרלי התומך בצורת הגוף של בעלי-חיים @. בבעלי-חיים גדולים, כמו דגים, זוחלים ויונקים השלד עשוי חליות עצם. **שלפוחית שחיה:** "בלון" מלא גז, שהלחץ בו מתאזן ומאפשר לדג לצוץ בכל עמק של המים. לקרישים אין שלפוחית כזאת, והם נאלצים לשחות כדי שלא ישקעו במים.

שם מדעי: מרכב משם כפול, שם הסוג ושם המין @, של צמחים @ ובעלי-חיים @. לדוגמה: **טונסון** הוא שם הסוג והמין - **אילתי**. בספרי מדע הוא נכתב בשפה הלטינית.

שמירת-טבע: עסוק באמצעים שמטרתם להגן על הטבע מפני התערבות האדם במניעה ובתקווה התקלות הנגרמות בעטיה.

שתפניות: אצות מיקרוסקופיות השוכנות בתוך גופם של בעלי-חיים, קולטות את הפסלת שלהם, בעיקר פחמן דו-חמצני ונחנקן הנמצאים לתהליך הפוטוסינתזה @ שלהן ובתמורה מספקות להם מזון וחנקן.

תחנת-נקוי: מקום המצאם הקבוע של דגי הנקאי או סרטנים נקאים, אליו באים דגים כדי להתנקות.