

מעבדה מס' 8 - קווצי עור (Echinodermata)

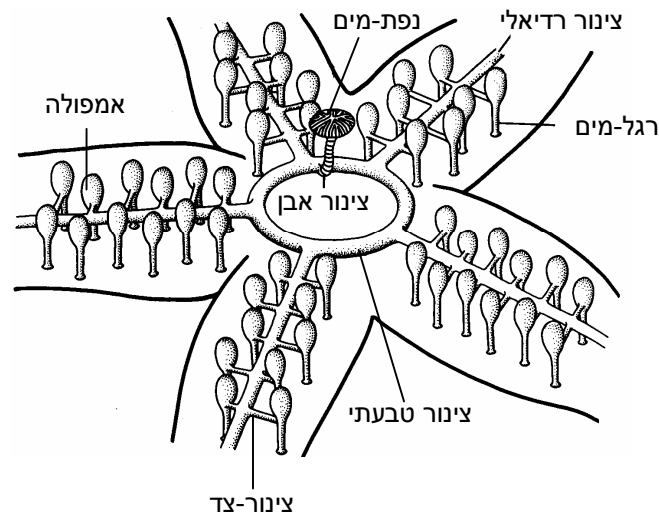
קווצי העור הם מערכה של בעלי חיים ימיים, בעלי דגם גוף יחסית פשוט ויוצא דופן. במהלך האבולוציה המוקדמת של קווצי העור, הם עברו התאמות לאורך חיים ישיב, במסגרתו איבדו את הסימטריה הדו-צדית האופיינית לבילטריה, ויחד עמה מאפיינים נוספים. במקביל, פיתחו מספר מאפיינים היחודיים למערכה זו בלבד. במערכה יש כ-7000 מינים, אך מספר הפרטים של בני מערכה זו גדול, וכתוצאה מכך, הם בין בעלי החיים הנפוצים במערכות אקולוגיות ימיות רבות.

המערכה מתאפיינת בסימטריה רדיאלית מחומשת **pentamerous radial symmetry**, כלומר ניתן לחלק את הגוף לחמישה חלקים המסודרים סביב ציר מרכזי. בגוף אין ראש, ולרוב אין קצה קדמי ואין קצה אחורי. הציר העיקרי מבחין בין צד נושא-פה **oral** כנגד צד חסר-פה **aboral**. גם המערכה צורבים (בה יש משושות-צייד היוצאות מדיסקה מרכזית) היא בעלת סימטריה רדיאלית, אך קווצי-העור אינם קרובים אליהם: הסימטריה הרדיאלית של הצורבים היא מקורית ואילו הסימטריה הרדיאלית של קווצי-העור היא משנית גם אבולוציונית וגם עוברית, כאשר כל פרט מתפתח מתוך עובר בעל סימטריה בי-לטראלית (דו-צדית).

מאפיין נוסף של המערכה הוא שלד פנימי של לוחיות-גיר קשיחות (=גרמיות) **ossicles**. בקרב קווצי-העור יש שונות בקשיחות השלד, מהקליפה הקשיחה של קיפודי-ים בהם הגרמיות מאוחות ביניהן ועד לגוף התולעני והרך של מלפפוני-ים שבהם הגרמיות מיקרוסקופיות ופזורות בינות לרקמות החיבור הרכות של הדרמיס. במקרים רבים יש לשלד בליטות המקנות לחיה מראה קוצני ומכאן שמם המדעי (בעלי עור קוצני) והעברי. מתחת לאפידרמיס יש רקמת חיבור סיבית **dermis** (ממוצא מזודרמלי), בו רבדות גרמיות שלד קטנות, המורכבות גיר **CaCO₃** (95%) בתוספת כמויות קטנות של מגנזיום (**MgCaCO₃**). גרמיות אלה מקשיחות את העור. פני הגרמיות נושאים גבושיות או קוצים. לוחות גיר וקוצים אלה מהווים שלד פנים-גופי. קווצי-עור מתייחדים בכך שהם יכולים לשנות במהירות ותחת בקרה עצבית את תכונות רקמת החיבור של העור: תוך שניות יכול העור להפוך מקשיח מאד לגמיש מאד. תופעה זו, המכונה רקמת חיבור בת-שינוי **mutable connective tissue**, מתרחשת הודות לפולימריזציה מהירה של גידים המצויים בדרמיס. שתי מערכות עצב מגיעות לעור, האחת מקשיחה את רקמת החיבור והאחרת מרככת אותו. התהליך מתבצע ללא מעורבותם של שרירים.

ראוי להדגיש את ההבדל בין שלד קשיח זה של קווצי העור לבין זה של פרוקי הרגליים שפגשנו בשבועות האחרונים. ראשית, מבחינה היסטולוגית, השלד אינו מחוץ לגוף, אלא מכוסה בשכבה חיצונית אפידרמלית. שנית, השלד אינו בנוי מלוחות קשיחים וממופרקים, אלא מגרמיות קטנות היושבות בתוך רקמה חיה. תכונה מרכזית זו מאפשרת לבעל החיים לגדול תוך הגדלת השלד, ללא צורך להתנשל. רקמת החיבור בת-השינוי מאפשרת קשיחות רבה של השלד בעת הצורך, ללא אובדן גמישות.

תכונה נוספת המאפיינת את קווצי-העור היא מערכת ייחודית של צינורות-מים – **water-vascular sys-** **tem** בתוך הגוף, המשמשת לתנועה וגם לנשימה. לקווצי-עור יש חלל-גוף (צֵלוֹם **coelom**) מרווח בו מצויה מערכת-עיכול מפותחת. הצֵלוֹם משמש לפיזור מזון וחמצן ברחבי הגוף, תפקודים שבקבוצות אחרות מבוצעים על-ידי מערכת-הדם. מערכת צנורות-המים מהווה המשך ישיר לצלוֹם. מנגנון זה פתוח למי-הים הסובבים דרך נקבוביות זעירות בנפת-המים **sieve plate (madreporite)**, לוחית מחוררת יחודית באחד מקצוות הגוף. המים שחודרים מבעד לנפת-מים מתנקזים לתוך "צינור אבן" אנכי **stone canal** (הוא נקרא כך בגלל משקעי הגיר על דופןותיו) בו יש ריסונים המכים פנימה והמושכים בכך מי-ים אל תוך המערכת. צינור-האבן מתחבר לצינור טבעתי **ring canal**. מצינור טבעתי זה יוצאים חמישה צינורות רדיאליים **radial canal**. כל צינור רדיאלי מתחבר, באמצעות סדרת צינורות-צד, לאמפולות **ampullae** שהן שלפוחיות שריריות (קיימות רק בחלק מן הקבוצות), וכן לרגלי-מים, שהן שלוחות עיוורות, שריריות וחלולות של מערכת צינורות-המים, היוצאות אל מחוץ לגוף. כל רגל-מים מסתיימת בצומדן **sucker**. תנועת רוב קווצי העור מושגת באמצעות מנגנון לחץ הידראולי יחודי על בסיס רגלי המים. מערכת צינורות-המים מלאה אפוא במי-ים (בתוספת תאי צֵלוֹם, מעט חלבונים וכן גם בריכוז גבוה של יוני אשלגן). לקווצי העור אין מערכת הפרשה, וריכוז המלחים במערכת צנורות-המים קרוב מאוד לריכוז המלחים בסביבה. כתוצאה מחסרונה של מערכת אוסמורגולציה (בקרת מליחות), אין קווצי עור במים מתוקים.



From: Pearse, Pearse,
Buchsbäum & Buchsbäum, 1987

מערכת צינורות המים בכוכב ים

פני הגוף נושאים גם צבתונים **pedicellariae** שהם איברים דמויי-צבת המגינים על בעל החיים מטפילים ויצורים אחרים המתיישבים עליו. הצבתון בנוי גרמית-בסיס חסרת-תנועה שעליה יש שתיים-שלוש גרמיות בנות-תנועה הסדורות בנייהן כך שהן מתפקדות כצבת או כמספריים. בנוסף לצבתונים הרגילים יש צבתונים נושאי-ארס.

נוזל הצלום מעביר לרקמות חמצן, המפעפע אליו מרגלי-המים. מכיון שהרגל דקת-דפנות היא קולטת חמצן מהים הסובב (ופולטת פחמן דו-חמצני). בחלקה הפנימי של כל רגל-מים יש צלום המרופד באפיתל ריסוני (הפריטונאום). לפי כך מתערבל הנוזל טעון החמצן בנוזל הצלום, ומוסע ברחבי הגוף.

מערכת העצבים פשוטה בהיותה נעדרת מוח וגנגליה, ובנויה מרשת מבוזרת של סיבי עצב. את התגובות מתאי החוש שבאפידרמיס מלקטים חמישה כבלי עצב רדיאליים, המתחברים בטבעת עצבים המקיפה את הפה **circumoral nerve ring**. רשת עצבים נוספת (גם היא עם טבעת סביב הפה) מתאמת את תנועת רגלי-המים. אברי חישה נמצאים על רגלי המים עצמן. בנוסף יש איברים הרגישים לאור במקומות שונים בקבוצות השונות.

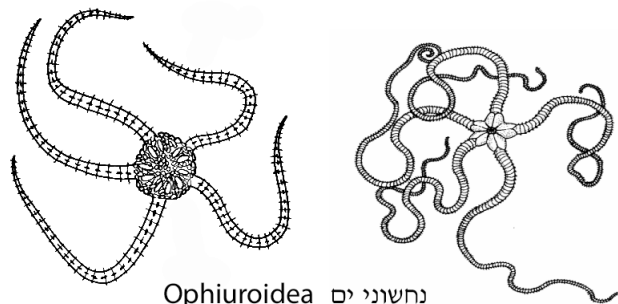
בקווצי העור קיימות חמש מחלקות עיקריות:

Asteroidea - כוכבי ים - טורפים איטיים, בעלי זרועות קשיחות.



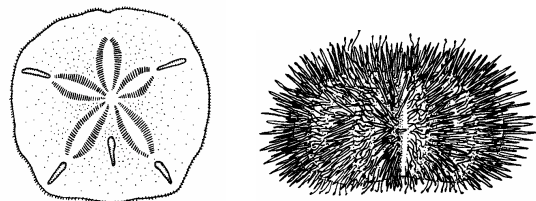
כוכבי ים Asteroidea

Ophiuroidea - נחשוני ים - דומים לכוכבי-הים, אך בעלי זרועות גמישות.



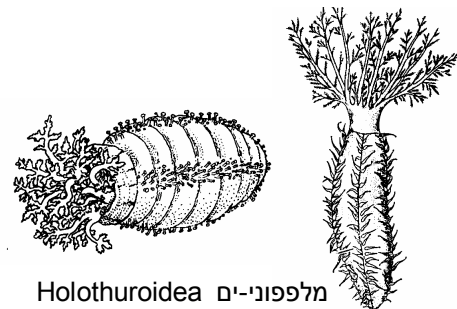
נחשוני ים Ophiuroidea

Echinoidea - קיפודי ים - בעלי מבנה כדורי או ביצי ומכוסים קוצים או זיפים. השלד מתאחה ליצירת קופסית קשיחה.



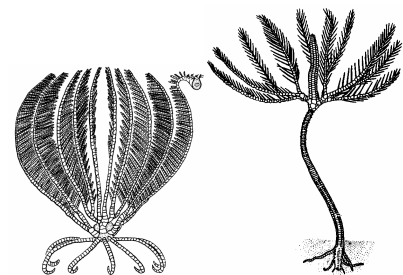
קיפודי-ים Echinoidea

Holothuroidea - מלפפוני ים - הציר האורלי-אבאורלי התארך והתפתח לציר קדמי-אחורי. בעלי שלד רך יחסית.



Holothuroidea מלפפוני-ים

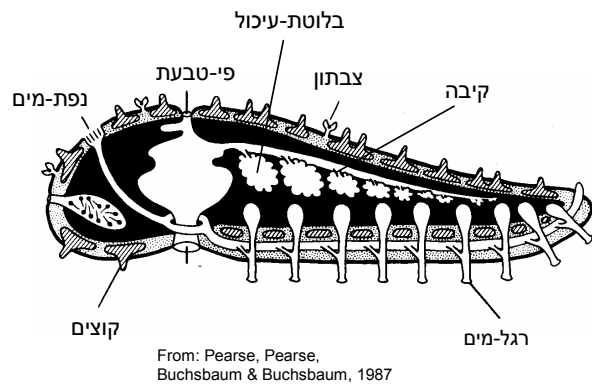
Crinoidea - חבצלות ים - משמרות את דגם הגוף הקדום של קווצי העור. כולן ישיבות או קביעות ומחוברות למצע. הפה פונה כלפי מעלה.



Crinoidea חבצלות-ים

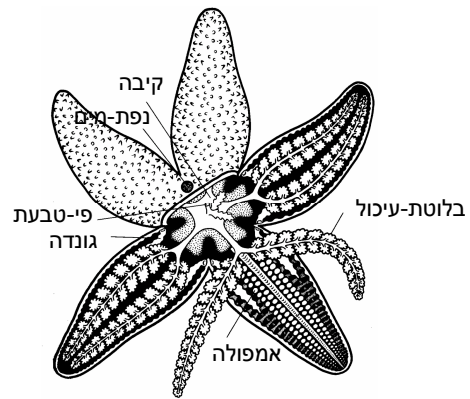
Asteroidea - כוכבי ים

כוכבי הים כוללים כ-2000 מינים. רובם טורפים או אוכלי נבלות. בעלי חמש זרועות היוצאות ממרכז הגוף ללא גבול ברור. התנועה היא באמצעות רגלי המים על פני המצע. הפה פונה כלפי מטה, ואילו פי הטבעת נמצא בצד האבאורלי, פונה כלפי מעלה. מערכת העיכול רדיאלית. הפה מוביל אל ושט **esophagus** קצר הנפתח אל קיבה גדולה, ממנה מסתעפות לכל זרוע שתי אונות של בלוטת-העיכול. מהקיבה נמשך כלפי מעלה מעי קצרצר הנפתח החוצה בפתח פי-הטבעת. להשגת מזונו תלוי כוכב-הים בחלק התחתון/קדמי של קיבתו, שהוא שליף. בכך מתאפשר עיכול שהוא חוץ-גופי. טיפוסית, כוכבי-ים ניזונים מיצורים שהם או איטי-תנועה או ישיבים או קביעים, כגון צדפות. את טרפו הוא מאתר על-פי חומרים הדולפים מן הטרף אל המים. כוכב-הים מטפס על צדפה, פוער את קשוותיה תוך הסתייעות ברגלי-המים שלו ואז הוא שולף החוצה את חלקה התחתון של הקיבה (כאצבע הפוכה של כפפה) ומחדיר אותה לתוך הרווח בין הקשוות. דופן הקיבה מתחילה כעת לייצר ולהפריש כמויות גדולות של אנזימים מעכלי-חלבון ואלה קולחים פנימה ומעכלים את בשר הצדפה - מבלי שהצדפה בכלל נבלעת אל תוך גוף כוכב-הים. מתוך גופת הצדפה מוסעת עיסת החומר המעוכל אל תוך פה כוכב-הים, לאורך מסלולי ריסונים המובילים אל קיבתו. מכאן ממשיך המזון ומוסע לחמישה זוגות של בלוטות עיכול (זוג בכל זרוע) הסופגות ואוגרות את תוצרי המזון המעוכלים. מעט הפסולת הנותרת מוסעת דרך מעי קצר לפי-הטבעת, שם הוא נפלט.



From: Pearse, Pearse, Buchsbaum & Buchsbaum, 1987

חתך בכוכב ים

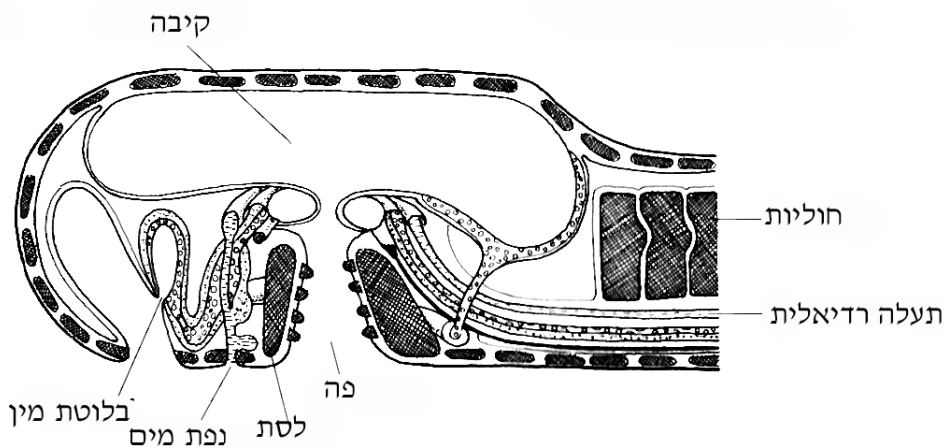


ניתוח כוכב ים

יכולת הרגנרציה של כוכבי-הים מפותחת מאד, כאשר חלקי זרוע וכן גם אזורים של הדיסק המרכזי מסוגלים להתחדש. אכן, די בחמישית של דיסק הקשורה לזרוע כדי שיתחדשו כל האיברים החסרים ויתהווה פרט שלם, חדש ברובו. יתרה מכך, אם חלק הדיסק הנותר מכיל את נפת המים, אין צורך אפילו בחמישית. יש אפילו כמה מינים הקוטעים את הזרוע בסמוך לבסיסה, וגם זרוע קטועה זו מסוגלת לייצור מחדש פרט שלם. הרגנרציה היא איטית והשלמתה יכולה להימשך שנה.

נחשוני ים - Ophiuroidea

דומים לכוכבי הים, אך נבדלים מהם בכך שהזרועות מובחנות מן הדיסק המרכזי באופן ברור, והזרועות גמישות ובעלות יכולת תנועה עצמאית. בקבוצה זו כ-2000 מינים שרובם ככולם טורפים פעילים. השלד קשיח יותר מזה של כוכבי הים, אך הזרועות מורכבות ממספר רב של חוליות *vertebrae* המאפשרות תנועה חופשית של הזרוע. ההתקדמות היא באמצעות תנועת "הליכה" של הזרועות, ולעתים אף בשחיה. הציד מתבצע על ידי לכידת הטרף באמצעות זיזים ו/או ריר על הזרועות. הפה פונה כלפי מטה, אך אין פי טבעת, והפסולת מופרשת דרך פתח הפה.



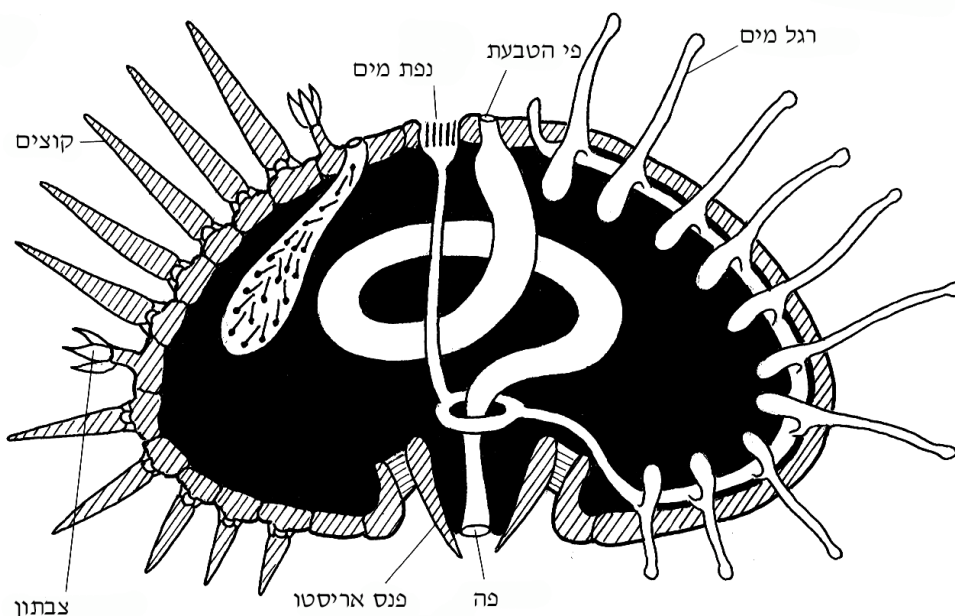
From Moore 2006

חתך בנחשון ים

מערכת החושים מפותחת יחסית ורגישה לשינויי אור וצל. מערכת העצבים אף היא מפותחת, לשם תיאום הקלטים החושיים והתנועה המורכבת.

קיפודי ים - Echinoidea

כ-950 מינים של בעלי חיים איטיים האוכלים רקב ואצות. חסרי זרועות, ובמקומן יש חמש תעלות הנמשכות מפה החיה הפונה כלפי מטה, אל עבר הצד העליון האבאורלי. מכוסים בדרך כלל בקוצים, היכולים להיות דקים וחדים, עבים וקהים, או דמויי זיפים קצרים. הקוצים משמשים להגנה, אך גם לתנועה, באמצעות מפרוק של הקוצים לשלד הגירני. הלוחיות של השלד הפנימי מתאחות ליצירת קופסית קשיחה **test**. רגלי המים יוצאות מן התעלות האורכיות, גם כלפי מטה, שם הן משמשות כעזר לתנועה, וגם בצדדים וכלפי מעלה, שם הן משמשות לנשימה ולחישה.



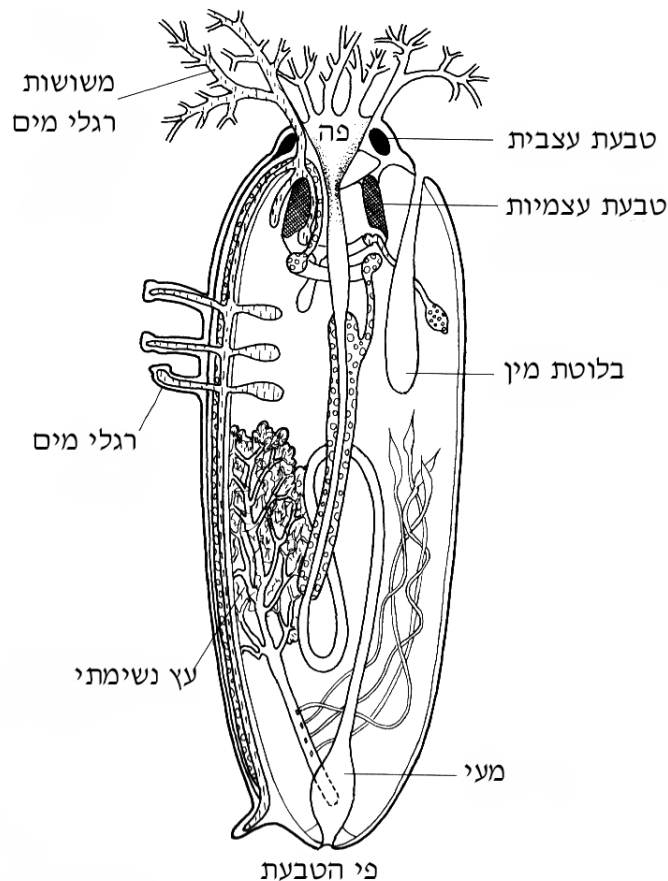
חתך סכימטי בקיפוד ים

התזונה היא על ידי גרוד חומר צמחי או רקבוביות מן המצע באמצעות מערכת לסתות ושיניים קשיחות המכונות פנס אריסטו. מערכת העיכול מתפתלת בתוך חלל הגוף, ונפתחת לפי טבעת עליון.

בין קיפודי הים ישנן מספר קבוצות אשר פיתחו באופן משני סימטריה דו-צדית. קבוצות אלו בדרך כלל גם פחוסות יותר, ובעלות קוצים קצרים. רובם מתמחים בהתחפרות בחול או במצע רך אחר. פי הטבעת נדחק לעמדה אחורית (יחסית לציר הגוף החדש) בצד האבאוראלי.

מלפפוני ים - Holothuroidea

קבוצה קטנה (כ-900 מינים) של קווצי עור שעברו שינוי מהותי יחסית לדגם הגוף הבסיסי. קבוצה זו מציגה את מגוון דרכי המחיה הרחב ביותר בקרב קווצי העור, כולל מינים מתחפרים, זוחלים ושוכני הריצים, וישנם אפילו מספר מינים שוחים. הציר האוראלי-אבאוראלי התארך משמעותית והפך מקביל למצע, תוך שהוא משתנה בפועל לציר קדמי-אחורי. מכיון שיש להם ציר קדמי-אחורי ברור, יש להם גם סימטריה דו-צדית. שלד הגוף מורכב מלוחיות קטנות יותר מאשר בנציגי שאר הקבוצות, ועיקר קשיחות הגוף מתקבלת מרקמת החיבור בת השינוי. כשרקמה זו רפויה, מלפפון הים רך וגמיש כמעט כמו רכיכה. אין קוצים או צבתונים. הנשימה היא באמצעות עץ של צנורות המשכיים למערכת העיכול. מערכת של רגלי מים מתמחות המקיפות את הפה (הוא הצד הקדמי) פונות קדימה ומשמשות כמשושים. הצד ה"גחוני" כולל שלוש סדרות של לוחיות ואילו הצד ה"גבי" כולל שתי סדרות, להשלמת הסימטריה המחומשת סביב ציר הגוף. רגלי המים שעל הצד הגחוני (או הסוליה) משמשות לרוב לתנועה.



חתך סכימתי במלפפון ים

חבצלות ים - Crinoidea

קבוצה עתיקה מאוד של קווצי עור הכוללת כיום כ-700 מינים. כל המינים הם ישיבים או קביעים. לחלקם יש גבעול המחבר אותם אל המצע, אך יש גם כאלו שאיבדו את הגבעול ונעים במים בתנועה המזכירה נוצות ברוח. בעלי סימטריה רדיאלית, מחומשת לרוב - אך לא תמיד. הזרועות דקות ומנוצות, ולרוב יש יותר מחמש זרועות (10, 15 ואף עד 80 זרועות). הפה פונה כלפי מעלה, ואיסוף המזון הוא באמצעות הזרועות, הקולטות חלקיקי מזון מורחף, ומובילות אותו באמצעות רגלי המים לאורך מרזבים אל הפה. פי הטבעת פונה אף הוא כלפי מעלה, והוא בעל מיקום צדי לכיוון אחת הזרועות, ברווח בין לוחות שלד. השלד קשיח יחסית, והתנועה רובה ככולה באמצעות שינויים ברקמת החיבור, כמעט ללא מעורבות השרירים. מערכת תעלות המים דומה למה שתואר לעיל, אך אין נפת מים, אלא חורים רבים על פני כל המשטח העליון. כמו כן יש מספר גדול של תעלות אבן, בניגוד לאחת ברוב שאר קווצי העור.

