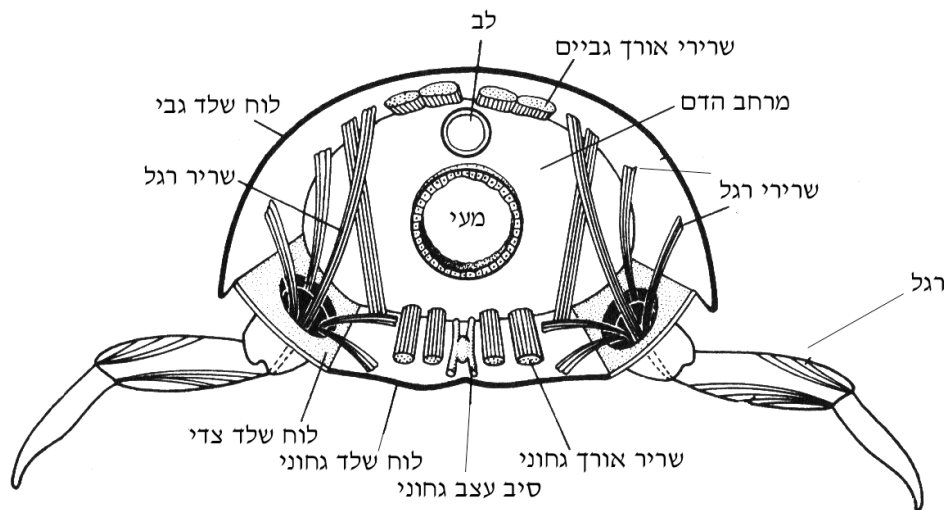


## מעבדה מס' 6 - פרוקי רגליים (Arthropoda)

על פי כל מדד אפשרי, פרוקי הרגליים הם הקבוצה המוצלחת ביותר בעולם החי. המערכה כוללת כמיליון מינים מתוארים, והערכות נעות בין מיליונים ספורים לעשרות מיליוני מינים נוספים שלא תוארו עדין. הם בעלי החיים הנפוצים ביותר בכל האקוסיסטמות<sup>1</sup>, הן מבחינת מגוון מינים, מספר פרטים וביומסה<sup>2</sup> כללית. פרוקי הרגליים עברו התאמות לכל סביבות החיים הקיימות (למעט האזורים היבשתיים בקטבים) ומגוון הצורות המורפולוגיות וסוגי ההתאמות הוא מעל ומעבר לכל קבוצה אחרת.

את הצלחתם של פרוקי הרגליים ניתן לתלות בשתי תכונות עיקריות; דגם הגוף הסגמנטלי מאפשר מודולריות רבה בהתאמת סגמנטים ספציפים לתפקידים מיוחדים; כיוסי הגוף הקשיח מאפשר הגנה, תמיכה, נקודת אחיזה לשרירים והגנה מהתייבשות וכל זאת ללא אובדן יכולת תנועה, בגלל מפרוק לוחיות השלד החיצוני. בתוך פרוקי הרגליים ניתן למצוא התאמות שהביאו להצלחה של קבוצות מסוימות (ונדון באלה בהמשך), אך שתי התכונות שלעיל אופייניות לכל פרוקי הרגליים.

בהמשך לקבוצות שראינו בשבועות האחרונים, גם לפרוקי הרגליים יש שלוש שכבות נבט עובריות, סימטריה דו-צדית וצלום. קיומה של סגמנטציה הוביל חוקרים רבים לקשר את פרוקי הרגליים לתולעים הטבעתיות, שגם הן סגמנטליות. ניתוחים פילוגנטיים מהעשור האחרון מראים מעבר לכל ספק סביר, שפרוקי הרגליים והתולעים הטבעתיות אינם קרובי משפחה. מאידך, השאלה האם לאב הקדום המשותף של שתי הקבוצות (שהוא גם האב הקדום המשותף של כל הבילטריה) היה דגם גוף סגמנטלי, נדונה היום באריכות בספרות המדעית, וטרם הוכרעה.



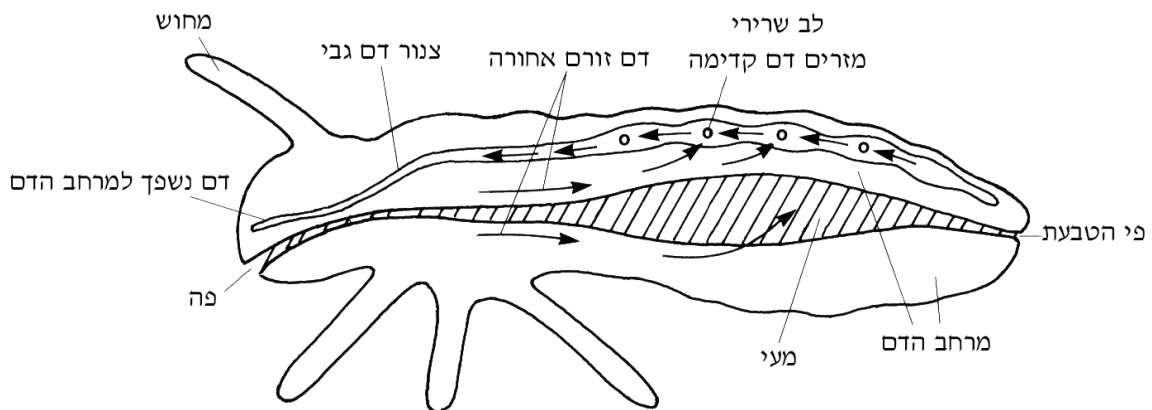
חתך סכמטי בגוף פרוקי רגליים

1. אקוסיסטמה - ecosystem - סביבת חיים הכוללת רכיבים ביולוגים ורכיבים בלתי ביולוגיים
2. ביומסה - biomass - המסה הכוללת של אורגניזמים ביולוגיים

השלד החיצוני בפרוקי הרגליים עשוי כיטין **chitin** בתוספת חלבונים, ולעתים גם מלחי סידן. הכיטין הוא פוליסכריד מורכב הנותן מבנה קשיח שהוא עמיד במים. השלד מכסה כמעט את כל הגוף, אך כולל רווחים בין סגמנטים, על מנת לאפשר תנועה של סגמנט אחד יחסית לשני. הגדילה מתאפשרת על ידי התנשלות תקופתית **moulting / ecdysis**. כאשר בעל החיים נעשה גדול מדי לשלד החיצוני, הוא משיל אותו, מגדיל את גופו כל עוד הוא עטוף בשכבה רכה יחסית, ואז מקשה את מעטפת הגוף ליצירת שלד חיצוני קשיח חדש המתאים לגודלו לאחר הנשל.

מאפיין נוסף של פרוקי הרגליים, והוא הנותן להם את שמם, הוא קיומן של גפיים העטופות גם הן בשלד כיטיני קשיח. הגפיים מורכבות מפרקים, כמו כיסוי הגוף, ופרקים אלו הם המאפשרים תנועה של הגפיים ושימוש בהן לתפקידים שונים. כרגיל הגפיים הן סגמנטליות, כלומר ישנו זוג רגליים לפרק. עם זאת, לא לכל הפרקים יש גפיים. הגוף מאורגן לאזורים תפקודיים שונים, המאופיינים בדרך כלל על ידי טיפוס הגפיים שיש בהם. אזורים אלו נקראים טגמטה **tagmata** וביחיד **tagma**. אם ניקח את הדוגמא המוכרת של חרקים, גופם בנוי משלוש טגמטה: ראש שעל חלק מפרקיו יש גפיים שהתמחו לאכילה (גפי פה), חזה בו יש גפיים שהתמחו לתנועה (גפי הליכה) ובטן שבה בדרך כלל אין גפיים כלל.

הצלום בפרוקי הרגליים מנוון, מכיון שבהנתן שלד חיצוני קשיח, אין צורך בתמיכה ההידרוסטטית שהצלום מספק. חלל הגוף העיקרי הוא מרחב דם **haemocoel**, שבו נמצאת ההמולימפה **haemolymph**. ההמולימפה שוטפת את כל האיברים הפנימיים ומספקת חמצן ומזון. תנועת ההמולימפה היא באמצעות צינור שרירי גבי פועם - הלב - האוסף דם בקצהו האחורי ושופך אותו למרחב הדם בקצהו הקדמי.



מבנה מערכת הדם בפרוקי רגליים

מערכת העצבים המרכזית מפותחת וכוללת בדרך כלל מספר גנגליונים מרכזיים באזור הראש ("המח") וזוג סיבי עצב ההולכים מקדמת הגוף אחורה בצד הגחוני, כאשר בכל סגמנט יש ריכוז סגמנטלי של גופי תאי עצב **segmental ganglion**. אברי החישה העיקריים הם שערות קשיחות השקועות בתוך השלד החיצוני ומחוברות בבסיסן לתא עצב. תנועה של השערה מעוררת את תא העצב, וכך השערות, בהתאם למיקומן ורגישותן, משמשות לחישה על ידי מגע או לחישה תנועת אוויר. שערות אחרות מתמחות לחישה כימית, ובחלק

מפרוקי הרגליים יש מחושים antennae להם יש תפקיד גם בחישה מכנית וגם בחישה כימית. העיניים לרוב מורכבות ממספר עיניות ommatidia, ולעתים ישנן גם עיניות יחידאיות בשני צידי הראש או באמצעו. אין באפשרותנו לדון כאן בכל מאפייני פרוקי הרגליים, ונסתפק בסקירה קצרה של הקבוצות השונות במערכה, ומאפייניהן. חמש המחלקות בפרוקי הרגליים הן:

חרקים Insecta - המחלקה הגדולה ביותר הכוללת את רוב מיני פרוקי הרגליים. בקבוצה זו נדון בפירוט במעבדה הבאה.

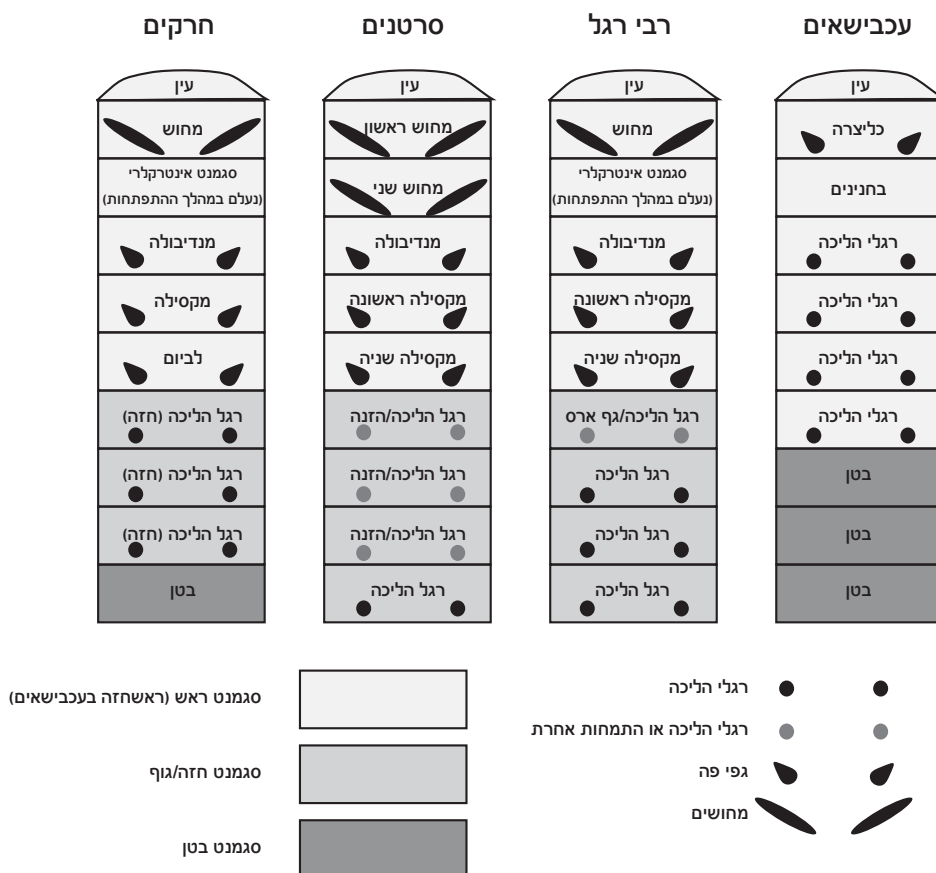
סרטנים Crustacea - מחלקה גדולה ומגוונת. רוב המינים ימיים או במים מתוקים, אך ישנם גם מספר קבוצות שעלו ליבשה.

רבי רגל Myriapoda - כוללת את הנדלים ומרבי הרגליים, ומספר קבוצות קטנות יותר. מתאפיינים בריבוי סגמנטים בעלי מבנה דומה זה לזה.

עכבישאים Chelicerata - קבוצה הכוללת את העכבישיים, עקרבים, עכשובים, קרציות ואקריות. כמעט כולם יבשתיים, למעט משפחה פרימיטיבית אחת.

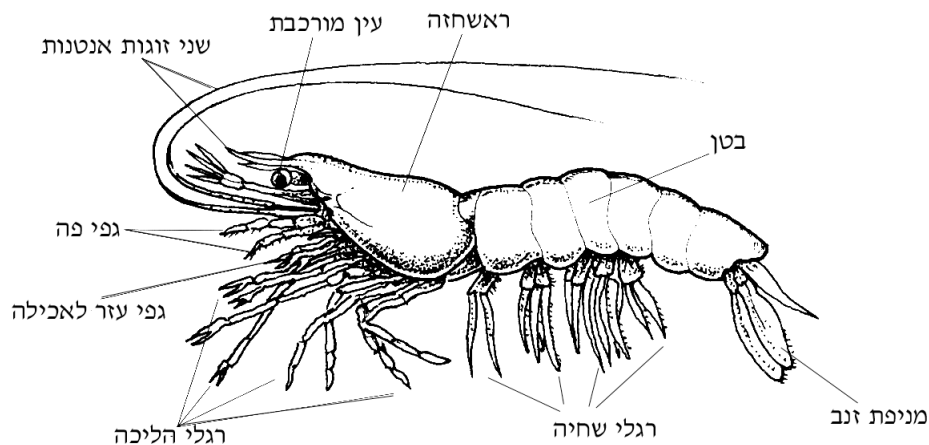
עכבישי ים Pycnogonida - קבוצה קטנה (כ-1000 מינים), כנראה קרובים לעכבישאים. חיים רק בים. בעלי רגליים מפותחות וגוף מנוון. לא נדון בהם יותר כאן.

אחת התכונות המאפיינות את בני כל אחת מן הקבוצות, ומפרידות בין הקבוצות, היא זהות הסגמנטים בקדמת הגוף. דבר זה מסוכם בשרטוט הבא:



## סרטנים - Crustacea

קבוצה בת כ-50,000 מינים הנחלקים ללמעלה מ-50 סדרות שונות. רובם ימיים, חלקם חיים במים מתוקים וחלקם יבשתיים. גודלם נע מפחות ממילימטר בסרטנים פלנקטוניים עד למטר ויותר. מתאפיינים בשני זוגות אנטנות ומבנה גפי פה אופייני. הראש והחזה נפרדים תפקודית, אך מאוחדים לעתים לאזור גוף קדמי המכונה ראש-חזה cephalothorax המוגן על ידי לוחית מאוחדת אחת וכולל מספר משתנה של גפי פה, גפי עזר לאכילה וגפי תנועה. לעתים ישנו אזור אחורי המכונה בטן, וכולל רגלי שחיה, אם כי השונות בין קבוצות גדולה מאוד.



בסרטנים מימיים השלד החיצוני מוקשה על ידי מלחי סידן. סרטנים קטנים נושמים באמצעות דיפוזיה ישירה, בעוד שלגדולים יותר יש מודיפיקציה של גפיים אחוריות לתפקיד זימים. בסרטנים יבשתיים למחצה הזימים קשיחים ונשארים לחים. הסרטנים היבשתיים לחלוטין (טחביות) מוגבלים לאזורים לחים וקרירים, מכיון שגם אצלם הנשימה היא באמצעות מודיפיקציה של זימים הנמצאים בחלל מאוורר.

לרבים מן הסרטנים הימיים וחלק מאלו שבמים מתוקים ישנו שלב פגית (לרווה) יחודי הנקרא נאופליוס nauplius. לנאופליוס יש בשלב ראשון שלושה סגמנטים בלבד הנושאים שלושה זוגות גפיים, בהם הוא משתמש כדי לשחות בפלנקטון ולאסוף מזון. ישנה שונות רבה בהתפתחות מעבר לשלב הנאופליוס. לעתים יש תוספת הדרגתית של סגמנטים, ולעתים יש גלגול דרמטי יותר.

כמה מן הקבוצות הבולטות בסרטנים:

**Malacostraca** - הסרטנים ה"מתקדמים", כוללים את החסילונים למיניהם, את מעשירי הרגל - **Decapo-da** (הקבוצה המכילה את הסרטנים קצרי הזנב, לובסטרים, וכו'), ואת הטחביות (ר' להלן). אין להם שלב נאופליוס.

**Isopoda** - טחביות. הסרטנים היחידים שהם יבשתיים לחלוטין, אך מוגבלים בכל זאת לאזורים לחים. ישנן גם טחביות שחזרו באופן משני למים.

**Branchiopoda** - זימרגלאים. קבוצה גדולה מאוד ומגוונת. רובם קטנים, ובעלי שלב נאופליוס. כוללת סרטנים רבים של מים מתוקים, כגון דפניה, ארטמיה וקרוביהם.

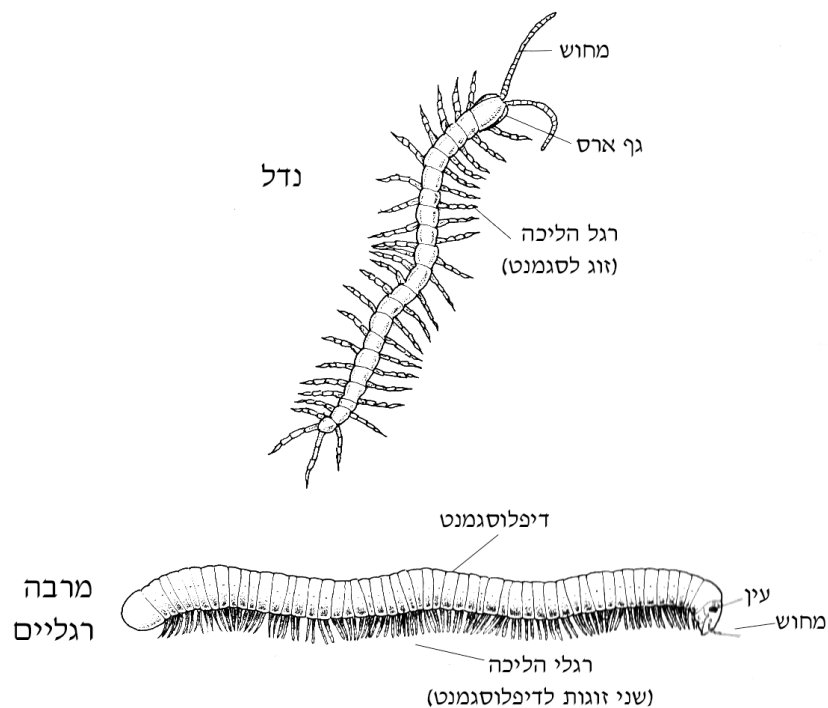
**Cirripedia** - בלוטי ים. סרטנים ישיבים שמבנה גופם עבר מודיפיקציה דרמטית. למעשה, זיהויים כסרטנים נעשה במקור רק על ידי שלב פגית הנאופליוס. נצמדים למצע כשהם מכוסים לחלוטין בשריון הראשחזה, ומשתמשים בגפיים לאיסוף מזון מתוך המים.

**Copepoda** - סרטנים פלנקטונים זעירים המהווים את בעלי החיים הנפוצים ביותר באוקיינוס מבחינת מספר פרטים.

## רבי רגל - Myriapoda

קבוצה שכולה יבשתית. מתאפיינת במבנה ראש אחיד עם זוג אנטנות אחד ושלושה זוגות גפי פה. מאחורי הראש יש סדרה של סגמנטים זהים פחות או יותר שלכל אחד מהם זוג רגלי הליכה. בקצה האחורי יש לרוב עוד מספר קטן של סגמנטים ללא גפי הליכה.

שלד הגוף עמיד בפני התייבשות. הנשימה היא באמצעות פתחים קטנים בצידי הגוף המכונים ספירקולי **spiraculi**. פתחים אלו מובילים לצנורות המכונים **tracheae**, ואלו באים במגע עם מרחב הדם (המוצל). ההפרשה היא באמצעות מערכת צינוריות המתחברות לקצה האחורי של מערכת העיכול ומכונות **Malpighian tubules**. צנורות מלפיגי.



דגם גוף כללי של שתי הקבוצות העיקריות ברבי הרגל

רבי הרגל כוללים שתי קבוצות עיקריות ועוד שתי קבוצות קטנות יותר.

נדלים - **Chilopoda** קבוצה של טורפים פעילים הצדים את טרפם באמצעות ארס. זוג גפי ההליכה הקדמיות עבר התמחות לגפי ציד התופסים את הטרף ומזריקים לתוכו את הארס. מספר זוגות הרגליים מ-15 זוגות ועד קרוב ל-200. בקבוצות מסוימות מספר רגלי ההליכה קבוע. בקבוצות אחרות מספר רגלי ההליכה משתנה בין מינים ואף בין פרטים באותו המין. למרות השונות הגדולה במספר רגלי ההליכה, מספר זה הוא תמיד אי-זוגי. התנועה מהירה לרוב והרגליים פונות הצידה.

מרבי-רגליים - **Diplopoda** ברובם צמחונים או אוכלי רקב. נעים לאט יותר מן הנדלים ובעלי רגליים קצרות יותר הפונות כלפי מטה. בקבוצות רבות הגוף מכוסה שריון גלילי קשיח. ישנו איחוי של זוגות סגמנטים ליצירת סגמנט כפול **diplosegment** הכולל שני זוגות רגליים, אך מעטפת מורפולוגית הנראית כמו סגמנט אחד בלבד.

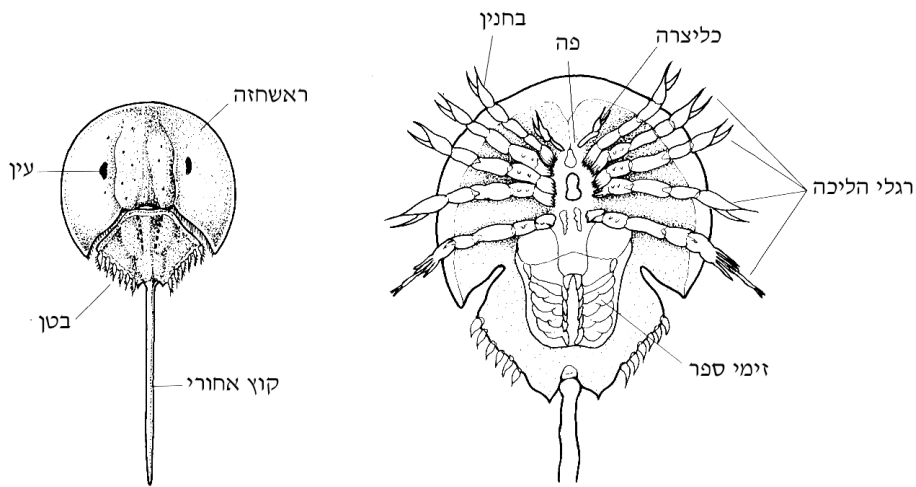
**Symphyla, Pauropoda** שתי קבוצות קטנות של בעלי חיים בגודל מילימטרים בודדים החיים בתוך האדמה.

### עכבישאים Chelicerata

קבוצה זו כוללת מגוון בעלי חיים שכמעט כולם יבשתיים. רובם טורפים פעילים או טפילים ולרבים מהם יש ארס. אין להם ראש נבדל ואין אנטנות בקדמת הגוף. הגוף מורכב משני אזורים (טגמטה) ראשונה **prosoma** ובטן **opisthosoma**. בראשונה יש שני זוגות גפי עזר: כליצרות **chelicerae** המשמשות לאכילה ולעתים להזרקות ארס, ובחניניים **pedipalpi** העוברים מגוון מודיפיקציות לחישה, לצביטה/אחיזה, לרבייה ועוד. מאחורי גפיים אלו יש ארבעה זוגות גפי הליכה. בבטן אין גפי הליכה.

במאובנים מתקופת האורדוביק **Ordovician** (כ-500 מיליון שנה לפני זמננו) ניתן למצוא עכבישאים ימיים טורפים המראים כבר את המאפיינים היחודיים לקבוצה. כיום נותרה רק קבוצה אחת ימית, בעוד כל השאר עלו ליבשה. העכבישאים הימיים שייכים לקבוצה הנקראת זנבות-חרב **Xiphosura** ונכללים כולם בסוג אחד **Limulus (Horseshoe crab)**. בעלי חיים אלו כמעט ולא השתנו יחסית לאבותיהם, ומשמרים את דגם הגוף הקדום של העכבישאים. הנשימה היא באמצעות גפי הבטן אשר קיבלו צורה של דפים שטוחים ומכוונים לפיכך זימי-ספר **book gills**. הזימים נעים וגורמים לזרימת מים על פניהם תוך ספיגת חמצן ושחרור פחמן דו-חמצני.

בעכבישאים היבשתיים זימי הספר עברו התאמה לספיגת חמצן מן האויר. מספר ה"דפים" גדול מאוד, עד כמה מאות, והם נמצאים בחלל סגור ולח באזור הבטן. במקרה זה הם מכוונים ראות-ספר **book lungs**. לעכבישים יש לעתים גם טרכיאות בנוסף לראות-ספר, ובמקרים מסוימים אלו מחליפים את הריאות. כמו ברבי הרגל, הטרכיאות באות במגע עם מרחב הדם.



מבנה גוף כללי של סרטן זנב-חרב, עכבישאי ימי בעל דגם גוף פרימיטיבי

מכיון שלעכבישאים אין לסתות והטרף הוא לעתים גדול, העיכול הוא לרוב חיצוני. בעל החיים מחזיק את המזון (באמצעות הכליצרות או הבחנינים) ומפריש לתוכו אנזימי עיכול. המזון המעוכל חלקית נמצץ אחר כך אל הלע ומשם למערכת העיכול.

כמה מן הקבוצות המוכרות יותר מבין העכבישאים היבשתיים:

**עכבישים - Araneae** הקבוצה הגדולה ביותר מבין העכבישאים מבחינת מספר מינים. מייצגים את ההתאמה הטובה ביותר לחיים ביבשה. ברוב קבוצות העכבישים לא ניתן לראות את הסגמנטים באזור הבטן, מכיון שהם התאחו לחלוטין. בבטן יש שלושה או ארבעה זוגות איברים יחודיים **spinnerets** המפרישים משי ממנו טווים העכבישים את הקורים. הבחנינים משמשים למניפולציה של המשי ובניית מבני הקור למיניהם. הכליצרות משמשות להזרקת ארס.

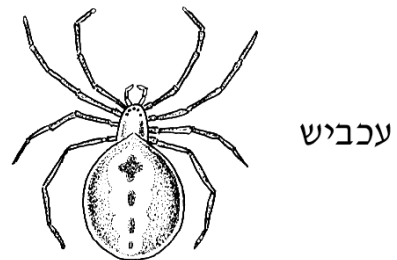
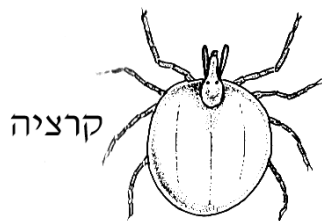
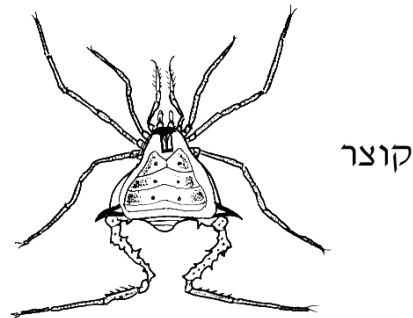
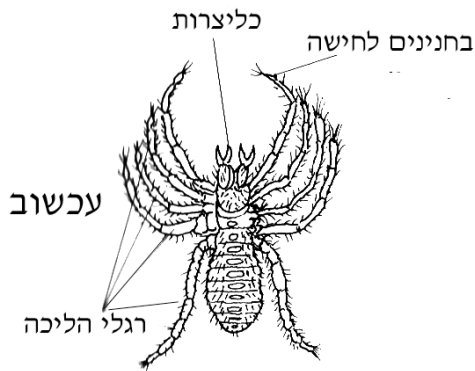
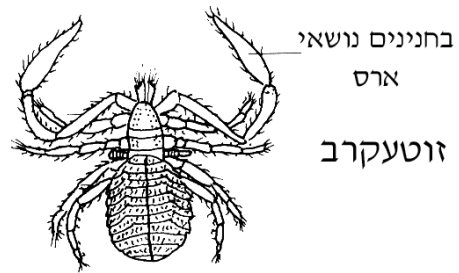
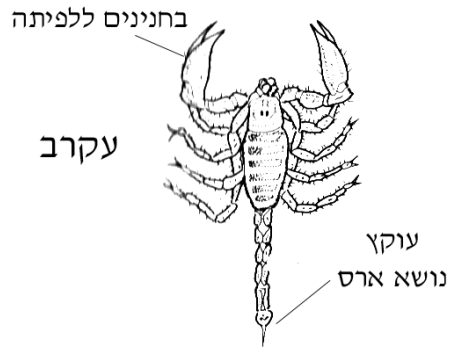
**עקרבים - Scorpiones** הבטן מוארכת ועל הסגמנט האחרון ישנו עוקץ המשמש להחדרת ארס. הבחנינים התארכו והתמחו לשמש צבתות ללכידת הטרף ואחזיתו.

**עכשובים - Solifugae** טורפים מהירים חסרי ארס. בעלי כליצרות גדולות מאוד הטופסות את הטרף ומבתרות אותו.

**זוטעקרבים - Pseudoscorpiones** בעלי חיים קטנים עד קטנים מאוד. בעלי צבתות הדומות לצבתות של עקרבים, אך בעלי בטן קצרה ללא עוקץ.

**קוצרים - Opiliones** הראשחזה והבטן מאוחים למבנה כדורי אחד. רגליים ארוכות מאוד (מכונים לעתים "אבא ארך רגליים")

קרציות ואקריות - Acari מספר המינים המתוארים גדול כמעט כמו של העכבישים, אך יתכן מאוד שישנם עוד מינים רבים שלא תוארו. רבים מהם טפילים חיצוניים על בעלי חיים, המתמחים במציצת דם או באכילת כיסוי הגוף החיצוני של הפונדקאי. אחרים טפילים על צמחים. ישנם מינים מיקרוסקופיים החיים באבק ואחרים לתופעות אלרגיות בבני אדם. אין סגמנטציה נראית לעין, ואין הפרדה חיצונית בין ראשחזה לבטן. לעתים הגוף כולו מכוסה בלוח שלד אחד.



קבוצות עיקריות בעכבישאים