

הוראה מפורשת של הקשרים בין רמות הארגון (קשרי מיקרו-מאקרו)

כדרך לפיתוח הבנה ביולוגית משמעותית

אורה בר¹



תפקוד האורגניזם הרב תאי הוא פועל יוצא של מכלול מורכב של אינטראקציות המתקיימות בין מרכיביו ברמות הארגון השונות (Mayer, 1997). תופעות מקרוסקופיות ביצור הרב-תאי נובעות מתהליכים המתרחשים ברמות המיקרו, דהיינו הרמה התאית והמולקולרית, ומשפיעות עליהן. הבנת מכלול זה ואיחודו לתמונה שלמה חיונית להבנה ביולוגית משמעותית. ממחקרים עולה, שקישור בין רמות מיקרו והמאקרו הוא בעייתי וקשה עבור התלמידים. קשיים אלו נמצאו במקומות שונים בעולם וברמות השכלה שונות, ואפילו בקרב סטודנטים ומורים (Lin & Hu, 2003; Mayer, 1997).

התלמידים מתקשים לחבר את פיסות הידע שיש להם ברמות הארגון השונות לתמונה כוללת, ומתקשים בזיהוי הקשר בין הידע הנרכש בבית הספר ובין תופעות המוכרות להם מחיי היום יום, ובשימוש בו להבנת תופעות אלו. הקשיים להבין את התהליכים המתרחשים ברמת האורגניזם הרב-תאי כנובעים מתהליכים המתרחשים ברמות הארגון הנמוכות יותר ואת יחסי הגומלין בין רמות הארגון השונות, הוגדרו על-ידי החוקר Verhoeff (2003) כקשיים בליכודות אנכית (Vertical Coherence Difficulties).

המקורות האפשריים לקשיי התלמידים שהוצעו על-ידי חוקרים שונים הם:

- א. קושי בהבנה אינטגרטיבית של הרמה התאית שהיא תנאי מקדים ובסיס חיוני ליצירת קשרי מיקרו-מקרו, בשל היותה מופשטת ובלתי ניתנת לתפיסה על-ידי החושים בעוד שברמת היצור השלם יכולה להתקבל אצל התלמיד תמונה שנתמכת על-ידי מידע חושי (Verhoeff, 2003).
- ב. הצורך ברמת חשיבה גבוהה של קשר סיבתי בין רמות ארגון הכולל לעיתים מספר צעדים מחשבתיים (Dreyfus&Jngwirth, 1989).
- ג. דרך ההוראה המסורתית המתרכזת בהוראת רמת המיקרו' ורמת המאקרו' בנפרד בלא קישור ומיזוג ביניהן (Dreyfus&Jngwirth, 1989; Flores, 2003).

חוקרים שונים המליצו על דרך הוראה שתיתן מענה לקשיים ביצירת קשרי מיקרו-מאקרו בהבניית תמונה כוללת אצל התלמידים, ותסייע ללמידה משמעותית:

- הוראה מפורשת² של קשרי מיקרו-מאקרו כלומר, התייחסות להיבטים בכל הרמות הארגון של הנושא הנלמד, וקישור ביניהן, ברור הידע הקודם של התלמידים והתייחסות אליו בתהליך ההוראה, הוראת הנושא תחילה באמצעות תופעות ברמת המאקרו הקרובות יותר לידיעה ותפיסות התלמידים, ואחר כך, מעבר לרמת המיקרו וקישור בין הרמות.
- הצעה בכיוון זה הוצעה גם על-ידי החוקרת Knipples (2002) שהמליצה על שיטת הוראה, אותה כינתה שיטת ה-Yo-Yo, המשלבת מעברים בין רמות הארגון לסירוגין ובאופן מפורש כאמצעי להגברת הבנת התלמידים.

¹ אורה בר – אחראית על פיתוח חומרי הלאמורה בפרויקט נחשן Fe מחט ואמרה לביולוגיה, orabar2@inter.net.il ² אורה בר – אחראית על פיתוח חומרי הלאמורה בפרויקט נחשן Fe מחט ואמרה לביולוגיה, orabar2@inter.net.il

² הוראה מפורשת – הוראה המפנה את תשומת לב התלמידים ואת מודעותם באופן ברור עקבי ומובנה לכיוון של למידה ספציפית. הוראה מפורשת של ידע מטה אסטרטגי:

http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/Mazkirut_Pedagogit/OfekPedagogi/Arzaot/Yeda.htm

- התייחסות בהוראה להקשרים יומיומיים של הנושא הנלמד כמו למשל בעיה חברתית שיש לה הקשר מדעי.
- גיוון ההוראה בעזרת סימולציות, ניסויים והתייחסות להיסטוריה של המדע. שימוש באנלוגיות, אך באופן זהיר ומבוקר, ותוך שימת לב למידת מורכבותן ולמרחק בין לבין התופעה שהן מדמות (דרייפוס ויונגוירט, 1991).

בתוכנית הלימודים בביולוגיה (תוכנית לימודים לחט"ע בביולוגיה, 2006) מיוחסת חשיבות רבה לשילוב מידע מרמות ארגון שונות באופן שיאפשר להבין תופעות ותהליכים ביולוגיים. מטרת ההוראה הראשונה המצוין בתוכנית עוסקת בכך.

מטרה א': הבנת מושגים, תופעות, תהליכים, עקרונות ורעיונות מרכזיים של הביולוגיה:

תושג באמצעות הדגשת:

הרעיונות המרכזיים* הבאים לידי ביטוי בכל אחת מרמות הארגון: מהרמה המולקולרית, דרך הרמה התאית, רמת האורגניזם השלם, עד רמת החברה. תהליכים הגורמים לשוני הקיים בין היצורים החיים לפי התיאוריות המדעיות המקובלות כיום.

מבנה גופו של האדם ודרך תפקודו, כיצור מייצג בין היצורים החיים, וכבעל תכונות ייחודיות המאפיינות אותו.

יחסי הגומלין הקיימים בטבע בכל רמות הארגון, תוך התייחסות להתערבות האדם בטבע ולאחריותו על הסביבה. העקרונות המדעיים שעליהם מבוסס "ישום הידע הביולוגי בתחומי הרפואה, החקלאות, הטכנולוגיה, התעשייה ושמירת הסביבה.

בשלושה מבין שמונת הרעיונות המרכזיים בביולוגיה שנוסחו בתוכנית הלימודים יש דגש על רמות הארגון בגוף, התהליכים המתרחשים בו ויחסי הגומלין בין מרכיביו:

"...ארגון במערכות ביולוגיות: הארגון המורכב של מבנים ותהליכים ביצורים החיים ניכר ברמות הארגון השונות..., ויסות והומיאוסטזיס, יחסי גומלין ושיווי משקל דינמי: מערכות ביולוגיות הן מורכבות.... מרכיבן מקיימים יחסי גומלין אלו עם אלו..."

בתוכנית הלימודים שיצאה בשנת 2003 הוחלט על הכללת פרק חדש שנקרא: "ביולוגיה של האדם בהדגשת ההומיאוסטזיס", והמורים הונחו באופן מפורש למקד את הוראת הפרק החדש בתפקוד הגוף כמערכת ובשמירת ההומיאוסטזיס. כמו כן, נקבעו לראשונה שלושה פרקי-לימוד בסיסיים העוסקים בשלושת רמות הארגון (תא, גוף האדם ואקולוגיה) כנושאי ליבה מחייבים, ובבחינת הבגרות התלמידים נשאלים עליהם באופן בלתי ממודר תוך שימת דגש על יחסי הגומלין ורעיונות חוצי-נושאים³. ולמרות זאת, ניתוח בחינות הבגרות בביולוגיה מגלה קשיים של תלמידים בשאלות שלפתרון נדרש קישור בין רמות ארגון⁴. הסיבות האפשריות

³ נעמי רייבשטיין, (2006), רעיונות מרכזיים בביולוגיה: כיצד הם באים לידי ביטוי ברמות הארגון השונות בתכנים מנושאי הליבה <http://bioteach.snunit.k12.il/upload/.pdfs/17377.pdf>

⁴ רות אמיר, (2004), שילוב בין תכנים מנושאי הליבה בשאלות בחינה, עלון מורי הביולוגיה 170 <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrator/HOME/My%20Documents/Downloads/17017.doc>

לקשיי התלמידים צוינו קודם. בנוסף ובהלימה לכך, אפשר להצביע על קשיים הקשורים להוראת הביולוגיה בחטיבה העליונה בארץ:

- יתכן כי ספרי הלימוד אינם מזמנים מספיק הזדמנויות ליצירת קשרי מיקרו-מאקרו וכמו כן יש מחסור בחומרי הוראה, למידה ותרגול המכונים לכך.
- סיבה אפשרית נוספת לכך היא שבמרבית בתי ספר, הוראת נושא גוף האדם נעשית בכיתה י' ואילו הוראת נושא התא נעשית בכיתה יא. כאשר מלמדים את נושא התא בכיתה יא, בדרך כלל לא "חוזרים אחורה" ומתייחסים להיבטים של הנושאים הנלמדים במסגרת פרק התא גם ברמת הגוף השלם. על-כן, לא מתאפשר קישור בין רמות הארגון במידה מספקת. מה גם, שבנוסף לקשיים שהועלו קודם הנוגעים לספרים ולחומרי ההוראה, קיימת בעיה "כרונית" של מחסור בזמן, וצורך להספיק את לימוד החומר הנדרש לבחינת הבגרות.

הוראה מפורשת של קשרי מיקרו-מאקרו בהוראת הביולוגיה בתיכון – איך ומתי



למרות הקושי בהוראת ביולוגיה ברמות ארגון שונות כפי שפורט קודם, הדגשת הקשרים בין רמות הארגון אינה כרוכה בהכרח בתוספת זמן הוראה יקר, או בתוספת ידע מעבר לידע הנדרש על פי הסילבוס, והיא תלויה במודעות המורה לחשיבות הדבר, ולתמיכה בו ברעיונות ובחומרי הוראה מתאימים. הדגשה מפורשת של היבטי הנושא הנלמד בכל רמות הארגון ובאותו עיתוי למידה היא אחת הדרכים להוראה אינטגרטיבית.

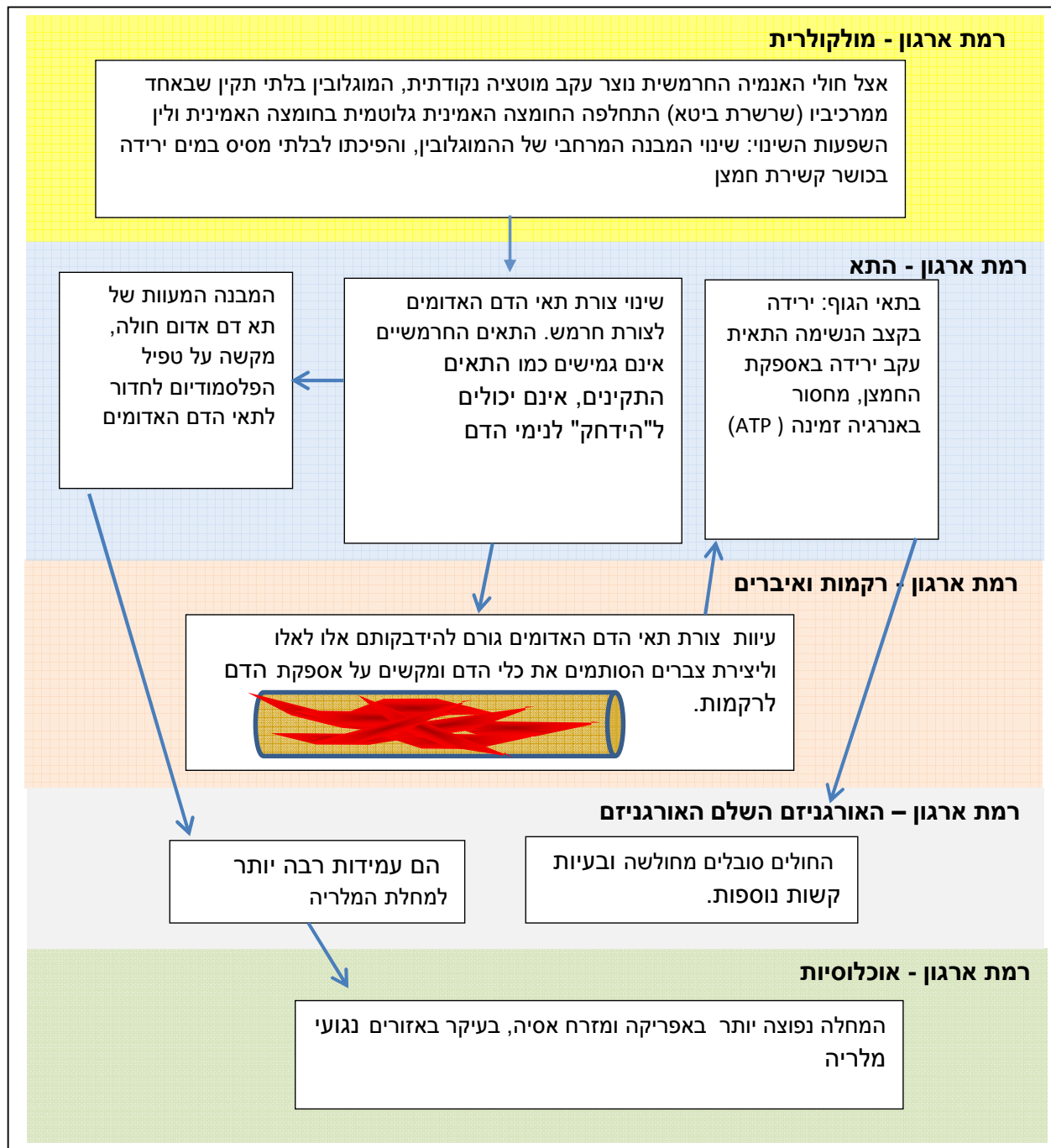
לדעתי, יש לדבר על הרמה התאית באופן פשטני וברמת העיקרון כבר בכיתה י'. כדאי להדגיש רעיונות כגון: הגוף מורכב מתאים, הגנים קובעים יצירת חלבונים, שחלקם הם אנזימים, תוצאות תפקוד האנזימים והחלבונים האחרים קובע את תכונות ותפקוד התאים ולכן את תכונות ותפקוד האורגניזם כולו. לדוגמה: בהקשר של מערכת העיכול אפשר להעלות את השאלה היכן נוצרו אנזימי העיכול? האם יתכן שנוצרו בחלל צינור העיכול? ולהוביל לכך שלא תתכן יצירת חלבונים מחוץ לתאים, ולהתייחס להיבט התאי של ייצור אנזימי העיכול בתאי דופן מערכת העיכול או בבלוטות (בתהליך תעתוק ותרגום) ושל הפרשתם לצינור המעי (באקסוציטוזה מכיוון שמדובר במולקולות גדולות שאינן עוברות דרך קרומי התאים). ובמהלך ההוראה לא להישאר רק ברמת המקור כלומר: "האנזימים מיוצרים בדופן המעי ומופרשים אל הצינור".

התייחסות גם להיבטים תאיים תאפשר יצירת הקשרים משמעותיים בין רמות הארגון כבר במהלך הוראת נושא גוף האדם בכיתה י'. בנוסף, יש חשיבות רבה לשיוך מפורש של פיסות הידע לרמות הארגון אליהן הם קשורות, ולא רק להדגשת יחסי הגומלין בין פיסות הידע, וזאת על מנת להפנות תשומת לב לרמות הארגון.

שימוש באמצעים חזותיים כגון תמונות, סרטונים וסימולציות שבהם מודגשים הקשרים בין רמות הארגון יכול לסייע בהבניית הקשרים אצל התלמידים. ראו לדוגמה את סימולציית [מערכת ההפרשה באתר מדעים און-ליין של מטח](#).

הדוגמה הבאה מפרטת את ביטוי המחלה אנמיה חרמשית ברמות הארגון השונות ואת הקשרים בין רמות הארגון.

אנמיה חרמשית



ברשימה הבאה מוצגות תופעות מתוך נושאים בהוראת הביולוגיה וכיצד הן מתבטאות ברמות הארגון השונות. ברשימה, דוגמאות של ליקויים שונים (גנטיים ואחרים) הגורמים לסטייה מההומיאוסטזיס ולמצבי מחלה, המזמנים אף הם, על דרך השלילה, אפשרויות קישור מיקרו-מאקרו, וקישור לתופעות ברמת המאקרו שהתלמידים שומעים עליהן בחיי היום יום.

בכל הדוגמאות מומלץ לקשר לנושאים הנלמדים בכתה כגון: תהליכי התפתחות והתרגום, אנזימים ומעבר חומרים דרך קרום התא.

רשימת הדוגמאות:

התופעה	רמת ארגון מולקולרית	רמת ארגון התא	רמת ארגון המערכת	רמת ארגון האורגניזם השלם
לבקנות לבקנות (Albinism) היא מחלה תורשתית רצסיבית הגורמת לחוסר מלנין בעיניים, בעור ובשיער. הצבען מלנין נוצר בתאים בעור הקרויים מלנוציטים, וכן בתאים בקשתית העין ובתאים בשורשי השערות. מתאים להוראה בנושא: מדנ"א לחלבון, התמיינות תאים, העור כחלק ממערכת הגנה	האנזים המעורב ביצירתו הוא טירוזינאז המזרז את תהליך הפיכת החומצה האמינית טירוזין למלנין. צורות הלבקנות הנפוצות ביותר הן לבקנות כוללת מסוג 1 (OCA1) ומסוג 2 (OCA2). אנשים בעלי OCA1 סובלים ממוטציות בגן הקרוי TYR המקדד לטירוזינאז	ככל שאדם נחשף יותר לאור השמש, כך מפרישים המלנוציטים יותר מלנין והופכים את העור לכהה; זהו מקורה של תופעת השיזוף.	היעדר הצבען בעין מוביל לגירוי יתר של קולטני האור ברשתית ולשלילה של מידע מבלבל למוח, שגורם לליקויי ראייה חמורים המחסור בצבען בעור גורם ללוקים במחלה להיות פגיעים יותר לסרטן עור מסוגים שונים, וכן גורם להזדקנות מהירה של העור.	מלנין בולע קרינה באורכי גל קצרים (בעיקר קרינה על-סגולה) ובכך מגן על הגוף מפני הקרינה. לרוב בעלי OCA1 יש עור לבן, שיער לבן ועיניים נטולות צבען. אנשים בעלי OCA2 יכולים לייצר כמות קטנה של צבען ולכן התסמינים החיצוניים שלהם פחות בולטים.
מחלת הצליאק צליאק היא מחלה הנובעת מרגישות לחלבון גלוטן המצוי בקמח חיטה ושיבולת שועל. במלחמת העולם השנייה, הבחין רופא הולנדי בשיפור במצבם של ילדים חולי צליאק, שעקב מחסור במזון לא אכלו לחם. כך התגלה	הגלוטן מתפרק לפפטידים קצרים המעוררים (מסיבות שאינן ברורות לחלוטין) תגובה חיסונית אוטואימונית, המתבטאת בהרס אפיתל המעי ובהשטחת סיסמי המעי. עקב כך נפגע תהליך ספיגת המזון במעי הדק.		המזון שאינו נספג מצטבר במעי, ועקב כך עוברים מים באוסמוזה מהדם למעי. המזון מהווה כר נח להתפתחות חיידקים שמפרקים את תוצרי העיכול ונוצרים גזים בעלי ריח רע.	מבין סימני הצליאק: אנמיה - עקב אי ספיגת ברזל, רככת - עקב אי ספיגת סידן, חולשה והידלדלות שרירים - עקב אי ספיגת אשלגן. בטן נפוחה ושלשולים - עקב מעבר מים באוסמוזה מהדם למעי עקב

התופעה	רמת ארגון מולקולרית	רמת ארגון התא	רמת ארגון המערכת	רמת ארגון האורגניזם השלם
שהגלוטן גורם למחלה. מתאים להוראה בנושא: מערכת עיכול, מערכת חיסון, אנזימים, הזנה				הצטברות המזון שאינו נספג במעי.
מחלת טאי-זקס מחלת טאי זקס היא מחלה תורשתית קטלנית, שרוב הילדים הלוקים בה מתים בשנות חייהם הראשונות בשל נזק מוחי קשה הנובע מחוסר באנזים חיוני האחראי על חילוף חומרים של שומנים. המחלה איננה ניתנת לריפוי (אי אפשר לטפל בעזרת הזרקת האנזים החסר לדם מכיוון שהוא לא יחדור דרך קרומי התאים). מתאים להוראה בנושא: אנזימים, מבנה התא, מערכת עצבים	הפגם הגנטי גורם להפחתה בפעילות או לחוסר פעילות מוחלט של האנזים β - <u>הקסוזאמינידאז-A</u> בליזוזום, שתפקידו לזרז פירוק של נגזרות חומצות שומן בשם <u>גנגליוזידים</u> .	אובדן הפעילות של האנזים גורר הצטברות של הגנגליוזידים בתאים, בפרט במוח ובעמוד השדרה.		הילדים החולים מתפתחים באופן הנראה תקין עד גיל 6 חודשים. לאחר מכן חלה הידרדרות המתבטאת ב: פיגור שכלי, נסיגה בהתפתחות המוטורית (הילד מפסיק לזחול ולהסתובב), עיוורון (לעיתים). המוות נגרם לפני גיל 4 שנים.
ההורמון ADH ההורמון ADH מורכב משרשרת של 9 חומצות אמיניות. הוא מיוצר בהיפותלמוס ומופרש מההיפופיזה.		ההורמון נצמד לקולטנים בתאים בצינורות המאספים של הנפרונים שבכליות, וגורם לעלייה במספר תעלות המים (האקוופוריום) בקרומי התאים באופן הבא:	ההורמון מגיע דרך זרם הדם לכליות. התוצאה של הפרשת ADH: הפרשת שתן שנפחו קטן וריכוז המומסים שבו גבוה (צבעו כהה יותר). במקביל המח מעורר תחושת צמא, ולכן	קצב הפרשתו עולה במצב של מחסור במים בגוף (לדוגמה עקב איבוד מים בזיעה, או אי שתייה מספקת). במצב זה יש עלייה בריכוז המומסים בדם, ועקב כך יש יציאת מים

התופעה	רמת ארגון מולקולרית	רמת ארגון התא	רמת ארגון המערכת	רמת ארגון האורגניזם השלם
מתאים להוראה בנושא: הומיאוסטזיס, מערכת ההפרשה, תיאום וויסות, הורמונים, קולטנים, ייצור חלבונים בתא, דרכי מעבר חומרים דרך קרום התא,		היקשרות ההורמון לקולטנים גורמת לאקסוציטוז של שלפוחיות תוך תאיות שבקרומן יש אקוופורנים, ולהתלכדותם עם קרום התא (בדומה להשפעת אינסולין על עלייה במספר הנשאים לגלוקוז), עקב כך יש עלייה בקצב הספיגה החוזרת של מים מהנפרונים לדם.	יש עלייה בנפח הדם ובלחץ הדם, ירידה בריכוז המומסים בדם לערכי הנורמה.	בתהליך אוסמוזה מתאים אוסמורצפטורים המצויים בהיפותלמוס – זה מהווה את הגירוי להפרשת ההורמון.
עלייה ברמת הכולסטרול בדם והטיפול בה מתאים להוראה בנושא: הומיאוסטזיס, אנזימים, מערכת הדם, הזנה,	תרופות המעכבות עיכוב תחרותי את אחד מהאנזימים המעורבים בביוסינתזה של כולסטרול בתאי הכבד.		שימוש בתרופות מבוססות על סטטינים גורם לירידה בריכוז הכולסטרול בדם. עקב כך הסיכון להיווצרות משקעים טרשתיים קטן.	
תופעת התנפחות הבטן אצל ילדים המצויים בתת-תזונה מתאים להוראה בנושא: אוסמוזה, הזנה	ירידה בריכוז האלבומין וחלבוני הדם האחרים בדם עקב תת-תזונה	מעבר מים בתהליך אוסמוזה מנוזל הדם דרך תאי דופן נימי הדם אל החללים הבין-תאיים	הצטברות כמות גדולה מהרגיל של נוזלים בחלל הבין-תאי	התנפחות הבטן

קישור מיקרו-מאקרו אינו נגמר ברמת האורגניזם, אפשר לקשר לרמות ארגון גבוהות יותר כפי שראינו בנושא האנמיה החרמשית, ובנוסף:

בחינת הבגרות בביולוגיה במעבדה תשע"א (מעבדה 5 יח"ל - בעיה 3 חלק ג' ניסוי 11) זימנה קישור כזה: תואר ניסוי שבדק את השפעת סוג הצמחים שנשתלו יחד על שיעור קליטת פוספט אי-אורגני מהקרקע על-ידי הצמחים, כלומר את השפעת התחרות תוך-מינית בין צמחי תירס, ותחרות בין-מינית (בין צמחי תירס וחומס)

על קליטת פוספט אי-אורגני מהקרקע, שהתבטאה בריכוז הפוספט שנמדד בשורשי הצמחים. (קישור בין רמות החברה והאוכלוסייה ורמת האורגניזם ואיבריו).

לסיכום: קישור בין רמות הארגון, והתייחסות לתופעות מוכרות מחיי היום יום, יכולים להעשיר את תהליך הלמידה ולהפכו משמעותי מעניין ורלבנטי יותר עבור התלמידים (והמורים!).

מקורות מידע



1. דרייפוס, א', & יונגוירט, א'. (1991). מיקרו', מאקרו' אנלוגיות וצורות אחרות בהוראת הביולוגיה. העלון למורי הביולוגיה, חוברת ב', 129, הוצאת האוניברסיטה העברית-המרכז להוראת המדעים.
2. Dreyfus, A., & Jungwirth, E. (1989). Thhe pupil and the living cell: Ataxonomy of dysfunctional ideas about abstract idea. *Jurnal of biological Education*, 23(1), 49-55.
3. Flores. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: An integral view. *International Jurnal of Science Education*, 25(2), 269-286.
4. Knippels, M. -C. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education: the yo-yo learning and teaching strategy. (Ph.d. thesis). *Utrecht: CD-B press*.
5. Lin, C., & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cyclingin the contextof food chain, photosynthesis, and respiration. *International Jurnal of Science Education*.
6. Mayer, E. (1997). This is biology: the science of living world. *Cambridge, MA' The Belknap Press of Harward Universe*
7. Verhoeff, R. P. (2003). Toward system thinking in cell biology education. (Ph.D thesis) *Cente rfor Science and Mathematics Educationl, Uttrecht University*.