



אֵין חֵיָה פִּזְאָת!

פִּתְבּ וְצֵלִם
יַעֲקֹב דְּפָנִי

סיפר לי חבר: "פעם סיפרתי לבני הקטן, שיש חיה שאין לה ראש ולא רגלים, לא מחושים ולא עיניים, שצורתה ככדור מלא מים, ועל עורה מאות קוצים, ארוכים וקצרים ומהם דקים כשערות. בתום ההסבר הארוך אמר הילד בפשטות:

אֵין חֵיָה פִּזְאָת!"

אז זהו, שדווקא יש, וקוראים לה **קיפוד-ים**. זהו אחד מהרבה מיני בעלי חיים מוזרים, שהמשותף לכולם הוא שמם – "קוצי-עור", או נכון יותר קווצי-עור*. עליהם ארצה לספר כאן.

תוכן העניינים

עמוד

1	שער
3	אלה שאוהבים לשנוא
4	לא כולם רעים ויש אפילו די טובים
5	עובדות בסיסיות להתחלה
6	השלד - שריון קשיח
7	איך גדל שלד קיפוד-הים
8	השלד - גמישות, הרפיה והקשחה
9	איך נעים קיפודי הים? "רגלי המים"
10	ואם כבר מדברים על רגלי מים
11	קוצים, למה זה טוב?
12	קוצים למטרות אחרות
13	קיפודי ים שפגיעתם רעה
14	לא כולם רעים
15	התרבות - איך עושים זאת קיפודי-הים?
16	כך נוצר שלד הבוגר
17	מערכת העיכול - לחפש מתחת לפנס?
18	מערכת העיכול - דרך האוכל
19	עיניים אין להם - ואיך יראו?
20	קווצי עור והקולגן בר-שינוי
21	עיוותים מחמת זיהום
22	עוד על עיוותים מחמת זיהום
23	מהי בכלל הבעיה?
24	לוחיות, לחץ ותפרים - ב'תכלס', איך הם גדלים?
25-27	הוכחות למודל הביו-מכני 1-3
28	סכום העיוותים באמצעות החוטים התומכים במעי
29	תפקידם האקולוגי של קיפודי-ים
30	כמה מלים על ערכם הכלכלי
31	"מרובעים" ומרובעים לכאורה - עיוות טבעי
32-33	נקודת מפנה אבולוציונית
34	למה דווקא אצלנו?
35	בשולי הדברים
36	מילון מונחים
37	על הכותב ותודות

רשימת המינים הנזכרים בספר

עמוד

5,13	ארסנית ים-סופית
33	דיסקיתן מפורץ
32	הולקטיפוס
20	חבצלת-ים
20	כוכב-ים, כוכבי-ים
5,13,20	לובניה מאורכת
14,33	מטבעון מרושת
33	מטליה קרינית
5,14	מלפפוני-ים
1,13,15,19	נזרית שחורת-קוצים
32	נזרן שונה-קוצים
5	נחשוני-ים
12,14	עפרונן הפטמות
14	צידר חשוף-קוצים
14	צידר קטן
25	קדחנית השונית
ברוב העמודים	קטיפן אילתי
14	קיפודון הדור
25	קיפודון אפרורי
11,12,9	קיפודית השונית
3,13	שחורן
33	תלומית סביני

אלה שאוהבים לשנוא



אהבה גדולה לא הייתה פה. נתקלתי בהם לראשונה בהיותי כמעט נער, חבר בקבוץ צעיר בגליל העליון. באתי לאילת עם חבר, ויומיים היטלטלנו ב"טרמפים", דרך הר הנגב ומצפה רמון, שהייתה אז מחנה עבודה של סוללי הכביש ההולך ונמתח לאילת. היום השני למסענו עבר עלינו במשאית ענק מסוג "טיטניק" כשאנו דחוסים בכסא שליד הנהג, עדים לקללותיו על כל קפיצה בדרך העפר המשובשת שהוליכה לאילת. הגענו ליעדנו עם לילה. הלילה היה אפל והאורות הבודדים שהצטרפו למיליון הכוכבים בשמים היו אורות שבאו מהחוף שממול, מהעיירה עקבה ומהספינות המעטות שעגנו במפרצה. נרדמנו במהירות, עייפים עד מוות מתלאות הדרך, לצד גדר הקנטינה של "שקם", המבנה היחיד שהיה אז על חוף אילת.

בבוקר העירו אותנו קרני שמש מסנוורת. מולנו ראינו כברת-ים שקט וכחול, בלא קמט של גל שיקמט את חלקת המים. עוד בטרם הלכנו לתור אחרי מזון כלשהו או מקור מים, קפצתי אל המים הכחולים אך בתוך דקותיים כבר הייתי בחוץ, מנסה לשלוף קוצים שחורים שננעצו בכף רגלי היחפה. זו הייתה היכרותי הראשונה עם קיפוד הים שחור-הקוצים, הידוע כיום בשמה נזרית שחורת-קוצים. למזלי היו הקוצים מעטים ואף שלא הצלחתי לשלפם, אלא לשבור אותם בתוך כף הרגל, פחתו הכאבים ולא העיבו על משך שהותנו באילת. מאז ועד היום הזה מאות תיירים שביקרו באילת מצטרפים למי ששונאים אותם בשל חופשה שהשתבשה בגללם. אני אישית למדתי לחיות עמם, לטפל בהם ולנסות להבין מה "מריץ אותם". והאמינו לי, יש מה לספר...

חזרה לתוכן העניינים

לא כולם רעים, ויש אפילו די טובים

כפי שכבר הזכרתי בספריי הקודמים, ירדתי לאילת כדי לסייע לעצור את שוד והרס האלמוגים שהיה אז בשיאו. הייתי אחד מקומץ מדריכי טבע, שגייסה החברה להגנת הטבע, אשר התפרנסו מהדרכת טיולים ואת "שעותיהם הפנויות" בילו על חוף הים, מסבירים לכל מבקר את חשיבות שמירת האלמוגים. כאן מצאתי את קיפודי-הים השחורים כבני ברית נאמנים. מאימת עשרות הקיפודים המצטופפים במים הרדודים, רק מעטים היו המטילים שהעזו להיכנס למים לקטוף אלמוגים. כך הצטרפו קיפודי-הים ל"מגיני הטבע".

פן יותר מעמיק ביחסי לקיפודי-הים התגלה לי כאשר הייתי כבר ביולוג ימי. מצאתי אז מאות קיפודי-ים ממין נפוץ, פחות קוצני מהנזרית – הקרוי **קטיפן אילתי** - שהתעוותו בגלל זיהום* מי הים במי שפכים מהחוף. הייתי סקרני, ובחרתי לעסוק בנושא זה לעבודת מחקר, שנמשכה כמה שנים והסתיימה בתואר, אך העניין שלי בהם נותר עד עצם היום הזה. ממחקרי אלה למדתי הרבה על יצורים אלה, שחוקרת אמריקנית, שהקדישה את רוב שנותיה למחקר קווצי-העור אמרה עליהם "שכאילו נבראו כדי להדהים ולבלבל את החוקרים".

ובאשר לי, התאהבתי בהם, כדרך של אוהבים, הנוטים לראות את היפה והמדהים במי שאוהבים. כדי להציג בפניכם את היצור הכה-מעניין, אעשה מה שילדים אוהבים לעשות, והוא לפרק אותו לתצורף של חלקיו השונים ולהרכיבו מחדש. מאחר ומחקרי התמקד במבנה השלד*, ולא תאמינו כמה דברים מעניינים מצאתי שם, אקדים ואספר עליו:



עובדות בסיסיות להתחלה

קיפודי-הים הם מחלקה אחת מבין חמש במערכת קווצי העור. על האחרות נדבר בהמשך



לכולם התכונות הבאות שנפרט

בהמשך הספרון הזה:

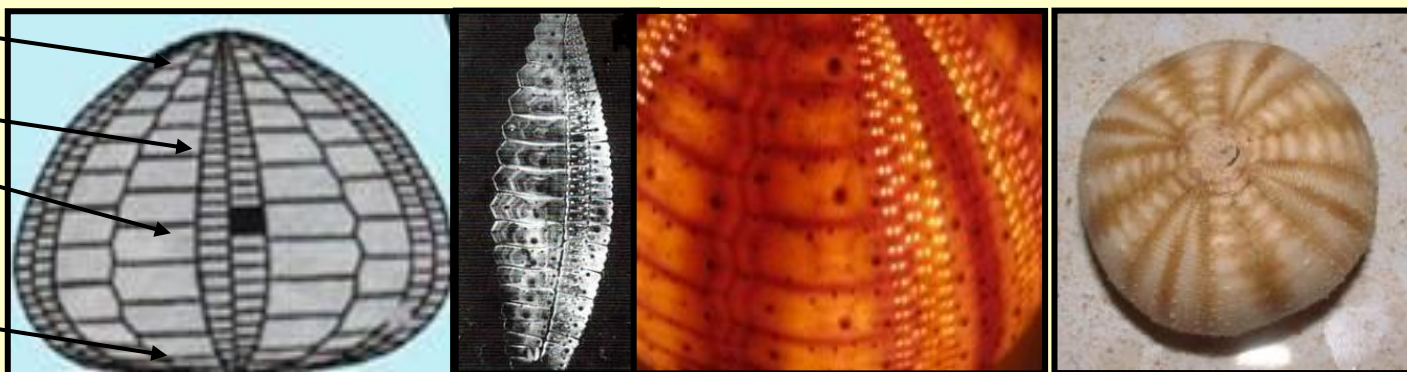
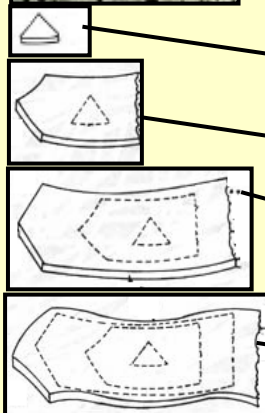
- לרובם **סימטריה עיגולית***
- לכולם **קוצים**, גדולים או קטנים בתוך העור או על פניו.
- **מערכת "רגלי המים"** היא מערכת התנועה שלהם.
- הם **חסרי עיניים**, אך הם מבחינים באור.
- רובם **צמחוניים***, ומיעוטם טורפים או **לוכדי פלנקטון***.
- **הפגית*** השוחה שלהם היא בעלת **סימטריה דו-צדדית***, ההופכת לעיגולית רק בעת התיישבותם.

- תכונה ייחודית נוספת שנדבר בה בפירוט רב היא **יכולתם להקשיח ולרפות את עורם ורקמות גופם** ולהיאחז בעצמים מוצקים או להתגונן מפני טורפים, באמצעות **קולגן פַר-שינוי*** – ראו בהמשך..

חזרה לתוכן העניינים

* להסבר המונחים בכל הספר פנו לעמוד 36

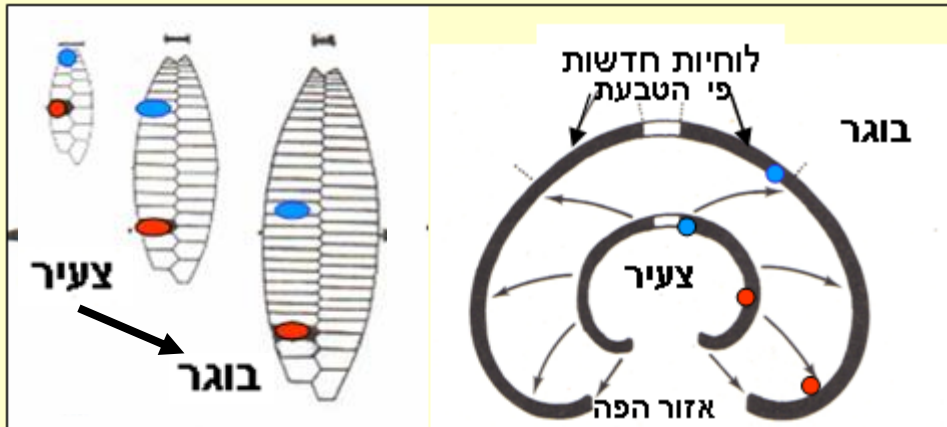
השלד – שריון קשיח



שלד קיפודי-הים הוא מבנה קשיח המגן על התוכן הרך, כמו איגלו של האסקימוסים. בעקרון הוא פשוט, אך במבט יותר מעמיק הוא מתגלה כמעניין מאין כמותו. זהו שלד דק, שעשוי לוחיות גיר תואמות, העוטף את כל גופו ואת החלל הפנימי שבו נמצאים המעי וחלקים פנימיים. שלד קיפודי-הים מיוחד גם בזה שמספר הלוחיות בשלד הולך וגדל עם גילו, מכמה עשרות בקיפודים צעיר ועד למאות רבות בקיפודים הבוגר. הלוחיות הללו נאחזות האחת בשנייה, וכל הלוחיות באזור מסוים, למשל על "קו המשווה" הן באותו גודל וצורה. אולם, אם קורה משהו ולוחית אחת, או טור שלם של לוחיות, נשבר או נפגע פיסית, באות הלוחיות הסמוכות ובגדילה מהירה סוגרות את הפער, כך שהשלד נשאר לרוב עיגולי מושלם. אחת השאלות הכי חשובות ששאלתי במחקרי היא מה קובע את צורתה של כל לוחית ואת קצב גידולה, לקיים את צורת השלד הטיפוסית למין קיפודים, שמורכב מחמשה טורים כפולים של לוחיות גדולות. נשוב לכך בהמשך.

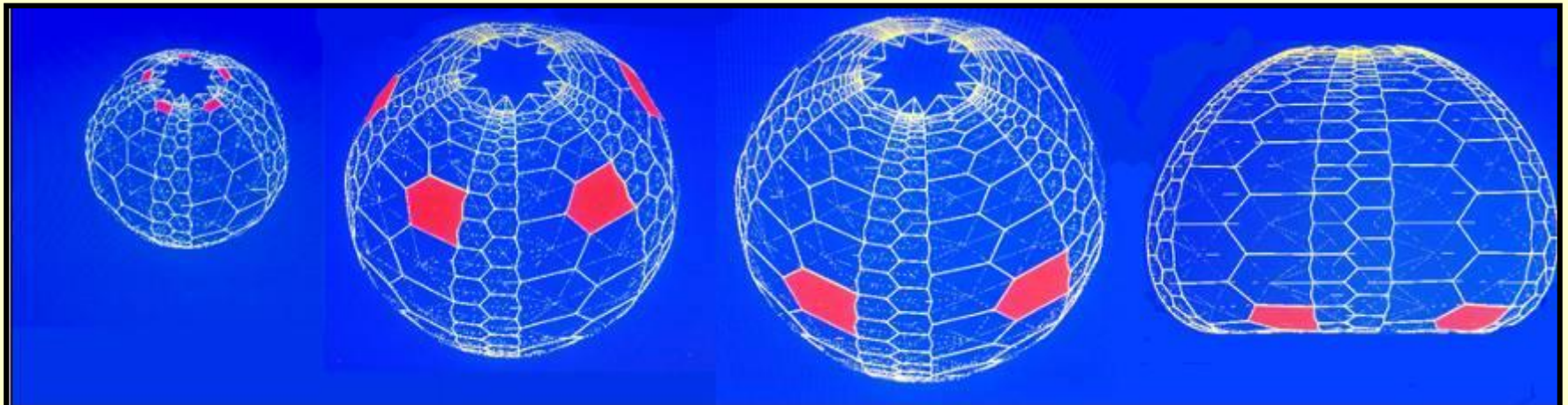
בתמונות, משמאל למעלה ועד לימין: ציור של קיפודים-הים, המראה את השלד ומערכת העיכול*. מתחתיו שלד של קטיפן המראה את דקות השלד, שאינה עולה על זו של קליפת ביצה; פתח משולש בשלד בו נוצרת הלוחית האחרונה; מתחתיו 4 לוחיות מאזורים שונים בשלד קיפודים-הים לפי האזור שמראים החיצים על דגם קיפודים-הים. הצורה הקודמת של כל לוחית משתמרת כקו גידול מקווקו. למטה באמצע, טורי לוחיות המראות את קווי הגידול בלוחיות שנצבעו בטיפול מיוחד. מימין למטה: קטיפן בעל סימטריה מרובעת (טור אחד מה-5 נגרע) בשל מום מולד, ואילו הלוחיות הנותרות גדלו וסגרו את הפער, לפצות על היעדר הטור החמישי.

איך גדל שלד קיפוד-הים?



משמאל לימין: טור כפול של לוחיות של צעיר ובוגר ומצבן של לוחיות מסוימות ש"נדדו". מימין: אותו דבר במצב מרחבי - בצעיר ובבוגר.

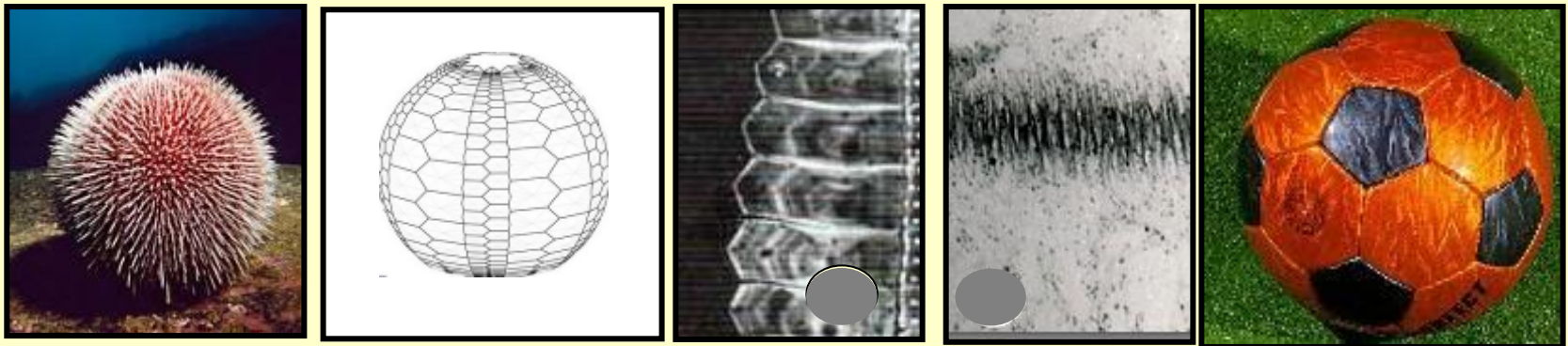
בהשוואה לצורת הגדילה של בעלי כיסוי לוחייתי אחרים – צבי-ים או דגי קופסינון – שאצלם מספר החלקים, לוחיות או קשקשים, נשאר קבוע כל ימי חייהם, בקיפודי-ים השלד מוסיף לו עוד ועוד לוחיות בחלקו העליון ואלה הקיימות 'נודדות' כלפי מטה. זו איננה תנועה של ממש, אלא תוצאה של התרחבות השלד כולו, מגודל וצורה של צעיר ועד לבוגר (תמונה משמאל).



הדמיה* של גדילת קיפוד-ים רגיל. משמאל נראה צעיר שלוחיותיו בכל טור אנכי מעטות. לוחית חדשה שנוספת סמוך לפי הטבעת*, ב"קוטב הצפוני", מסומנת כאן באדום. בהדרגה נוספות לוחיות חדשות והלוחית המסומנת נודדת כלפי מטה, עד שבקיפוד-ים בוגר תראו אותה כבר בתחתית הטור. בקיפוד-ים בוגר הופך חלקו התחתון של השלד משוטח, התאמה להצמדות טובה לקרקע הים.

השלד – גמישות, הרפייה והקשחה

מי שקרא בעיון את שני העמודים הקודמים, בודאי שאל את עצמו מה מחזיק את הלוחיות ביחד, כי הרי שלד של קיפוד-ים שמת הוא שביר ומתפורר בנקל, בעיקר אחרי שמנקים אותו בחומר מלבין*. שמפריד את הלוחיות. האם זוהי סתירה ממה שנאמר בעמוד הקודם? לא ולא, וזו אחת העובדות המפליאות. את לוחיות השלד של קיפוד הים מותר להשוות עם "טלאי העור" שמהם מורכב כדור-רגל מתנפח, שהם תפורים בחוטים שמצמידים אותם זה לזה. ובכן, שימו לב! לוחיות השלד מחוברות אף הן על ידי חוטים גמישים, העשויים קולגן*, אותו חומר הדומה להפליא לחלבון המרכיב את רקמות תת-העור שלנו. אולם בקיפודי-הים הקולגן יכול לרפות ולהימתח כשהלוחיות מתרחבות, אך ברצונם הקולגן מקשיח, ננעל ולא מאפשר ללוחיות להתפרד. כדי לגדול, חוטי הקולגן מתרפים ונוצר פער קטן שנסגר עם גדילת הלוחיות, ואילו כשהם מקשיחים - בעת סכנה, למשל – תיעצר הגדילה מיד והשלד כולו יקשיח. **הקולגן בר-השינוי** ייחודי לקווצי העור, ולא נמצא בבעלי-חיים אחרים. בהמשך נראה מה הוא עושה בקווצי עור אחרים.



בתמונה, מימין לשמאל: כדור-רגל, לאליו ניתן לדמות את שלד קיפוד-הים. לוחיות השלד של קטיפן ותפרי הקולגן שמחברים אותם זה לזה. משמאל שלד של קיפוד-ים בהדמיה ובמציאות, נוטה ליצור שלד כדורי מושלם. נדון בכך בהמשך.

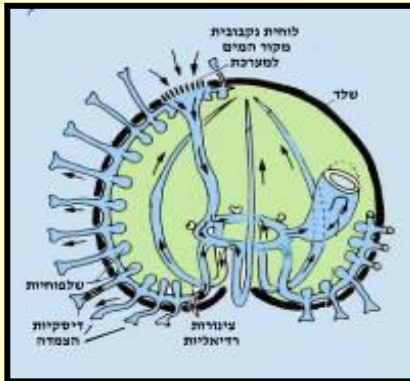
איך נעים קיפודי-הים? רגלי הים



שלד קיפוד-ים המראה את מאות הנקבים של מערכת הים דרכה עוברות רגלי-הים (שרטוט למטה)

מי אמר שלקיפוד-הים אין רגלים? לו ולקווצי-עור אחרים (כוכבי-ים, מלפפוני-ים ועוד) יש אבר תנועה ייחודי להם, שנקרא רגל-מים*. עקרון פעולתה הוא הידראולי*: כל רגל כזאת היא מעין צינור גמיש ששלפוחית המופעלת בשרירים בצדו האחד, וכפתור הצמדה* בקצהו. כל רגל-מים עצמאית. כשהשלפוחית נלחצת לחץ המים דוחף אותה קדימה, דרך נקב בשלד, וכשחיישני הכפתור חשים במוצק, הכפתור נצמד באמצעות ריק* והרגל נקשרת אל המוצק ומושכת אותו לעברה באמצעות השרירים.

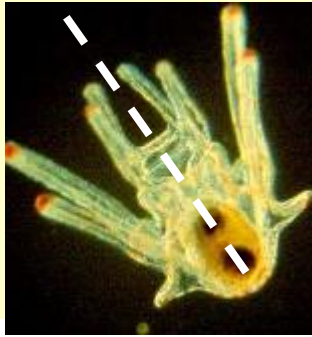
הכפילו רגל-מים כזאת במספרן בקיפוד-הים, קיבלתם מערכת תנועה יעילה מאין כמותה. אם לפעמים מתבלבלות לכם הרגליים, תחשבו איך להפעיל בו-זמנית 500 כאלה? זיכרו גם שבעוד שרגלי-המים מושכות לכיוון אחד, אסור שאלה שנמצאות בצד הנגדי ירפו מאחיזתן, פן יבוא גל ויעקור את קיפוד-הים מאחיזתו. זוהי מערכת תנועה ואחיזה, ללא אח ורע בעולם החי – "מערכת רגלי הים".



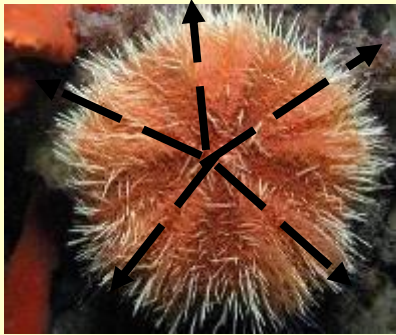
משמאל – רישום מערכת רגלי-הים; רגלי מים נמתחות לימין; טור כפול של לוחיות מערכת הים ומימין קטיפן פורש רגלי מים

חזרה לתוכן העניינים

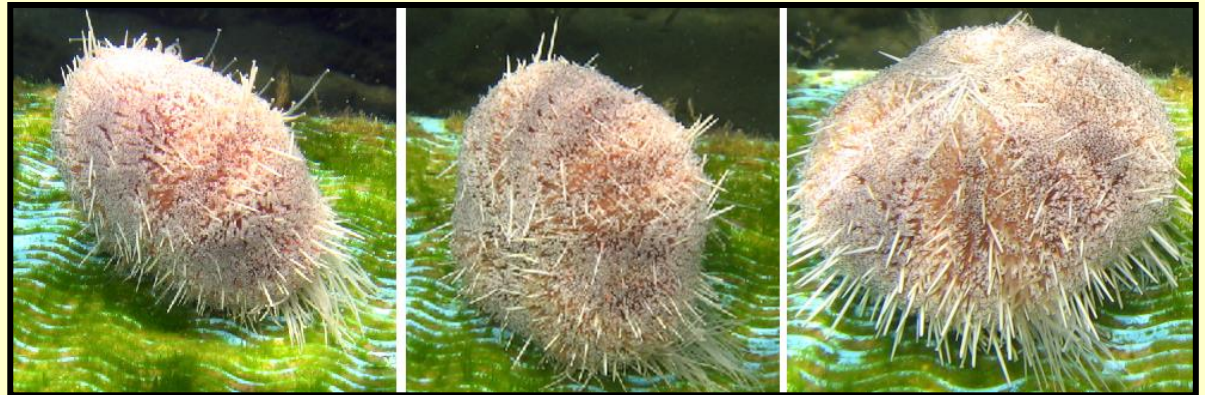
ואם כבר מדברים על רגלי-מים



לפגית : סימטריה
דו-צדדית



לבוגר : סימטריה
עיגולית-מחומשת



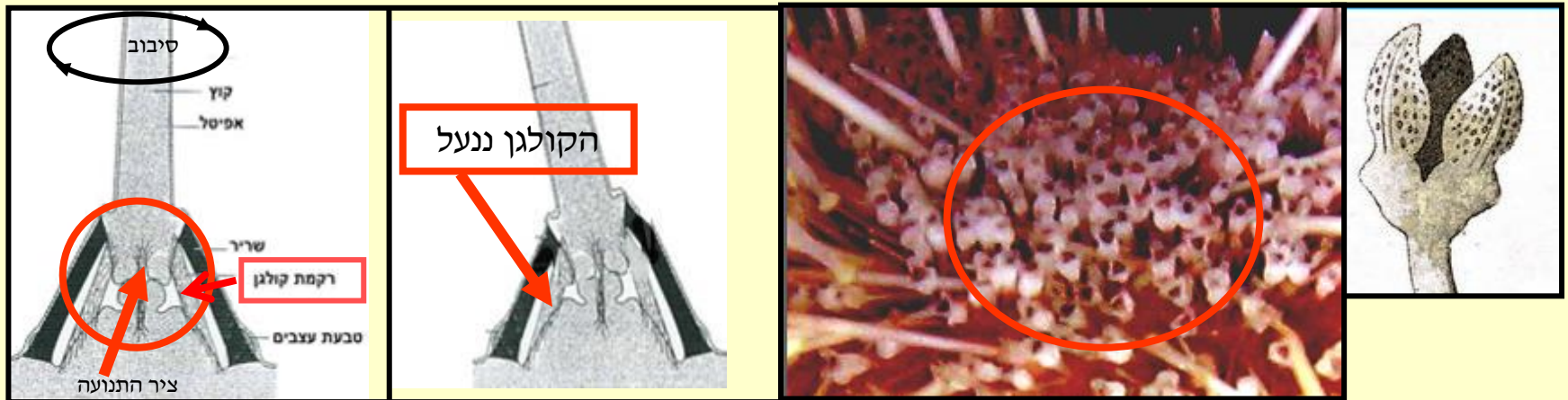
כדאי שנזכיר שלרוב החיות בעולם סימטריה דו-צדדית*, כלומר הראש והפה פונים קדימה ואלו הזנב ופתחי הפליטה - אחורה, וכמעט תמיד אפשר למתוח קו מרכזי שקוראים לו ציר הסימטריה. לקווצי-העור כאמור סימטריה עיגולית*, שלרוב היא מחומשת (חמש זרועות לכוכב הים, חמשה רדיוסים לשלד קיפוד-הים). בשל כך נחשבו בעבר לירודים ופרימיטיביים. ממחקרים שנערכו במאה ה-19 מצאו כי הסימטריה העיגולית-מחומשת שלהם היא משנית. הפגית, שהיא הצורה העוברית (מעין זחל) של קווצי-העור היא דו-צדדית, כפי שתראו בתמונה משמאל. הסימטריה העיגולית קשורה באורח חייהם הנייח למחצה. אין עדיפות לכוון התנועה. הם נעים הודות לרגלי המים, מערכת הצינורות החלולים שבקצותיהם כפתורי הצמדה, הנאחזים בעצמים קשים – סלע, עלי צמחים ועוד. ברצף התמונות למטה תראו כיצד, באמצעות פעילות מתואמת של רגלי-המים, יכול קיפוד-ים שהתהפך במקרה, או שמישהו הפך אותו, לחזור ולהתהפך בחזרה תוך מספר דקות. אותה תכונה הוא מנצל כדי להעמיס אבנים או עלי אצות להגנה מפני קרינה, או להסוואה.

מימין, קטיפן שמצא עצמו הפוך מתהפך בשלושה שלבים. משמאל, קטיפן אוסף אבנים על גופו

חזרה לתוכן העניינים

קוצים, למה זה טוב?

תפקידם העיקרי להגן על קיפוד הים מפני טריפה. לא ייאמן, אך הקוצים הם חלק מהשלד שהוא פנימי (להבדיל משריון הסרטן) ומכוסה בעור. רק מיעוט קוצים חדים, ורק מין אחד באילת הוא ממש בעל קוצים ארסיים, וזה איננו הנזרית שחורת-הקוצים. אם תתבוננו בקיפוד-ים זה בטבע תבחינו שקוציו נמצאים רוב הזמן בתנועה כאילו-סיבובית, כשהם מכוונים לעבר טורף או מטריד, כמוכם למשל. במקרה חרום, רקמת הקולגן בר-השינוי המצויה בבסיסי הקוצים של קיפודי-הים מאפשרת להם לעצור את תנועתם, לנעול אותם במהירות ולהתגונן בכך מפני טורפים, תכונה משותפת לקווצי העור. סוג שונה של קוץ, שצבת חדה ומשולשת בקצהו, אשר נועד כנראה להטריד ולסלק טפילים, נקרא קוצבת (קוץ-צבת). לקטיפן האילתי, תת-מין אנדמי* לים-סוף, יש מעט קוצים חדים, אבל יש לו המוני קוצבתיים, שבמגעם עם עור האדם הם יכולים לגרום לגירוי וגירוד שמזכיר עקיצת יתוש.



בתמונות, משמאל:

קוצי הנזרית או השחורן עושים כרגיל תנועה סיבובית כשציר התנועה הוא בבליטת הקוץ. בעת סכנה ננעלת רקמת הקולגן שבבסיסו ואין אפשרות לשחרר או להטות את הקוץ, עד שקיפוד-הים יחפוץ בכך. מימין בקצה – קוצבת בקצה הקוץ הדקיק. בעיגול מסומן "שדה קוצבתיים" על גופו של קיפוד-הים קטיפן אילתי. לקוצבתיים גוון אדמדם או לעתים צבעם אפור, שחור ואף לבן.

קוצים למטרות אחרות

תפקידם אינו מצטמצם בהגנה. נביא כמה דוגמאות מקיפודי ים אחרים. **העפרונן** (קיפוד העפרונות) נכנס בשעות היום למחילות השונות ונועל עצמו באמצעות קוציו. **הקיפודית** ידועה כשוכנת בחורים וכוכים שקדחה בעצמה באמצעות שיניה הקשות, להגנתה. קיפודי-ים אחרים החיים על קרקע רכה, או על חול משתמשים בהם כדי לנוע כבקביים. השיא שייך לקיפודי-הים הלא-עיגוליים* (**לובניה**) החיה קבורה בתוך החול, ומצוידת בקוצים דמויי-משוט, באמצעותם היא מתחפרת ו"שוחה" בתוכו. זה רק חלק קטן ממגוון רחב של שימושי הקוצים. היה גם מי שהוכיח כי קיפודי-ים מסוימים סופגים מהים חומרים מזינים לכלכלתם.



בתמונות, מימין: קיפודי-ים המשתמשים בקוציהם להצמדות בתוך כוך מוכן (**עפרונן**), למטרות קידוח בסלע (קיפודית) או להתחפרות מהירה ו"שחייה" בחול הרך (**לובניה**), באמצעות קוצים דמויי משוט. הקוצים הארוכים שלה למטרת הגנה נועדו. היזהרו, הם ננעצים ברגל היחפה.

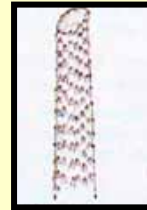
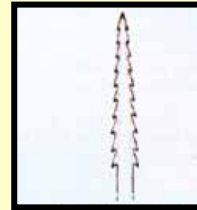
קיפודי-ים שפגיעתם רעה

כשם שלצד הנחשים הארסיים יש לא מעט נחשים שאינם מסוכנים, כך גם קיפודי-הים. לשמחתנו, אין קיפוד-ים המסוגל להרוג אדם. לכל היותר הוא יכול לדקור בקוציו החדים, הלא-ארסיים (**נזרית**, **שחורן**). ארסי ממש הוא קיפוד-הים **ארסנית ים-סופית**, שלו שלפוחיות ארסיות בקצה הקוצים, ודקירתו מכאיבה מאד. דריכה על קוצי הלובניה, החיה בחול הרך אף היא איננה נעימה. על כן, כדאי מאד להכיר את אותם מינים שפגיעתם רעה, כדי שנוכל להתענג על קרבתם של מינים שאינם מסוכנים. בגלריית התמונות בעמוד הבא תראו את האחרים.



לארסנית שלפוחיות ארס בקצה הקוץ. במגע נקרע דופן השלפוחית והארס מופרש. הארס רעיל במידה בינונית לאדם.

קוצי **הלובניה** ארוכים למעלה והתחתונים קצרים ודמויי משוט. הקוצים העליונים חדים ודוקרים מאד. יש להישמר מדקירתם.



השחורן הוא דוקרני מאד, אך שלא **כנזרית**, שכל קוציה חדים, קוציו העבים אינם מסוכנים, אלא הדקיקים בלבד.



קוצי הקטיפן אינם חדים ואינם דוקרים. מסוכנים במקצת הם הקוצבתים.



לא כולם רעים

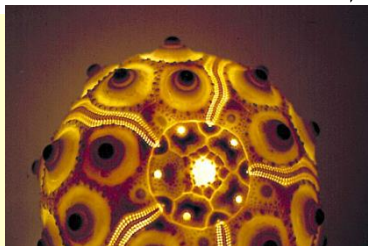
מעבר לאותם מינים שנזכרו בדף הקודם, רוב המינים, בהם כמה מהמצויים ביותר, הם בלתי מזיקים. בעליל. גם הקטיפן שנזכר לעיל, פגיעתו מזערית ובעקר מפריעה למי שרגישים לגירוי הנגרם על ידי קוצבתיו, אך בפירוש יכול להיחשב בין הבלתי-מזיקים. לא כללנו עדין את קיפודי-הים האי-עיגוליים*, שהיחידה ביניהם שדקירתה כואבת היא ה**לובניה**, אך מינים אחרים כוללים את המטבעון* מעניינים לא פחות ולא מזיקים כלל.



קיפודון הדור, יפהפה ולא נפוץ. למעלה - **קיפודון אפרורי** החי בתחום הכרית, בין אצות.



עפרונן הפטמות (קיפוד העפרונות) הוא הגדול בין קיפודי הים העיגוליים*. את קוציו נהגו לשרוף במדורה ולהשתמש בהם כעפרונות לרישום על אבן או לוחות עץ.



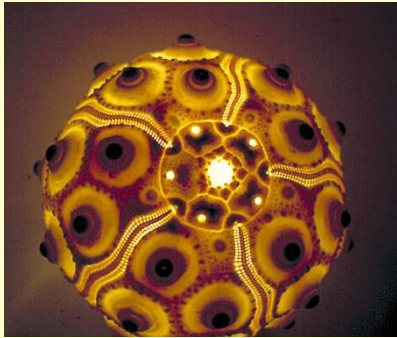
צידרים: צידר קטן, הנקרא בטעות קיפוד עפרונות. שלדו של **צידר חשוף-קוצים** הוא כליל יופי ועניין.



קיפודית השונית נפוצה בשונית, ונוהגת לקדוח חורים בסלע ולשכון בתוכם. מדענים מצאו שהיא ובנות מינה הם **מהרסי שונית** מובהקים – הם מפוררים את גיר השונית לחול גירי דק ועדין (ראו עמוד 29).



התרבות: איך עושים זאת קיפודי-הים ?



בשלד הצינור אפשר לראות את פתח פי הטבעת בקוטב העליון, וסביבו חמשת פתחי המין. בצילום למטה נראות בלוטות המין – שחלות, בתוך הגוף.

• קיפודי-הים הם חד-מיניים* - או זכרים או נקבות. להם חמש בלוטות מין (שם הכולל את השחלות בנקבות והאשכים בזכרים) וחמישה פתחי מין, מהם נפלטים הביצים ותאי הזרע, הם לצד פי-הטבעת.

• תוצרי המין – תאי זרע וביצה - נפלטים למים דרך פתחי המין עם **פרומון***, הורמון חברתי, המעורר את בני מינם המוכנים להתרבות לשחרר בו-זמנית את תאי המין שהבשילו. המדענים ומגדלי קיפודי-הים יודעים כיצד לאלץ אותם להטיל באמצעים מלאכותיים.

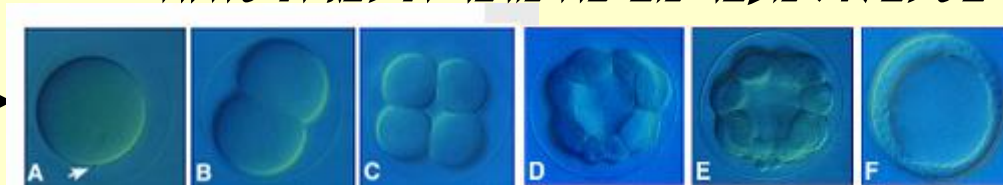
• הביצים מופרות והופכות ל**פגיות***, המתפתחות תוך שהן מרחפות כפלנקטון* במים. בתום כמה ימים הפגיות יורדות לקרקע, עוברות **שינוי*** לצורת הבוגר, תהליך הנמשך כשבועיים-שלושה.

• המחזור כלו כולל שני שלבים -

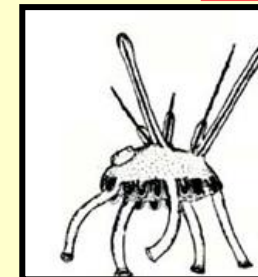
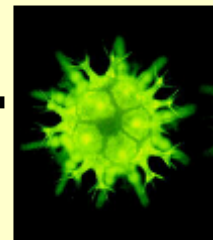
בשלב א'. מעבר מביצה מופרית לפגית שוחה



קיפוד ים חתוך
ששחלותיו מלאות

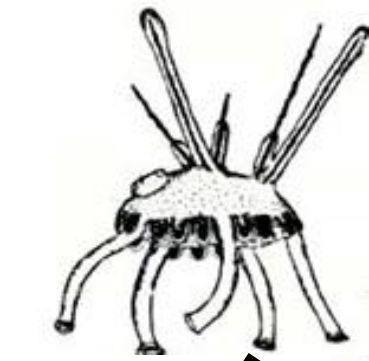


בשלב ב' - שינוי* מפגית שוחה מעבר לבוגר מתיישב



כך נוצר שלד הבוגר

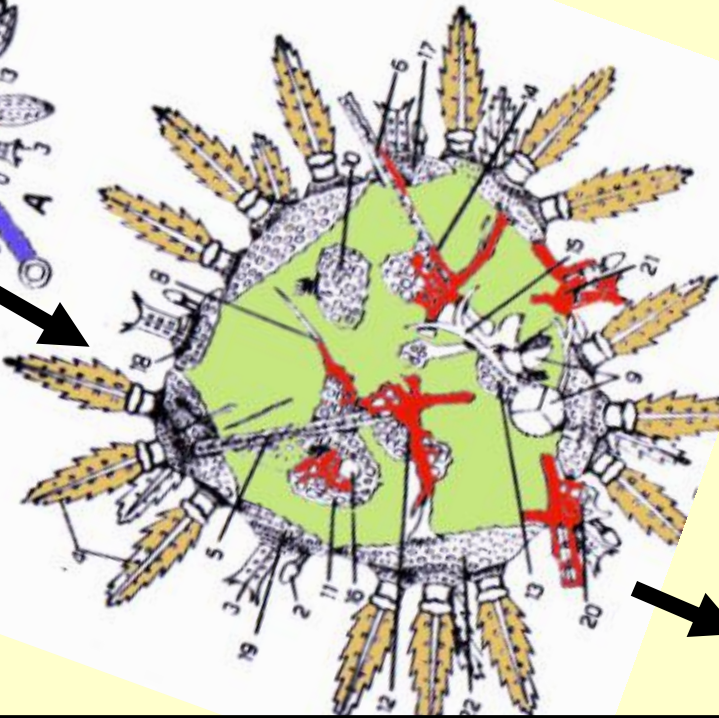
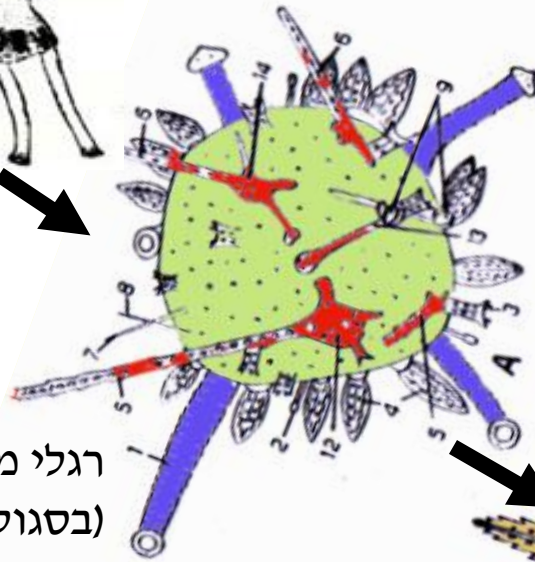
בעת השינוי* המעבר מפגית לבוגר, קיפוד-הים נראה כטיפה של חומר נוזלי (בציור מופיע כירקרק) שלוחיות שלד מוצקות הולכות ומכסות את שטחה החיצוני.



שלד הפגית
הולך ונעכל

רגלי מים ראשונות
(בסגול)

לוחיות וקוצי הבוגר (כתום)
הולכים ומכסים את גופו
העירום של קיפוד-הים עד
לצורת הבוגר. קוצי הפגית
(באדום) נעכלים ונמסים



בסוף התהליך נעלמים כל שרידי העובר והשלד כולו מכוסה בלוחיות תואמות

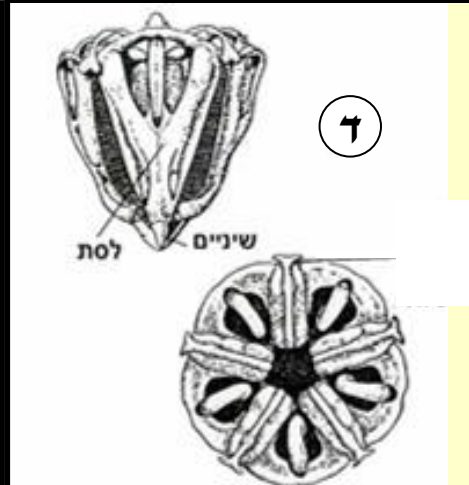
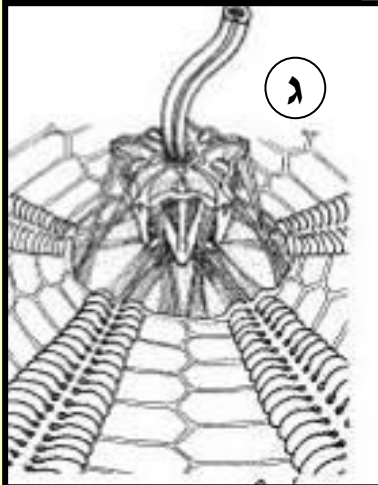
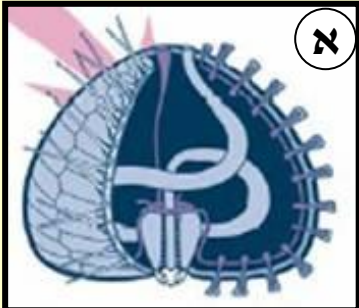
מערכת העיכול – לחפש מתחת לפנס?



מערכת העיכול של קיפוד-הים, גם היא מלאכת מחשבת של מי שבראם, או התפתחו בו. את המזון הם מכרסמים יחד עם שבבי סלע באמצעות מערכת השיניים הנקראת "**פנס אריסטו**".

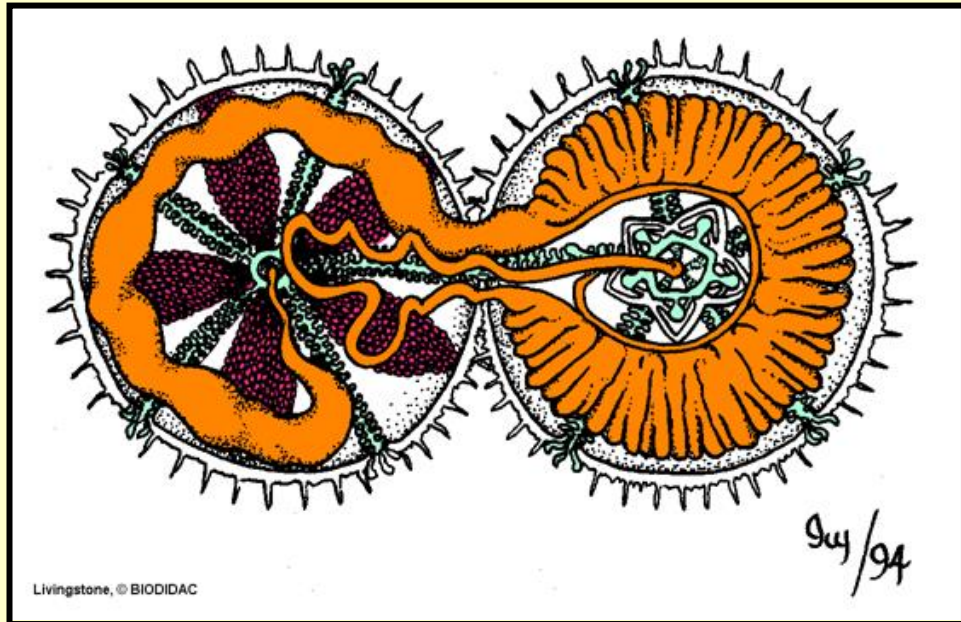
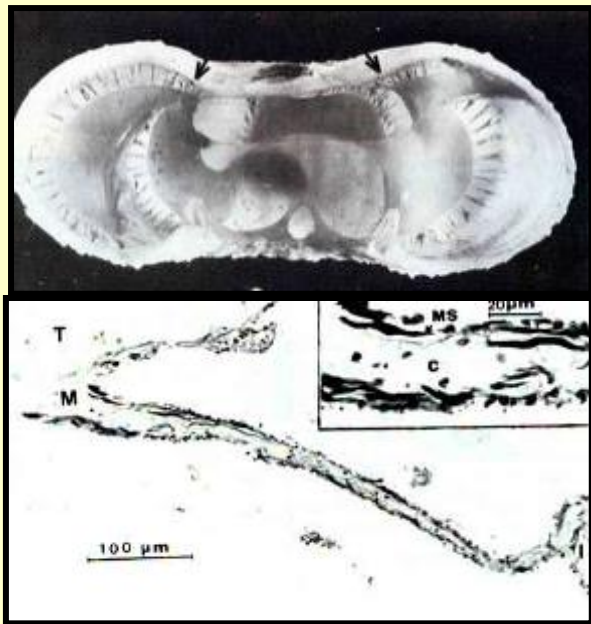
הפנס הוא מעין חרוט העשוי חמש "לסתות" - נדנים שבכל אחד מהם שן ארוכה, שבחלקה העליון היא רכה ונבנית ובתחתיתה קשה מאבן, נשחקת וניצבת מול עוד ארבע שיניים זהות. קשיותה נובעת מתוספת של **מגנזיום*** לסידן שממנו עשויות השיניים. את שמה היא חייבת לפילוסוף היווני אריסטו שהשווה אותה לפנס (ציור מימין למעלה) בספרו "תולדות הטבע" במאה ה-4 לפני הספירה.

בתמונות: **א.** שרטוט של מערכת העיכול; **ב.** השיניים בפתח הפה; **ג.** מקום הפנס והמעיי היוצא ממנו; **ד.** הפנס במבט עילי ובמבט צדדי; **ה.** "לסת" אחת מחמש ושן במרכזה; **ו.** שיני הפנס בצילום מוגדל. נראית השחיקה בקצה השן.



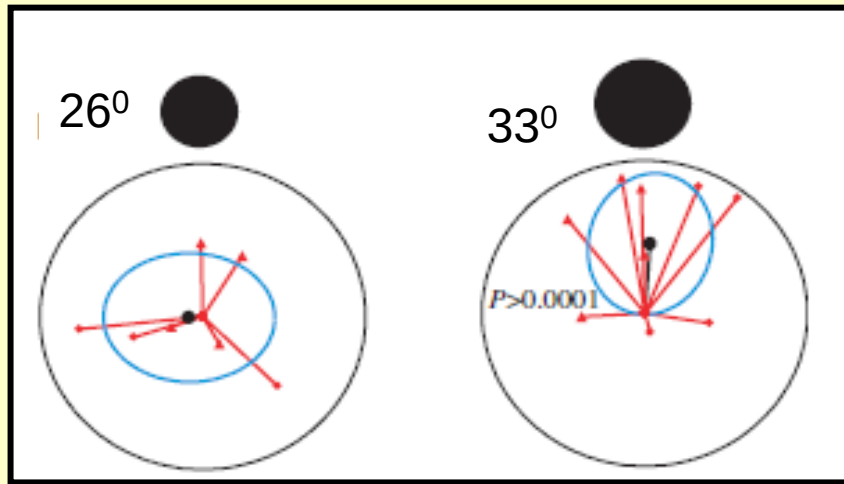
מערכת העיכול – דרך האוכל

מ"פנס אריסטו" יוצא המעי של קיפוד הים ומתפתל בשני מעגלים שלמים סביב הדופן הפנימית של השלד. **המעי הקדמי** ערוך בכיוון הפוך לשעון (כשמביטים מלמעלה). בתום הסיבוב הופך **המעי האחורי** את כיוונו לסיבוב נוסף הכרוך על קודמו. בתום הסיבובים הללו, מטפס המעי לעבר הקוטב העליון שבו **פי הטבעת**, שם נפלטת הצואה. המעיים נאחזים בדופן השלד באמצעות חוטי **קולגן** דקיקים (תמונה מימין), העשירים בסיבי שריר. בהמשך ארָאָה כיצד, בתנאים מסוימים, המתיחה המכנית של החוטים הללו עלולה ליצור לעיוותים בשלד קיפוד-הים. באיור הימני משמאל תוכלו לראות את חמשת אברי המין* של קיפוד-הים, הנפתחים החוצה בפתחי המין שלצד פי הטבעת.



בתמונות: מימין, שרטוט הממחיש את נתיב המעי הארוך, היוצא מ"פנס אריסטו" ומקיף בשני פיתולים את חלל גופו של קיפוד-הים. משמאל, צלום של חללו הפנימי של קטיפן מעיוות, המראה את הפיתולים והחוטים הקושרים אותם לדופן, ומתחתיו צילום מיקרוסקופי של חוט כזה שבו נראים נימים כהים, שהם (כפי שמבליטה צביעה מיוחדת) סיבי שריר המעידים על כושרם להתכווץ.

עיניים אין להם - ואיכה יראו ?



**מחקרים של החוקרים בלוינס ויוהנסן (Blevins & Johnsen, 2004)

תחושת הראייה מושגת באמצעות חומר דמוי **רודופסין***, המוכר כקולטן האור גם בעיני האדם, ומאפשר לקווצי-העור להבדיל בין אור וצל. חומר זה מפוזר על פני עורם ומשם מגיע הגירוי למערכת העצבים.

צוללים רבים מתפתים לחשוב שהנקודות הבהירות בגוף ה**נזרית** הם עיניים. מחקרים הוכיחו שאין שחר לטענה זו, אך העובדות מדברות אחרת: קיפודי-ים וקווצי-עור אחרים (חבצלות-ים, נחשוני-ים) מבחינים באור ומתנהגים על פיו: חלקם הגדול פעילים בלילה ובעלות השמש הם נחבאים בצל כוכים או מצטופפים יחד בקבוצות גדולות. במחקר מצאו חוקרים כי קיפוד הים **קיפודית** מסוגל להבחין בכתם כהה בגודל שעולה על 33 מעלות מההיקף ונוטה לעברו כאילו היה זה קיפודי-ים אחר, בן-מינו. ההבחנה באור באמצעות העור גורמת לקטיפן להתכסות בעלי אצות או אבנים כנגד עודף האור, או נגד סכנות אחרות האורבות להם בשעות האור.



בתמונות: משמאל, **קיפודית השונית**; **קטיפן אילתי** מתכסה באבנים, ו**נזרית שחורת-קוצים**, עם הנקודות הבהירות שנחשדו כעיניים

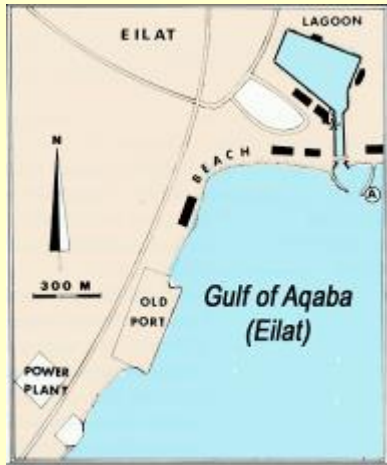
קווצי-העור והקולגן בר-השינוי

כשגילו המדענים לראשונה את התכונה המופלאה של רקמת החיבור של קווצי-העור, לשנות את צמיגותם, ממצב רפוי למצב קשיח בתוך שניות, לא שיערו שרקמה זו מעורבת בכל כך הרבה פעולות של קווצי-עור שונים. הזכרתי את נעילת הקוצים (עמוד 11). תכונה נוספת שלהם היא היכולת "לנעול" או להקשיח את התפרים שבין הלוחיות. ב**כוכב-ים** שעסק בניסיון לטרוף **צדפה*** מצאתי שהקשיח את אחיזתו באמצעי זה בצדפה שאטמה עצמה במשך שעות ארוכות עד שהמחנק יכריח אותה להיפתח ולהיטרף על ידו, וזאת מבלי שישקיע בכך אנרגיה. באמצעות רקמה זו נאחזות **חבצלות הים** בשונית במשך כל שעות הלילה, גם כאן מדובר בחסכון משמעותי באנרגיה. אלה רק דוגמאות ספורות של תכונה ייחודית, שלה יישומים רבים ומגוונים בכל מחלקות קווצי-העור. בהמשך נזכיר גם כיצד משרתת תכונה ייחודית זו את קיפוד-הים בגדילה.



תכונות הקולגן בר-השינוי. משמאל: כוכב-ים שנשלה מהים על ידי דייגים, כשהוא כולא בין זרועותיו צדפה. הניסיון להרפות את אחיזתו בצדפה מבלי להרוג את כוכב-הים נכשל. במרכז: קיפוד-ים משומר שלמרות ששלד הגיר שלו שהומס נשאר שלם בזכות צפיפות חוטי התפרים העשויים רקמת קולגן זה; ומימין, חבצלת-ים הנאחזת בשלוחות "רגליה" הקצרות, חסרות השרירים, בסלע בכוח הקולגן שהקשיח.

עיוותים מחמת הזיהום



אתרים שבהם נמצאו קטיפנים מעוותים בפניה הצפון-מערבית של מפרץ אילת.

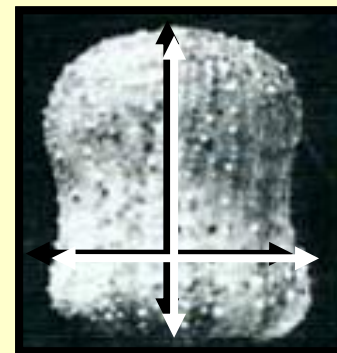
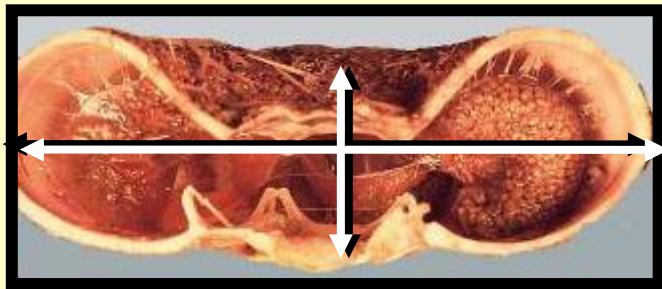
בשלב הנוכחי בסיפורי ברצוני לספר כיצד החל עיסוקי בשלדי קיפודי-הים ואורח גידולם. מאז בואי לאילת ובנסיבות שהגעתני לכאן (ראו בעמוד 2) הפך נושא איכות הסביבה חלק חשוב מהתעניינותי.

והנה, ביום אחד, בשנת תשל"ט – 1979, גיליתי בחוף הצפון-מערבי של אילת שתי אוכלוסיות קיפודי-ים מהסוג **קטיפן** כשהן מעוותות באופן קיצוני (שכינתי **עיוות א'** להלן), בחוף תחנת הכוח המשולבת במתקן ניסויי להתפלת מי-ים, שזיהם את הים במים חמים שהכילו מזהמים. מרבית האוכלוסיה של מאות הקיפודים שחיו שם היו מעוותים מאד. באתר נוסף, ליד בתי המלון בחוף הלגונה המלאכותית, נמצאה אוכלוסיה, שבה נמצאו מאות קטיפנים עם עיוות נוסף, שקיעת הכיפה העליונה של גופם, שכינתי **עיוות ב'**. הסיבה להופעת העיוותים הייתה בלי ספק זיהום הים, שמשום-מה פגע אך רק במין אחד של קיפוד-ים, בקטיפן. בעיה זו דרשה מחקר מעמיק שעיקריו מובאים בהמשך.



בתמונות - צורות העיוות. מימין: עיוות א' – קטיפנים, חי ושלדים, שגדלו לגובה עד פי 2 מהגודל הנורמלי; באמצע: "צביטות" במערכת רגלי-המים. ומשמאל קטיפן עם שקע עמוק בכיפתו (עיוות ב')

עוד על עיוותים מחמת זיהום

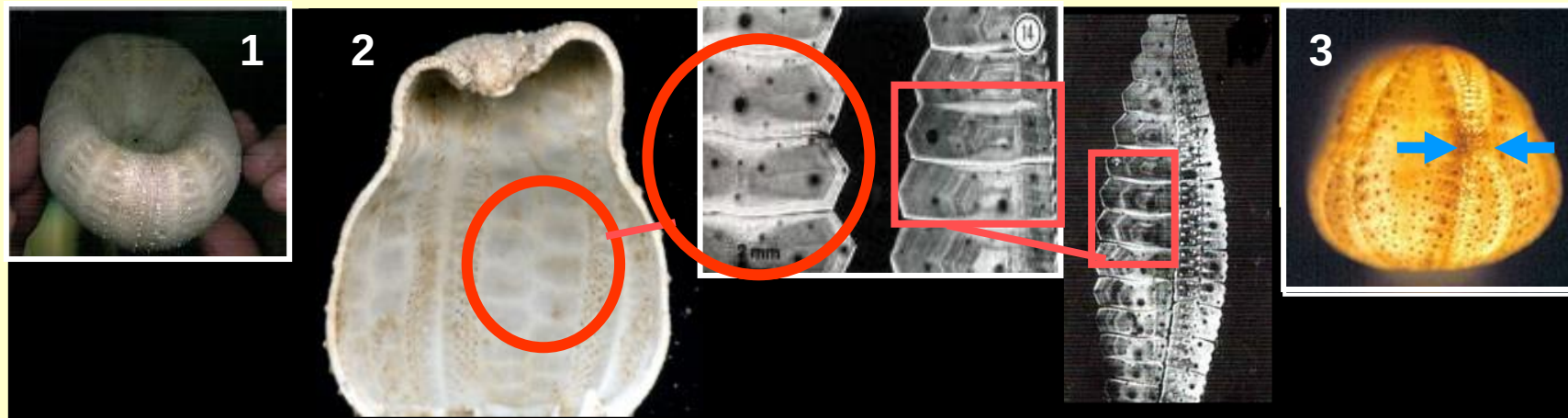


עיוות ב': גובה חלקי קוטר ~ 0.3
המעוותים היו גדולים מ- 6 ס"מ

קטיפן נורמלי :
גובה חלקי קוטר ~ 0.53

עיוות א': גובה חלקי קוטר = 1.3
המעוותים היו קטנים מ- 5 ס"מ

היו שלושה רמזים לאילוצים מכניים בעיוותים, שהצביעו על גורם סביבתי: 1. קריסה של כיפת השלד (עיוות ב'). 2. הלוחיות חרגו מצורתם הטיפוסית; 3. ה"צביטות" במערכת רגלי-המים (עיוות א').

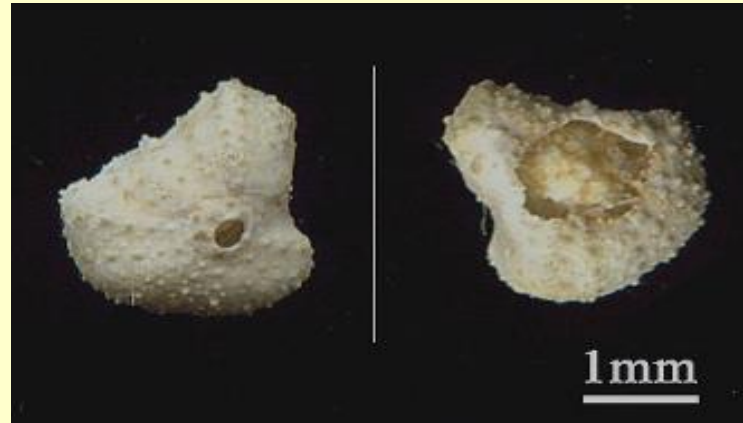


עיוותים בתמונות: (1) כיפה שקרסה (2) לוחיות שחרגו מצורתן הטיפוסית (בעיגולים, השוו עם לוחיות נורמליות - במרובעים); (3) "צביטה" בטור לוחיות רגלי-המים בקטיפן מעוות.

לאורך זמן, שני סוגי העיוות לא התערבבו – כל עיוות בקטע חוף שונה

מהי בכלל הבעיה?

עיוותים בצורת הגוף מוצאים מדי פעם ביצורים חיים, בהקשר סביבתי. פגיעה ושיקום מפגיעה פיסית - על ידי טורף, דריסה או פעולת גלים - הגורמים לעיוות השלד, כפי שתראו בשתי דוגמאות אלה:



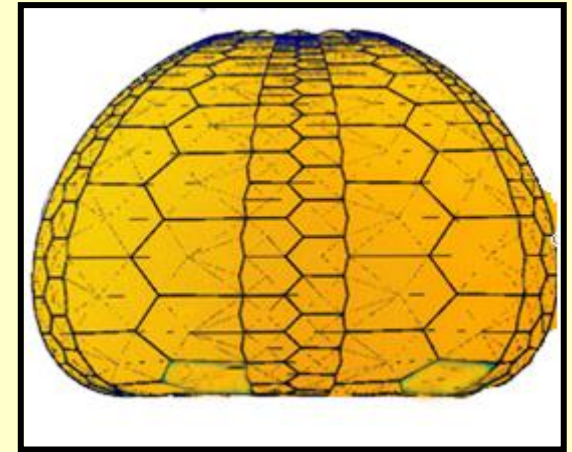
אך העיוותים ההמוניים דרשו הסבר אחר. מוטציה* שתגרום לעיוות לא באה בחשבון, כי "צאצאיה" הפגועים אמורים להתפזר על שטח ענקי, בשל צורת הריבוי שלהם, באמצעות פגיות וכאן היו כל המעוותים בשטח מצומצם, ליד מקור זיהום כימי. הנימוק היחיד שיכול היה להסביר זאת הוא פגיעה סביבתית, באחת מהפעולות החיוניות של בעלי החיים הללו. ואכן, הצלחתי לאתר כמה מזהמים, שהאחד בהם פגע במנגנון השקעת השלד שלהם, והשני פגע גם בתכונת המוצקות של הקולֶגֶן בקיפודי-הים שנפגעו.

התוצאה הייתה שחלו שינויים במערך הכוחות המיכניים הפועלים על לוחיות השלד. המודל שהצעתי (בעמוד הבא) הניח שהלוחיות "אינן יודעות" מראש כמה לגדול ובאיזה קצב בכל כוון, והמידע הזה מתקבל באמצעות הצפיפויות. כשפער בין לוחיות סמוכות נפער, הגדילה מואצת כדי לסגור אותו על מנת שלא לסכן את יציבות השלד. אם הרווח נסגר – זהו אות לעצור את הגדילה בכיוון זה. מכאן שהשקעת הסידן בשלד פועלת בעיקר לעיבוי וחיזוק המבנה הגירי, וכמובן לגדילה.

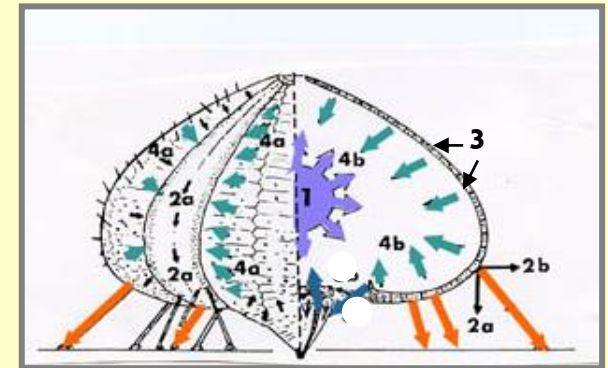
לוחיות, לחץ ותפרים – ב'תכלס', איך הם גדלים ?

אנו רגילים לדבר על גדילה של גוף, של אברים השונים בו במושגים של מימוש תכנות גנטי. אבל כל גוף בגדילתו מבצע פעילויות מכניות – הוא תופח, מתארך, מתעבה וכו'. בקיפוד-הים, שאפשר לדמותו למעין ביצה מלאה בנוזל, המוקפת בלוחיות דקות אך קשיחות, הגדילה היא, על פי מודל ביו-מכני שהצעתי (שרטוט תחתון) תהליך שמשתתפים בו ארבעה גורמים-מרכיבים, והם :

- (1) **לחץ הנוזל הפנימי**, לחץ פנאומטי המפעיל כוח כלפי הדופן ודוחק את המעטפת כלפי חוץ (1 במרכז השרטוט).
- (2) **רגלי-המים הנאחזות במצע** מותחות את מערך הלוחיות ואחראיות לצורה המשוטחת של הצד התחתון (2 בשרטוט). כללית, קיים מתאם בין פרופיל קיפוד-הים לבין הסביבה הפיסית בה הוא חי. בסביבה בה המצע רך ואינו מאפשר היצמדות יהיה הפרופיל שלו כדורי (ראו בדף הבא).
- (3) **חוטי הקולגן המחברים בין לוחיות** סמוכות מתרככים ופוערים רווחים קטנים והשלד בגדילתו מאחה את התפרים שבין הלוחיות הקשיחות, וסוגר את הרווחים (3 בשרטוט).
- (4) **מערכות החוטים הקושרים את המעיים** לדופן הגוף מבפנים, משמשות כ"יתרים פנימיים" המפעילים מתח שמתבטא בנסיבות מיוחדות (4 בשרטוט).



תשריט של קיפוד-ים ולוחיותיו



הגורמים הנכללים במודל הביו-מכני (דפני, 1984)

בעמודים הבאים נציג הוכחות לנכונות המודל הזה.

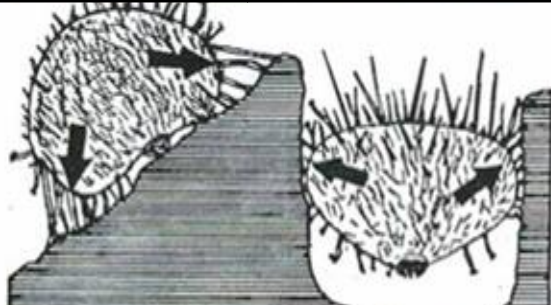
הוכחות לנכונות המודל הביו-מכני (1)

ההוכחה העיקרית לתפקיד שממלא הלחץ הפנימי (1) באה מהתמונה משמאל: בקיפוד-ים שלם משומר, הומס כל החומר המינרלי של השלד, מבלי לפגוע ברקמה הרכה, ובכל זאת לא קרס המבנה, מה שמוכיח שהנוזל הפנימי הוא לפחות בלחצו ההידרוסטטי* דומה למי-הים הסובבים אותו. אחד החוקרים גם מדד לחץ פנימי העולה על זה של החיצוני. ההוכחות לקשר בין הפעלת כוח מכני על ידי רגלי-המים וצורת השלד (2) באות הן מתוך הדמיון שבין צורת הגוף של קיפודי-ים לזו של בלון מנופח המחובר אל הקרקע. ככל שפעילות רגלי-המים חזקה יותר, השלד מקבל צורה יותר משוטחת בחלקו התחתון בשל הלחץ (עמוד קודם). קיפודי-ים החיים בין אצות או על חול שקשה להיצמד אליו נוטים להיות כדוריים ואלה החיים על קרקע סלעית נוטים להיות משוטחים (עוצמת המתחה מומחשת בכוון ובעובי החיצים). ב-(3) רואים כיצד בקיפוד-ים מיוחד במינו, **קדחנית השונית**, השוכן באופן קבוע בחורים עגולים שהוא עצמו קודח בסלע (מימין), **שיפוע הפחיסות*** של השלד הפוך מזה של קיפוד-ים רגיל (שמאל).

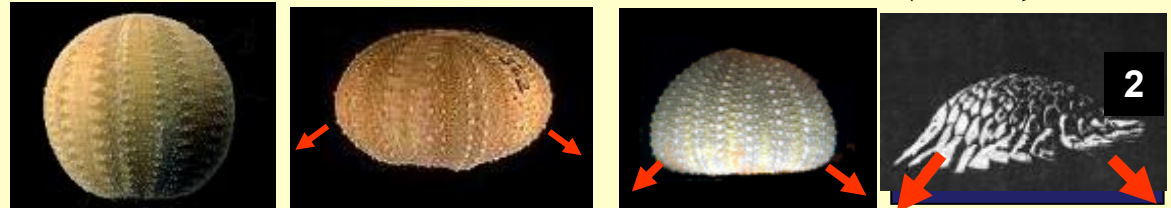


קיפוד-ים רגולרי ששלדו הומס השומר על צורתו

מתחה כלפי מעלה 3 מתחה כלפי מטה

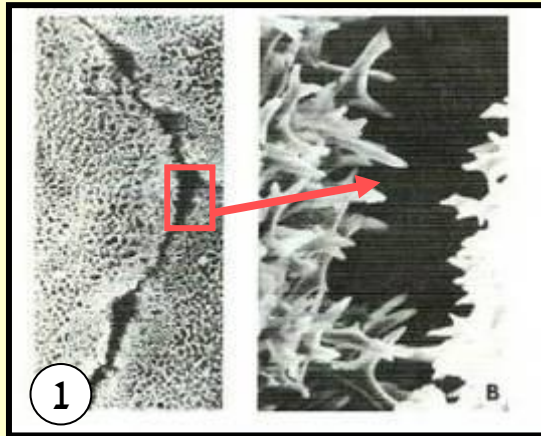


קדחנית (מימין) במיקומה המיוחד, והפיכת שיפוע הפחיסות שלו כתוצאה אפשרית מעמדתם השונה של רגלי-המים (חיצים מראים כיוון מותח של רגלי המים)



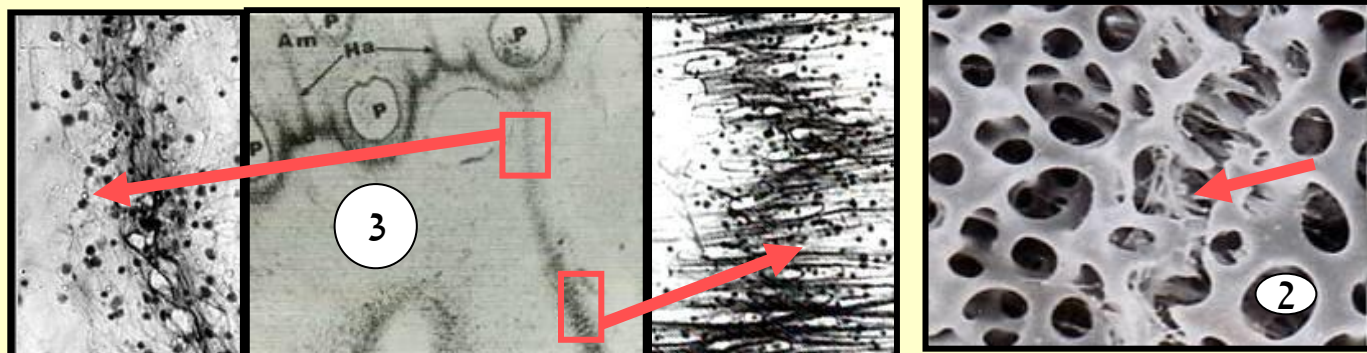
2. הנטייה של קיפודי-ים החיים בסביבה סלעית הדורשת היאחזות בקרקע ברגלי מים, להשטחות (גוברת לאורך החץ התחתון). המין הימני חי בתחום הכרית של הים הטרופי.

הוכחות למודל הביו-מכני (2)



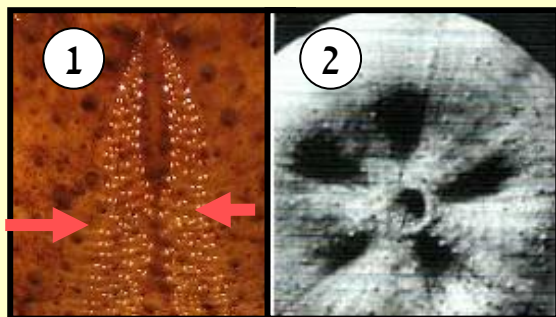
ההיגיון במודל המכני הוא שבעת הגדילה, פועלים כוחות מכניים המכוונים את תהליך הגדילה. בשני הגורמים הראשונים הראיתי שצורת הגוף של קיפוד-הים מרמזת על המצאות כוחות כאלה. בגורם השלישי אני מציג הוכחות לכך שלוחיות המתרחקות זו מזו, יוצרות פער בתפר שביניהן, ובו מתרחשת צמיחה מהירה של "מחטי שלד" המתארכים מלוחית אחת וצומחים לעבר לוחית סמוכה, כדי לסגור את הפער (תמונה 1).

את חוטי הקולגן שבתפר בין הלוחיות אפשר לראות בתמונת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק (2) שנעשתה על שלד שבניקוי שרדו בו חוטי קולגן המחברים בין הלוחיות (חץ). בתמונה האמצעית (3) רואים את החוטים הללו במיקרוסקופ האור, בצביעה מיוחדת, מתוך רקמת הלוחית שהגיר הומס בה. במרכז הלוחית במערך השלד, ומשני צדי התמונה הראשית שני תפרים – מימין, תפר פעיל שלאורכו גדילה מהירה וחוטים רבים ומתוחים ומשמאל, תפר כמעט לא פעיל בו הגדילה איטית והחוטים מועטים ורפים. התמונה הראשית מראה גם כי קימת גדילה שונה בשני קטעים של אותו תפר, השקעה מהירה נובעת ממתחה בכיוון זה ואיטית נובעת מלחץ דחיסה באחר. מכאן שלוחית יכולה להימתח בכיוון אחד ולהידחס בכיוון אחר.



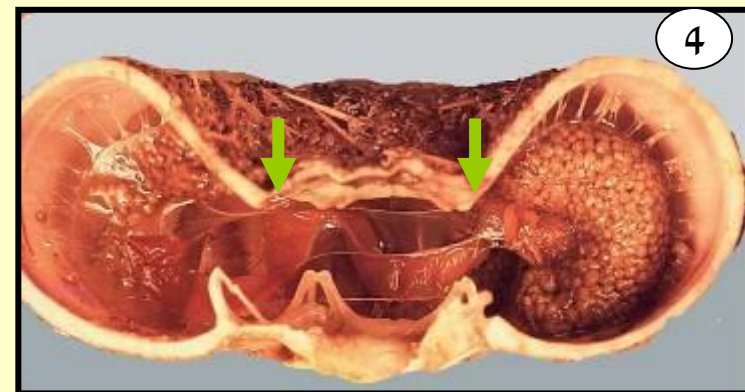
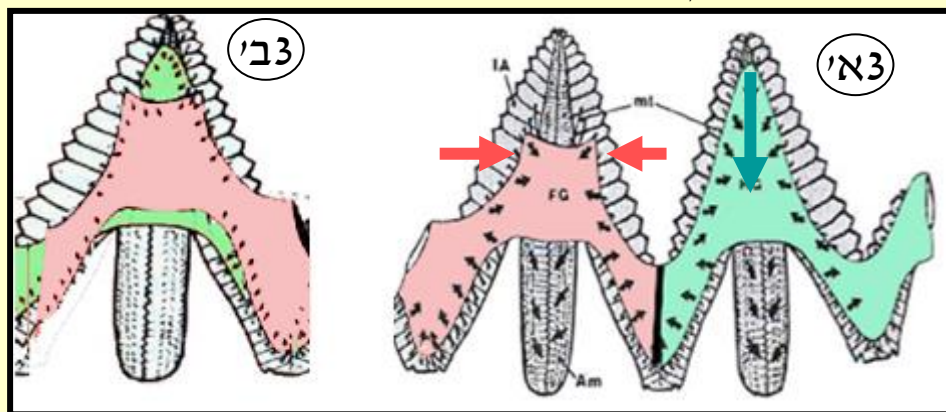
בתמונות: (2) תפר שבין שתי לוחיות וחוטי קולגן מעטים (חץ). (3) לוחית גדולה שתפריה מראים צפיפות שונה של חוטי קולגן משני כיוונים: מימין רבים ומתוחים, ובשמאל – מעטים ובמערך לא מסודר, מייצגים גדילה איטית או חסרה.

הוכחות למודל הביו-מכני (3)



התפקיד הביו-מכני של חוטי הקולגן המשולבים בתאי שריר האוחזים את המעי מתגלה בעקר במעוותים. שתי תופעות שנקשרו בהם הוא (1) "צביטות" בטור לוחיות רגלי-המים, שהיו נפוצות במעוותי סוג א', בשליש העליון של טור הלוחיות (חיצים), ו-(2) דגם של חמשה שקעים סימטריים בכיפה שקרסה בעיוות מסוג ב'.

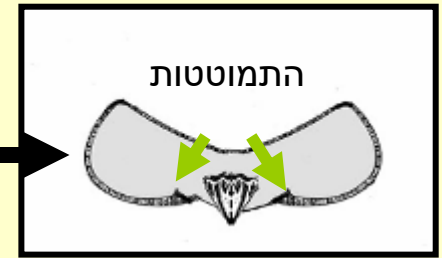
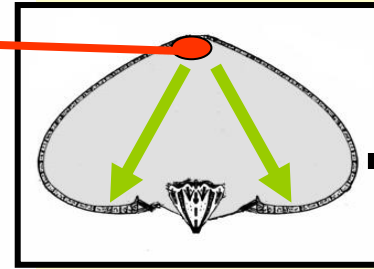
את שתי התופעות אפשר להסביר בהתרככות תפרי השלד שגרמה להתרופפות השלד (עמוד קודם) ולחצים שהופעלו מבפנים, על ידי מערך חוטי הקולגן התומכים במעי. בעמוד 18 ראינו כיצד מקיף המעי את חלל הגוף בשני פיתולים, תוך שהוא נתמך בלוחיות דופן השלד באמצעות חוטים אלה. בתמונה 3א' המעי האחורי (בירוק באיור למטה) ניתלה בטור לוחיות השלד עד לשיא גובהו, ואלו המעי הקדמי (בוורוד) נתלה בטור הלוחיות בשני-שליש גובהו. בתמונה 3ב' נראים שני קטעי המעי האחד מעל השני. ניתן לשער שבתנאים שנוצרו בעת העיוות, המשיכה של המעי הקדמי גרמה ל"צביטה" (חיצים אדומים) ואלו באותם מעוותים שהתמוטטה כיפתם, נגרמו שקעים עקב התכווצות החלק העליון של המעי האחורי (חץ ירוק), וכך נראה הדבר גם בתמונה 4 (חיצים ירוקים)



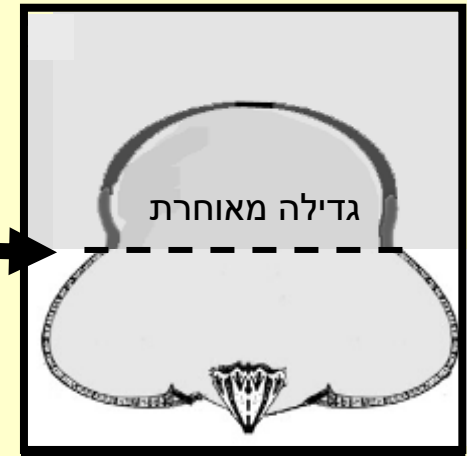
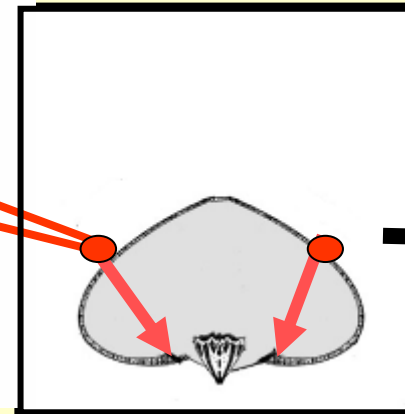
בתמונות: (3) תרשים המראה את צורת האחיזה של המעי בטורי הלוחיות: (3א') חיצים אדומים מראים שלחץ המופעל על הטור מהמעי הקדמי (ורוד) גורם ל"צביטה" ואילו משיכה כלפי מטה (חץ ירוק) גורמת להיווצרות שקע. (4) – עיוות ב' עם צניחת הכפה. חיצים מראים את מקום השקעים.

סיכום העיוותים באמצעות החוטים האוחזים במעי

התמוטטות בשל אילוצים מכניים (עיוות ב') והמשך גדילה מעוותת בקיפודים צעירים (עיוות א')



משיכה בנקודת תלייה עליונה השטחות וקריסה (עיוות ב')



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



כל העיוותים הללו מוכיחים שבתהליך הגדילה של הקטיפן היו מעורבים אילוצים מכניים שנבעו מפעולה של הגורמים שהוזכרו לעיל, שבאו לידי ביטוי עקב היחלשות השלד, הן מהפרעה לרקמת הקולגן והן האטה בהשקעת הגיר בשלד.

תפקידם האקולוגי של קיפודי-ים



בחופי ארה"ב הם יוצרים משטחים נקיים
מאצות הנקראים Urchin barrens



וגם אצלנו - הם מאפשרים התיישבות פוליפי אלמוגים

קיפודי-ים מהווים גורם חיוני ודומיננטי בסביבתם. הם אוכלים צמחים ומסוגלים לנקות שטחים נרחבים מצומח. בדרך זאת הם -

- שומרים על האיזון בין אצות - שמונעות התיישבות אלמוגים - ובין האלמוגים. בהיעדרם משתלטות אצות על השונית.
- כרסום הסלע על ידי קיפודי-ים הופך את גיר השונית לחול לבן ועדין. בכך מצטרפים קיפודי הים לדגי התוכינן ולספוגים קודחים כמפוררי השונית.
- קיפודי-ים אחד הופך שני ק"ג סלע שונית לחול דק בשנה אחת.

קיפודי-ים כפילטר ביולוגי

לאחרונה מכניסים במכון לחקר החקלאות הימית באילת קיפודי-ים למערכות סינון וטיפול במי בריכות דגים – כמסנן ביולוגי.

מינים כאלה, שהשפעתם על סביבתם דומיננטית נקראים "מיני מפתח" Keystone organisms

כמה מלים על ערכם הכלכלי

"ביציי" קיפודי-ים נחשבים למעדן בארצות רבות (יפאן, צרפת). השחלות (uni) נמכרות לאכילה ומיוצאות ליפאן ומדינות אחרות. בעולם נמכרים מדי שנה כ-150 אלף טונות. מחירם נע בין 200 ל-\$400 לק"ג*.



הספקים:
קליפורניה, צ'ילה, אוסטרליה

הצרכנים:
יפאן, קוריאה, צרפת



זוהי שחלה אחת



מנה מוגשת

California Gold Uni 80g Tray



Select the quantity (in 80g trays) of California Gold Uni you wish to purchase. Qty:

Our Price: \$15.00

(Minimum order: 2)

Stock Status: **In Stock**

* מחיר מבצע: 80 גרם ב-\$15 בארה"ב

"מרובעים" ומרובעים לכאורה – עיוות טבעי וסיבותיו

לקיפודי-ים סימטריה מחומשת, חמשה טורים כפולים של לוחיות רחבות, וחמשה טורים כפולים של לוחיות צרות ומנוקבות, למעבר רגלי-המים (עמוד 9). קיפודי-ים 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 בקיפודי-ים **אי-עיגוליים** *, שם נגרמה על ידי התפתחות הנובעת מאבולוציה (יש הקבלה בין צורות העיוותים לבין תכונות שהתפתחו בדרך אבולוציונית - לא כאן המקום לפרט).



נקודת מפנה אבולוציונית

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 מכוונת 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:

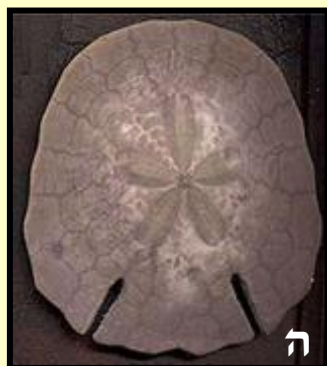
1. הסוג הנכחד **הולקטיפוס** המוכר לנו רק ממאובנים, שמוצאים כמותם בהרי אילת (למטה)



בתמונות מימין: שני מבטים על הולקטיפוס. משמאל מבט מהצד העליון. נראים רק פתחי הרבייה והמפגש של טורי רגלי המים. מכאן נראית סימטריה עיגולית מושלמת, מימינו מבט תחתית המראה את פתח פי הטבעת ליד פתח הפה (סימטריה אי-עיגולית*). להשוואה - משמאל מאבן של **נזרן שונה-קוצים**, בן אותה תקופה המראה את הפתח הרחב בצדו העליון של השלד.

נקודת מפנה אבולוציונית

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-**ה) דיסקיתן מפורץ**, שאף הם תת-קרקעיים. באחרונים, ולמעשה בכל האי-עיגוליים, הפך החלק העליון של מערכת רגלי המים לאיבר נשימה וקבל צורת פרח.

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 מתפזר ונעלם במהירות גדולה יותר.
2. הקטיפן האילתי הוא עדין, דק-שלד ורגיש יותר ממינים אחרים.

נראה ששתי התשובות נכונות לפחות בחלקן. עובדה היא כי בשנים האחרונות הופיעו העיוותים שנית בחוף שלנו. נקוה שמחקרים בעתיד יזהו את המזהמים הגורמים לתופעה זו, שאין לה משל ורע באזורים אחרים בעולם.



לא תמו כל פלאינו : קטיפנים מעוותים שנתגלו בשנים האחרונות 2006-2008 באילת

בשולי הדברים

תם ולא נשלם. ספרון זה מתאר מחקר שלמרות שבוצע לפני 25 שנים, לא הפסקתי לעסוק בו מאז. פרסמתי כתריסר מאמרים מדעיים על הניסויים והתובנות שנתגלו בו ובגיננו. במכוון לא הובאו בספרון זה כל העובדות שנתגלו במחקר זה שהיה עבורי חוויה מטלטלת, וחשף רעיונות חדשניים. עם זאת, לא תמצאו כאן את הנושאים הבאים:

- א. מהו הקשר שבין מערך הלוחיות בשלד קיפוד-הים לבין מערך של בועיות סבון?
- ב. מדוע נראית האבולוציה של קיפודי-ים והמעבר מקיפודי-ים עיגוליים* ללא-עיגוליים* כעיוות טבעי?
- ג. מדוע כינתי את קיפוד הים בכינוי: "החיה שירדה משולחן השרטוט"?
- ד. במה שונה הקטיפן האילתי מהקטיפן המצוי בכל רחבי האוקיינוס ההודי והשקט?

כמו כן רציתי לחסוך לקורא את הטורח לקרוא תיאורים ארוכים של מהלך ניסויים שבאו להוכיח את ההשערות שהצגתי כאן. אולם, מי שבכל זאת ירצה להעמיק במתואר כאן ולמצוא את התשובות לשאלות שהצגתי לעיל יוכל לעין בספר האינטרנטי "**מוזר הוא שמים האמצעי**" בכתובת:

www.dafni.com/strange.pdf

בו תמצאו גם את רשימת המאמרים ונספחים המתארים את קווצי-העור האחרים שלא נכללו בספרון זה.

באשר לזיהוי מיני קווצי-העור שבמפרץ אילת, העלינו לרשת מדריך אינטרנטי שכתובתו:

www.dafni.com/echinodermata/index.htm

זהו אחד מהאתרים הנכללים ב- "**מדריכי הים של ד"ר דפני**" - תמצאו אותו בגוגל ובאתר הבית שלנו.

- **אברי מין** : ריכוזי תאים המכילים את הביצים @ (שחלות) והזרע (אשכים) בגוף החיה. נקראים גם בשם גונדות. בקיפודי-ים יש חמשה כאלה.
- **אנדמי** : צמח או בעל חיים שתפוצתו היא בתחומי ים אחד, או כברת ארץ אחת. קטיפן אילתי למשל הוא תת-מין אנדמי לים סוף הנבדל מבן מינו האוקיאני בכמה תכונות. מחקר עתידי ימצא אל נכון שהבדל זה מצדיק לכנותו מין נפרד.
- **אצה** : צמח ימי שלעתיים הוא רב-תאי, ומגיע לגדל ניכר ולעיתים הוא חד-תאי הנראה במיקרוסקופ.
- **ביצית, ביצה** : תוצרי המין של נקבות בעלי-חיים@. בגוף הנקבה הן ביציות, שנפלטות לים כביצים מופרות בזרע הזכר.
- **בית-גדול** : המקום ותנאי הסביבה שבהם חי או גדל בעל-חיים@ או צמח@. לכל יצור בית גדול המתאים לו.
- **בעל-חיים** : שם אחר לחיה. כל היצורים הניזונים מאכילת צמחים או טרף של בעלי-חיים אחרים.
- **גיר** : חומר מינרלי שממנו עשויים הקונכיות ושלדי@ חיות. בקווצי-עור הגיר מעורב במינרל נוסף, מגנזיום@.
- **הדמיה** : הצגת תופעות או תהליכים באמצעות ציורים או מודלים שונים?
- **הידראולי** : הקשור בלחיצים של נוזל. כאלה הם משאבות, צינורות וכד' (נקרא גם **פנאומטי**). מערכת הדם היא מערכת הידראולית.
- **זיהום** : פליטה לים או לסביבה בכלל של חמרים מזיקים הגורמים למחלות, לתופעות עיוות או מגבילים אותם בדרך אחרת.
- **חד-מיני** : יצור ממין אחד, זכר או נקבה. דו-מיני הוא בעל-חיים או צמח שיש בו תכונות של זכר ושל נקבה כאחד.
- **טפיל** : הוא מי שחי על מזון שמישהו אחר הכין לעצמו או שהוא גורם לשכניו נזק. טורף לעמתו הורג את קרבנו.
- **כוכב-ים** : בעל-חיים ממחלקת כוכבי-הים בקווצי-העור. הם לרב טורפי צדפות (צדפה@)
- **כפתור הצמדה** : החלק הקיצוני ברגל-המים, המהווה התרחבות בצורת כפתור הנצמד למוצק כלשהו, ומושך או מצמיד אותו.
- **לא-עיגוליים** (אי-רגולריים) : תת-מחלקת קיפודי-הים שצורתם לא-מעגלת. התפתחו מהעיגוליים.
- **לוחית** : עצמית בצורת לוח קטן, ממנו עשוי השלד של קווצי-עור רבים, בעקר קיפודי-הים קיפודי-ים. עצמיות אחרות יש לחיות אחרות מאותה קבוצה.
- **מגנזיום** : חומר מינרלי שהוא מצטרף לסידן שיחד יוצרים גיר@ עשיר במגנזיום ובעל קשיות רבה מזו של גיר רגיל.
- **מוטציה** : שינוי בתכונות הגנטיות של יצור כלשהו, כתוצאה מנזקים או שינויים בצופן הגנטי שלו. מוטציה עשויה ליצר תכונות חדשות.
- **מלבין** : חומר בעל תכונות בסיסיות, כמו כלור או דומי שממס רקמות וחמר אורגני, להבדיל מחומצות שפוגעות בעקר בגיר השלד.
- **מערכת העיכול** : מערכת לטיפול ועיכול המזון, הכוללת את הפה, אברי לעיסה, הושט והמעי. בקיפודי-ים היא מסתימת בפי-טבעת.
- **משפחה** : קבוצת צמחים או חיות הכוללת כמה סוגים ומינים@ שדמיונם זה לזה מעיד על קרבה.
- **עיגוליים** (רגולריים) : תת-מחלקת קיפודי-הים שצורתם מעגלת. כנגדם הלא-עיגוליים@ הם בעלי סימטריה דו-צדדית.
- **פגית** : הצורה העוברית של בעלי חיים ימיים בעקר מחסרי החוליות, השוחים במים. לכל קבוצה סוג משלו. לקווצי העור פגית בשם פלוטאוס.
- **פי-הטבעת** : פתח אחורי בבעלי חיים. בקיפודי-ים הוא נמצא לרב בצד העליון ("הקטב הצפוני", בהשאלה ממבנה כדור הארץ).
- **פלנקטון** : יצורים שצפים או מרחפים במים, הנסחפים עם זרמי המים. בהם נכללים הן צמחים@ והן בעלי-חיים@. רובם קטנים מאד.
- **פנס אריסטו** : אבר הלעיסה של קיפודי-ים, המכיל חמש שנים הערוכים בתוך נדנים. המערכת כוללת שרירים רבים. נקרא על שם אריסטו.
- **פרומון** : הורמון "חברתי" הנפלט מבעל חיים אחד, ומשפיע על אוכלוסיית בני מינו בעקר לתזמון הרבייה.
- **"צביטה"** : הצרות של מערכת לוחית רגלי המים @, הנגרמת בעיוות בקיפודי-ים.
- **צדפה** : רכיכה שקונכיותה מורכבת משני חלקים (קשוות). לרב שקועה בקרקע הים, אך לעיתים צמודה לסלעים. לחלזון קשווה אחת, מסולסלת.
- **צמחוני** : בעל-חיים הניזון מאכילת צמחים. כאלה הם התוכיון, הדג המכרסם באלמוגים בשינוי הקשות, ניזון בעקר מהאצות הגדלות לצדם.
- **קולגן** : חלבון המהווה את עקר הנפח של רקמות החבור של בעלי חיים. לקווצי-עור קולגן בר שינוי, המשנה את צמיגותו וקשיותו ברצון החיה.
- **"קו המשווה"** : (אמביטוס) הקו המרכזי שבשלד עיגולי של קיפוד-ים, בהשאלה ממבנה כדור הארץ.
- **רגל מים** : צינור הידראולי המסתים בכפתור הצמדה. אבר התנועה של קווצי-עור (כוכבי-ים, מלפפוני-ים וכו')
- **רודופסין** : חלבון הראייה, המצוי בעיני בעלי חיים רבים ובאדם. רודופסין מסוג שונה מצוי בעור קווצי העור ומקנה להם כושר ראייה.
- **שיפוע פחיסות** : שיפוע השלד של קיפודי-ים – התרחבותו לקראת מגע עם הקרקע. נגרם על ידי פעלת השרירים שברגלי המים@.
- **שלד** : רקמת חומר מינרלי התומך בצורת הגוף של בעלי-חיים. בבעלי-חיים גדולים, כמו דגים, זוחלים ויונקים, השלד עשוי חוליות עצם.
- **שינוי** (מטמורפזה) : המעבר מצורת העובר (הפגית@) השוחה במים לצורת מעבר (אכינוס), המתפתחת לקיפוד הים הבוגר.

הכותב

ד"ר יעקב דפני הוא ביולוג ימי, שאת מיטב שנותיו בילה על חופו של ים אילת ופרסם מאמרים וספרים על החי בו. הוא מאמין שהאהבה לים וידע הים כרוכים זה בזה, ואין האחד בא בלי השני.

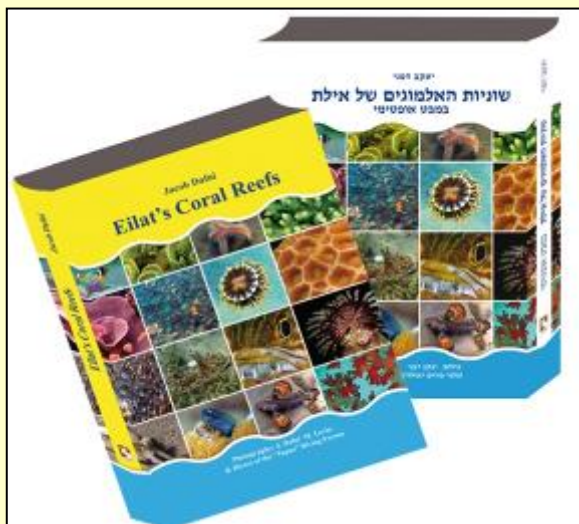


האהבה לים ולשוכניו היא התקווה החשובה ביותר לשמירת הטבע התת-ימי שלנו. ספר הילדים הראשון שלו, "הרפתקה בים-סוף" יצא לאור בספרית "פשוט" של הוצאת הספרים "שוקן" לפני כ-25 שנה. לאחרונה הוציא את הספרים האינטרנטיים "אלף-בית של דגים" ו"יחיו האלמוגים".

הוצאת יעלה

הוצאת ספרים אילתית לנושאים אזוריים. בהוצאה זו יצאו לאור הספרים "שונות האלמוגים של אילת במבט אופטימי" ו"הרי אילת". זהו ספר אינטרנטי, שנועד לילדים ונוער, שלישי בהוצאה זו. בכוונתנו להוסיף ולהציג ספרים נוספים בנושאים אלה.

למותר לציין כי אני ממליץ על ספרי ועל האתרים שמיצגים נכוחה את הכוונה להוסיף על ידע הים ויצוריו.



למידע נוסף פנו אל הכתובת באינטרנט:

www.dafni.com/

הצלמים: רוב הצילומים צולמו על ידי המחבר. נוספו עליהם צילומי מיכאל לוין, אנגילו קולורני, רזי כהן, Ria Tan שהמחבר מודה להם מאד. תודה מיוחדת ליוסף קובי ורמה קובי-דפני על ההגהה.

© ספר זה מוגן על פי חוק זכויות היוצרים. הוא נועד לצעירים וגם מבוגרים ימצאו בו עניין, ויעבירוהו הלאה מבלי לשנותו. מותר לפרסם קטעים ממנו למטרות לימודים בלבד.