ביולוגיה של האדם

עדי מרקוזה-הס

דידה פרנקל

נורית בשן

האוניברסיטה העברית בירושלים
המרכז להוראת המדעים

המרכז לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים
משרד החינוך

המרכז הישראלי להוראת המדעים
ע"ש עמוס דה שליט

תשס"ג 2002

עדי מרקוזה-הס

דידה פרנקל נורית בשן

ביולוגיה של האדם

יצא לאור במימון האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים במשרד החינוך
ומטה המרכז להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט.

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך.

האוניברסיטה העברית בירושלים - המרכז להוראת המדעים

האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך

המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה שליט

תשס"ג, הדפסה שנייה 2002

צוות כתיבה:
עדי מרקוזה-הס - כותבת ראשית
דידה פרנקל - כתיבה וריכוז צוות
נורית בשן - כתיבה וריכוז הניסוי

עריכת הלשון:
ענת צ'רנובילסקי - המבואות והפרקים.
עירית עמיאל - מילון המונחים.

איורים, תרשימים ושרטוטים:
סטודיו דן - יוליה אגרנוביץ' וגדעון דן

עיצוב ועימוד, עטיפה ושערי יחידות:
סטודיו דודו הראל - שפרה ארליך, עוזי שפירא

ריכוז הפקה: ד"ר רות אמיר

ניהול אדמיניסטרטיבי: שושנה בן שהם

דפוס: מאור-ולך בע"מ

כריכה: כריכיית ברוכיאן אליהו

ליווי הפקה: שושנה הראל

הדפסה שנייה מעודכנת

קראו והעירו:
פרופ' צבי זקס, המכון למדעי החיים,
האוניברסיטה העברית בירושלים (פרק 1).

כל הקוראים הבאים הם מבית הספר לרפואה,
האוניברסיטה העברית בירושלים:

פרופ' אליוט באר - פרק 2: מערכת העיכול.
ד"ר הלינה מאירי - פרק 2: מערכת העיכול.
פרופ' יחזקאל שטיין - פרק 2: מערכת העיכול,
פרק 3: מערכת הנשימה,
פרק 4: מערכת ההובלה,
פרק 5: מערכת ההפרשה.
פרופ' עמירב גורדון - פרק 3: מערכת הנשימה,
פרק 5: מערכת ההפרשה,
פרק 6: מערכת ההפרשה הפנימית,
פרק 9: מערכת הרבייה.
פרופ' שרה בן-אור - פרק 7: מערכת העצבים.
פרופ' יצחק נוסינוביץ - פרק 7: מערכת העצבים,
פרק 11: הומאוסטאזיס נשמר בשינה כמו בריצה.
פרופ' זמי בן-ששון - פרק 8: מערכות ההגנה.
פרופ' ראובן לסקוב - פרק 8: מערכות ההגנה.
פרופ' נרי לאופר - פרק 9: מערכת הרבייה.
פרופ' שמואל קוטק - כל הקטעים העוסקים בהיסטוריה של הביולוגיה ושל הרפואה בפרקים השונים.

צרור תודות

תודה מיוחדת
לפרופ' פאני דולז'נסקי על עזרתה המסורה בכל שלבי הכנת ספר לימוד זה. החל מהיוזמה להכנים את הנושא "ביולוגיה של האדם" לתכנית הלימודים בביולוגיה בבית הספר התיכון, דרך גיבוש התכנים, ההיקף והמבנה של הספר. בהמשך, השתתפות מתמדת בכל ישיבות צוות הכתיבה תוך ייעוץ מדעי ודידקטי לכל אורך הספר וגמור בסיוע מתמשך ורצוף בתהליך הפיכתו של כתב היד לספר מודפס.

כמו כן אנחנו מודים:

- **למורים ולתלמידיהם שהשתתפו בניסוי פרקים מהספר בשנת הלימודים תשס"ב ותרמו לשיפורו:**
לאה אינגבר, חני אלפסי, תמי בר, מירי ברומר, מיקי גוטמן, רענן דונוביץ, ליליאנה ניצ'ן, אביבה סרי, פרנצ קירנברג, רחל קסנר, מיכאלה רהט, אסתי שפירא.

- **לקוראים שהעירו:**
ד"ר ברוריה אגרסט, רבקה בן יעקב, חגית בכר, ד"ר חנה ברנהולץ, רות וינקלר, אפרת לינק, ד"ר דיתה עתידיה, דבורה שפירא.

- **למדענים** שקראו את הפרקים שבתחום מומחיותם והקדישו לנו מזמנם.

- **לצוותים** בסטודיו דן ובסטודיו דודו הראל על שיתוף הפעולה, הרצון הטוב והמאמץ לאורך כל הדרך.

כולם תרמו לתוכנו ולעיצובו של הספר שלפניכם.

מסת"ב: 965-295-019-x
© כל הזכויות שמורות
אין לשכפל, להעתיק, לצלם, לתרגם או לאחסן במאגרי מידע, בכל דרך ובכל אמצעי אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה.

אל הקוראים

הספר "ביולוגיה של האדם" מזמין אתכם למסע היכרות עם הדבר הקרוב אליכם ביותר – גופכם, ומציג בפניכם מידע בסיסי החשוב להבנה של התהליכים המתרחשים בו. ניסינו להביא לכם מידע עדכני – בלי להקשות בפרטים שאינם הכרחיים – ובמקביל להראות איך צמח הידע הזה לאורך ההיסטוריה של המדע והרפואה.
הספר נכתב מתוך ההשקפה שאדם בוגר במאה ה-21 יכול וצריך לקחת אחריות על גופו ועל בריאותו, מתוך ידע והבנה של התהליכים המתרחשים בו, ובו בזמן להיות שותף בעיצוב סביבה שגם בני אדם אחרים יוכלו לחיות בה בבריאות ובכבוד.

הספר נכתב בהתאם לתכנית הלימודים החדשה בביולוגיה (תשס"ג, 2002), המציבה את הנושא "מבוא לביולוגיה של האדם" כנושא ליבה מחייב. הספר מיועד לתלמידי כיתות י', ומתאים הן לתלמידים המסיימים את לימודי הביולוגיה והן לתלמידים שימשיכו ללמוד ביולוגיה בהרחבה, וייבחנו בנושא זה בבחינות הבגרות.

הספר פותח בהצגת גוף האדם כיחידה אחת מורכבת ומאורגנת, הפועלת מתוך תיאום בין כל מרכיביה. כל אחד מהפרקים מתמקד אמנם במערכת גוף אחת, אך מדגיש גם את יחסי הגומלין בינה לבין מערכות הגוף האחרות. אנו מקווים, כי בדרך זו ירכשו התלמידים תפיסה של גוף האדם כיחידה שלמה אחת. מאפיין חשוב נוסף, המודגש בפרקי הספר, הוא היכולת לשמור על יציבות הסביבה הפנימית של גוף האדם. בפרק המסיים את הספר מומחש מאפיין זה באמצעות מבט כולל על פעילות המערכות במצבי פעילות שונים.

הפרקים מאורגנים בחמש יחידות. כל יחידה נפתחת במבוא קצר ובתרשים, המציגים את עיקרי הנושאים שהיחידה עוסקת בהם, וכל פרק מסתיים בסיכום. המבואות והסיכומים יכולים לסייע לכם בארגון המידע ובלימודו.
פרקי הספר כוללים מידע בסיסי המוצג ברצף. לצדו שולבו קטעים מסוגים שונים המובלטים במסגרות על רקע צבעוני: קטעי העמקה ובהם פירוט נוסף ומעמיק יותר אודות תופעות או תהליכים; קטעי הרחבה המציגים תופעות שונות מנקודת ראות רחבה יותר – למשל, דרך השוואתה של תופעה אופיינית לבני אדם לביטויה אצל בעלי-חיים אחרים; קטעי "עוד על" המציגים אנקדוטות או סיפורים פיקנטיים; קטעי "מבט אל העבר" המגוללים את סיפוריהם האישיים של חוקרים, שתרמו להבנת המבנה והתהליכים בגוף האדם, וכן מספרים על תגליותיהם.
לאורך הפרקים מוצגות שאלות מטיפוסים שונים: שאלות למחשבה, שאלות המקשרות למידע שהופיע בפרקים קודמים ועוד. למקצת השאלות ניתנות תשובות בהמשך הקריאה.
בפרקים השונים משובצות משימות מסוגים שונים: חלקן משימות לחשיבה, חקירה וקריאה נוספת, ואחרות הכרוכות בהתנסות מעשית.
בסוף כל פרק מופיעות שאלות לסיכום וחזרה.

קריאה נעימה ולימוד מהנה!

ביולוגיה של האדם

תוכן העניינים

פרק 1: האדם הוא יצור חי

תוכן פרק 1 10
1.1 יצור חי אחד – מערכות רבות 11
1.2 יצורים חיים הם מי שמתקיימים בהם מאפייני החיים 15
1.3 ביצורים חיים נשמרת סביבה פנימית יציבה - הומאוסטאזיס 17
1.4 ביצורים חיים מתקיים תיאום מתמיד בין מערכות הגוף 20
1.5 התיאום מתקיים בכל רמות הארגון בטבע 21
1.6 סיכום 22

יחידה א': הקיום היום-יומי של הגוף

מבוא ליחידה 25

פרק 2: מערכת העיכול

תוכן פרק 2 28
2.1 חומרים מהמזון בונים את הגוף ומספקים לו אנרגיה 30
2.2 "תחנות" במערכת העיכול אחראיות על תהליכי עיכול שונים 38
2.3 סיכום 46
שאלות סיכום וחזרה 46

פרק 3: מערכת הנשימה

תוכן פרק 3 48
3.1 בין נשימה לחילופי גזים 49
3.2 לא כל האוויר "נחוץ כאוויר לנשימה" 50
3.3 איברים רבים משתתפים בתהליך של חילופי הגזים 52
3.4 פעולת הנשימה היא פעולה מחזורית של שאיפה ונשיפה 58
3.5 החמצן דרוש לתאים לנשימתם 64
3.6 סיכום 65
שאלות סיכום וחזרה 65

פרק 4: מערכת ההובלה

תוכן פרק 4 68
4.1 הדם זורם בגוף במחזור סגור 69
4.2 מערכת כלי הדם מורכבת ממשאבה ומרשת צינורות 72
4.3 הלב - שתי משאבות הפועמות כאחת 77
4.4 מחצית מהדם היא נוזל, וכל השאר - תאים 89
4.5 מערכת הלימפה מקבילה למערכת הדם 95
4.6 סיכום 96
שאלות סיכום וחזרה 96

פרק 5: מערכת ההפרשה – פינוי חומרים מהגוף

תוכן פרק 5 98
5.1 חומרים מיותרים מסולקים מהגוף 99
5.2 כניסות ויציאות במערכת ההפרשה 100
5.3 כליות הן מתקני סינון מתוחכמים 102
5.4 מה עושים כשהכליות אינן מתפקדות כראוי? 105
5.5 סיכום 107
שאלות סיכום וחזרה 107

יחידה ב': תיאום, ויסות ובקרה

מבוא ליחידה 111

פרק 6: מערכת ההפרשה הפנימית

תוכן פרק 6 114
6.1 סיפור גילויו של ההורמון אינסולין 115
6.2 מערכת ההפרשה הפנימית היא מערכת תקשורת כימית 117
6.3 ההיפופיזה מבקרת את פעולתן של בלוטות להפרשה פנימית 121
6.4 תקשורת כימית בין תאים היא תנאי לקיום היצור הרב-תאי 124
6.5 סיכום 125
שאלות סיכום וחזרה 126

פרק 7: מערכת העצבים ואיברי החושים

תוכן פרק 7 128
7.1 מערכת העצבים קולטת מידע ומגיבה עליו 129
7.2 תאי העצב הם יחידות הפעולה של המערכת 131
7.3 מערכת העצבים המרכזית מתאמת את פעילות כל תאי העצב 138
7.4 מערכת העצבים ההיקפית מורכבת ממערכות משנה 144
7.5 החושים קולטים מידע אודות הסביבה החיצונית 146
7.6 סיכום 154
שאלות סיכום וחזרה 154

יחידה ג': מערכות ההגנה של הגוף

מבוא ליחידה 157

פרק 8: מערכות ההגנה והחיסון של הגוף

תוכן פרק 8 160
8.1 מערך הגנה קדמי מונע חדירת גורמים זרים לגוף 161
8.2 מערך הגנה שני: תאי דם לבנים בולעים גופים זרים 162
8.3 מערך הגנה ייחודי – גילויים ראשונים 164
8.4 התגובה לחדירת חומרים זרים היא ייחודית 167
8.5 חיסון פעיל וחיסון סביל מסייעים במניעת מחלות 171
8.6 מערכת החיסון מגיבה להשתלת רקמות זרות 173
8.7 שיבושים בפעולת מערכת החיסון הם מקור למחלות 175
8.8 סיכום 178
שאלות סיכום וחזרה 178

יחידה ד: מדור לדור - רבייה והמשכיות

מבוא ליחידה 181

פרק 9: "...זכר ונקבה ברא אתם" (בראשית, א, כ"ז)

תוכן פרק 9 184
9.1 מערכות הרבייה של האדם 185
9.2 בגיל ההתבגרות מערכות הרבייה מגיעות לבשלות 188
9.3 מהתלכדות הזרע והביצית נוצר עובר 192
9.4 בתוך תשעה חודשים העובר הופך לילוד 195
9.5 סיכום 199
שאלות סיכום וחזרה 200

יחידה ה': הכל פועל ביחד

מבוא ליחידה 203

פרק 10: הגוף פועל כיחידת מבנה אחת

תוכן פרק 10 206
10.1 השלד והשרירים הם מערכת התנועה שלנו 207
10.2 תנועת האיברים תלויה במבנה המפרקים 209
10.3 שרירים רצוניים מניעים את העצמות 210
10.4 כל התנועות מתואמות ומתוזמנות בדייקנות 211
10.5 סיכום 212
שאלות סיכום וחזרה 212

פרק 11: ההומאוסטאזים נשמר בשינה כמו בריצה

תוכן פרק 11 214
11.1 הגוף עובד גם כשהוא ישן 215
11.2 מתעוררים ועוברים לפעילות נמרצת 216
11.3 גידולים סרטניים מבטאים סטייה מיציבות הסביבה הפנימית 218
11.4 סיכום 219

סוף דבר: גוף האדם – שלמות מורכבת 221

מילון מונחים 223

מפתח 231

מקורות האיורים 238

פרק 1

האדם הוא יצור חי

פרק 1

תוכן העניינים

1.1 יצור חי אחד - מערכות רבות 11

• האדם הוא יצור חי, וככל יצור חי גופו מורכב ממערכות רבות 11

1.2 יצורים חיים הם מי שמתקיימים בהם מאפייני החיים 15

1.3 ביצורים חיים נשמרת סביבה פנימית יציבה - הומאוסטאזיס 17

• הסביבה הפנימית היא סביבת חייהם של תאי הגוף 17

• שמירה על טמפרטורת הסביבה הפנימית היא דוגמה להומאוסטאזיס 18

1.4 ביצורים חיים מתקיים תיאום מתמיד בין מערכות הגוף 20

1.5 התיאום מתקיים בכל רמות הארגון בטבע 21

1.6 סיכום 22

1.1 יצור חי אחד - מערכות רבות

כל אחד מאתנו מודע לעובדה שהוא חי, אך מתייחס לכך, בדרך כלל, כאל דבר מובן מאליו. רק לעתים רחוקות אנחנו טורחים לחשוב מה פירוש הדבר "לחיות, או "להיות חי". בפרק זה נבחן כמה תשובות לשאלה הזו.

עכשו למשל, אתם קוראים ומכאן, ברור שהעיניים שלכם, שהן אברי חוש הראייה, עסוקות כרגע. יש להניח שגם חלק מסוים במוח פעיל עכשיו (אפילו אם נדמה לכם שאתם לא מרוכזים, ולא תזכרו את הכתוב). הפעולה של זיהוי האותיות והמלים המתרחשת במוח ולא בעין, היא חלק בלתי נפרד מקריאתכם.
השאלה היא, אילו חלקים אחרים של גופכם פועלים גם הם ברגע זה. מה דעתכם?
חשבו, למשל, האם השרירים בגוף פעילים כרגע, בעת הקריאה?

שאלה 1

כתבו, איזה מהחלקים או האיברים השונים של הגוף פועל, לדעתכם, בעת שאתם קוראים בספר:
א. האם חלקי הגוף הקשורים לעיכול?
ב. השרירים?
ג. מערכת הנשימה?
ד. הכליות?
ה. האם, לדעתכם, יש מרכיב בגופכם שאינו פעיל ברגע זה (כשאתם קוראים)? מהו?

כשמישהו משחק כדורגל או משתתף בפעילות אחרת הדורשת ממנו מאמץ גדול, הוא "מרגיש את כל השרירים בגוף"; יש הרגשה חזקה שכל איברי הגוף פועלים ושותפים למאמץ. אבל מה קורה כשלא עסוקים בפעילות מיוחדת?
אולי נראה לכם קצת מוזר לחשוב ששרירי הגוף עושים משהו בעת שאדם יושב על כסא, או מתפרקד במיטה וקורא ספר. אכן, מצבים אלה אינם כרוכים במאמץ, אולם אין זה אומר שהשרירים בטלים ממלאכה. מה עושים השרירים כשאנחנו מתבטלים? את התשובה לכך תמצאו בהמשך לימודיכם.
ומה בדבר הכליות? הכליות אחראיות על יצור השתן, ובפרק 5 תכירו אותן טוב יותר. אולם האם הן פעילות גם בעת שאיננו מרגישים שום צורך ללכת לשירותים? האם הן פעילות דקה לאחר שיצאנו מהשירותים? התשובה היא - כן! הכליות לא מפסיקות מפעולתן בדיוק כשם שהלב לא מפסיק לפעום.

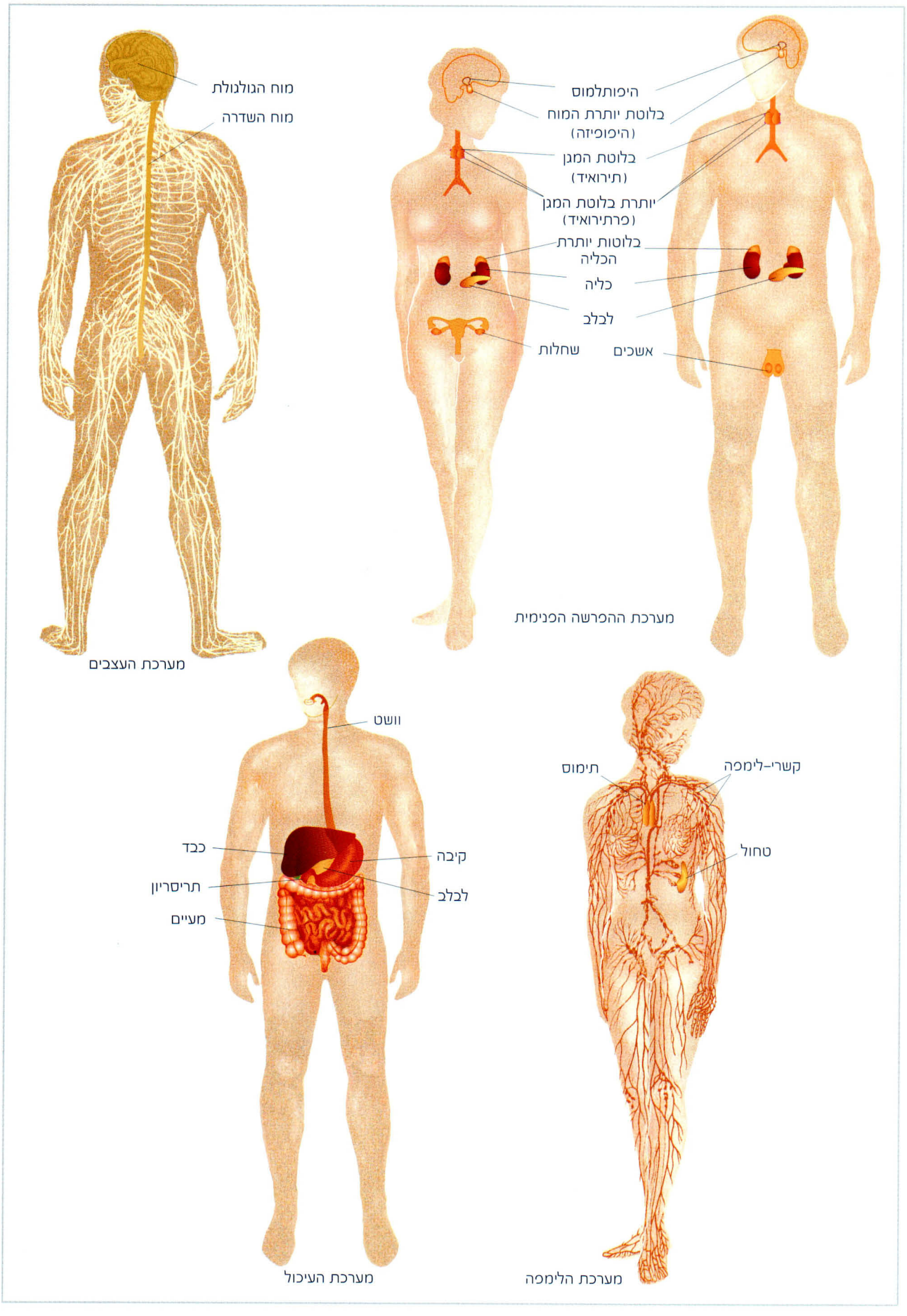
האדם הוא יצור חי, וככל יצור חי גופו מורכב ממערכות רבות

אחת המשמעויות של "להיות חי" היא שיתוף הפעולה והתיאום המלא בין מערכות גופנו המבצעות מספר עצום של פעולות מסובכות, ללא הפסקה. אילו מערכות מרכיבות את גופנו?
באיור 1.1 מוצגות מערכות הגוף במראה כללי.

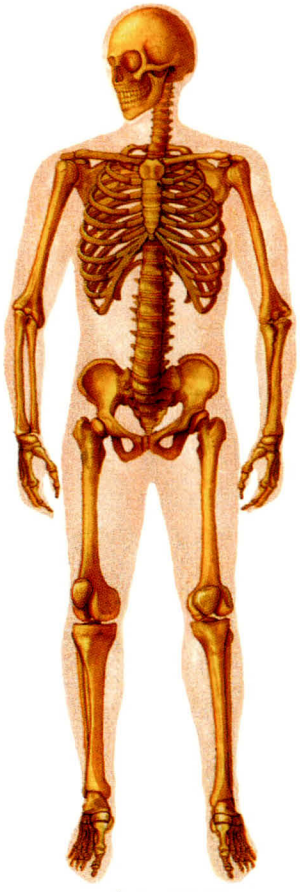
מערכת-גוף היא קבוצה של איברים ורקמות, המבצעים פעולה או פעולות מוגדרות בגוף.
התבוננו, לדוגמה, במערכת העיכול של אדם המוצגת באיור 1.1.

כפי שאתם רואים באיור, מערכת העיכול מורכבת מכמה איברים, שאחדים מהם ודאי מוכרים לכם. עם מערכת העיכול נמנים הוושט, הקיבה, התריסריון הלבלב והמעיים. הכבד, גם הוא חלק ממערכת העיכול אך שהוא מבצע גם פעולות שאינן קשורות במישרין בעיכול מזון.

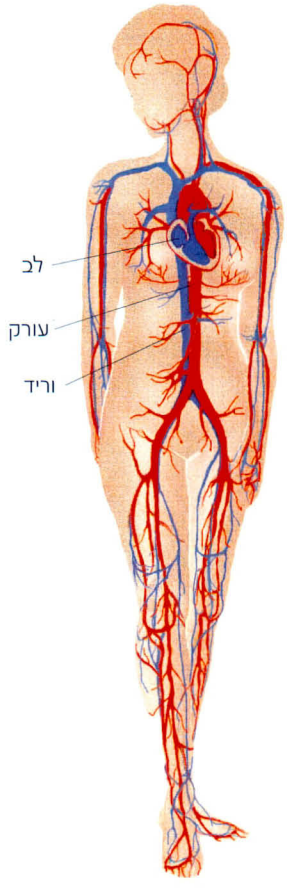
כל מערכת בגופנו מבצעת מכלול מורכב של פעולות, אך הגוף השלם מתקיים כיחידה חיה אחת. באופן נורמלי, בחיי היומיום, אדם לא חש את עצמו כצירוף של תהליכים ופעולות כגון "מעכל" "נושם" "מפריש". התחושה העצמית היא של אדם שלם, המתנסה במצבים: "מתאמן" "צופה בטלוויזיה" "לחוץ" "נהנה" וכדומה. תחושת שלמות זו של היחיד מתקיימת הודות לשיתוף הפעולה והתיאום בין פעולותיהן של כל המערכות בגוף.
יתר-על-כן, אם קורה שאדם חש באופן ברור בפעילות של מערכת גוף מסוימת, הרי זה דווקא כאשר פעולתה משתבשת. כך, אנו חשים בפעימות הלב רק כאשר יש הפרעה כלשהי בפעילותו התקינה; אנו מודעים למערכת העיכול שלנו כאשר הבטן כואבת - ביטוי למחלת מעיים כלשהי; גם לפעולה של הכנסת אוויר והוצאתו מהגוף איננו מודעים בדרך-כלל, אלא רק כשאנו סובלים מהפרעות בדרכי הנשימה, כגון נזלת או דלקת כלשהי.
בפרקי הספר השונים נכיר טוב יותר את מערכות גופנו, ונבין את משמעותו של שיתוף הפעולה ביניהן.



איור 1.1
מערכות בגוף האדם

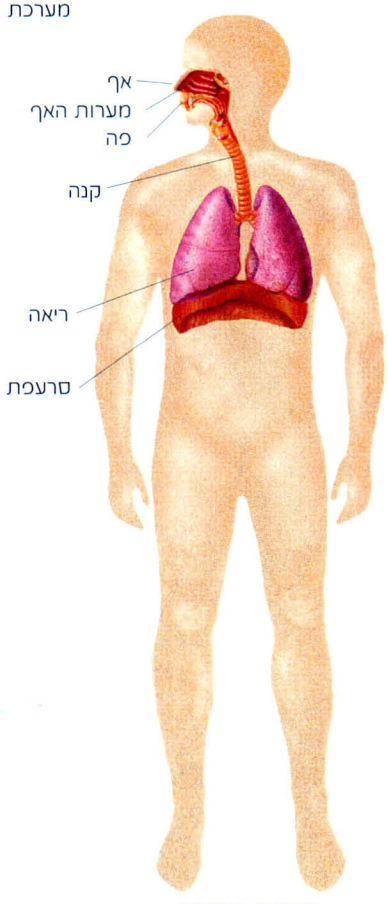


מערכת השלד

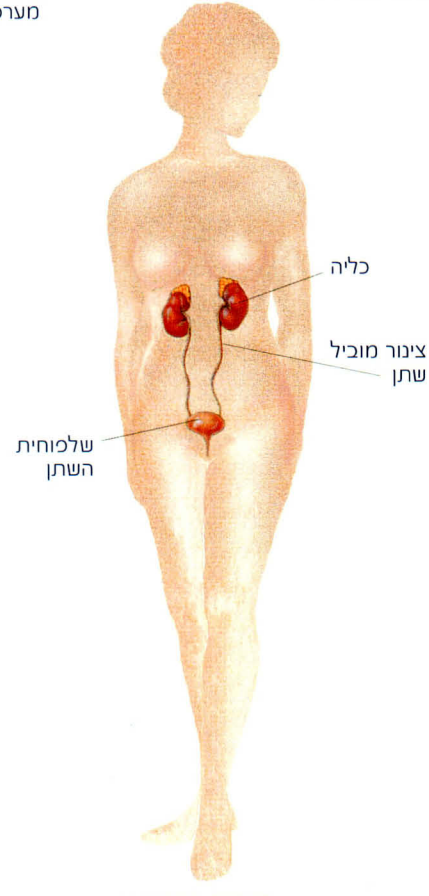


מערכת ההובלה

מערכת השרירים



מערכת הנשימה



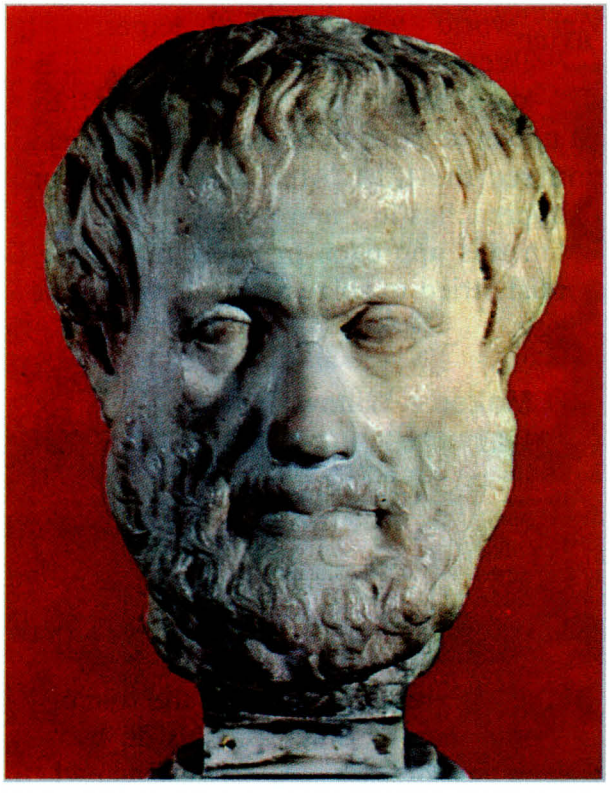
מערכת ההפרשה

מבט אל העבר

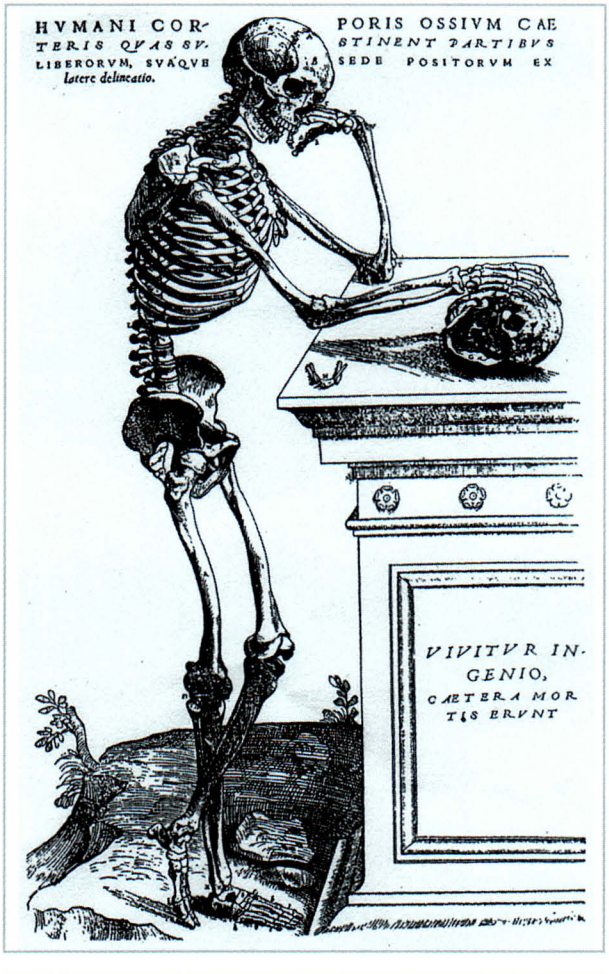
מקובל על חוקרי הביולוגיה שהאב המייסד של המדע היה הפילוסוף היווני **אריסטו (Aristotle)**, שחי בין השנים 384-322 לפני הספירה. אריסטו היה תלמידו של הפילוסוף היווני **אפלטון (Plato)** שחי בין השנים 427-347 לפני הספירה. אפלטון אמנם לא כתב ספר ביולוגיה אך הוא התעניין בגוף האדם ובמבנהו במסגרת הגותו הפילוסופית. אריסטו הוא מחברו של ספר הביולוגיה הראשון בהיסטוריה הכתובה שהוא שלם ומקיף במידה מעוררת התפעלות. הוא גם היה הראשון שכלל בביולוגיה כל מה שאנו נוהגים לכלול בה היום: ידיעה מקיפה ומפורטת - כפי שהייתה בזמנו - של המבנה ודרכי התפקוד של הצומח והחי, לרבות האדם.

בסוף המאה השניה לספירה, חיבר הרופא היווני **גַלֶנוּס (Galen)** שחי בין השנים 129-200 לספירה, סדרה של ספרי רפואה מקיפים, שכללו את כל הידע ברפואה שהיה קיים בימיו. גלנוס ידע שנתיחות הן אמצעי הכרחי להכרת מבנה הגוף, אך מכיוון שהיה בזמנו איסור חמור על נתיחת גופות אדם, שאב חלק גדול מהמידע שלו מניתוח בעלי חיים שונים, ככל הנראה בעיקר קופים וכלבים.
גַלֶנוּס הבחין בפרטי מבנה רבים מאד בגוף (עדיין ללא מיקרוסקופ!). בין השאר הוא היה הראשון שגילה כי בעורקים זורם דם, ולא אוויר כפי שחשבו לפניו. עם זאת, הוא לא הבחין כי הדם זורם במחזור סגור - דבר שנתגלה לראשונה רק כאלף ארבע מאות שנים מאוחר יותר.
גלנוס היה הראשון שהתייחס למבנה גוף האדם במונחים של מערכות גוף. בספריו הוא מסביר כי הגוף בנוי משלוש מערכות הקשורות ביניהן. מערכת אחת היא מערכת המוח והעצבים והיא אחראית לתחושות ולמחשבות. המערכת השניה כוללת את הלב והעורקים, והיא האחראית למה שנחשב בזמנו "כוח החיים" של הגוף; המערכת השלישית כוללת את הכבד והווריד והיא אחראית לתזונת הגוף ולגדילתו.

לאחר שתסיימו את לימוד הנושא, תוכלו לשפוט עד כמה היה גלנוס קרוב לידע הקיים בימינו, ובמה היה עדיין רחוק ממנו. המבנה של גוף האדם נלמד מתוך ספריו של גלנוס במשך כ-1400 שנים. רק בשנת 1543 יצא לאור ספר חדש שתיקן רבות מהטעויות בספריו של גלנוס. **וסַליוּס (Vesalius)** (1514-1564) רופא ממוצא פלמי התעלם מאיסורי הכנסייה, וקבע כי אין דרך ללמוד את מבנה הגוף אלא על-ידי ניתוחי גופות רבים ככל האפשר. להכנת ספרו על גוף האדם הוא גייס צייר מקצועי שצייר תמונות מדויקות להפליא של מערכות גוף שונות.
באיור 1.2 אתם רואים תמונה אחת לדוגמה מהספר של וסליוס, מעשה ידי צייר אמן מקצועי.
(ועוד הערה למתענינים: בשנה בה יצא לאור ספרו המהפכני של וֶסַליוּס, יצא לאור ספר מהפכני נוסף: ספרו של קוֹפֶרניקוּס, בו הציג את תורתו האומרת כי כדור הארץ אינו מרכז היקום וכי הוא וכל שאר כוכבי הלכת מקיפים את השמש.)



אריסטו



איור 1.2
מראה שלד האדם מספרו של וסליוס, משנת 1543

1.2 יצורים חיים הם מי שמתקיימים בהם מאפייני החיים

כאמור, קיומו של יצור חי מותנה בפעולתן המתואמת של מערכות מורכבות רבות. אולם לפני שנפנה לעסוק במערכות גופנו, עלינו לברר מה עומד מאחורי האמירה "להיות יצור חי".

אנשים רבים, פילוסופים, מדענים והוגי דעות העסיקו את עצמם לאורך ההיסטוריה בשאלה במה שונה החי מן הלא-חי, מן הדומם. מאמצע המאה ה-19 החלה להתגבש ההכרה, המקובלת עלינו עד היום, כי החיים הם בעצם צירוף של פעולות המאפיינות את כל היצורים החיים ומכונות בשם כולל "פעולות החיים" (בעבר נהגו לכנותן גם "סימני החיים"). אנו לא מגדירים אפוא מה הם "חיים", אלא מהו "יצור חי".

על-פי ההגדרה שהתגבשה במרוצת המאה ה-20, יצור חי הוא יצור שחלים עליו כל המאפיינים האלה:

- מקיים חילוף של חומרים ושל אנרגיה עם הסביבה- קולט ממנה חומרים ואנרגיה, משנה את החומרים שקלט ופולט לסביבה חומרים ואנרגיה הנוצרים בו בתהליכי השינוי;
- חש את הסביבה, קולט מידע אודותיה ומגיב על המידע הנקלט;
- מתרבה תוך העברת תכונותיו בתורשה לדור הבא;
- גדל ומשתנה במהלך חיים ;
- מסוגל לנוע, גם אם אינו משנה את מקומו.

שאלה 2

א. מה דעתכם על האפיון הזה של יצורים חיים? האם הייתם משנים אותו? האם חסר בו משהו לדעתכם?
כתבו את ההצעות שלכם. זכרו, כי כל הצעה שלכם צריכה לאפשר לנו להבחין בין חי לדומם.

ב. האם לדעתכם זרע של צמח הוא יצור חי? נמקו את תשובתכם.

נרחיב מעט ונסביר מה משמעותו של כל מאפיין.

- **מקיים חילוף של חומרים ושל אנרגיה עם הסביבה**

סימן חיים זה מורכב, למעשה, משלושה סוגים של פעולות:

א. קולט חומרים ואנרגיה מהסביבה - למשל, אוכל כריך גבינה, או עוגת תפוחים. כל יצור חי, לרבות האדם ניזון, כלומר, קולט מסביבתו חומרים שונים (איור 1.3). החומרים המרכיבים את המזון מאפשרים ליצור להתחדש, לגדול ולהתפתח. כל חומרי המזון מתפרקים בגוף, וחלקם מתפרקים בתהליכים שמופקת בהם אנרגיה. האנרגיה מאפשרת לתאי הגוף לבצע תהליכים שונים ההכרחיים לקיומו של היצור.

הצמחים שונים מכל בעלי החיים בכך שהם קולטים אנרגיית אור במישרין מהשמש ומייצרים את מזונם (החומרים האורגניים) בעצמם.

ב. מפרק או משנה את החומרים שקלט ויוצר חומרים אחרים: עוגת התפוחים שאכלנו משתנה בתוך הגוף והופכת למשהו אחר. החומרים ששימשו לאפיית העוגה משתנים בתהליכים כימיים, ונוצרים מהם חומרים אחרים הבונים את הגוף. ככלל, דבר זה נכון לגבי כל יצור חי, ללא קשר לחומרים שהוא ניזון מהם: להוציא מים ומלחים, כל חומר שנכנס ליצור החי משתנה בתוכו; שום דבר לא נותר כשהיה!

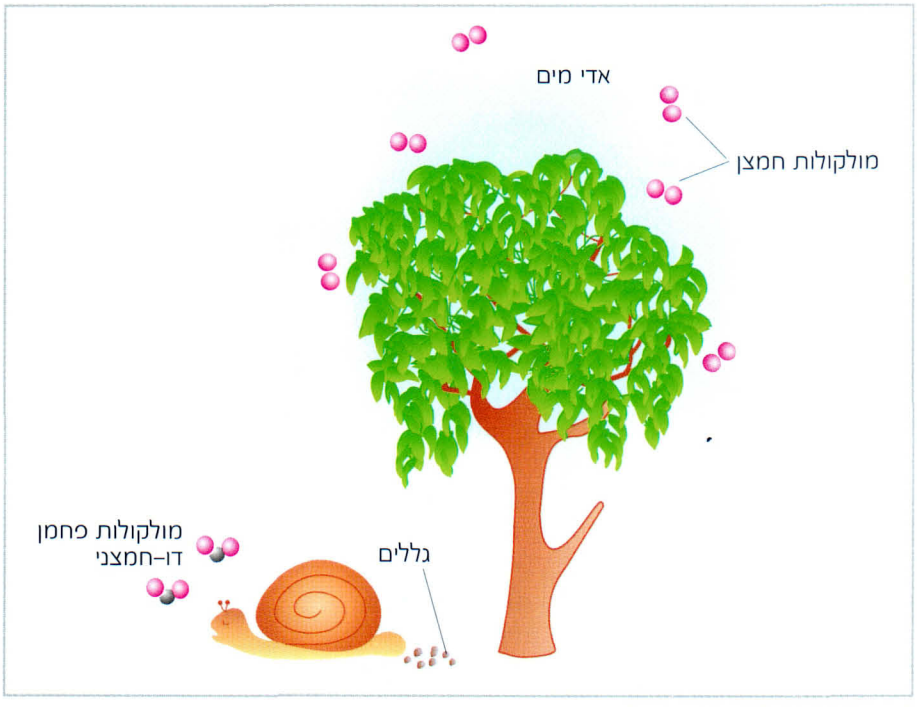
מכלול התהליכים של פירוק, שינוי ובנייה מחדש של חומרים בגוף החי נקרא בשם כולל **חילוף חומרים** ובלועזית - מטבוליזם (metabolism).

ג. משחרר חומרים ואנרגיה לסביבתו החיצונית:

למשל, כשהוא נושם. בנשימה משתחרר פחמן דו-חמצני ואדי מים מתנדפים לאוויר. מקצת החומרים שנקלטו בגופנו יוצאים לסביבה כשאנו מפרישים צואה ושתן, אחרים נפלטים בזיעה, ויש הנפלטים בנשימה. בתהליכי חילוף החומרים, המתרחשים בכל יצור חי, תמיד נוצרים חומרי פסולת שונים - מוצקים, נוזלים, או גזים - המשוחררים לסביבה. לכן, כל היצורים החיים, גם כאלה שאינם מזיעים והפרשותיהם שונות מאוד מאלה שלנו, וגם צמחים, משחררים חומרים לסביבה (ראו איור 1.4). חלק ניכר מהאנרגיה המשתחררת בתהליכי חילוף החומרים, הופכת לחום, וגם הוא משתחרר לסביבה.

בכך נסגר מעגל יחסי הגומלין בין היצור החי לסביבה, כפי שנאמר לעיל: כל יצור קולט מהסביבה חומרים ואנרגיה, ופולט אליה חומרים אחרים - ואנרגיה. התהליכים השונים של החלפת חומרים ואנרגיה עם הסביבה, כפי שהם מתרחשים בגוף האדם, הם נושאה של היחידה השניה בספר.

איור 1.3
כל יצור חי קולט חומרים מסביבתו



איור 1.4
יצורים חיים פולטים חומרים שונים לסביבה

איברי החושים שלו. כך, אור חזק גורם לנו לעצום את עינינו ורשרוש קל גורם לנו לסובב את הראש. סוגי הגירויים שהאדם קולט מסביבתו, דרכי הקליטה שלהם, העברת המידע אודותם והתגובה למידע, ידונו בהרחבה ביחידה השלישית של הספר.

- **מתרבה תוך העברת המידע התורשתי שלו לדור הבא**

יצור שהוא תא יחיד מתרבה כאשר התא מתחלק לשני תאים. כושרם של תאים להתרבות תוך הורשת תכונותיהם חיוני גם לקיומם של יצורים רב-תאיים. נוסף לכך, היצורים הרב-תאיים - צמחים ובעלי חיים - מתרבים ומעמידים צאצאים. תהליכי הרבייה של פרטים שלמים (רב-תאיים) מחייבים בדרך-כלל (אך לא תמיד) מעורבות של שניים, שכל אחד מהם תורם חומר תורשתי לתהליך הרבייה. על דרך הרבייה של האדם תלמדו ביחידה החמישית של הספר.

- **חש את הסביבה, קולט מידע אודותיה ומגיב על המידע הנקלט**

היצורים החיים שבאיור 1.5 קולטים מידע מהסביבה. המידע נקלט בצורת גירויים מסוגים שונים: שינוי בטמפרטורת הסביבה, ריח מסוים, כיוון קרני השמש, צליל, צבע, תנועת אוויר וכדומה. כל גירוי כזה מוסר ליצור מידע מסוים על הנעשה בסביבה. קיומם של יצורים חיים תלוי בכך שיוכלו לקלוט מידע מהסביבה, ולהגיב עליו.

בשביל הצמחים למשל, כוח המשיכה שמפעיל כדור הארץ הוא גירוי, המאפשר להם לזהות את הכיוונים "למעלה" ו"למטה". התגובה של הצמח למידע מתבטאת בכך שהשורשים שלו צומחים כלפי מטה, לתוך האדמה, והגבעול צומח כלפי מעלה.

האדם קולט מהסביבה מידע המגיע כגירויים, בעיקר דרך

- **מסוגל לגדול ולהשתנות**

כל יצור גדל במהלך חייו. גם גודלו של חיידק החי רק שלושים דקות משתנה במהלך אותן שלושים דקות. הגדילה הכוללת של היצור והשתנותו נובעת מקליטת חומרים ואנרגיה מהסביבה, ואצל רב-תאיים - מהתרבות התאים בגופם.

- **מסוגל לנוע, גם אם אינו משנה את מקומו**

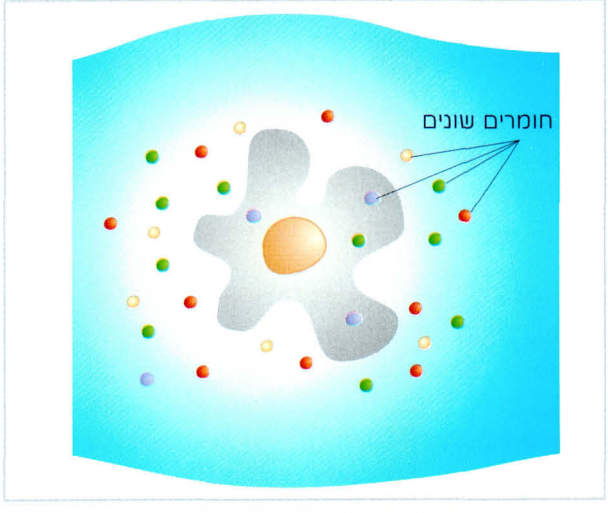
התנועה היא אחד מסימני החיים הבולטים ביותר לעין, אך חשוב לציין כי תנועה אינה רק שינוי מקום. תנועה של חומר ושל אברונים מתרחשת בהתמדה בתוך כל תא חי. תנועה מאפיינת גם יצורים שלכאורה אינם נעים, כמו כל הצמחים. הצמחים אמנם אינם משנים את מקומם, אך בגופם מתרחשות תנועות שונות. כך, למשל, חלקים שונים של הצמח משנים את כיוון צמיחתם בהתאם לשינוי בכיוונו של מקור האור.

איור 1.5
לחוש את הסביבה: אדם לובש בגדים חמים, כלב מריח, פרח פונה לאור

1.3 ביצורים חיים נשמרת סביבה פנימית יציבה - הומאוסטאזיס

בגופם של כל היצורים החיים מתקיימת כל העת **סביבה פנימית** יציבה, השונה באורח מובהק מ**הסביבה החיצונית**. דבר זה נכון לגבי כל חי, בין אם הוא לוויתן ענק, גבעול עשב, או יצור חד-תאי, כגון חיידק. כמובן, הדבר נכון גם לגבינו, בני האדם. תופעה זו, הכושר לקיים סביבה פנימית יציבה, מכונה בשם **הומאוסטאזיס** (Homeostasis).

נבהיר מהי סביבה פנימית יציבה.
כשמסתכלים על יצור חד-תאי, ברור לחלוטין מהו חוץ ומהו פנים. הסתכלו לדוגמה ביצור חד-תאי - אמבה (אפשר שהיא מוכרת לכם מלימודיכם הקודמים), באיור 1.6



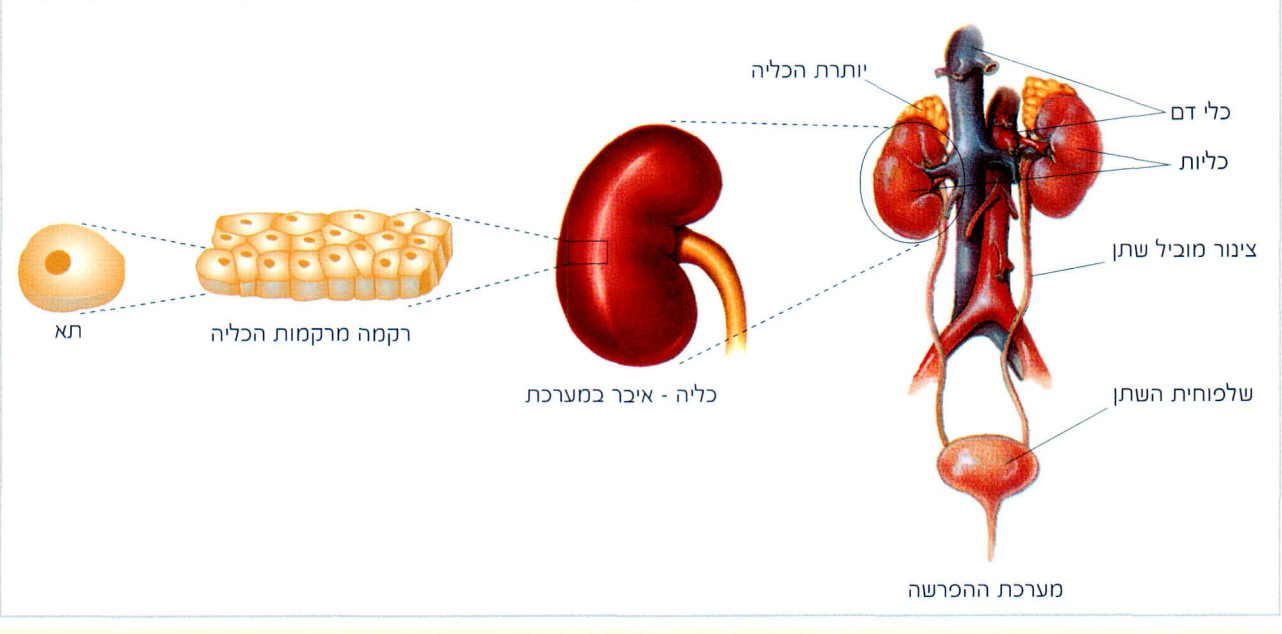
איור 1.6
סביבה פנימית וסביבה חיצונית של יצור חד תאי

קרום התא של האמבה הוא החיץ בין פנים התא לבין הסביבה. התנאים השוררים בתוך התא - הרכב החומרים השונים, אחוז המים, אחוז המלחים - כל אלה שונים מהתנאים בסביבתה החיצונית של האמבה. מה שמאפשר לאמבה לשמור על ההרכב המיוחד של סביבתה הפנימית הוא קרום התא: הקרום הוא בררני ולא כל החומרים עוברים דרכו. בקרום יש גם מנגנונים מיוחדים להעברת חומרים אל התא וממנו שפעולתם מחייבת השקעת אנרגיה. חלק נכבד מהאנרגיה שהאמבה מפיקה ממזונה מושקע במעבר המבוקר של חומרים בין הסביבה הפנימית לסביבה החיצונית, ובשמירת ההרכב הייחודי והיציבות של הסביבה הפנימית. הצורך בהשקעת אנרגיה לשם שמירה על יציבות הסביבה הפנימית אינו מיוחד ליצורים חד-תאיים. כפי שתראו, הוא משותף לכל היצורים החיים, והאדם בכללם.

הסביבה הפנימית היא סביבת חייהם של תאי הגוף

המושג "סביבה פנימית" דורש הבהרה נוספת כשמדובר ביצור רב-תאי. לא כל מה שנמצא על-פי תחושתנו בתוך גופנו, נקרא "סביבה פנימית". כך, לדוגמה, נתח מאכל שלעסנו ובלענו, עדיין איננו בסביבה הפנימית של הגוף. כדי להבין מהי הסביבה הפנימית, עלינו לחזור ולהיזכר כי הגוף כולו, כל המערכות והאיברים המרכיבים אותו -כולם מורכבים מתאים. (ראו איור 1.7).

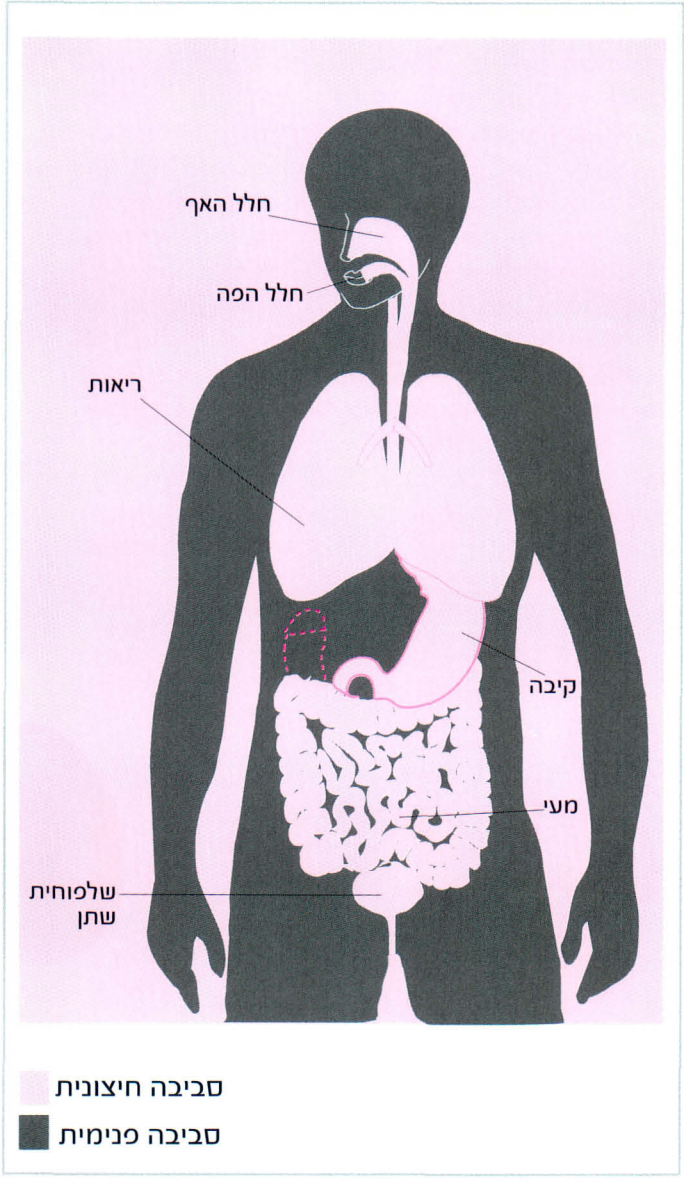
התאים הם היחידות הבסיסיות הבונות את גופנו. כל תא בפני עצמו הוא יחידה חיה, אם תרצו "יצור חי" קטן מאד. כל תא בפני עצמו מקיים את כל הפעולות שמנינו לעיל: מחליף חומרים עם סביבתו, חש את סביבתו - כלומר קולט מידע אודותיה, מגיב על שינויים החלים בסביבה, וכן גדל, מתרבה ומעביר מידע אודות תכונותיו לתאים שהם צאצאיו. בכל התאים מתקיימת אפוא סביבה פנימית, תוך-תאית, וסביבה זו שונה שוני מובהק מסביבתם החיצונית (כמו בדוגמת האמבה).
אולם התאים נמצאים כולם בתוך הגוף. מהי, אם כן, אותה "סביבה" שהתאים בגופנו חיים בתוכה ומקיימים עמה מערכת מורכבת של יחסי גומלין?



איור 1.7
כל מערכת בנויה מאיברים ורקמות, וכל רקמה בנויה מתאים

כל התאים בגוף מוקפים בחומר עתיר מולקולות מים. חומר זה, לרבות מולקולות המים והחומרים המומסים בהן נקרא "חומר חוץ-תאי". חומר זה, והדם הזורם בכלי הדם, הם סביבת קיומם של תאי הגוף. הסביבה הפנימית של גופנו היא אפוא הסביבה התוך-תאית, החומר החוץ-תאי בו חיים כל התאים, וכמובן, הדם (על הדם תלמדו בפרק 4).
ומדוע מזון שאכלנו, הנמצא בקיבה, לא נמצא בסביבה הפנימית של הגוף? *החלל הפנימי של כל מערכת העיכול, המתחיל בפה ומסתיים בפי הטבעת*, מהווה המשך ישיר של הסביבה החיצונית. דבר זה נכון גם לגבי הריאות, וגם לגבי שלפוחית השתן. החלקים בתוך גופנו שיש להם חיבור רצוף לסביבה החיצונית, אינם חלק מהסביבה הפנימית. בפרקים 2 ו- 3, העוסקים במערכות העיכול והנשימה, נרחיב הסבר זה ונמחיש אותו בדוגמאות.

איור 1.8 ימחיש לכם את משמעות המושג "סביבה פנימית" ו"סביבה חיצונית" בגוף. כאשר אנו אומרים שהתנאים בסביבה הפנימית נשמרים בקפדנות בתוך גבולות צרים, אנו מתכוונים לתנאים השוררים בדם ובחומר החוץ-תאי, שהם סביבת הקיום של התאים, ולתנאים השוררים בתוך התאים.



איור 1.8 א
סביבה חיצונית וסביבה פנימית בגוף האדם

שמירה על טמפרטורת הסביבה הפנימית היא דוגמה להומאוסטאזיס

תוכלו להיווכח בהבדל שבין הסביבה הפנימית לזו החיצונית, ללא קושי מיוחד, בעזרת המשימה הבאה.

משימה 1

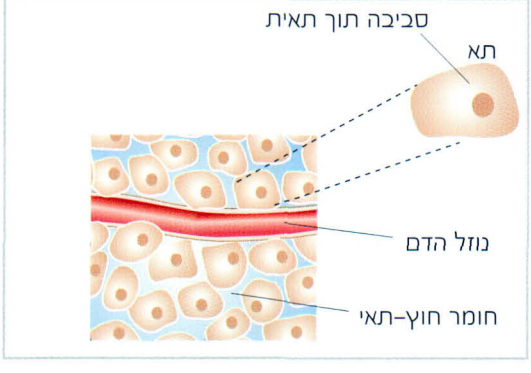
עורכים השוואה בין טמפרטורת הגוף לטמפרטורת הסביבה.

א. מהי הטמפרטורה הממוצעת של אדם בריא? מדדו את טמפרטורת גופכם בבוקר ובערב וכתבו את התוצאות.

ב. בררו מהי טמפרטורת האוויר במקום מגוריכם ובשלושה מקומות שונים בארץ בשעות שונות במשך יממה, וכתבו אותן.
תוכלו לברר טמפרטורות גם במקומות שונים בעולם ולצרף אותן לרשימה. המידע נמצא בעיתונים יומיים ובאינטרנט.

ג. מה ההבדל במעלות בין הטמפרטורה של פנים גוף האדם לבין זו של האוויר, במקומות שונים בארץ או בעולם?

בתצפית שערכתם מצאתם כי טמפרטורת הגוף של האדם קבועה ונמצאת בתחום שבין 36.5 ל-37 מעלות צלזיוס. טווח הסטייה מהטמפרטורה התקינה מתבטא בכמה עשיריות של מעלה ולא יותר.
טמפרטורת האוויר, לעומת זאת, משתנה בטווחים גדולים בהרבה. בישראל היא עשויה לנוע בתנודות של 10 מעלות ויותר בין יום ללילה, בכל עונה. במקומות אחרים, כגון מדבריות גדולים, יכולות להיות תנודות טמפרטורה גדולות עוד יותר.
ככלל, להוציא כמה ימי חום קשים, טמפרטורת האוויר כמעט תמיד נמוכה מטמפרטורת הגוף!
מתברר אפוא, כי גופנו מסוגל לקיים בתוכו טמפרטורה קבועה, שאינה משתנה בהשפעת הטמפרטורה החיצונית.
היכולת הזו לשמר טמפרטורה פנימית יציבה, היא אחד הביטויים של ההומאוסטאזיס. כדי לקיים טמפרטורה פנימית שונה מהחיצונית, נדרשת השקעה של אנרגיה על ידי תאי הגוף, אנרגיה המושגת בתהליכי חילוף החומרים.



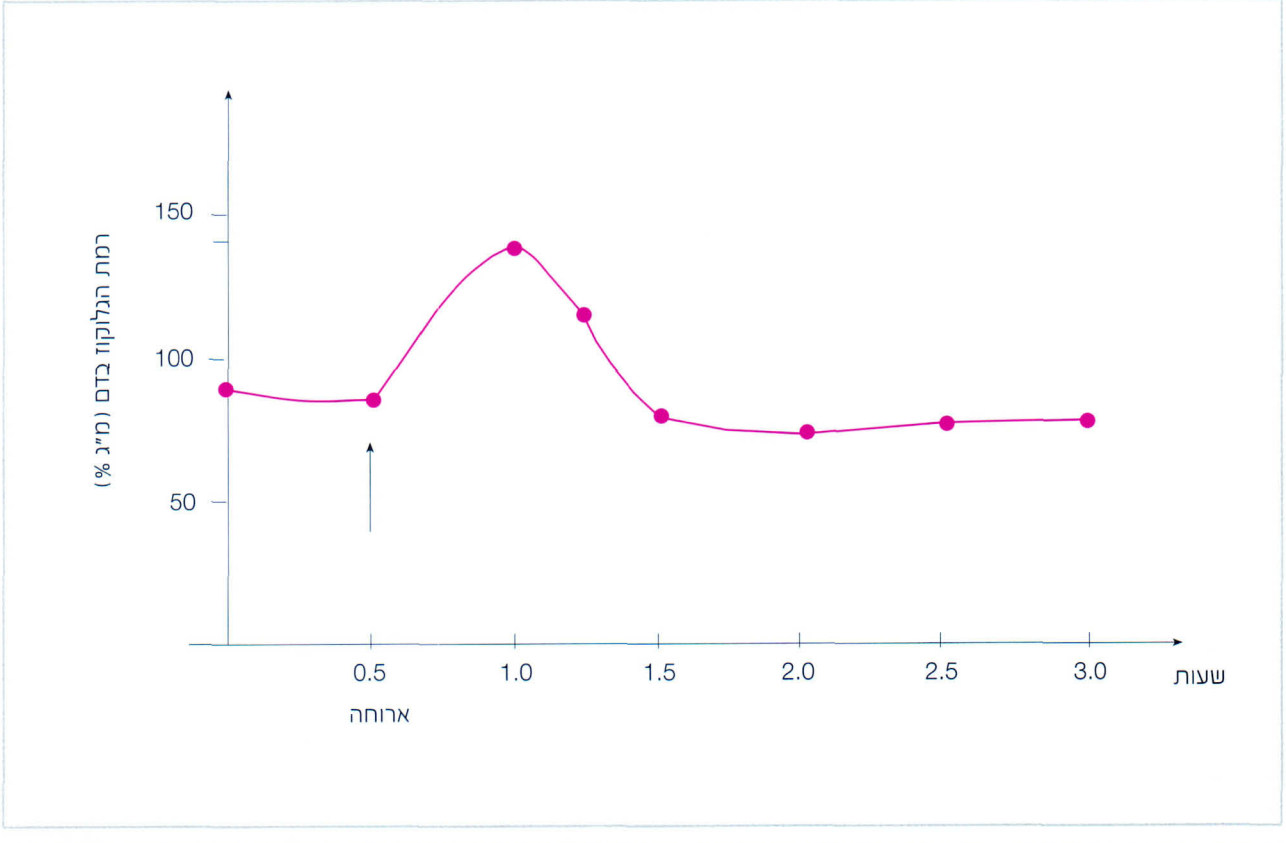
איור 1.8 ב
הסביבה הפנימית של התאים וסביבתם החיצונית הן הסביבה הפנימית של הגוף

יציבות כזו של טמפרטורת הגוף מאפיינת רק חלק מהיצורים החיים. נבחן אפוא דוגמה נוספת הממחישה את ההומאוסטאזיס: שמירה על ריכוז קבוע של חומרים בסביבה הפנימית.
אפשר שתשאלו: איך מתקיים ריכוז קבוע ומדויק של חומרים בתוך הגוף? הרי יש הבדלים גדולים בין בני האדם בסוגי החומרים הנכנסים לגוף. סיני ממוצע צורך הרבה יותר אורז מתושב ישראל, ואילו זה האחרון בוודאי צורך חומוס בכמות רבה יותר מכל אנגלי. אכן, אם נבחן את מה שנמצא בקיבתם של אנשים שונים, נגלה הבדלים עצומים ביניהם. וגם לגבי אדם אחד, אי אפשר לומר שאותם חומרים נמצאים בקיבתו בכמויות קבועות, כל הזמן. אולם עליכם לזכור, כי חלל הקיבה אינו חלק של הסביבה הפנימית! מה שנמצא בקיבה אלה הם חומרים שעתידים לעבור תהליכים מורכבים מאד של שינוי, לפני שיעברו אל הדם, כלומר, לסביבה הפנימית. החומרים המגיעים לדם זהים אצל הסיני, הישראלי והאנגלי.
בדם, בניגוד למערכת העיכול, כמות הסוכר, למשל, יציבה מיום ליום במשך כל חייו של האדם (אלא אם הוא חולה במחלות מסוימות). אצל כל אדם בריא, בין אם הוא אוהב דברי מתיקה ובין אם לאו, רמת הסוכר בדם נשמרת בתוך גבולות צרים מאוד. בכל 100 מ"ל דם לא יימצאו פחות מ-80 מ"ג סוכר ולא יותר מ-120 מ"ג סוכר. כלומר טווח השינויים ברמת הסוכר בדם אצל אדם בריא הוא בסך הכל 40 מ"ג, 40 אלפיות של גרם!

חשוב להדגיש, כי כמות הסוכר בדם אינה קבועה באופן מוחלט בכל שניה של חיינו. סטיות וחריגות מהכמות התקינה מתרחשות כל הזמן. חצי שעה לאחר אכילת עוגה, נמצא בדם יותר סוכר מאשר השכם בבוקר, לפני ששתינו ואכלנו משהו (ראו איור 1.9). אולם מערכות שונות הפועלות בגופנו מתקנות את הסטיות והשינויים האלה בהתמדה. זו בעצם המשמעות המלאה של ההומאוסטאזיס: הגוף החי מצויד במערכות המסוגלות לייצב את הסביבה הפנימית כל הזמן, למרות שהיא חשופה כל הזמן לשינויים שמקורם בסביבה החיצונית.

לסיכום, **ההומאוסטאזיס** מתבטא ביכולתו של כל יצור חי לקיים בתוכו סביבה פנימית יציבה, השונה מהסביבה החיצונית. ההומאוסטאזיס מתבטא בשמירה על ריכוזים מדויקים מאוד של חומרים בתוכו ואצל יצורים רבים גם בשמירה על **טמפרטורה פנימית יציבה**. מעבר לכך, ההומאוסטאזיס מתגלה ביכולתו של כל יצור חי לשמור על איזון בין מה שנכנס לגופו לבין מה שיוצא ממנו - אם כחומרים, אם כאנרגיה.

כל היצורים החיים, חד-תאיים ורב-תאיים, מצוידים במערכות או במנגנונים השומרים על ההומאוסטאזיס.
כפי שציינו לעיל, האפשרות לקיים את יציבות הסביבה הפנימית תלויה בכך שיהיה תיאום מלא בין פעולותיהן של מערכות הגוף.



איור 1.9
שינויים ברמת הגלוקוז בדם בעקבות ארוחה

1.4 ביצורים חיים מתקיים תיאום מתמיד בין מערכות הגוף

התיאום המלא בין כל התהליכים המתרחשים בגוף אפשרי הודות לקיומן של מערכות תקשורת, המעבירות מידע בין כל מרכיבי הגוף, כל הזמן. מערכות תקשורת אלה קולטות את המתרחש בסביבה החיצונית ובכל חלק של הגוף בכל רגע של חייו. הן מעבירות מידע על שינויים למרכזים במוח ואלו מעבדים את המידע הזה, ו"מקבלים החלטות" - כלומר, מפיקים את התגובות הנדרשות.

כדי להמחיש את הדברים, נתאר דוגמה אחת לשיתוף פעולה המתקיים בין מערכות גוף, במצב שכולכם מכירים מחיי היומיום. נתבונן לדוגמה באדם רוקד.

איך מעורבות מערכות הגוף השונות בריקודים?

הרוקד שומע מוזיקה. המידע הקולי נקלט בצורת גירויים של תאי חוש השמיעה באוזניים. הגירויים עוברים אל מרכז עיבוד הנמצא במוח, שם הם מפוענחים ומוגדרים כמוזיקה.

מהמוח יוצאות פקודות לרגליים, לידיים, ובעצם לכל שרירי הגוף. השרירים מתחילים להתכווץ ולהתרפות בעצמה ובמהירות, בעת שאנו מניעים את הגוף עם קצב המוזיקה.

לפני שנמשיך בתיאור, כדאי שתעקבו אחר איור 1.10, המציג את כל המערכות המעורבות בריקוד.

איור 1.10
שיתוף פעולה בין מערכות המאפשר לאדם לרקוד

התבוננו באיור 1.10, וחשבו על מידת התיאום בין המערכות השונות הנדרשת כדי לרקוד. באיזה מהן אתם חשים בעת הריקוד?

אתם מרגישים את המאמץ בשרירים, את פעולת הצינון המתרחשת הודות להזעה, וייתכן שאתם גם מתנשמים במהירות. אך האם אתם חשים גם בפעילותן של כל שאר המערכות המשתתפות במאמץ?

כזכור העובדה שאינכם מודעים לפעילותן של כל המערכות האלה נובעת מכך שהן מתפקדות בצורה תקינה לגמרי. במצב תקין, המידע אודות המתרחש במערכות הגוף הפנימיות, העובר דרך מערכות התקשורת אינו מגיע כלל לתודעתנו.

מי מעלה בדעתו, למשל, שיש חשיבות לעובדה שייצור השתן מצטמצם בעת שרוקדים? ויש עוד הרבה שאלות שאפשר לשאול באותו הקשר:

- מה הקשר בין המאמץ לצמצום יצור השתן?
- ברור לנו שבעת מאמץ אנו מזיעים, והדבר עוזר לצינון הגוף. אך מה יקרה לגוף אם לא יצטנן?
- למה הפנים מאדימים? מה הקשר בין צבע העור לזיעה ולמאמץ?
- מדוע אומרים שריקודים טובים לכושר הגופני?
- למה מקובל לומר כי לא טוב לאכול בזמן שרוקדים?
- איך אנו מבחינים בין סוגי הצלילים השונים?
- אילו עצמות של צליל אנחנו יכולים לשמוע?
- האם אפשר להרגיש בקצב בלי לשמוע את המוזיקה?
- האם כל בני האדם שומעים באותו אופן?
- מה זה חוש לקצב?

חלק מהתשובות לשאלות אלה תמצאו בספר שלפניכם. את השאר, אם תרצו תוכלו לחפש ולמצוא במקורות נוספים.

פתחנו בשאלה על מה שקורה בגוף בעת קריאת ספר לימוד, והגענו לריקודים. ראינו כי כדי שפעולות אלה יתרחשו, חייב להתבצע במקביל מכלול של פעולות ותהליכים, הנעשים בתיאום בין כל המערכות בגוף.

1.5 התיאום מתקיים בכל רמות הארגון בטבע

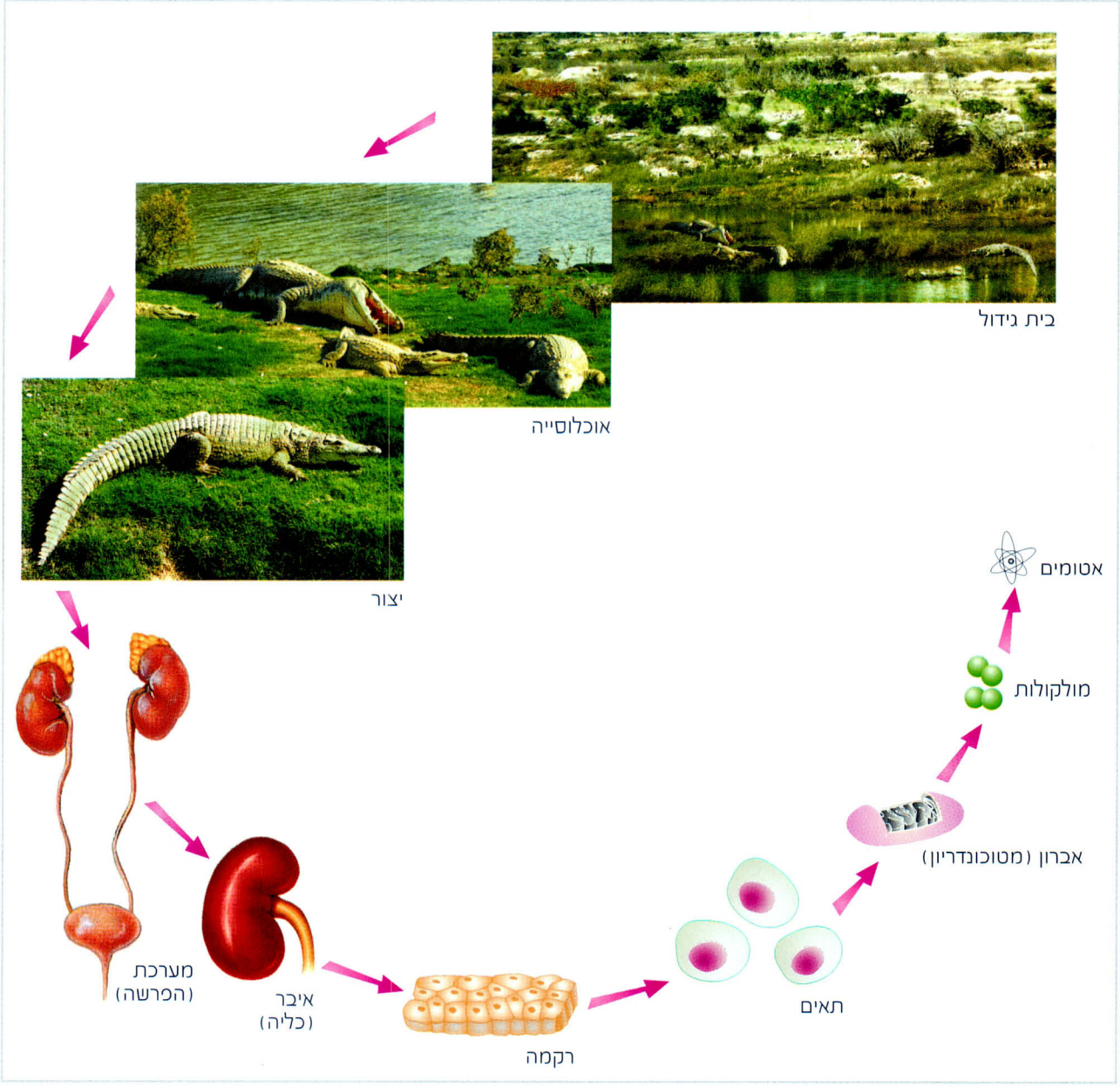
למעשה, התיאום שתיארנו לעיל מתקיים בה-בעת בכמה רמות. תא יחיד, למשל, הוא מבנה מורכב להפליא: בתוך התא נמצאים אברונים רבים ושפע של חומרים. קיומו של התא תלוי בתיאום מלא בין התהליכים השונים המתרחשים באברונים ובציטופלזמה. ביצורים רב-תאיים, התאים מאורגנים ברקמות. רקמה היא אפוא מערך מאורגן ומסודר של תאים, המתקיים הודות לתקשורת ולתיאום שבין התאים. הרקמות בתורן מאורגנות באיברים, ופועלות תוך תיאום ביניהן. והאיברים השונים מאורגנים במערכות (ראו שנית איור 1.7)

העיקרון הכללי המסתמן כאן הוא, שהרכיבים השונים היוצרים ביחד את גופנו, מהווים מדרג עולה של **רמות ארגון**.

ומהי רמת הארגון הבאה, מעל לרמת המערכת?

הגוף השלם - היצור החי - הוא כמובן רמת הארגון הבאה. אפשר לומר, שגופו החי והמתפקד של כל יצור חי, והאדם בכלל זה, הוא ארגון משולב ומתואם היטב של מערכות רבות, כולן מורכבות ומסובכות מאד. כל מערכת מתמחה בביצוע תפקודים המיוחדים לה, וכל המערכות פועלות בשיתוף פעולה שאיננו פוסק אף לחלקיק שניה, ובתיאום מדויק להפליא. אולם בכך לא השלמה התמונה. תופעת הארגון בטבע, אינה מתחילה בתא היחיד, ואינה מסתיימת ביצור השלם, כפי שתראו באיור 1.11.

אם נתבונן ברמות הארגון הנמוכות נראה כי תאים הם מערכות מאורגנות להפליא של מולקולות, ומולקולות הן מערכות מאורגנות של אטומים; ואם נעלה ברמת הארגון, ניווכח כי כל יצור חי הוא חלק מקבוצה, או אוכלוסייה, וכל אוכלוסייה מתקיימת בבית גידול מסוים שהוא רמת ארגון מורכבת עוד יותר.



איור 1.11
רמות ארגון בטבע (האיורים אינם בקנה מידה אחיד)

בספר זה אנו מתמקדים בשלוש רמות ארגון מתוך הרצף: ביצור החי השלם, במערכות הבונות אותו ובאיבריהן. בחרנו באדם כמייצג משום שסברנו כי מעניין יותר, ואולי אף פשוט יותר ללמוד על עצמנו; אולם מה שייאמר על האדם בתוקף היותו יצור חי, נכון בהכללה לגבי כל שאר היצורים החיים; ובעיקר נכונים הדברים בכל הנוגע לבעלי חיים רב-תאיים. במובנים רבים סיפורו של האדם הוא סיפורם של רבים מהיצורים החיים על כדור הארץ.

לימוד הביולוגיה של האדם פותח לפנינו פתח להיכרות נרחבת של המציאות שאנו חיים בה. ככל שנבין טוב יותר את מבנה המערכות של גופנו, את דרכי פעולתן, ובעיקר - את דרכי שיתוף הפעולה ביניהן, נוכל לשפר את איכות חיינו ואת משכם.

במקביל, נזכור כי האדם הוא חלק ממארג של חיים על פני כדור הארץ. מבין כל היצורים, השפעתו של האדם על בתי הגידול שבכדור הארץ היא רבה יותר מזו של כל יצור חי אחר. האדם החל לשנות את סביבתו באופן מכוון מרגע שגילה את האפשרות לגדל את מזונו. כשזורעים צמח מאכל, כגון חיטה, ומבראים את הצמחייה האחרת - הטבעית, משנים את יחסי האוכלוסיות בבית הגידול. זו פעילות שהאדם עוסק בה כבר למעלה מעשרת אלפים שנה. גם כשהאדם בונה סכר על נהר, משקה חלקה של אדמת מדבר, או כורת חלקת יער, הוא משנה מן היסוד את התנאים השוררים בבתי גידול רבים, ובעקבות זאת הוא משנה את ארגון האוכלוסיות בהם.

עלינו להיות מודעים היטב לכוחו ולהשפעתו של האדם כדי שנשכיל לנצל אותם בלי לפגוע במערך השלם של החיים. בסופו של דבר, קיומו התקין של המערך הזה הוא ערובה גם להמשך קיומנו.

1.6 סיכום

בפרק זה למדתם, כי גוף האדם בנוי ממספר גדול של מערכות מורכבות, שכל אחת מהן מבצעת מכלול של פעולות. האדם מופיע כאן כמייצג את היצורים החיים, המאופיינים בכך שמתקיימות בהם פעולות המכונות "פעולות החיים".

פעולות החיים הן:

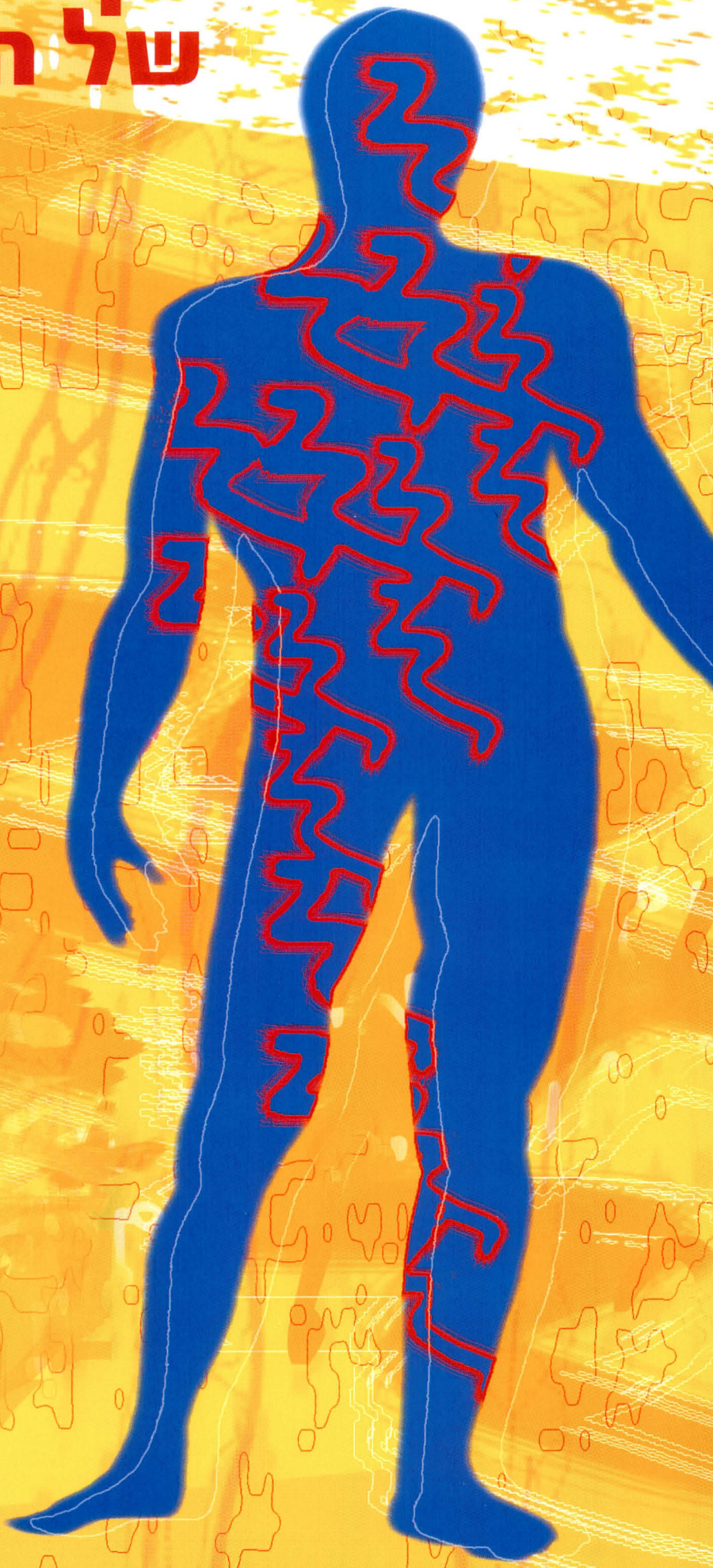
- החלפה של חומרים ושל אנרגיה עם הסביבה- קליטת חומרים ואנרגיה, שינוי של החומרים שנקלטו, ופליטה של חומרים ואנרגיה הנוצרים בתהליכי השינוי.
- יכולת לחוש את הסביבה, לקלוט מידע אודותיה ולהגיב על המידע הנקלט.
- התרבות תוך העברת המידע התורשתי לדור הבא.
- גדילה והשתנות.
- תנועה.

מערכות הגוף של האדם, ושל כל יצור חי, פועלות כל העת מתוך תיאום מלא ביניהן. כפועל יוצא של פעולות החיים, והודות לתיאום בין המערכות המרכיבות אותם, נשמרת בתוך גופם של יצורים סביבה פנימית יציבה, השונה שוני מובהק מהסביבה החיצונית. הכושר לקיים את יציבותה של הסביבה הפנימית מכונה הומאוסטאזיס.

היצורים החיים על כל מרכיביהם הם חלק מרצף של רמות ארגון בטבע.

הקיום היומיומי של הגוף

2. מערכת העיכול
3. מערכת הנשימה
4. מערכת ההובלה
5. מערכת ההפרשה - פינוי חומרים מהגוף



הקיום היומיומי של הגוף

החלפת חומרים עם הסביבה והובלתם בגוף

מבוא ליחידה

בכל רגע ורגע של קיומו, הגוף החי קולט מן הסביבה מגוון עצום של חומרים בצורות שונות - מוצקים, נוזלים וגזים, ובה בעת הוא גם משחרר חומרים לסביבה. במקביל, מתרחשים בגוף החי גם קליטה מתמדת של אנרגיה וגם שחרור מתמיד של אנרגיה לסביבה.

מעבר בלתי פוסק של חומרים ואנרגיה בין הגוף לסביבה הוא תנאי הכרחי לקיומו של כל יצור חי. ביחידה זו נעסוק בהחלפה המתמדת של חומרים ואנרגיה בין הגוף לסביבה.

החומרים הנקלטים עוברים בגוף תהליכים מגוונים של שינוי ועיבוד. חלק מהם מנוצלים ליצירת החומרים מהם בנוי הגוף, וחלקם מהווים מקור לאנרגיה הדרושה לקיום תהליכי החיים השונים. התאים בגוף מפיקים אנרגיה מהחומרים שנקלטו כמזון, ונעזרים לשם כך בחמצן, הנקלט גם הוא מהסביבה. תהליך זה, בו התא מפיק אנרגיה ממזונו באמצעות חמצן, הוא תהליך הנשימה של התא, והוא נקרא בהתאם נשימה תאית.

מה פירוש?

הסבר מונחים: נשימה ונשימה תאית

תנו דעתכם לכך שהמילה "נשימה" מקבלת כאן מובן שונה מהמובן המוכר לכם בחיי היומיום. ההגדרה המדעית של "נשימה" היא התהליך המתואר לעיל: פירוק חומרי מזון בתא בתהליך המלווה בהפקת אנרגיה. הפעולה שאנו מכנים בחיי היומיום בשם "נשימה" - הכנסת אוויר מהאף לריאות ושחרור אוויר החוצה - נקראת "חילופי גזים". תהליך זה הוא נושאו של פרק 3.

המונח "נשימה תאית" הוא תרגום למונח respiration, ו"חילופי גזים" נטבע כתרגום ל- breathing.

חלק מן האנרגיה המופקת מפירוק החומרים הנקלטים בגוף שבה ומשתחררת לסביבה בצורת חום, וכך, מערכת יחסי החליפין של היצור החי עם הסביבה מתבטאת לא רק במעבר הדדי של חומרים, אלא גם בחילופי אנרגיה עם הסביבה.

כל תא ביצור הרב-תאי זקוק אפוא לחומרים המשמשים לו מזון. כל תא משנה את החומרים הנכנסים לתוכו ויוצר מהם חומרים אחרים, אשר את חלקם הוא פולט החוצה; וכל תא בגופנו נזקק לחמצן, המאפשר לו להפיק אנרגיה מהמזון בתהליך הנשימה התאית. אולם ביצור הרב-תאי, התאים הרבים המרכיבים את הגוף מקיימים את החלפת החומרים הזו לא באופן ישיר עם הסביבה החיצונית, אלא עם הסביבה המימית המקיפה אותם. הגוף מצויד במערכות המותאמות במיוחד לתיווך בין הסביבה החיצונית לבין הסביבה הפנימית.

שלוש ממערכות הגוף של יצורים רב-תאיים מעורבות במישרין בפעילות של מעברי חומרים בין הגוף לבין הסביבה: מערכת העיכול, מערכת חילופי הגזים ומערכת ההפרשה. נוסף לכך, יצורים רב-תאיים מצוידים גם במערכת תיווך והובלה פנימית – מערכת הלב וכלי הדם - המובילה חומרים ממקום למקום בתוך הגוף ומקשרת בין חלקיו השונים.

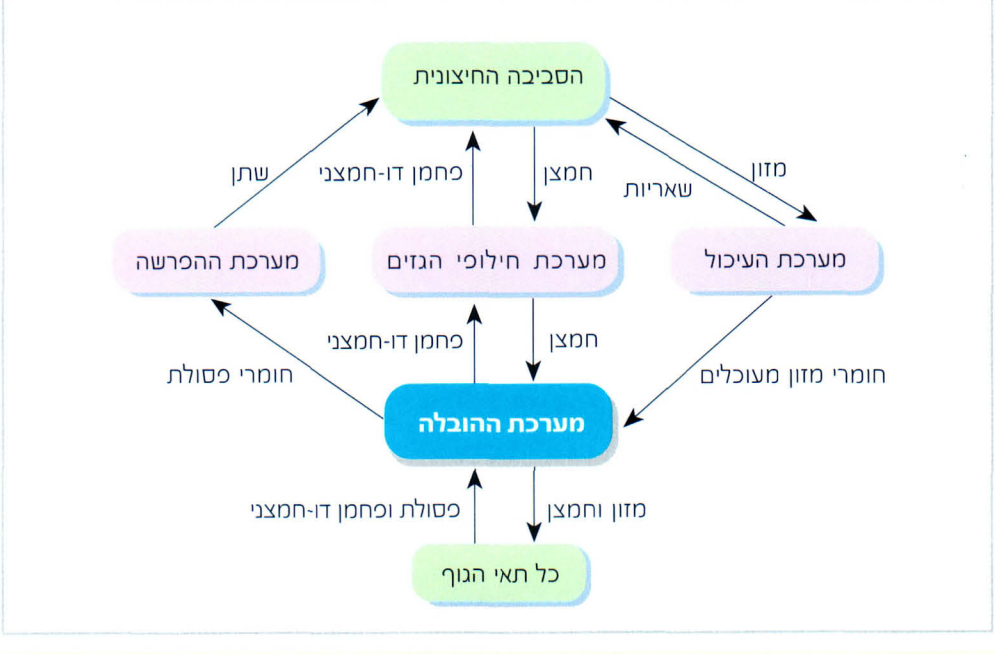
פרקי היחידה מוקדשים לארבע מערכות אלה:

פרק 2 עוסק במערכת העיכול,

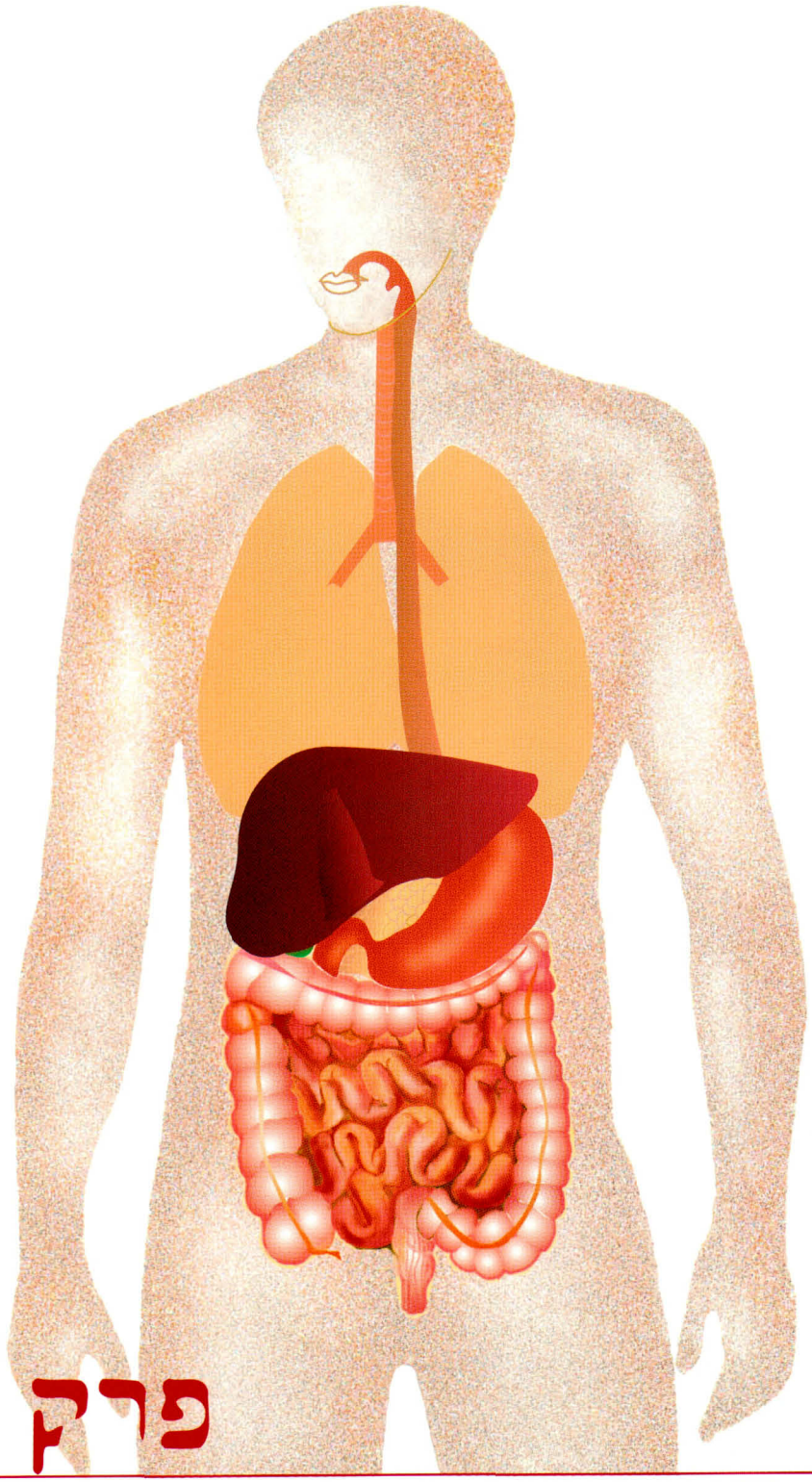
פרק 3 עוסק במערכת חילופי הגזים,

פרק 4 עוסק במערכת התיווך וההובלה,

פרק 5 עוסק במערכת ההפרשה.



יחידה א:
הקיום היום יומי של הגוף



פרק 2

מערכת העיכול

פרק 2

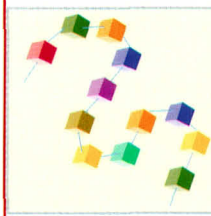
תוכן העניינים

2.1 חומרים מהמזון בונים את הגוף ומספקים לו אנרגיה 30
- חומרים אורגניים וחומרים אי-אורגניים 30
  - מים 31
  - מינרלים 31
  - חלבונים 31
  - פחמימות 32
  - שומנים 33
  - ויטמינים 33
- חומרי מזון הם גם מקור לאנרגיה 36

2.2 "תחנות" במערכת העיכול אחראיות על תהליכי עיכול שונים 38
- פירוק המזון מתחיל בפה 40
- מהפה עובר המזון דרך הוושט לקיבה 40
- בקיבה מתרחש פירוק מכני וכימי של המזון 41
  - קיבה בריאה לא מעכלת את עצמה 42
- מהמעי הדק עובר המזון המעוכל לסביבה הפנימית 42
- הכבד משתתף בהעברת חומרים לסביבה הפנימית 44
- מסע עיכול המזון מסתיים במעי הגס 45
  - זיהום גורם לפגיעה בעיכול ולאיבוד נוזלים 45

2.3 סיכום 46

שאלות סיכום וחזרה 46



נניח שאכלתם זה עתה פרוסת לחם מרוחה בממרח שוקולד.
מה קורה ללחם ולשוקולד בתוך הגוף?
האם אל תאי הגוף מגיעים פירורים מיקרוסקופיים של לחם עם שוקולד או אולי מגיעים אל התאים חומרים שונים מהם?
למעשה, מתעוררות כאן כמה שאלות:

א. ממה עשויים הלחם והשוקולד?
ב. איך מתפרקים הלחם וממרח השוקולד לחומרים המרכיבים אותם?
ג. מה חשיבותם של החומרים האלה לקיום הגוף?
ד. איך מגיעים החומרים, לאחר הפירוק, ממערכת העיכול אל שאר הגוף?

בפרק זה נעסוק בעיקר בשלוש השאלות הראשונות, וניגע רק בקצרה גם בשאלה הרביעית.
רוב התשובות לשאלה ד ניתנות בפרק 4 העוסק במערכת הדם, שהיא מערכת ההובלה והתיווך של גופנו.
חומרי המזון מגיעים לגוף בצורת מוצקים ונוזלים. חלק מן החומרים שבמזון הופכים להיות מרכיבים של הרקמות הבונות את הגוף; חלקם מהווים מקור לאנרגיה, וחלקם מאפשרים קיום תהליכים שונים בחלקי הגוף השונים.
רוב החומרים הנכנסים למערכת העיכול מתפרקים בתוכה ברצף של תהליכי עיכול. העיכול כולל פירוק מכני של המזון לפירורים קטנים ופירוק כימי, המשנה את הרכבם של חומרי המזון הנכנסים לגוף. תוצרי העיכול הם חומרים המסוגלים להיכנס אל התאים בגוף ולשמש חומרי גלם לתהליכים הרבים המתרחשים בהם.

איור 2.1
מיני מזון

2.1 חומרים מהמזון בונים את הגוף ומספקים לו אנרגיה

כפתיחה לנושא, הבה נבחן מה נמצא במזוננו.

שימה 1

ממה מורכב האוכל?

א. בחרו שלושה מאכלים שונים שאתם אוהבים לאכול. הקפידו לבחור מאכלים שיש ביניהם הבדלים ברורים: מאכל מהצומח, דבר מאפה כלשהו, מוצר חלבי, מוצר בשרי, ממתק וכדומה.

ב. ערכו רשימה של שלושת המאכלים שבחרתם, וציינו לצד כל מאכל אילו חומרים הוא מכיל (חלבונים, שומנים, מינרלים-כגון נתרן, סידן, ברזל, אשלגן - מים, תבלינים, פחמימות, ויטמינים, צבעי מאכל, סיבים תזונתיים, חומרים משמרים). נסו להשלים מידע חסר בעזרת מקורות שונים. מידע על מאכלים רבים נמצא על האריזות שלהם.

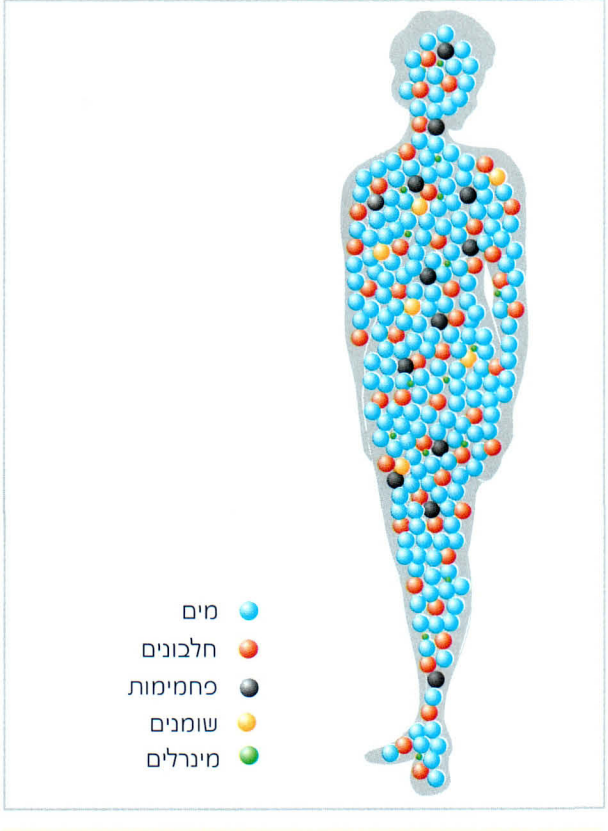
ג. לאחר שהכנתם את הרשימה ומילאתם אותה, סמנו את החומרים שלמיטב ידיעתכם הם חיוניים לגוף.

ד. בספרי הדרכה לתזונה מאוזנת נהוג לחלק את כל המאכלים לארבע קבוצות גדולות:

1. לחם, אטריות (וכל מאכלי הפסטה לסוגיהם), אורז, תפוח אדמה, תירס, פיתה, לחמניות, עוגות;
2. עוף, דג, ביצה, גבינה לבנה, בשר, חלב, יוגורט, סויה;
3. חמאה, מרגרינה, מיונז, שומשום, זיתים;
4. גזר, ברוקולי, פלפל, כרוב, תפוז, תפוח, תות, שזיף.

מומחי התזונה והדיאטנים מסבירים, כי יש לכלול בהרכב של כל דיאטה נציגים מכל אחת מהקבוצות, בכמויות שונות, כמובן. כל קבוצת מאכלים מאופיינת בכך שהיא עשירה באחד מחומרי המזון החיוניים לגוף.

על-פי הידוע לכם, איזה חומר מזון חיוני מבין החומרים האלה - חלבונים, ויטמינים, שומנים, פחמימות, מינרלים - מאפיין כל אחת מהקבוצות?



איור 2.2
יחסים כמותיים של החומרים השונים הבונים את הגוף

כל המבחר המגוון של המאכלים והמשקאות שאנו צורכים מורכב ממספר לא גדול של חומרי מזון בסיסיים הדרושים לגוף. אפשר שמקצתם או כולם כבר מוכרים לכם.

כאמור, חומרי המזון החיוניים לגוף הם: חלבונים, פחמימות, שומנים, ויטמינים ומינרלים. על אלה יש להוסיף את המים, שהם למעשה החומר הנמצא בגוף בכמות הגדולה ביותר. באיור 2.2 אפשר לראות איזה חלק תופס כל חומר מחומרי המזון בגופנו.

חומרים אורגניים וחומרים אי-אורגניים

כלל החומרים הנמצאים בטבע מתחלקים לחומרים אורגניים וחומרים אי-אורגניים.

חומרים אורגניים הם כל החומרים שהרכבם כולל אטומי פחמן ואטומי מימן ובנוסף גם אטומים אחרים. נוסף לכך, כל עוד האדם אינו מתערב, חומרים אורגניים הם חומרים הנוצרים רק מפעילות של יצורים חיים. לעומתם, המים והחומרים המרכיבים את הקרקע והאוויר הם חומרים אי-אורגניים. הם מתקיימים בסביבה הטבעית גם בלי נוכחותם ובלי פעילותם של יצורים חיים.

חומרים אורגניים בוערים בלהבה כאשר מציתים אותם, ואם מניחים להם לבעור עד תום, נותר מהם רק אפר, המכיל את המינרלים שהיו בחומר. כל השאר הופך לאדי מים ולגזים אחרים. רוב החומרים האי-אורגניים אינם בוערים בלהבה.

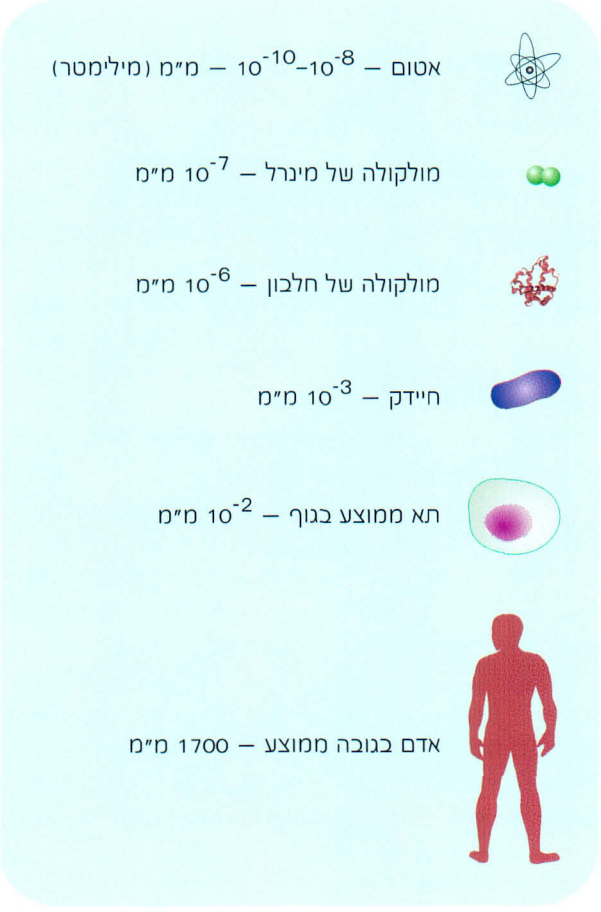
נוסף לכך, כל החומרים האי-אורגניים מורכבים ממולקולות קטנות יחסית, ואילו החומרים האורגניים בנויים ברובם ממולקולות גדולות יחסית, ולרוב הן גדולות מאלה המרכיבות את החומרים האי-אורגניים.

כשמדובר במולקולות, המונחים קטן וגדול אינם מובנים מאליהם. מולקולה של מינרל זעירה אלפי מונים ממולקולת חלבון, אך החלבון עצמו, שהוא חומר אורגני, זעיר ביותר ביחס לתא חי שלם. זאת, אף-על-פי שהתא עצמו גם הוא קטנטן ולא ניתן לראותו בלי מיקרוסקופ. באיור 2.3 תוכלו להתרשם מיחסי הגודל בין מולקולות קטנות, מולקולות גדולות, תאים, וגופים גדולים יותר.

עוד על...

האם חומר אורגני נוצר רק בגופו של אורגניזם?

המונח "חומר אורגני" נטבע בעבר כאשר חשבו, כי יש חומרים היכולים להיווצר רק בגופם של אורגניזמים – כלומר, יצורים חיים. במאות ה-18 וה-19 נעשו ניסיונות רבים לייצר חומרים כאלו במעבדה, אך כל הניסיונות הללו נכשלו. רק בסוף המאה ה-19 הצליחו מדענים לייצר לראשונה חומר אורגני – שתנן (אוּרֶאָה) – המהווה מרכיב מרכזי בשתן. במרוצת המאה ה- 20 התברר, כי אפשר לייצר במעבדה כל חומר אורגני שהוא. אולם בטבע חומרים אלו אכן נוצרים רק בתהליכים המתרחשים בגופם של יצורים חיים.



איור 2.3
יחסי גודל בין אטומים, מולקולות וגופים אחרים
(האיורים אינם בקנה מידה אחיד)

החלבונים, הפחמימות, השומנים והוויטמינים הם חומרים אורגניים, ואילו המים והמינרלים הם חומרים אי-אורגניים.

המולקולות הגדולות, הבונות את החומרים האורגניים, מתפרקות במערכת העיכול למולקולות קטנות יותר. רק המולקולות הקטנות, שהן למעשה אבני הבניין של המולקולות הגדולות, יכולות לעבור ממערכת העיכול אל תאי הגוף. המים והמינרלים עוברים במערכת העיכול ונכנסים לתאים בלי שיחול בהם שינוי כלשהו. גם הוויטמינים, שהם חומרים אורגניים המורכבים ממולקולות קטנות, אינם משתנים בעוברם במערכת העיכול. נדון כאן בקצרה בחלקו של כל אחד מחומרי המזון הבסיסיים בהרכב הגוף ובתהליכים המתרחשים בו.

מים

המים מהווים כ-70% ממשקל הגוף (ראו איור 2.2). עובדה זו סותרת לכאורה את התחושה הבסיסית שלנו, שהגוף מוצק לחלוטין. אם נדמה לכם שחלק גדול מהמים נמצא בדם - טעות בידכם. דמו של אדם שמשקלו 55 ק"ג מכיל כ-4.6 ליטרים של מים (המצויים הן בנוזל הדם והן בתאי הדם). אולם כמות זו מהווה רק חלק קטן מכלל המים בגוף. גופו של אותו אדם מכיל 38.5 ק"ג מים בקירוב. היכן הם מסתתרים? - בכל הגוף!
כמות לא מבוטלת של מים נמצאת במרווחים בין התאים, וכן יש מים, כמובן, בדם ובנוזלי גוף נוספים שתכירו בהמשך. אך רוב המים נמצאים בתוך התאים, ואלה מופרדים מסביבתם על-ידי קרומים. המים מהווים 70% ממשקלו של כל תא בגופנו. למעשה, פנים כל תא הוא תמיסה מימית, שחומרים רבים מומסים בה. כל התהליכים המורכבים הנכללים תחת הכותרת "פעילויות החיים" מתרחשים בתאים. כל התהליכים האלה יכולים להתבצע רק בתוך תמיסה מימית.

עוד על...

כמה מים צריך הגוף?

הגוף מאבד מים לסביבה כל הזמן, לא רק בטיולים או בימי חמסין! ביום שגרתי של לימודים בבית-הספר, בילוי עם חברים וצפייה בטלוויזיה, הגוף מאבד שני ליטרים מים בקירוב (שווה ערך ל- 10 כוסות משקה בינוניות, או לשש פחיות משקה). מקצת המים יוצאים עם השתן והזיעה, מקצתם מתנדפים מהאף ומהפה במהלך חילופי הגזים, ומקצתם יוצאים בצואה. זוהי דוגמה חשובה לתופעה הכללית של החלפת חומרים עם הסביבה, שתוארה במבוא ליחידה זו. אנחנו מכניסים מים לגוף בשתייה ובאכילה ומאבדים אותם בקביעות במהלך חילופי הגזים והפרשת השתן. אם מפסידים 10% ומעלה מתכולת המים בגוף, מסתכנים בתופעות חמורות של התייבשות. כל התהליכים בתאים נפגעים, זרימת הדם בגוף נפגעת, מנגנוני ההומאוסטאזיס (ראו פרק 1, עמוד 17) מתערערים בצורה מסוכנת, המתבטאת באובדן היכולת לווסת את חום הגוף, בפגיעה בפעילות הכליות ובערפול חושים.
מכאן מתבררת לכם החשיבות העצומה של שתייה מספקת.

מינרלים

המינרלים הם קבוצה של חומרים אי-אורגניים. הם בנויים ממולקולות קטנות ונמצאים בכמויות זעירות בתוך התאים, בנוזלים השונים המצויים בגוף, ובעצם, בכל מקום בגוף.
המינרלים נמצאים בטבע בצורת מלחים, כמו מלח הבישול המוכר, או גיר. יש גם מינרלים שאינם מלחים, אלא תרכובות של מתכות עם חמצן, ולעתים מוצאים בטבע מינרלים שהם יסודות חופשיים, כגון אבץ, מגנזיום, או גופרית. כל אלה מגיעים למזוננו בדרכים שונות.
למינרלים שונים יש תפקידים ייחודיים בתהליכים המתקיימים בתאים. בתהליכים אלה משתתפים, בדרך כלל, יונים ולא מולקולות שלמות של מינרלים. היונים הם אטומים או חלקי מולקולות, הנושאים מטען חשמלי. מלח הבישול מספק לגוף יונים של היסוד נתרן (Na^+) ויונים של היסוד כלור (Cl^-) יונים אלה חיוניים לשמירת מאזן המים בין התאים לסביבתם. יוני נתרן ויונים של היסוד אשלגן (K^+) חיוניים להעברת אותות חשמליים בתאי עצבים; יונים של היסוד סידן (Ca^{++}) חיוניים לבניית עצמות וגם לקיום כושר ההתכווצות של תאי שריר; וליונים של ברזל (Fe^{++}) יש חלק בקשירת חמצן המגיע מהריאות ועובר בדם לתאי הגוף. אטומים של יוד, המצויים בדרך-כלל במי השתייה, חיוניים לייצור הורמון חשוב בגוף.

חלבונים

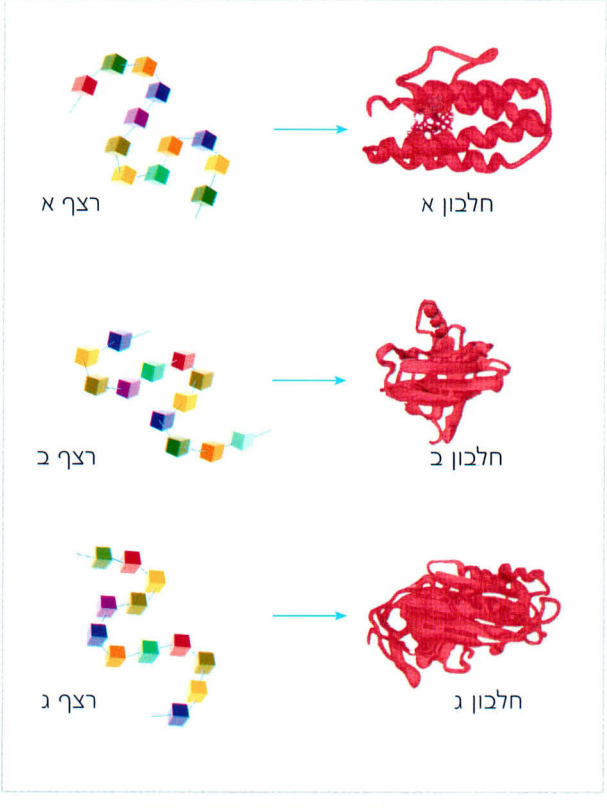
החלבונים הם חומרי הבניין העיקריים של הגוף. הם מהווים כ-18% ממשקל החומרים הבונים את התאים והרקמות.
לבד מהיותם חומרי הבניין הראשיים של הגוף, יש להם הרבה תפקידים נוספים. קבוצה גדולה של חלבונים אחראית להתרחשותם של כל התהליכים הכימיים בתאים. חלבונים אלה נקראים **אנזימים**. כל פעולה שנעשית בתא - כגון פירוק של חומר, בנייה של חומר חדש, או שינוי כלשהו בחומר מחומרי התא

- מזורזת על-ידי האנזימים והם חיוניים אפוא לעצם קיומם של החיים. עוד קבוצה של חלבונים, המכונה **נוגדנים**, משתתפת בהגנה על הגוף מפגיעתם של גורמים זרים ומזיקים החודרים לתוכו. ולבסוף, גם כמה מה**הורמונים** המווסתים תהליכים חשובים בגוף הם חלבונים.

החלבונים בנויים מחומצות אמיניות

החלבונים הם מולקולות ענק. כל מולקולה של חלבון מורכבת ממספר גדול של יחידות מבנה קטנות. יחידות המבנה של החלבונים נקראות חומצות אמיניות.

מספרן של החומצות האמיניות השונות אינו גדול: כל חלבוני הגוף בנויים רק מ-20 חומצות שונות. אולם כל חלבון בנוי ממספר גדול מאוד של חומצות אמיניות, המסודרות בסדר ייחודי לאותו חלבון. אפשר לדמות את החומצות האמיניות לאותיות בשפה, ואת החלבונים למילים. כשם ש-22 אותיות יכולות להצטרף למספר אינסופי של מילים שונות, כך 20 חומצות אמיניות יכולות ליצור מספר עצום של חלבונים שונים. איור 2.4 ימחיש לכם את ההסבר.



איור 2.4
חלבונים שונים נוצרים מצירופים שונים של חומצות אמיניות. כל צבע מייצג חומצה אמינית שונה, כל רצף הוא קטע של חלבון.

התאים בגופנו מסוגלים ליצור כמה מבין החומצות האמיניות מחומרי גלם הנמצאים בתוכם, אך לא את כולן. אותן חומצות אמיניות שהתאים אינם מסוגלים לייצר, אנו חייבים לקבל במזון. חומצות אלה נקראות **חומצות אמיניות חיוניות**. מאכלים עשירים בחלבונים הם, בראש וראשונה, כל המאכלים שמקורם בבעלי-חיים: בשר לסוגיו, עוף, דגים, ביצים, חלב ומוצרי חלב. המזון הצמחי העשיר ביותר בחלבונים הוא פולי הסויה. גם אגוזים ושקדים מכילים חלבונים. אולם אין שום מאכל יחיד מהצומח שיש בו כדי לספק את כל החומצות האמיניות החיוניות לבניית החלבונים בגוף האדם.

פחמימות

הפחמימות כלולות בהרכב של חומרים רבים בגוף, אך בעיקר הן משמשות מקור אנרגיה לביצוע תהליכים בתאים. התאים בגופנו מפרקים פחמימות בתהליך הנשימה התאית, המסתייע בחמצן (ראו המבוא ליחידה, עמוד 25).

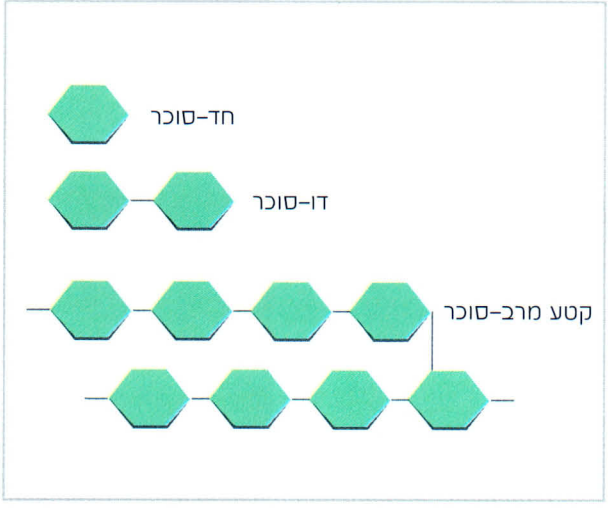
עם הפחמימות נמנים הסוכר הרגיל (שאנו ממתיקים בו תה, או שוקו), סוכרים מתוקים פחות, המצויים בפירות ובחלב, והעמילן, שהוא פחמימה השכיחה במיוחד בטבע ובמזוננו.

הפחמימות בטבע מתחלקות לשלוש קבוצות גדולות: חד-סוכרים, דו-סוכרים ורב-סוכרים.

הסוכרים המצויים בפירות רבים הם חד-סוכרים, כגון הגלוקוז, הנמצא בענבים. הגלוקוז הוא החד-סוכר השכיח ביותר בטבע. פירות אחרים מכילים סוכר השונה במקצת מהגלוקוז, ונקרא פרוקטוז. החד-סוכרים בנויים ממולקולות קטנות יחסית, המכילות חמישה או שישה אטומי פחמן.

הדו-סוכרים, כשמם כן הם: כל דו-סוכר בנוי מצירוף של שתי מולקולות של חד-סוכר. הסוכר הממתיק את מאכלי היומיום שלנו הוא דו-סוכר, ושמו המדעי הוא סוכרוז. הסוכרוז בנוי מגלוקוז ופרוקטוז. דו-סוכר נוסף המצוי בטבע הוא סוכר החלב, ושמו המדעי הוא לקטוז.

רב-סוכרים הם מולקולות ענק, הבנויות משרשרות ארוכות מאוד של חד-סוכרים. העמילן, המצוי בשיעור גבוה במיוחד בזרעי דגנים, ומהווה לפיכך כמעט מאה אחוז מהרכבו של כל קמח, הוא רב-סוכר. מולקולה אחת של עמילן בנויה מאלפי יחידות של גלוקוז, היוצרות שרשרות ארוכות ומסועפות (איור 2.5).



איור 2.5
מבנה סכמתי של חד-סוכר, דו-סוכר וקטע ממולקולת רב-סוכר

הדו-סוכרים והרב-סוכרים מתפרקים במערכת העיכול והופכים לחד-סוכרים, המנוצלים בתאים לתהליך הנשימה התאית.

המקור הראשי לפחמימות במזוננו הם כל המאכלים העשירים בעמילן. אלה הם, בראש וראשונה, כל המאכלים העשויים מקמח וצמחים שונים ממשפחת הדגניים: אורז, תירס ודוחן. מקור נוסף לפחמימות הם צמחים האוגרים מלאי פחמימות בפקעות, ובראשם תפוח-האדמה והבטטה. פחמימות נמצאות אמנם במידה פחותה, אך עדיין בכמות ניכרת, במאכלים ממשפחת הקטניות: פול, חומוס, שעועית לסוגיה, אפונה, עדשים, סויה ובוטנים.

חשוב לציין, כי צמחי משפחת הקטניות עשירים גם בחלבונים, אמנם לא כמו מאכלים מן החי, אך יותר מכל שאר הצמחים.

שומנים

שומנים - או בשמם המדעי - ליפידים - מהווים מרכיב חשוב במבנה של קרום התא ושל קרומי האברונים הנמצאים בתאים, והם חיוניים לכל התאים. השומנים הם גם מקור חשוב לאנרגיה, וכן מהווים חומר בידוד חשוב, השומר על חום הגוף ומגן על רקמות פנימיות שונות. קבוצה אחת של חומרים שומניים חיונית ליצירת הורמונים, שעל תפקידיהם החיוניים תלמדו בפרק 6. נוסף לכך יש להם עוד תפקודים רבים ומגוונים בגוף.

גם השומנים הם מולקולות גדולות. רוב השומנים בנויים משני סוגים של אבני בניין: חומצות שומן, שהן שרשרות ארוכות של אטומי פחמן ואטומי מימן; וגליצרול, שהוא חומר הדומה לאלכוהול. אורך השרשרת הפחמנית של חומצת השומן ומספר אטומי המימן הקשורים אליה קובעים את התכונות הייחודיות של כל שומן.

תכונה משותפת לכל השומנים היא היותם בלתי מסיסים במים. זאת הסיבה לכך שתהליך העיכול שלהם מתנהל בצורה שונה משל שאר חומרי המזון ונמשך זמן רב יותר.

שומנים מן החי נמצאים בבשר, בחלב, בחמאה, בגבינות (בעיקר קשות) ובביצים. שמנים מן הצומח נמצאים באבוקדו, בבוטנים, בגרעיני חמניות, בזיתים, באגוזים ובשומשום. מבין הממרחים, מיונית מכילה שומנים מן החי ומן הצומח, ואילו מרגרינה מכילה שמנים צמחיים בלבד (מזונות עשירים בליפידים - שומנים ושמנים - ראו באיור 2.6).

איור 2.6
מזונות עשירים בליפידים: שומנים ושמנים

עוד על...

שומנים מוצקים ושמנים נוזלים

המילה "שומן" מציינת ליפידים מן החי, שבטמפרטורת החדר הם במצב מוצק בדרך-כלל.

בטמפרטורות גבוהות הליפידים נעשים רכים מאוד וכמעט נוזליים, כפי שקורה לחמאה שמשאירים אותה בחוץ ביום חם. "שמנים" הם ליפידים שמקורם בצמחים, והם תמיד נוזליים בטמפרטורת החדר.

המרגרינה, המכילה שמנים צמחיים, היא מוצקה משום שמוסיפים לה חומרים מיוחדים המקשים אותה.

ההבדל בין השומנים המוצקים לשמנים הנוזליים נובע מהבדלים פנימיים במבנה מולקולות הליפידים.

עוד על...

הכולסטרול - הליפיד המפורסם מכולם

מבין החומרים השומניים הרבים המצויים בטבע זכה הכולסטרול לפרסום רחב במיוחד. הכולסטרול הוא ליפיד המצוי באופן טבעי בגופם של בעלי-חיים, הוא אחד החומרים המרכיבים את קרומי התאים. נוסף לכך, הוא חומר בניין של הורמונים המווסתים תהליכים חשובים בגוף. מכאן תבינו שהוא חומר חיוני לגוף. מקצת הכולסטרול נוצר על-ידי תאי הגוף, ומקצתו מגיע לגוף עם המזון. מחקרים שנערכו במשך שנים רבות העלו, כי כאשר הכולסטרול נמצא בדם בכמות גדולה, הוא יכול לגרום להצטברות משקעים בדפנות כלי הדם - משקעים הפוגעים בזרימת הדם ובתקינות פעולתו של הלב (איור המתאר מצב זה תוכלו לראות בפרק 4, עמוד 85). מכאן עולה הצורך בהקפדה על צריכת כולסטרול בכמויות הרצויות, ולא מעבר להן. עם זאת, חשוב לדעת כי אסור לוותר לחלוטין על הכולסטרול, שכן, כפי שהודגש, יש לו תפקידים חיוניים בגוף.

יש דעות שונות בקרב המומחים לגבי רמת הכולסטרול הרצויה בגופו של אדם בוגר: החל מ-100 מ"ג לכל 100 מיליליטר דם לדעת המחמירים, ועד 200 מ"ג לאותו נפח דם לדעת המקלים. על כל פנים, מעל לרמה של 200 מ"ג לכל 100 מ"ל דם, הכולסטרול מגדיל מאוד את הסיכון לחלות במחלות לב וכלי דם.

הדרך הנכונה לשמור על רמה רצויה של כולסטרול היא להכיר אילו מאכלים מכילים אותו, ולהשתדל לאכול מהם במידה ובלי הגזמה. כולסטרול מצוי בכל סוגי המזון מן החי: ביצים, בשרים (בעיקר בשר אדום), חלב ומוצריו- בעיקר השמֵנים יותר- כגון, גבינות צהובות וחמאה. חשוב לדעת, כי כולסטרול אינו נמצא בשמנים מהצומח - להוציא שמן דקלים - לכן, מיותר לציין על בקבוקי שמן או אריזות מרגרינה, כי הם חסרי כולסטרול.

ויטמינים

הוויטמינים הם קבוצה מעורבת של חומרים אורגניים מסוגים שונים, שמבחינת הרכבם הכימי אין ביניהם מכנה משותף. רובם בנויים ממולקולות אורגניות קטנות יחסית, שאינן מתפרקות במערכת העיכול. הדבר המשותף לכל הוויטמינים ומייחד אותם, הוא עובדת היותם חומרים חיוניים לקיומם של תהליכים שונים בתאים, ודי בכמויות זעירות ביותר מהם. נוסף לכך, רוב-רובם של הוויטמינים אינם מיוצרים בגוף האדם, לכן הוא חייב לקבלם מן המוכן במזונו. רק ויטמין אחד - ויטמין D - נבנה בגוף האדם. הוא נוצר בעור בהשפעת הקרינה האולטרה-סגולה המגיעה מהשמש. כמויות קטנות של ויטמין B12 וויטמין K נוצרות על-ידי חיידקים החיים בגופנו, אך אין די בכמויות אלו כדי לספק את צורכי הגוף, ואנו חייבים לקבל ויטמינים אלה גם במזון. פירוט של חשיבות הוויטמינים השונים לגוף מופיע בטבלה 1.

מבט אל העבר

תגלית חשובה בקליפות של גרגרי אורז

אחד הסיפורים המאלפים בתולדות הרפואה הוא סיפור הראוי לשם "אל תזרקו את הקליפות לפח". מחלה בשם ברי-ברי הייתה נפוצה בין חיילים ואסירים במושבותיה של הולנד בדרום-מזרח אסיה, שהגדולה שבהן הייתה אינדונזיה. המחלה גרמה לחולשה, לניוון שרירים, להפרעות בעיכול, לשיתוק, וברוב המקרים הסתיימה במוות. לקראת סוף המאה ה-19 שלחה ממשלת הולנד לאינדונזיה קבוצה של מדענים, כדי לברר את הגורמים למחלה. הרופאים והמדענים באותה תקופה הושפעו מהצלחתם העצומה של שניים – פסטר בצרפת וקוך בגרמניה - שהצליחו לזהות חיידקים, הגורמים לכמה מהמחלות הקשות ביותר שהיו מוכרות לאנושות. בהשפעת הצלחתם של פסטר וקוך השתלטה הדעה שכל המחלות נגרמות על-ידי חיידקים, או על-ידי רעלים שהחיידקים מייצרים. רופא ששמו אייקמן, שהיה חבר במשלחת ההולנדית, עשה ניסיונות רבים למצוא את החיידק הגורם למחלת הברי-ברי. אולם במשך ארבע שנות מחקר לא גילה דבר. יום אחד, בשנת 1896 הבחין במקרה בתופעה לא צפויה במעבדתו. תרנגולות ששימשו אותו בניסויין, חלו במחלה דומה מאוד לברי-ברי של בני-אדם. התרנגולות הוזנו בשאריות מזון מבית-החולים, שהכילו בעיקר אורז קלוף ומבושל. רבות מהתרנגולות מתו, אך אלה מהן שנותרו בחיים הבריאו לחלוטין לאחר ארבעה חודשים. אייקמן בדק ומצא, כי התרנגולות שהחלימו קיבלו, לגמרי במקרה, מזון "מיוחד" – במקום שאריות האורז מבית-החולים, נתן להן העוזר שלו קליפות של גרגרי אורז. (יש הטוענים, כי העוזר מכר את האורז הקלוף של בית-החולים, שנועד לשמש מזון לתרנגולות.) אייקמן בדק את העניין בצורה מבוקרת. הוא נתן לקבוצת תרנגולות אחת אורז מלוטש - כלומר, מעובד ונקי מקליפות; ולקבוצה שנייה נתן אורז לא קלוף. כל התרנגולות בקבוצה הראשונה חלו, ואילו כל אלה שבקבוצה השנייה נותרו בריאות. כאשר הוסיף קליפות של גרגרי אורז למזונן של התרנגולות החולות, הן החלימו.

גם לאחר הניסוי, עדיין חשב אייקמן במונחים של הרעלה. הוא סבר, כי האורז המעובד מכיל רעל כלשהו, ושהקליפות מכילות חומר המנטרל את הרעל. רק כמה שנים לאחר הגילוי – המקרי כשלעצמו – של אייקמן, נתנו לו חוקרים אחרים את הפירוש הנכון: קליפות האורז מכילות כמויות זעירות ביותר של חומר חיוני מאוד לתהליכים בסיסיים בגוף. היום אנו מכנים חומר זה בשם ויטמין, וליתר דיוק, קליפות של גרגרי אורז מכילות תיאמין (Thiamine), שהוא אחד הוויטמינים מקבוצת B.

(על חשיבותו של התיאמין לגוף - ראו בטבלה 1).

כיום ידוע, כי לכל אחד משורה ארוכה של ויטמינים יש פעילות מיוחדת לו, החיונית לתפקוד התקין של תאים או של מערכות בגוף. בטבלה שלפניכם מרוכזים שמות הוויטמינים החשובים, ופעולתו של כל אחד מהם בגוף.

טבלה 1 - ויטמינים – היכן הם מצויים ומה חשיבותם לגוף?

הוויטמין	פעילותו העיקרית בגוף	נמצא בעיקר במזונות אלה	תופעות הנובעות מחסר בוויטמין
חומצה אסקורבית (ויטמין C)	חיוני לבניית חלבוני חיזוק וייצוב בין התאים ברקמות חיבור, בעצמות, בשיניים, בסחוסים, בדפנות כלי דם, מסייע לקליטת ברזל מהמעיים לדם	פירות הדר, כרוב, עגבניות, פלפל ירוק, תותים, תפוחים, תפוחי אדמה	מחלת צפדינה המתבטאת בדימומים, קושי בהגלדת פצעים, חולשה כללית ואנמיה. (עודף של ויטמין C מזיק: הוא מפריע למאזן הברזל בגוף ועלול לגרום לחסר בתאי דם אדומים)
ויטמין A	מרכיב של חומר רגיש לאור, הנמצא בתאי חישה בעיניים וחיוני לראייה; חשוב לגדילה ולהגנה מזיהומים של העור	כבד, חלמון ביצה, שומנים מן החי: חלב, חמאה, שמן דגים; ירקות צהובים-כתומים, ירקות ירוקים	אצל ילדים - הפרעות בגדילה; נזקים לרקמות אפיתל, עור יבש וסדוק, זיהומים בדרכי הנשימה, קשיי עיכול, זיהומים של השלפוחית, עיוורון לילה, פגיעה בקרנית העין עד כדי עיוורון
קרוטן (חומר מוצא לייצור ויטמין A)	חיוני לייצור ויטמין A	ירקות ופירות צהובים-כתומים (גזר, דלעת, עגבניה, פלפל אדום), ופחות בירקות ירוקים	נזק לעור ולרקמות ריריות, עיוורון לילה, תופעות שנמנו לעיל בקשר למחסור בוויטמין A

הוויטמין	פעילותו העיקרית בגוף	נמצא בעיקר במזונות אלה	תופעות הנובעות מחסר בוויטמין
ויטמין D	מגביר העברה של סידן לדם, חיוני למאזן תקין של מעבר סידן בין העצמות לדם	חלב, חמאה, שמן דגים. ככלל, אינו שכיח במזון אך תאים בעור יכולים לייצרו בהשפעת קרינה מהשמש. נהוג להוסיפו למזונות בסיסיים כמו חלב ומרגרינה	חולשה ועיוות של העצמות אצל ילדים - מחלה ששמה רככת; הפרעות בגדילת העצמות אצל ילדים בגיל הגדילה, חולשת שרירים אצל מבוגרים
ויטמין E	מונע תהליכי חימצון הפוגעים בתאי דם אדומים ובחומרים שונים בתאים; חשוב לתפקוד תקין של השרירים	כבד, דגים, שומן מן הצומח, ירקות ירוקי עלים, טחינה, אגוזים	חסר נדיר מאוד. עלול לגרום לאנמיה
ויטמין K	משתתף בתהליכי נשימת התא בכל התאים, משתתף בייצור חומר החיוני לקרישת דם ולמניעת דימומים	כבד, ירקות ירוקי עלים; מיוצר גם על-ידי חיידקי מעיים	הפרעות בקרישת דם, נטייה לדימומים פנימיים, נזק לכבד
ויטמין B1 תיאמין	משתתף במטבוליזם של פחמימות ובתהליכים הקשורים בשחרור אנרגיה בנשימת התא	בשר, כבד, דגים, ביצים, חלב, דגנים מלאים, קטניות, ירקות ירוקי עלים (כגון תרד, חסה, חמציץ)	חוסר תיאבון, הפרעות בעיכול, חולשה של הלב ודופנות כלי הדם, ומחלת ברי-ברי המתבטאת בדלקות עצבים, עוויתות, חולשה כללית ושיתוקים בגפיים
ויטמין B2	משתתף במטבוליזם של פחמימות וחלבונים	בשר, כבד, עוף, דגים, חלב, חלבון ביצה, דגנים מלאים, קטניות, ירקות ירוקים	נטייה לזיהומים ודלקות, פצעים בעור, נפיחות בלשון וגירויים בעיניים
ניאצין	חיוני לתהליכים של הפקת אנרגיה בנשימת התא, בעיקר מפחמימות	עוף, דגים, חלב, שמרים, ביצים, קטניות, דגנים מלאים	נטייה לתשישות, דלקות בעור, דלקות עצבים
ויטמין B6	משתתף במטבוליזם של חומצות אמיניות, חיוני לייצור תאי דם אדומים ולייצור-מחדש של גלוקוז בכבד	בשר, עוף, דגים, שעועית לבנה, תפוחי אדמה. פחות מצוי בדגנים ובירקות	חסר אצל תינוקות גורם לאנמיה, דלקות עצבים, עוויתות. במבוגרים – חולשה ותשישות
חומצה פנתוטנית	חיונית למטבוליזם של פחמימות ושומנים	נמצאת ברוב סוגי המזון מהחי ומהצומח	חוסר תיאבון, כאבי בטן וכאבים באיברים שונים, נטייה לעייפות ולדכדוך
ביוטין	חיוני למטבוליזם של חומצות אמיניות, וייצור שומנים	כבד, בשר, חלבון ביצה, קטניות, אגוזים	דרוש בכמויות כה זעירות שחסר בו נדיר
חומצה פולית	חיונית לייצור תאי דם אדומים, לייצור דנ"א וחומצות אמיניות	כבד, ביצים, דגנים מלאים. מיוצר גם על-ידי חיידקי מעיים	מצבים שונים של אנמיה (חסר או פגיעה בתאי דם אדומים)
ויטמין B12	משתתף בייצור חלבונים וחומצות גרעין, חשוב לפעילות תקינה של תאי עצב, תאי עצם ותאים במערכת העיכול	בשר, כבד, עוף, דגים, מוצרי חלב, שמרים	אנמיה מסוג המכונה "אנמיה ממארת".

מן הטבלה מסתמנת מסקנה חשובה: כדי שהגוף יקבל את כל סוגי הוויטמינים הדרושים לו, עלינו לאכול מגוון גדול של מאכלים שונים. אי-אפשר להסתפק רק בסוג אחד או שניים של מזונות, וכמובן, אי-אפשר לוותר על אכילת ירקות ופירות.

עוד על...

חֶסֶר בתוך השפע

בשנות ה-80 של המאה ה-20 נערך סקר תזונה ענק באנגליה, שהקיף עשרות אלפי בני נוער תלמידי חטיבות ביניים ותיכון. הסקר העלה ממצא מפתיע: רוב בני הנוער, גם משכבות מצוקה, לא הוגדרו כרעבים, ונראה היה שכמעט כולם זוכים להזנה בכמות מספקת. אולם, שיעור גבוה מקרב הילדים נמצאו סובלים מסימנים שונים האופייניים למחסור בוויטמינים. התברר, כי תזונתם של מרבית הילדים - לרבות אלה שמצבם הכלכלי היה סביר - הייתה מאוד לא מאוזנת. כ- 80% מהם ניזונו מתפריט כמעט קבוע של המבורגרים, או נקניקיות, טוגנים (צ"יפס) ומשקאות קלים. רבים מהם גם דיווחו על אכילת גלידות וחטיפים שונים, מתוקים ומלוחים. הילדים לא היו רעבים, ולא חשו מחסור, אך חסרו להם ויטמינים רבים, והדבר התבטא בהפרעות מגוונות ובהן: קשיי ריכוז וקשב, נטייה לתשישות, נטייה להידבקות במחלות, נטייה להופעת פצעים בעור והפרעות בראייה. המצב הזה זכה לכינוי "תת-תזונה התנהגותית", שכן נמצאו אצל הילדים תופעות האופייניות לתת-תזונה, שמקורן לא במחסור אמיתי במזון, אלא בהרגלי אכילה לקויים.

שאלה 1

חפשו במקורות מידע מתאימים וענו:

א. מהי הכמות הממוצעת ליום הדרושה לנער/ה בגיל ההתבגרות מכל אחד מהחומרים האלה - חלבונים, פחמימות, שומנים?

ב. איזו כמות של ירקות ופירות יש לצרוך ביום בגיל ההתבגרות, כדי לקבל את כמות הוויטמינים הדרושה לגוף?

עוד על...

בין הרצוי למצוי

כדאי שתדעו, כי רוב אוכלוסיית העולם לא זוכה ליהנות ממגוון כזה של אוכל. למעשה, כשני שלישים של כל בני-האדם בעולם חיים במצב של רעב, או על גבול הרעב. מדובר באוכלוסיות של רוב אפריקה, דרום אמריקה ושל רוב יבשת אסיה. המזון המועט העומד לרשות אותם מיליארדי אנשים אינו מגוון כלל. כ-70% מאוכלוסיית העולם ניזונה כמעט רק מסוג אחד של מזון - לרוב זהו מקור יחיד לפחמימות, כגון אורז, תירס, או דוחן (סוג של דגן), המתגוון לעתים בפרי או ירק. רק מעטים מתושבי העולם נהנים ממבחר מספק של חלבונים, פחמימות, שומנים, מינרלים וויטמינים.

חומרי מזון הם גם מקור לאנרגיה

על אריזות של מזונות רבים כתובה תכולת האנרגיה שלהם בקלוריות. נוצר הרושם, שאנו "אוכלים קלוריות" כשם שאנו אוכלים סוכר, שומן, או חלבון.

אולם הקלוריות אינן חומר, ואי-אפשר לאכול אותן. קלוריה היא יחידת מידה, המציינת כמה אנרגיה אפשר להפיק מהחומר.

אם כתוב על האריזה "70 קלוריות לפרוסת לחם", עלינו לקרוא את הכתוב כך: אם נשרוף את הפרוסה שריפה מלאה, כך שיישארו ממנה רק אפר, אדי מים ופחמן דו-חמצני - כמות החום שתשתחרר בשריפה הזו שווה ל-70 קלוריות. כמות חום זו יכולה לחמם ק"ג אחד של מים, כך שהטמפרטורה שלו תעלה ב-70 מעלות צלזיוס.

הרחבה

קלוריות קטנות וגדולות

קלוריה היא כמות החום הדרושה כדי להעלות את הטמפרטורה של גרם אחד של מים במעלת צלזיוס אחת. כך, אם מחממים גרם אחד של מים, שהטמפרטורה שלו 20 מעלות, ומעלים אותה ל-21 מעלות, משקיעים בחימום הזה אנרגיה שווה ערך לקלוריה אחת.

האנרגיה הגלומה במנות מזון ממוצעות נמדדת בעשרות אלפי קלוריות. לשם נוחיות מכנים את הקלוריה שהוגדרה לעיל "קלוריה קטנה". הוסכם להגדיר 1000 קלוריות קטנות כיחידה אחת, הנקראת קילוקלוריה או "קלוריה גדולה" (ביוונית עתיקה קילו = אלף). הסימונים המקובלים על מוצרי המזון מציינים למעשה קילוקלוריות ולא קלוריות. עם הזמן השתרש הנוהג לקרוא לקלוריות ה"גדולות" בקיצור, "קלוריות". הדוגמה של פרוסת הלחם שלעיל מתייחסת כמובן לקילוקלוריות.

אבל כשאנחנו אוכלים פרוסת לחם, הרי היא לא ממש נשרפת בגופנו, ומובן שגופנו איננו קומקום המחמם מים. למעשה, התהליך בגוף מורכב בהרבה. פרוסת הלחם (או כל פריט מזון אחר) מתפרקת תחילה לחומרים המרכיבים אותה במהלך עיכולה במערכת העיכול. העמילן שבלחם מתפרק ליחידות גלוקוז המרכיבות אותו. הגלוקוז מגיע לתאים ומשתתף שם בתהליך נשימת התא שבו מעורב גם חמצן. האנרגיה משתחררת בסדרה של תהליכים כימיים, וחלקה מנוצל לביצוע פעולות שונות בתאים. חלקה האחר אכן משתחרר בצורת חום - בלא בערה ובלא אש - ומשמש מקור לחום הגוף שלנו.

תשאלו: אז למה משמינים מעודף קלוריות? התשובה היא זו: התהליכים המתרחשים בתאים כרוכים בניצול כמויות מסוימות של אנרגיה. בהתאם לכך, חומרי המזון שמהם משתחררת האנרגיה, מתפרקים. אם יש בתאים עודף לא מנוצל של חומרים המסוגלים לספק אנרגיה, מקצת החומרים האלה ישתנו בתהליכים אחרים, ויצטברו בצורת שומן.

נבהיר זאת בדוגמה. נניח שאדם זקוק במהלך פעילותו היומיומית לאנרגיה שווה ערך ל-2500 קלוריות, אך הוא אוכל מדי יום ביומו מזון שווה ערך ל-3000 קלוריות; במקרה כזה ייוותרו בגופו עודפי חומר שלא ינוצלו כמקור לאנרגיה.

העודפים האלה מצטברים לאורך זמן בצורת שומנים. הסיבה לכך היא, שהתאים מצוידים באנזימים המזרזים הפיכה של סוכרים המצטברים בהם לחומרי בניין של שומנים - חומצות שומן. גם חומצות אמיניות עודפות יכולות להפוך בתאים לחומצות שומן.

עוד על...

השמנה בראי האבולוציה

התופעה של הימצאות אנזימים המזרזים הפיכה של סוכרים עודפים לשומנים נראית כמעט כאילו מישהו רצה להתעלל בנו במכוון. למעשה, תופעה זו מבטאת תהליך חשוב מאוד שהתרחש במהלך האבולוציה ותרם תרומה נכבדה ליכולת ההישרדות של בעלי-החיים, לרבות האדם.

בשל הרכבם הכימי, השומנים הם חומר אגירה מצוין. הם מהווים מקור זמין לאנרגיה, והם גם יוצרים שכבת בידוד המגינה היטב הן על הגוף כולו והן על איברים ועל רקמות שונים בתוכו. כל בעלי-החיים, והאדם בכללם, התפתחו במהלך מיליוני שנים של אבולוציה בתנאים של מחסור מתמיד במזון. בטבע, המחסור הוא מצב רגיל ושכיח, ואילו העודף נדיר ביותר. אם נוצר עודף מקרי וזמני בחומרי מזון, יש יתרון גדול מאוד לקיומם של מנגנונים אנזימיים, המסוגלים להפוך את החומרים העודפים לחומר אגירה יעיל כמו השומן. כשהעודף הזמני מסתיים, הגוף מצויד בשומן המאפשר לו לשרוד בתקופות של מחסור מתמשך.

כאמור, עודף מתמשך במזון הוא מצב יוצא דופן, המתקיים למעשה רק אצל חלק מאוכלוסיית האדם, ורק במאה השנים האחרונות לקיומו - זמן אפסי כשמדובר בתהליכים אבולוציוניים. העודף הוא יציר כפיה של הטכנולוגיה המודרנית, ילידת אמצע המאה ה-18. היא זו המאפשרת לאדם לייצר ולצרוך מזון מכל הסוגים, הרבה מעבר לצורכי גופו. הגוף החי - כל גוף חי - מצויד באמצעים לשימור ולאגירה של עודף מקרי של מזון; הוא אינו מצויד באמצעים יעילים לסילוק חומרי מזון עודפים בכמויות גדולות.

עוד על...

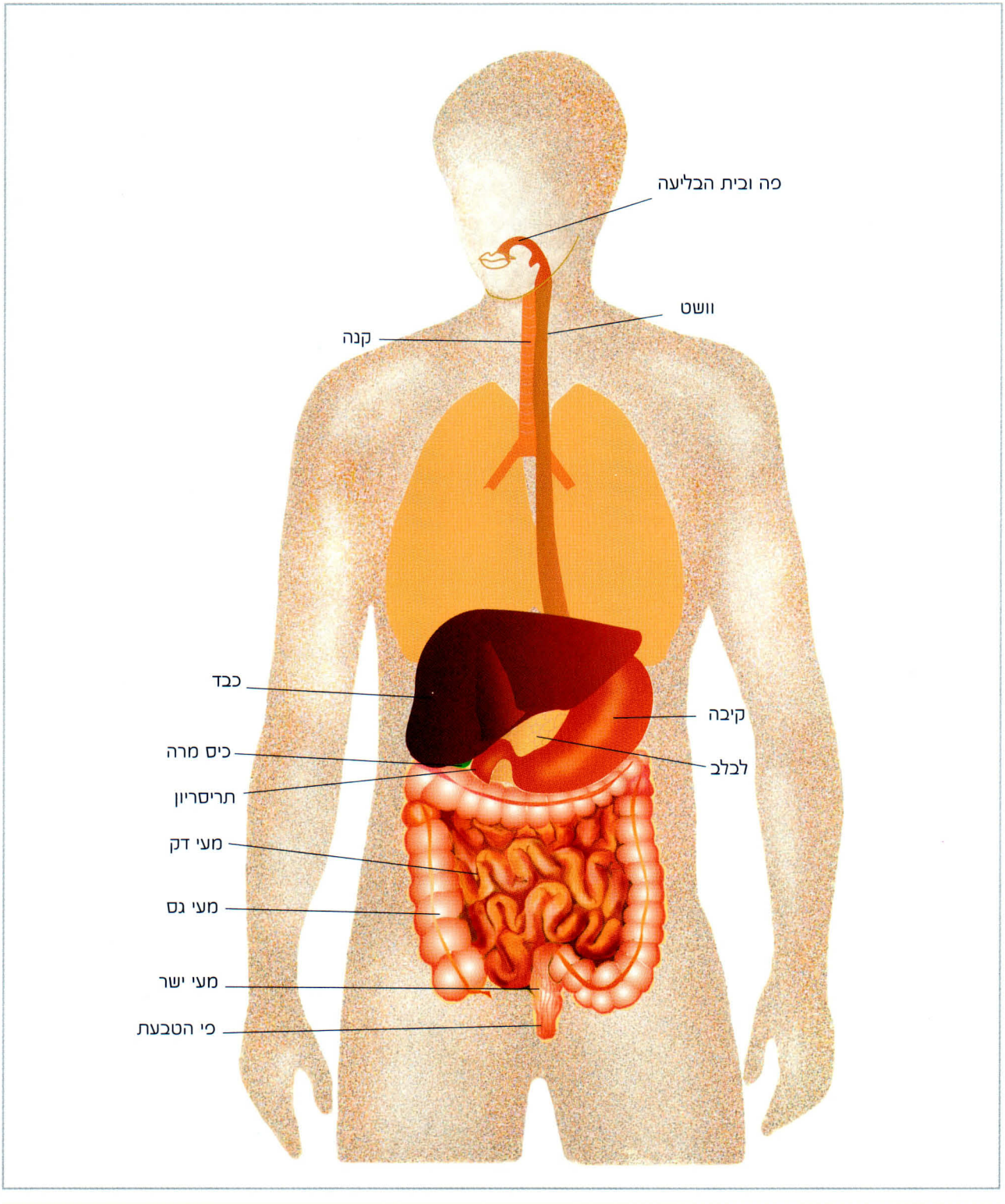
מחסור בחומרים מוביל למחסור באנרגיה

כל חומר אורגני יכול להתפרק בתהליכים המשחררים אנרגיה, ודבר זה נכון לגבי חלבונים באותה מידה שהוא נכון לגבי פחמימות ושומנים. כאשר התזונה מאוזנת, התאים מפיקים את האנרגיה הדרושה להם מהשומנים ומהפחמימות שבמזון. החלבונים מנוצלים לבנייה של תאים חדשים, לייצור חומרים שונים ברקמות ולפעילות אנזימית. אולם, כאשר יש מחסור קיצוני במזון, התאים מנצלים כל מקור אפשרי לאנרגיה – כלומר, אם הגוף אינו מקבל שומנים או פחמימות במידה מספקת, אנזימים בתאים מתחילים לפרק חלבונים ומנצלים אותם כמקור לאנרגיה. תופעה זו מסבירה את הרזון הנורא של ילדים ושל אנשים מאזורים מוכי רעב (בעיקר באפריקה). האנשים שאתם רואים בטלוויזיה, הנראים כמעט כמו שלדים, לא נראים כך בגלל מחסור בשומן ברקמות. הם נראים כך משום שתאי גופם מפרקים את החלבונים, הבונים את השרירים ואף את העצמות, ומפיקים מהם אנרגיה.

עד כאן ראינו ממה מורכב המזון שלנו ועמדנו על חשיבותם של מרכיבים אלו לגוף. כמו-כן נוכחנו לדעת, כי המזון מספק לגוף, נוסף לחומרים, גם אנרגיה הדרושה לקיום התהליכים השונים בתאים. עתה נראה איך מתעכל המזון, כך שמרכיביו השונים יוכלו להגיע אל התאים.

חומרי המזון הבסיסיים נסקרים בהרחבה בספרי לימוד העוסקים בתזונה: "פרקים בהזנה באדם, בבעלי-חיים ובצמחים" 1992, הוצאת משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים, והמרכז הישראלי להוראת מדעים ע"ש דה-שליט, האוניברסיטה העברית, ירושלים. "תזונה באדם, בבעלי חיים ובצמחים" הוצאת משרד החינוך, האגף לחינוך התיישבותי.

2.2 "תחנות" במערכת העיכול אחראיות על תהליכי עיכול שונים



איור 2.7
מראה כללי של מערכת העיכול

באיור 2.7 רואים כי מערכת העיכול היא צינור ארוך, שראשיתו בפה וסופו בפי הטבעת.
חלל הצינור - כלומר, פנים מערכת העיכול - אינו חלק מהסביבה הפנימית של הגוף, אלא המשך של הסביבה החיצונית. לכן, כל עוד החומרים המתעכלים נמצאים בחלל מערכת העיכול, הם עדיין לא הפכו לחלק מהסביבה הפנימית. לאחר שתהליך העיכול מסתיים, החומרים - תוצרי העיכול - עוברים ממערכת העיכול אל הדם, ורק אז הם הופכים לחלק מהסביבה הפנימית של הגוף.
תהליך העיכול במלואו מתבטא בפירוק המזון לחלקיקים קטנים מאוד, המסָתם של חלקיקים אלה בתמיסה מימית ופירוק כימי שלהם לחומרי הבניין המרכיבים אותם.

באיור 2.8 מתוארים שלבי העיכול של חומרי המזון השונים לאורך מערכת העיכול

איור 2.8
שלבי עיכול המזון לאורך מערכת העיכול

פירוק המזון מתחיל בפה

כאמור, עיכול של מאכל כלשהו מתחיל בטחינה ובפירוק מכני שלו לפירורים ולחלקיקים קטנים מאוד. למה כל-כך חשוב שהמזון יתפרק לפירורים? כדי לענות על השאלה בצעו תחילה את המשימה שלפניכם

משימה 1

גופים גדולים מול גופים קטנים

התבוננו בקוביה באיור 2.9:

כפי שאתם רואים באיור 2.9, אורך הצלע של הקוביה הוא 4 ס"מ.

א. מהו השטח של פאה אחת (צד אחד) של הקוביה? 4 x 4 = _____

(השלימו בעצמכם)

ב. מהו שטח הפנים של הקוביה (הכפילו שטח פאה אחת במספר הפאות)?

עכשיו נפרק את הקוביה ל"פירורים" - לקוביות שאורך הצלע שלהן 1 ס"מ.

התבוננו באיור 2.10:

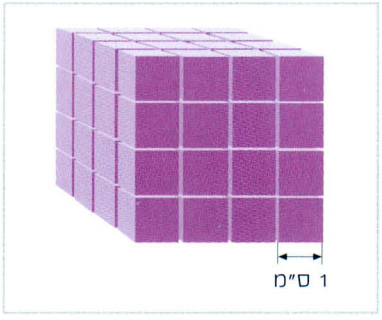
נחסוך לכם חישוב אחד, ונספר לכם שמהקוביה האחת יתקבלו 64 קוביות, שלכל אחת מהן צלע באורך 1 ס"מ.

שטח הפנים של פאה אחת של קוביה בעלת צלע של 1 ס"מ, הוא: 1x1 = 1 סמ"ר.

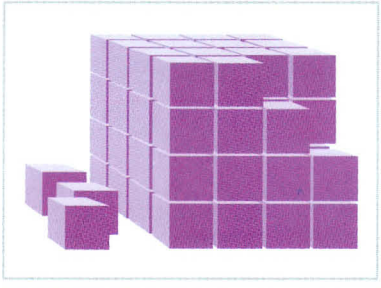
ג. שטח הפנים הכולל של כל קוביה קטנה הוא: _____ (השלימו בעצמכם).

ד. מהו שטח הפנים הכולל של כל 64 הקוביות הקטנות שנוצרו מהקוביה הגדולה?

ה. לסיכום התרגיל השלימו את המשפט: כאשר חותכים גוף גדול לכמה גופים קטנים, שטח הפנים הכולל של הגופים הקטנים _____ יותר משטח הפנים של הגוף הגדול. זאת, בלי שחל שינוי בכמות החומר, או בנפחו.



איור 2.9
קוביה



איור 2.10
קוביה בעלת צלע של 4 ס"מ מחולקת לקוביות בעלות צלע של 1 ס"מ.

בסעיף ה של המשימה חשפתם עיקרון כללי חשוב מאוד. נציג אותו כאן בניסוח אחר:

כאשר מחלקים גוף גדול לגופים קטנים מגדילים את שטח הפנים הכולל, הנמצא במגע עם הסביבה, אף שכמות החומר, או נפחו, לא השתנו. במקרה של הקוביה שלנו, החלוקה ל-64 קוביות קטנות הגדילה את שטח הפנים פי ארבע.

התופעה הזו, של הגדלת שטח הפנים על-ידי פירוק, חיתוך או חלוקה של גוף גדול לגופים קטנים, בלי שנפחו ישתנה, ממלאת תפקיד מכריע בתהליכי חיים רבים.

נחזור למתרחש בפה: השיניים חותכות, טוחנות ומפרקות את המזון לחלקים קטנים.

תנועות הלעיסה, מראה המזון, טעמו וריחו, יוצרים גירוי המעורר את בלוטות הרוק להפריש רוק לתוך הפה.

הלשון מעבירה את חלקיקי המזון מצד לצד בתוך הפה ומערבלת את פירורי המזון עם הרוק. פירוק המזון לפירורים מגדיל מאוד את שטח הפנים של המזון שנמצא במגע עם הרוק. הרוק עושה כמה פעולות:

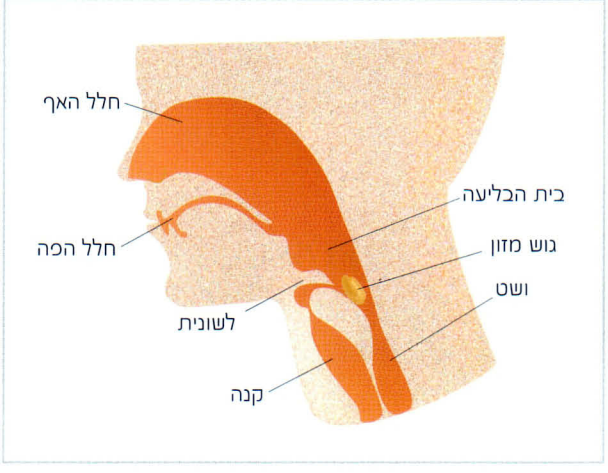
- ממיס את חלקי המזון המסיסים במים - ההמסה החלקית של פירורי המזון מסייעת ביצירת תחושות הטעם הנקלטות בלשון.
- מפרק עמילן לדו-סוכרים - הרוק מכיל אנזים ששמו עמילאז, המפרק עמילן לדו-סוכרים. הפירוק המכני של המזון לפירורים, והמסתם החלקית של הפירורים ברוק, מגדילים מאוד את השטח הזמין לפעילותו הכימית של העמילאז.
- מסייע בהגנה על הגוף מפני זיהומים - הרוק מכיל אנזים הפוגע בחיידקים, ובכך הוא מסייע להגנה על הגוף מזיהומים.

כפי שנוכחתם, העצה ללעוס היטב את האוכל אינה סתם "עצת סבתא". שטח המגע הגדול שנוצר בין המזון לבין הרוק מייעל מאוד את פעולת ההמסה והפירוק הכימי של המזון. בהמשך, יאפשר שטח המגע הגדול חשיפה יעילה ביותר של חלקיקי המזון לחומרי העיכול המפרקים אותו.

מהפה עובר המזון דרך הוושט לקיבה

במהלך הלעיסה, המזון שהתפרק לחלקיקים קטנים והומס באופן חלקי ברוק עובר מדי כמה שניות במנות קטנות מהפה דרך בית הבליעה אל הוושט.

באיור 2.11 תוכלו לראות את מסלול המזון מהפה אל הוושט.



איור 2.11
מעבר המזון מהפה אל הוושט

הוושט הוא צינור קצר המתחיל בבית הבליעה ומסתיים בקיבה. כפי שרואים באיור 2.11, המזון הנמצא בבית הבליעה יכול להגיע

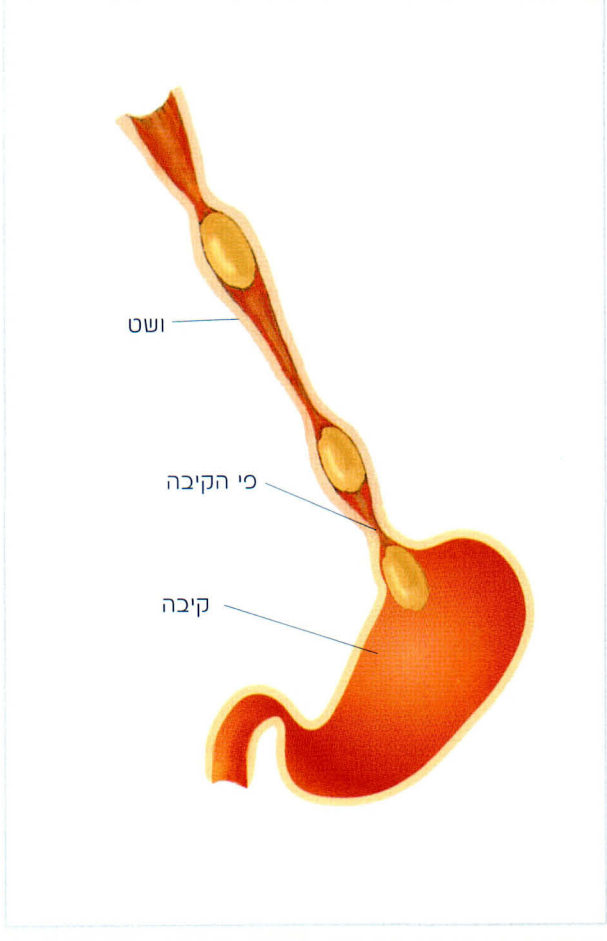
אל אחד משני צינורות הפתוחים לפניו, הקנה והוושט. הצינור שפתחו קרוב יותר לבית הבליעה הוא הקנה, דרכו עובר האוויר אל הריאות. ברגע שהאדם מתחיל לבלוע את מנת המזון מופעל מנגנון בקרה, הגורם לסגירה מיידית של הקנה על ידי הלשונית, ומונע את כניסת המזון אליו.

עוד על...

לאכול או לדבר?

כאשר אדם מדבר, האוויר מרעיד את מיתרי הקול שלו הנמצאים ממש בכניסה לקנה. הדיבור מחייב אפוא זרימה חופשית של אוויר לקנה. אם אתם מנסים לבלוע מזון ולדבר בה-בעת, אתם מעוררים תהליכים סותרים. פעולת הדיבור גורמת לפתיחת הקנה, ואז המזון הנבלע נופל לפתח הקרוב יותר לבית הבליעה - פתח הקנה. התוצאה מוכרת היטב: האדם נשנק ומשתעל. בדרך-כלל התקרית מסתיימת בכך שהשיעול מעיף את גוש המזון כלפי מעלה ומשחרר את הקנה. אולם במקרים קיצוניים תקלה כזו עלולה לגרום לחנק. תופעה זו הייתה מוכרת היטב לחכמינו שאמרו "אין מסיחין בסעודה שמא יקדים קנה לוושט, ויבוא לידי סכנה".

כל מנה קטנה של מזון המגיעה לוושט נעה לאורכו עד הכניסה לקיבה.

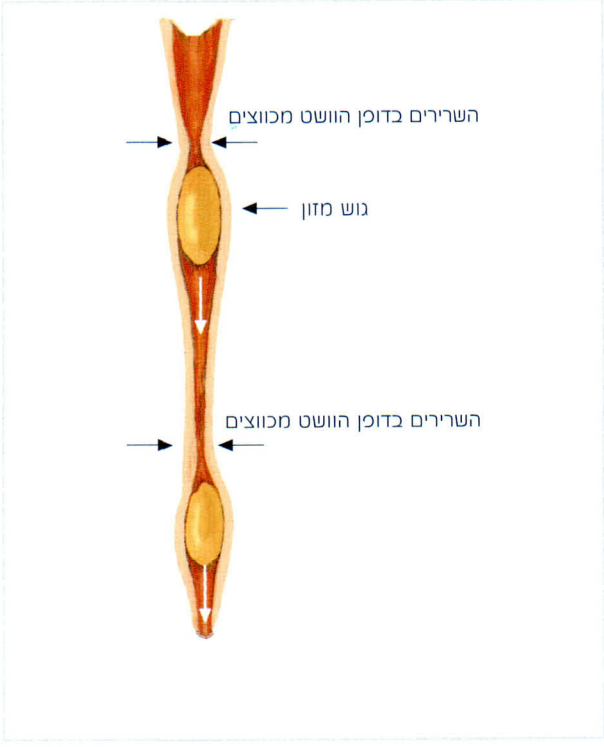


איור 2.12
מעבר המזון מהוושט לקיבה

שאלה 2

האם הייתם מצפים שנוזלים ומוצקים ינועו בוושט באותו אופן? הציעו השערה, והמשיכו לקרוא.

נוזלים נעים בוושט בצורה פסיבית בהשפעת כוח הכובד. אולם החלקים המוצקים נדחפים על-ידי דפנות הוושט. בדפנות הוושט נמצאים שרירים טבעתיים ושרירי אורך העוברים לאורך הדפנות, מתכווצים ומתרפים לסירוגין. השרירים רפויים לפני כניסתו של גוש המזון לתוך הצינור, והצינור רחב ומאפשר את כניסת המזון. מיד לאחר מכן השרירים מתכווצים ודוחפים את המזון קדימה, בעוד השרירים שלפניו רפויים ומאפשרים את מעברו. כל התכווצות של השרירים מאחורי מנת המזון דוחפת אותה, והתרפות השרירים לפניה מרחיבה את הצינור ומאפשרת למזון לנוע קדימה. כך נוצרת מעין תנועה גלית, העוברת לאורך הוושט



איור 2.13
תנועה פריסטלטית

ודוחפת את גוש המזון לעבר הקיבה. התנועה הזו נקראת **תנועה פריסטלטית** (ראו איור 2.13). השרירים המכווצים מאחורי המזון גם מונעים אפשרות של תנועה בכיוון ההפוך. הזמן הנדרש למזון לעבור את הוושט נמשך כמה שניות.

באיור רואים המחשה סכמתית של תנועה פריסטלטית.

בקיבה מתרחש פירוק מכני וכימי של המזון

הקיבה היא איבר שרירי דמוי שק. היא נמצאת מתחת לבית החזה, בצדו השמאלי של הגוף. בפתחה העליון של הקיבה נמצא שריר טבעתי המכונה "פי הקיבה". בבית הבליעה שלנו נמצאים תאי עצבים רגישים למגע. ברגע שאנו בולעים מזון לעום, התאים מעבירים מידע על כך למרכז בקרה הנמצא במוח, וזה מעביר פקודה עצבית לפי הקיבה. הוא נפתח ומאפשר את מעבר המזון לקיבה.

עוד על...

חזרה מהקיבה לוושט

לעתים קורה שפי הקיבה נפתח בהשפעת גירוי כלשהו, ומאפשר תנועת חומרים בכיוון ההפוך. במקרים כאלה המזון נדחף מהקיבה אל הוושט, ונגרמת הקאה. הגירויים להקאה עשויים להיות: מזון לא טעים, חומרים רעילים, ריח רע, או הפרעה בשיווי המשקל (במצבים של "מחלת ים", היכולים להתרחש גם בנסיעה במכונית). בזיהומי מעיים, הקאה היא אחת התוצאות של פעילות חיידקים מזהמים המגיעים למעיים. תופעה נוספת של היפוך התנועה מתבטאת בצרבת. תחושת הצריבה נובעת מזרימה של עיסה נוזלית, המכילה מיץ קיבה, מהקיבה אל הוושט. יש השערות רבות לגבי הגורמים לצרבת, אך עדיין אין לה הסבר מספק.

חלקה התחתון של הקיבה נפתח אל המעי הדק. גם בפתח התחתון של הקיבה נמצא שריר טבעתי, המכונה שוער. כאשר הקיבה מתמלאת מזון, השוער סגור ומונע מעבר של מזון למעיים. בתוך דפנות הקיבה נמצאות שלוש שכבות של שרירים. הדפנות השריריות של הקיבה מתכווצות בתנועות איטיות אך נמרצות, וממשיכות בעיכול המכני של המזון בתנועות של ערבול ומעיכה. נוסף לעיכול המכני מתרחש בקיבה גם עיכול כימי, בעיקר של חלבונים.

הדפנות הפנימיות של הקיבה עשירות בקפלים רבים על פני כל השטח. הקפלים הרבים מגדילים מאוד את שטח הפנים הכולל של דפנות הקיבה. שטח הפנים הגדול מגדיל מאוד את שטח המגע עם עיסת המזון הנמצאת בקיבה. פני השטח מכוסים בשכבת תאים שחלקם מפרישי ריר. בין הקפלים של שכבה זו, המכונה רירית הקיבה, נמצאים תאים המפרישים לחלל הקיבה חומצה מלחית, ואחרים המפרישים אנזימים. החומרים המופרשים מהתאים שבדפנות הקיבה ממלאים את חללה בתמיסה המכונה "מיץ קיבה". החומצה המלחית עושה את מיץ הקיבה לתמיסה חומצית מאוד (pH 1-2). אחד האנזימים הפעילים ביותר בקיבה הוא **פפסין**. הפפסין הוא יוצא דופן בקרב האנזימים בכך שהוא פעיל בסביבה כה חומצית.

הפפסין מזרז את תחילת הפירוק הכימי של החלבונים: הוא מפרק חלק מהחלבונים לפפטידים (שרשרות קצרות של חומצות אמיניות).

הסביבה החומצית שבקיבה היא הרסנית לכל סוגי התאים. בין השאר, היא מעכלת והורסת תאים זרים המגיעים אליה עם המזון, לרבות חיידקים. הסביבה החומצית שבקיבה מסייעת אפוא לא רק לעיכול, אלא גם להגנה על הגוף מפגיעתם של מזיקים.

קיבה בריאה לא מעכלת את עצמה

החומציות של מיץ הקיבה כה חזקה שהיא יכולה לגרום לכוויה. מיץ הקיבה מכיל גם אנזימים המפרקים חלבונים ביעילות רבה. טבעי אפוא לשאול, איך קורה שמיץ הקיבה לא מעכל מבפנים את דפנות הקיבה עצמה? התשובה לכך היא, שחלק מהתאים המצפים את הדופן הפנימית של הקיבה מפרישים בהתמדה ריר צמיג ודביק, היוצר שכבת מגן על פני השטח. אמנם הריר אינו עמיד באופן מוחלט בפני החומצה; הוא מומס ומסולק מפני השטח, וריר חדש מופרש על-ידי התאים כל העת. בלי קשר להגנה שמספק הריר, לתאים המצפים את דופן הקיבה יש תוחלת חיים קצרה מאוד, והם מוחלפים במהירות עצומה בתאים חדשים, התופסים את מקומם. בקיבה בריאה ופעילה, חצי מליון תאים מתים ונושרים מהציפוי הפנימי של הקיבה מדי דקה! אך הם מוחלפים במספר זהה של תאים חדשים. קצב התחלופה של התאים כה מהיר, עד כי כל התאים המצפים את דפנות הקיבה מתחלפים במשך שלושה עד שישה ימים.

עוד על...

פגיעות בקיבה

הפרעה מוכרת בקיבה היא הופעת כיב קיבה. כיב (אולקוס) הוא פצע בדופן הקיבה. בעבר סברו, כי כיבי קיבה נגרמים על-ידי גורמים נפשיים כגון מתח רב, או נטייה לרגזנות. רופאים נטו לייחס הופעת כיבים גם לשימוש בסוגי מזון שונים, כגון קפה, או שמן לטיגון, אולם לא נמצא בסיס מסיק להשערות האלה.

כיום ידוע, כי הגורם ל- 80% מכלל הכיבים בקיבה הוא חיידק. מדובר במין מסוים של חיידק המתיישב בדופן הקיבה, וגורם להרס של הדופן סביבו - כלומר, גורם לכיב קיבה. אפשר לרפא את הכיב בטיפול אנטיביוטי.

כשעה לאחר שהחל העיכול בקיבה, מתחיל השוער להיפתח ולהיסגר לסירוגין. כל פתיחה קצרה מאפשרת לכמות קטנה של מזון מעוכל חלקית, לעבור מהקיבה אל המעי הדק.

מהמעי הדק עובר המזון המעוכל לסביבה הפנימית

העיסה הנוזלית שיצאה מהשוער מגיעה לחלקו הראשון של המעי הדק. חלק זה נקרא **תריסריון** משום שאורכו שווה לרוחב של תריסר (12) אצבעות.

נפח הקיבה גדול בהרבה מנפח התריסריון, אך השוער נפתח בפרקי זמן קבועים ומאפשר בכל פעם מעבר לכמות קטנה בלבד של תמיסת מזון.

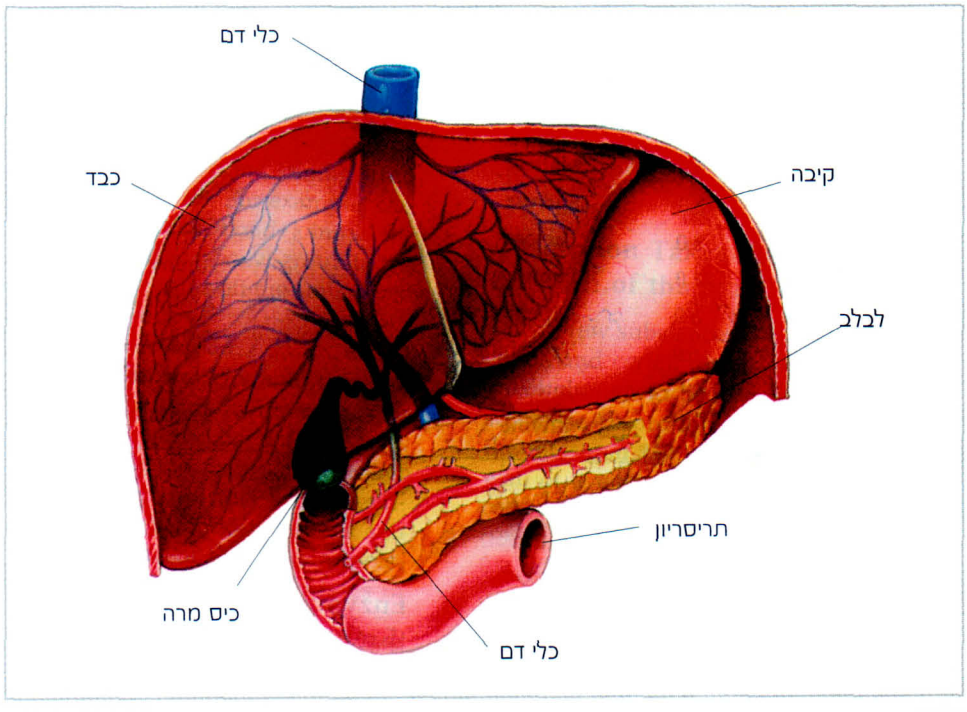
עיקר העיכול הכימי של כל חומרי המזון נעשה בתריסריון (ראו איורים 2.8 ו-2.14). לתמיסת מזון המצויה בתריסריון מגיעים אנזימים המפרקים את הפחמימות והחלבונים, שפירוקם כבר החל בפה ובקיבה. גם פירוק השומנים מתחיל בתריסריון. הפירוק המלא של חומרי המזון לאבני הבניין שלהם נעשה בקטעים הבאים של המעי הדק.

הסביבה בתריסריון אינה חומצית, אלא ניטרלית. מתחת לקיבה נמצאת בלוטה גדולה הנקראת **לבלב** (Pancreas). הלבלב מפריש לתריסריון חומר בשם נתרן ביקרבונט, המנטרל את השפעת החומצה הנמצאת בבליל המזון המגיע מהקיבה. נוסף לכך, הלבלב מפריש לתריסריון אנזימי עיכול.

בתריסריון פועלים אנזימי עיכול שונים, מקצתם אנזימים המגיעים מהלבלב ואחרים המופרשים מתאים בדפנות התריסריון עצמו.

לתריסריון מופרש, נוסף לאנזימים, גם **מיץ מרה**. מיץ המרה הוא חומר הנוצר בכבד, נאגר בכיס המרה ומגיע ממנו דרך צינור המרה אל התריסריון. מיץ המרה מזרז את תחילתו של תהליך פירוק השומנים.

באיור 2.14 תוכלו לראות את הקשר בין התריסריון לבין איברים הקשורים למערכת העיכול, אך נמצאים מחוץ לה, ומפרישים לתוכה חומרים שונים.



איור 2.14
הלבלב, הכבד וכיס המרה אינם חלק מצינור העיכול, אך הם משתתפים פעילים בתהליכי העיכול .

כפי שהסברנו לעיל, השומנים אינם מסיסים במים, והדבר מקשה על תהליך העיכול שלהם.

תגר

מדוע העובדה שהשומנים לא מסיסים במים, מקשה על העיכול הכימי שלהם?

שימה 2

מכינים "מיץ מרה"

כדי להמחיש לעצמכם את חשיבותו של מיץ המרה לעיכול השומנים, תוכלו לערוך ניסוי פשוט (במטבח, כמובן!).

א. קחו צנצנת המכילה כמות גדולה מכוס רגילה. וודאו שאפשר לסגור אותה היטב במכסה מתברג או קפיצי.

ב. מזגו לתוך הצנצנת רבע כוס מים, ואחריה רבע כוס שמן.

ג. מדדו בשעון את הזמן הנדרש לשמן כדי לצוף מעל שכבת המים.

ד. נערו היטב את הצנצנת והעמידו אותה שנית. תארו את המתרחש. האם השמן נפרד מהמים? במה שונה המצב משלב ג?

ה. עכשיו הוסיפו לצנצנת רבע כוס של נוזל לרחצת כלים. השתמשו בנוזל שצבעו בהיר. נערו היטב את הצנצנת.

ו. העמידו את הצנצנת, חזרו אליה כעבור 10 דקות ותארו את המתרחש. האם השמן והמים נפרדים באותו אופן כמו בשלב ג? בשלב ד?

מה ההסבר שלכם למתרחש?

הנוזל לרחצת כלים מכיל חומר מקבוצת חומרים הנקראים דטרגנטים. אחת התכונות של הדטרגנטים היא, שהם מפרקים שומנים לטיפות מיקרוסקופיות, המתפזרות בסביבה המימית. תמיסה מימית המכילה טיפות שומן מיקרוסקופיות נקראת "תחליב". מיץ המרה מכיל חומרים הדומים לדטרגנטים שבנוזל הניקוי, והוא יוצר תחליב של השומנים במעי. בהיותן בתחליב, שטח המגע של טיפות השומן עם האנזימים שבתמיסה גדל מאוד, וכך גם יעילותה של פעולת האנזימים עליהן.

בליל המזון המתעכל נדחף מהתריסריון לאורך המעי הדק. המשך העיכול הכימי נעשה לאורך המעי הדק. אנזימי עיכול מופרשים גם מתאים בדפנות המעי הדק. עד הגיעם ל"סוף המסלול" החלבונים מתפרקים לחומצות אמיניות, הפחמימות מתפרקות לחד-סוכרים, והשומנים מתפרקים לחומצות שומן וגליצרול.

שאלה 3

בסעיף 1, בתחילת הפרק, הדגשנו את חשיבותם של המים כחומר המצוי בכמות גדולה ביותר הן במזון והן בגוף. הזכרנו שם גם את חשיבותם של מינרלים לגוף. אולם לא הזכרנו כלל את המים והמינרלים בתיאור תהליכי העיכול. מדוע?

המעי הדק הוא צינור ארוך מאוד - שבעה מטרים בקירוב, ומבנהו מאפשר ספיגה יעילה של חומרים מהחלל הפנימי של המעי אל התאים שבדופן המעי. מתאים אלה עוברים תוצרי העיכול אל הדם.

שאלה 4

אורך המעי הדק של אדם מבוגר הוא שבעה מטרים וקוטרו כשלושה ס"מ. מהו שטח הפנים של צינור חלק במידות אלה? (רמז: עליכם לחשב תחילה את היקפו של עיגול שקוטרו שלושה ס"מ.)

מדידות של שטח הפנים הפנימי של המעי הדק שנעשו באנשים שונים הראו, כי השטח הוא בין 200 מ"ר ל-500 מ"ר (לשם השוואה, שטחו של מגרש כדורסל הוא כ-365 מ"ר). איך נוצר אפוא השטח העצום הזה?

חלק מהתשובה כבר מוכר לכם ממפגשכם עם הקיבה. פני השטח הפנימיים של המעי מקופלים בקפלים רבים מאוד. אולם מה שמגדיל במיוחד את פני השטח של המעי הן מספר עצום של בליטות קטנטנות, הבולטות מהתאים שעל הדופן הפנימית לתוך חלל המעי. הבליטות והקפלים המרובים מגדילים מאוד את פני השטח שתוצרי העיכול נספגים דרכם.

באיור 2.15 תוכלו לראות את פני השטח של המעי הדק.

איור 2.15
קטע מפני שטחו של המעי הדק

תופעה ביולוגית מרכזית: הגדלה של שטח הפנים

הגדלה של שטח הפנים היא תופעה מרכזית מאוד ביצורים חיים. כאן נתקלתם בה בשני הקשרים: הלעיסה מגדילה את שטח המגע של המזון עם הרוק ועם מיצי העיכול, והמבנה הפנימי של דפנות הקיבה תורם לכך גם הוא. המבנה עתיר הקפלים והבליטות של דפנות המעי מגדיל במידה עצומה את שטח הספיגה של המזון המתעכל, בתוך הנפח המוגבל של צינור העיכול.

התאים המצפים את החלל הפנימי של המעי קולטים את תוצריו של המזון המעוכל. באיור 2.15 רואים כי הבליטות המזדקרות מהם מרושתות בכלי דם ולימפה (הסבר על הלימפה מופיע בפרק 4). תוצרי העיכול עוברים אל התאים, ומהם הם נכנסים לכלי הדם והלימפה שבבליטות. תנו דעתכם לכך שרק עתה מתרחש מעבר החומרים שנעכלו מהסביבה החיצונית – כלומר, מחלל המעי, אל הסביבה הפנימית – לתוך נוזלי הדם והלימפה. הדם והלימפה מעבירים את תוצרי העיכול אל הכבד. בכבד נעשה עיבוד נוסף של מקצת תוצרי העיכול, ורובם ממשיכים לנוע בזרם הדם אל כל תאי הגוף.

הכבד משתתף בהעברת חומרים לסביבה הפנימית

הכבד כבר הוזכר לעיל כאיבר המייצר את מיץ המרה, החיוני לעיכול השומנים. אולם ייצור מיץ המרה הוא רק אחד מתפקודיו הרבים של הכבד ואינו ממחיש את חשיבותו של הכבד בגוף. למעשה, בכבד מתרחשים תהליכים רבים ומגוונים יותר מאשר ברוב איברי הגוף. לא נפרט כאן את כל הפעולות המסובכות המתרחשות בכבד, אך נציין בקיצור כמה מהחשובות ביותר שבהן.

- הכבד מעביר את תוצרי המזון לחלקי הגוף השונים - מערכת הדם בגוף בנויה כך שכל תוצרי המזון שנעכלו במעיים ועברו לדם, מגיעים תחילה לכבד, וממנו לשאר חלקי הגוף.
- הכבד מייצר ומפרק חלבונים - הכבד הוא ממש "מפעל" לייצור ולפירוק חלבונים. מצד אחד, רבים מהחלבונים הדרושים לגוף נוצרים בתאי הכבד מחומצות אמיניות, שהגיעו אליו ממערכת העיכול. מצד שני, הכבד מפרק חלבונים המגיעים לדם בעקבות מותם של תאים בגוף. מפירוק חלבונים אלה נוצרים בכבד תוצרי לוואי רעילים, המגיעים עם הדם לכליות ומופרשים בשתן.
- הכבד משמש מאגר לפחמימות - בתאי הכבד נוצר מהגלוקוז רב-סוכר בשם גליקוגן. הגליקוגן נאגר בתאי הכבד, והוא מתפרק כאשר נוצר מחסור בגלוקוז בדם.
- הכבד מנטרל רעלים - אנזימים, המצויים בתאי הכבד, מפרקים חומרים מזיקים שונים, המגיעים לעתים לדם, וביניהם גם חומרים רעילים המצויים בתרופות.

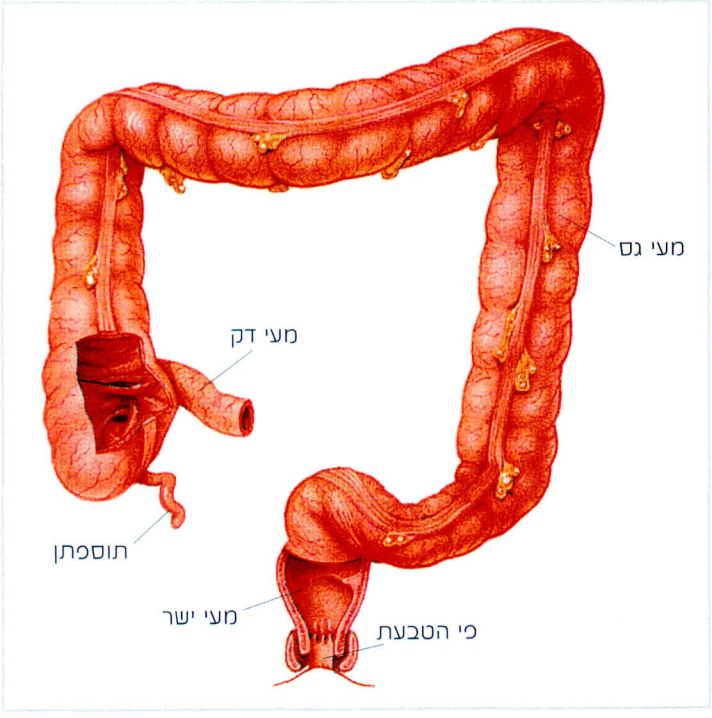
עוד על...

האלכוהול הוא אויבו הגדול של הכבד

כאשר שותים משקה אלכוהולי, האלכוהול עובר במהירות רבה מהמעי לדם, ומגיע לכבד. בתאי הכבד מתרחש פירוק של האלכוהול על-ידי אנזימים. מקצת תוצרי הפירוק של האלכוהול הם רעילים ומזיקים לתאי הכבד אך יותר מן האלכוהול עצמו. שתייה מתונה של משקה אלכוהולי מדי פעם (כוס יין בארוחה, כוסיות מעטות של משקה חריף במסיבה) אינה מסוכנת כשלעצמה. הסכנה טמונה בשתייה מרובה שהופכת לנוהג קבע. אם מצטברת כמות גדולה של תוצרי פירוק האלכוהול בזמן קצר, הכבד לא מצליח לפנות את כל הכמות בבת-אחת. תוצרי הפירוק של האלכוהול, המצטברים בכבד לאורך זמן, גורמים לדלקת, המובילה בהמשך להרס תאים בכבד. מותם של תאי כבד מרובים גורם ליצירת צלקות גדולות ברקמת הכבד, שהן הסימן האופייני למחלה ששמה "שחֶמֶת". ככל ששטח הצלקות גדל, והשחמת מתרחבת, קטן מספר תאי הכבד הבריאים, המבצעים את תפקודיו החשובים של הכבד. השחמת היא מחלה קטלנית: רבים מהמכורים לאלכוהול מתים ממנה.

מסע עיכול המזון מסתיים במעי הגס

שאריות של חומרים שלא עוכלו עוברות מהמעי הדק למעי הגס. חלק נכבד מחומרים אלה הם סיבים תזונתיים – חומרים המכילים כמויות גדולות של פחמימה ושמה תאית. בסעיף 2.1, הדן בחומרים מהמזון הבונים את הגוף ומספקים לו אנרגיה, מצאתם כי מאכלים רבים מן הצומח מכילים סיבים כאלה.



איור 2.16
מראה המעי הגס, המעי הישר ופי הטבעת

נוכחותם במזון חשוכה, על אף שהם אינם נעכלים ואינם תורמים לגוף חומרים חשובים, וגם אינם מהווים מקור לאנרגיה.
חשיבותם של סיבי התאית טמונה בכך שהם מסוגלים לעודד את תנועת המעי הגס ולייעל את הפינוי של שאריות החומרים מתוכו. המעי הגס הוא צינור קצר עם מעט קפלים, אורכו אינו עולה על מטר אחד. לפניכם פירוט קצר של הפעולות המתבצעות במעי הגס.

גמר עיכול

חומרים שלא עוכלו עד הסוף, מגיעים למעי הגס עם מעט מהאנזימים מהמעי הדק, ושם נשלם עיכולם.

ספיגת מים ומומסים משאריות המזון

שטח הספיגה של המעי הגס קטן פי 30 מזה של המעי הדק, אך ספיגת המים ממנו לדם יעילה מאוד. בתנאים רגילים, כמות הנוזלים העוברת במערכת העיכול במהלך יממה אחת היא כתשעה ליטרים. שני ליטרים מתוכם מגיעים מהמזון; מקורם של שבעת הליטרים הנותרים בהפרשות השונות, המגיעות מכל חלקי מערכת העיכול, לרבות הלבלב וכיס המרה, אל החלל של צינור העיכול. אולם רק כ-100 סמ"ק של נוזל עוזבים את מערכת העיכול בצואה. כל שאר הנוזלים נספגים דרך דפנות המעיים ושבים אל הדם. יעילות הספיגה דרך דפנות המעיים היא אפוא גבוהה מאוד ושיעורה מגיע ל-99%. עיקר ספיגת המים נעשה אמנם דרך דפנות המעי הדק, אך גם לספיגה מדפנות המעי הגס יש חשיבות רבה. חשיבותה של ספיגת המים מהמעי הגס מתבררת כאשר היא משתבשת, למשל בשל זיהום חיידקי הגורם לשלשול – כפי שיתואר בהמשך.

פעילות חיידקים

האם חשבתם אי-פעם שאתם מהווים מקום מגורים למיליארדים של דיירי משנה? במעי הגס של כל אחד מאתנו נמצאת אוכלוסייה ענקית של חיידקים, הנמנים עם ידידינו הטובים ביותר. החיידקים מסייעים בפירוק חלק מחומרי המזון המעטים המגיעים למעי הגס. אולם תרומתם לבריאותנו חשובה אף מתרומתם לעיכול המזון. החיידקים האלה מונעים התרבות של חיידקים גורמי מחלות, המצליחים להגיע לעתים למעי. מקצת החיידקים גם מייצרים ומפרישים כמויות קטנות של ויטמינים חשובים: ויטמין K, החיוני לקרישת הדם (על קרישת הדם תלמדו בפרק 4) וויטמין B12, החיוני ליצירת תאי דם. אולם לרוב לא די בכמויות הוויטמינים שמייצרים החיידקים, וחשוב לקבל ויטמינים אלה גם במזון.

יצירת צואה

שאריות לא מעוכלות של מזון נאגרות ונדחסות במעי הגס והופכות שם לצואה. עם חלקיקי פסולת המזון, נדחסת גם כמות גדולה של חיידקים מאלה החיים על דפנות המעי. תנועות שרירים פריסטלטיות בדופן המעי הגס דוחפות את הצואה לעבר המעי הישר - הקטע האחרון והקצר של המעי. לחץ הצואה המצטברת במעי הישר גורם לגירוי של עצבים, המפעילים שרירים רצוניים - כלומר, שרירים שיש לנו שליטה עליהם. תגובה רצונית של האדם מובילה לפתיחה של השרירים הטבעתיים הסוגרים את פי הטבעת, וכך מתאפשרת יציאת הצואה.

זיהום גורם לפגיעה בעיכול ולאיבוד נוזלים

הקיבה היא "מכשיר חיטוי" מעולה, ורוב החיידקים והנגיפים המגיעים אליה לא שורדים במערבולת החומצה והאנזימים הפועלת בה. נוסף לכך, לאורך דופן המעי נמצאים ריכוזים של תאים הנמנים עם מערכת החיסון של הגוף, ואלה תוקפים והורסים גורמים מזהמים. אולם, קורה שהמעיים בכל זאת מזדהמים בחיידקים, או בנגיפים.
בדרך-כלל הזיהום נובע מצירוף של כמה גורמים העלולים להוביל לכך שחיידקים או נגיפים במספרים גדולים ישרדו במעברם בקיבה ויזהמו את המעיים: מצב גופני כללי ירוד, הנובע מרעב, ממחסור בוויטמינים, או מחשיפה ממושכת לקור; וחשיפה למזון ולמים מזוהמים.
חיידקי כולרה, סלמונלה ושיגלה ידועים כ"מזהמים מומחים" של מערכת העיכול. השפעתם המזיקה של חיידקים אלו מתבטאת בעיקר בשתי דרכים: הם מתיישבים על-פני השטח הפנימי של המעי, משנים את הסביבה, הורסים את התאים המפרישים אנזימי עיכול וגורמים להפרעות בעצם תהליך העיכול. נוסף לכך, הם פוגעים בספיגת המים מהמעי אל הדם, ובכך הם גורמים לאיבוד כמויות גדולות של נוזלים. הביטוי המוכר לפעילותם של מזיקים אלה הוא, כמובן השלשול, שאינו אלא צואה המכילה כמויות גדולות של מים.
נזקו של השלשול ברור אפוא – הוא מלווה בהפסד מים. אולם לצד הנזק, יש בו גם תועלת מסוימת, שכן עם השלשול מסולקים מהגוף חלק גדול מגורמי הזיהום שחוללו אותו. לעתים, די בשלשול עצמו ובשתיית נוזלים רבים, כדי לפנות את גורמי הזיהום מהגוף. אך לעתים, כאשר מתקפת החיידקים קשה במיוחד, ובעיקר אצל ילדים קטנים, יש צורך בטיפול רפואי כדי לשים קץ לזיהום.

עוד על...

מאין מגיעים חיידקים למערכת העיכול?

חיידקי הסַלְמוֹנֶלָה מתרבים בבשר מזוהם ובביצים. חיידקים יכולים להשתכן גם בבשר שהיה נקי, אך הוחזק למעלה משעה בלי קירור. חיידקי כולרה שכיחים במים מזוהמים, באזורים שמערכות המים והביוב בהם אינן מופרדות כראוי. יתר על כן, עדיין יש מקומות בהם משקים ירקות במי ביוב, ובמקומות אלה שכיחות הזיהומים גדולה במיוחד. חיידקי כולרה תוקפים את הדפנות הפנימיות של המעיים בעוצמה כזו, שהם ממש מפרקים את שכבת התאים המצפה את הדופן. זיהום בכולרה גורם לאיבוד נוזלים קשה במיוחד, ואף יכול להסתיים במוות. חיידקי שִיגֶלָה נמצאים בתבשילים שונים שהוכנו בתנאי היגיינה ירודים. בנוסף, מוכרים גם חיידקי הסְטַפִילוֹקוֹקוּס שבית הגידול החביב עליהם הוא מיונז לא טרי, או מיונז שעמד זמן-מה מחוץ למקרר. הסְטַפִילוֹקוֹקוּס גורם לקלקולי קיבה קשים.

2.3 סיכום

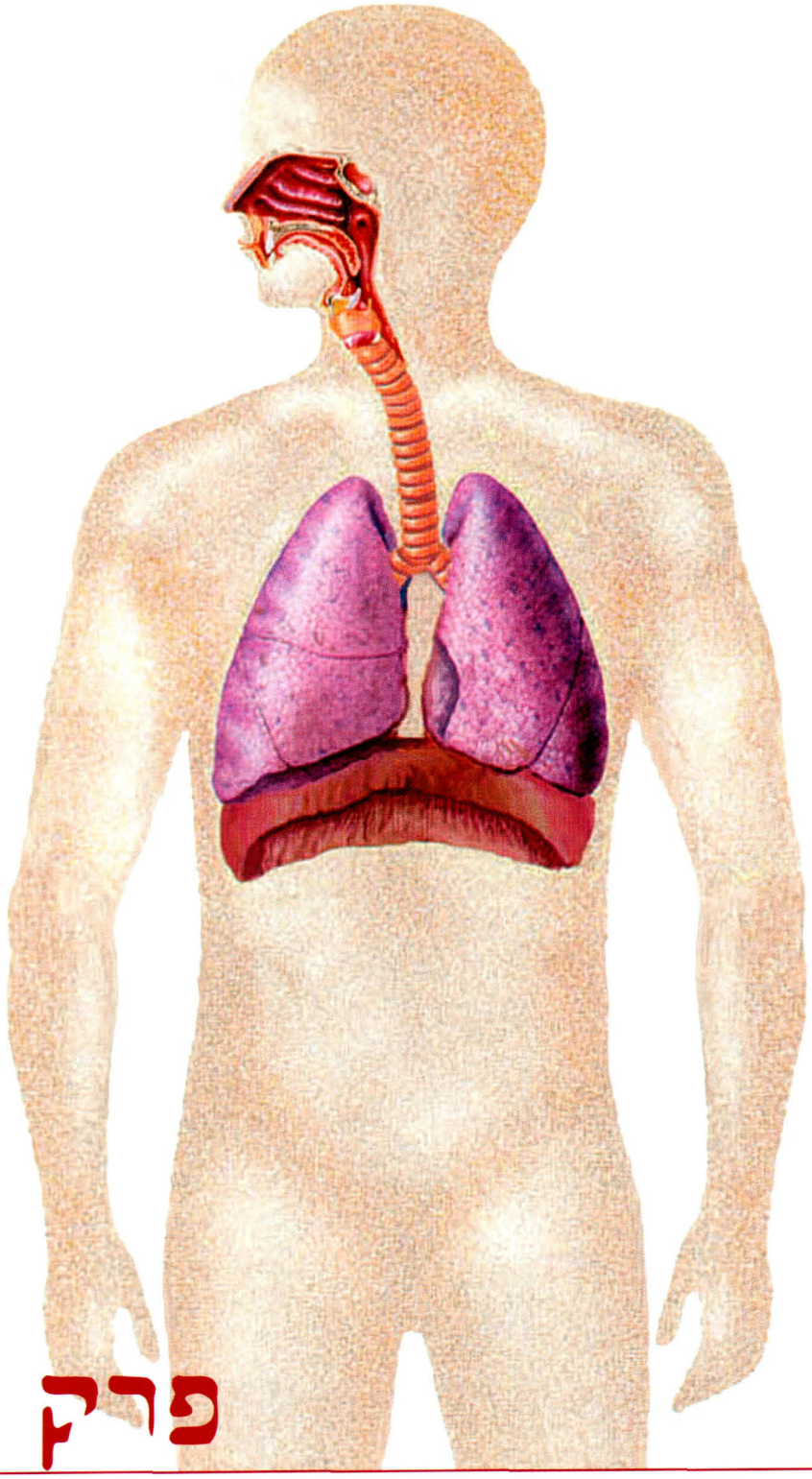
בני אדם ניזונים ממאכלים וממשקאות מגוונים, המורכבים ממספר לא גדול של חומרי מזון בסיסיים, החיוניים לתפקודו התקין של הגוף. כל חומרי המזון מתפרקים ומתעכלים במערכת העיכול, ורק לאחר שהתפרקו למרכיביהם הם יכולים להיכנס לסביבה הפנימית של הגוף ולהגיע אל התאים.

מערכת העיכול היא צינור אחד, הפתוח לסביבה החיצונית בשני קצותיו. לאורך הצינור נמצאות "תחנות" - אזורים שונים במערכת העיכול, ששלבים שונים של עיכול מתרחשים בהן.
העיכול מתחיל בפה בפירוק מכני של המזון לחלקיקים קטנים ובהמסתו בתמיסה. בפה מתחיל גם פירוק כימי של פחמימות. פירוק מכני נמשך בקיבה ושם מתרחש גם פירוק כימי של חלבונים. תהליכים אלה נמשכים בתריסריון – שם מתחיל עיכול השומנים - ולאורך המעי הדק. תוצרי העיכול נקלטים בתאים המצפים את הדפנות הפנימיות של המעי הדק, משם הם עוברים לדם וללימפה - כלומר, לסביבה הפנימית. הדם והלימפה מובילים את תוצרי העיכול לכבד, וממנו, עם זרם הדם, הם מגיעים לכל תאי הגוף.
תהליכי העיכול מותנים ביצירת שטח מגע גדול בין המזון לבין החומרים המעכלים אותו. ההגדלה של שטח המגע מושגת בשתי דרכים:
א. באמצעות פירוק מכני של המזון בלעיסה; ב. באמצעות מבנה הדפנות הפנימיות של הקיבה והמעיים, המאופיין בקפלים מרובים ובמיליונים רבים של בליטות היוצאות מהדפנות הפנימיות של המעי הדק לחלל המעי.

שאלות סיכום וחזרה

1. לפניכם תפריטים של שלוש ארוחות בוקר:
   - יניב אכל סלט ירקות גדול, חביתה מביצה אחת, ושתה כוס חלב;
   - טלי אכלה שתי פרוסות לחם עם גבינה לבנה ושתתה כוס קפה עם מעט חלב ועם ממתיק מלאכותי;
   - חגי אכל צלחת גרנולה עם חצי כוס חלב ושתה קפה נטול חלב עם כפית סוכר אחת.

   מה תציעו לכל אחד מהם לאכול במשך היום, כדי להשלים את חומרי המזון הדרושים להם?
2. הרופאה הסבירה לאורי, כי כדאי לו לנסות להוריד חמישה ק"ג ממשקלו. אורי החליט לעשות דיאטה.
   תנו לו שלוש עצות "עשה..."ושלוש עצות "אל תעשה..."', שיסייעו לו להפחית ממשקלו.
3. פירוק מלא של גרם אחד של פחמימה משחרר 5.4 קלוריות. פירוק גרם אחד של חלבון משחרר כמות זהה של קלוריות.
   מדוע לא נהוג לתאר את החלבונים כמקור לאנרגיה?
4. מה חשיבותו של הרוק לעיכול המזון?
5. כאשר לועסים פרוסת לחם במשך זמן-מה מרגישים בטעם מתוק. מה ההסבר לכך?
6. הסבירו כיצד מסייעים כי הקיבה והשוער לשמירה על התנאים השוררים בקיבה.
7. במבוא ליחידה זו נאמר, כי הגוף החי קולט חומרים מן הסביבה ומשחרר אליה חומרים.
   במה שונים החומרים הנקלטים מהסביבה, מאלה הנפלטים אליה ממערכת העיכול?



פרק 3

מערכת הנשימה

פרק 3

תוכן העניינים

3.1 בין נשימה לחילופי גזים 49

3.2 לא כל האוויר "נחוץ כאוויר לנשימה" 50

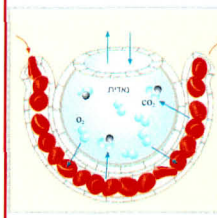
3.3 איברים רבים משתתפים בתהליך של חילופי הגזים 52
- האף ממזג ומסנן את האוויר 52
- האוויר עובר דרך הקנה והסימפונות אל הריאות 53
  זרימת האוויר מלווה לעתים בהשמעת קולות 53
- חילופי הגזים מתרחשים בריאות 54
- מהי דיפוזיה 55
- לא תמיד מגיע אוויר נקי לריאות 56
  מזהמים ביולוגיים 56
  מזהמים לא-ביולוגיים 56
  עוד דרכים לחבלה בְּרִיאות 57
- איברים נוספים משתתפים בפעולת הנשימה 57

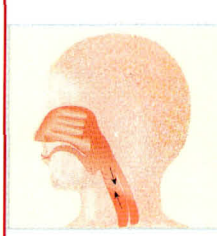
3.4 פעולת הנשימה היא פעולה מחזורית של שאיפה ונשיפה 58
- קצב האוורור נקבע במוח 61
  הנשמה מפה לפה עוזרת לחדש את הנשימה 62

3.5 החמצן דרוש לתאים לנשימתם 64

3.6 סיכום 65

שאלות סיכום וחזרה 65





בלשון היומיום, כאשר אדם אומר שהוא נושם, הוא מתכוון לומר שהוא מכניס אוויר לריאותיו, ומשחרר מהן אוויר. רוב הזמן איננו חשים בפעולת הנשימה, אך אנו מודעים לקיומה; במיוחד אם הפרעה כלשהי מונעת מהאוויר לזרום מהאף לריאות ("אוי, אני נחנק, אני לא נושם", "אין לי אוויר"). עצירה של זרימת האוויר מהאף לריאות מעוררת בנו תחושת מחנק. עם זאת, ידוע כי אפשר להחזיק מעמד דקה או יותר, גם כשלא מגיע אוויר מהאף לריאות: למשל, כשמתאמנים בצלילה, או במשחק בין חברים, המתחרים ביניהם מי יכול לעצור את הנשימה לזמן ארוך יותר. ככל הנראה, גם כשלא מגיע אוויר מהאף לריאות, התאים בגוף עדיין מקבלים חמצן במשך זמן קצר. מדוע אפוא מתעוררת תחושת המחנק בעת שעדיין נמצא חמצן בתאים? ומתי באמת מתרחשת נשימה - כשהאוויר זורם מהאף לריאות, או כשהחמצן מגיע לתאים? תשובות לשאלות אלה, וגם לאחרות תקבלו בפרק זה.

3.1 בין נשימה לחילופי גזים

התהליך שאנו רגילים לקרוא לו "נשימה" מכונה בשפת המדע **חילופי גזים** (Breathing). תהליך זה מתרחש ברמת הגוף השלם, ואנו חשים בחסרונו בעת שאנו סותמים את האף והפה. בתהליך זה אוויר נכנס לריאות ויוצא מהן בהרכב שונה מעט, שכן, חמצן הנמצא באוויר עובר מהריאות לדם, ופחמן דו-חמצני הנמצא בדם עובר לאוויר שבריאות ויוצא אתו החוצה. גם בתאים מתרחשים חילופי גזים: כל תא בפני עצמו קולט חמצן מהדם ופולט אליו פחמן דו-חמצני.

למעשה, התאים הם אלה הצורכים את החמצן. החמצן מנוצל בתאים להפקת אנרגיה מחומרי המזון שהגיעו אליהם, בתהליך המכונה **נשימה תאית** (Respiration). התהליך נזכר במבוא ליחידה ומוסבר בהרחבה בסיום פרק זה.

ההבדל בין חילופי גזים לבין נשימה תאית מוצג באיור 3.1.

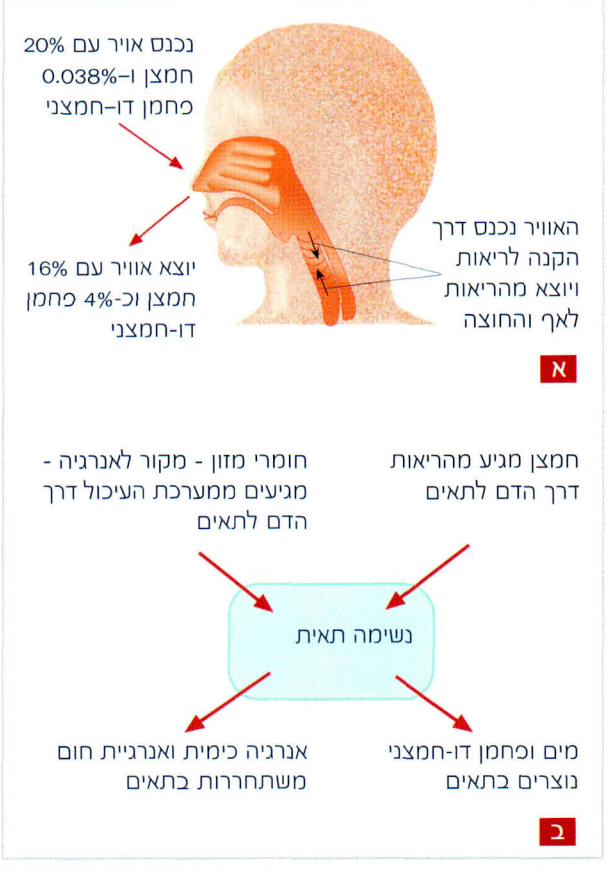
מכיוון שהמילה "נשימה" היא זו המשמשת אותנו בחיי היומיום, נשתמש בה מדי פעם גם כשמדובר בחילופי גזים, למען נוחות הקריאה. התהליך המתרחש בתאים יכונה רק "נשימה תאית".

כל התאים בגופנו זקוקים אפוא לחמצן, שכן בלעדיו הם אינם יכולים לנשום (כלומר, להפיק אנרגיה מהמזון), אך הם אינם מסוגלים להשיג חמצן במישרין מהאוויר. החמצן מגיע אל התאים הודות לפעולתן של שתי מערכות: מערכת חילופי הגזים - המותאמת לקליטה של אוויר מהסביבה החיצונית ולהעברת חמצן מהאוויר לדם; ומערכת הדם המובילה את החמצן אל התאים.

בפרק 4 תכירו את מערכת ההובלה. בפרק זה תכירו את מבנה המערכת המאפשרת את חילופי הגזים ואת תהליך החילוף המתרחש בה. אך תחילה נכיר כמה מתכונות האוויר עצמו.

הרחבה

יצורים חד-תאיים אינם זקוקים לתיווך בין פנים גופם לסביבה החיצונית. את החמצן הדרוש להם הם קולטים במישרין מהסביבה המימית דרך קרום התא, ופחמן דו-חמצני יוצא דרך הקרום היישר אל הסביבה.



איור 3.1

חילופי גזים לעומת נשימה תאית:

א. אוויר נכנס למערכת חילופי הגזים ויוצא ממנה עם שינויים קלים בהרכבו.

ב. חמצן ומזון משתתפים בתהליך הנשימה של התא.

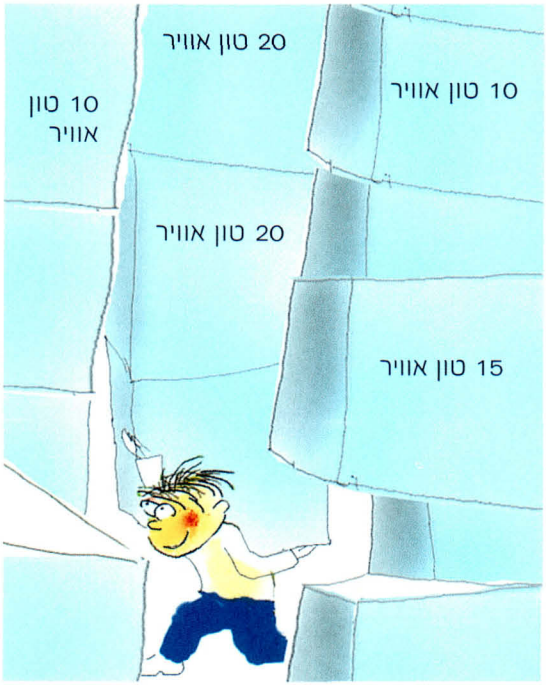
3.2 לא כל האוויר "נחוץ כאוויר לנשימה"

כל אחד מאתנו מתחיל לשאת מטען כבד על כתפיו מייד לאחר היוולדו. כדור-הארץ מוקף שכבה עבה של אוויר. בלשון המדע נקראת שכבת הגזים **אטמוספרה**. על כל סנטימטר מרובע של פני כדור-הארץ מונח עמוד של גזים שגובהו מאות אחדות של קילומטרים ומשקלו עשרות טונות. איננו חשים את כובד המשא הזה, מהטעם הפשוט שאנו נולדים לתוכו, וגופנו מותאם לחיות בו.

עוד על...

"אטמוספרה" - לא רק על כדור הארץ

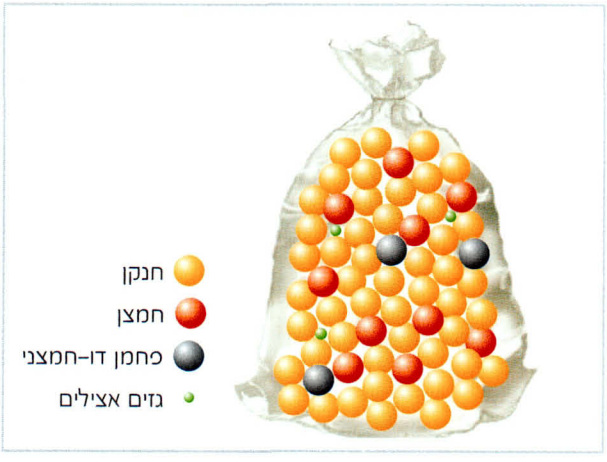
ביוונית עתיקה "אטמוס" פירושו אוויר, ובמשך כ-2500 שנים שימשה המילה "אטמוספרה" מילה נרדפת לאוויר. במאה ה- 20 התברר, כי כוכבי לכת אחרים מוקפים תערובות גזים, שהרכבן שונה מזה של התערובת המקיפה את כדור-הארץ (שהיא האוויר שלנו). הוסכם שהמילה "אטמוספרה" תשמש שם כללי לכל סוג של שכבת גזים המקיפה עצם שמימי כלשהו. וכך מדברים היום על האטמוספרה של מאדים, השונה במקצת מזו של כדור-הארץ, או על האטמוספרה של צדק, השונה מאוד מזו של כדור-הארץ. על האטמוספרות השונות של כוכבי לכת במערכת השמש תוכלו לקרוא באתר האינטרנט של מט"ח, הקשור לתכנית "לגעת בשמים לגעת ביקום". כתובת האתר: www.cet.ac.il.



איור 3.2
כולנו נולדים לתוך "המטען" הזה

כפי שרואים באיור 3.2, האטמוספרה אינה מונחת רק על ראשינו. היא מקיפה אותנו באופן אחיד מכל הצדדים ויוצרת לחץ שווה על כל חלקי גופנו.

לנוחיות הדיון נשתמש בפרק זה במילה העברית המוכרת "אוויר". האוויר אינו חומר אחד, אלא תערובת של גזים שונים. הרכבו של האוויר מתואר בתרשים שבאיור 3.3.



איור 3.3
יחסי הכמויות בין הגזים המרכיבים את האוויר. כמות הפחמן הדו-חמצני והגזים האצילים באויר קטנה עוד יותר מכפי שנראה באיור.

כפי שרואים באיור, הגזים שבאוויר מעורבבים בצורה אקראית לחלוטין. בכל כמות אקראית של אוויר שתלכדו בדרך כלשהי - בכוס, בבלון, בשקית ניילון - תמיד תמצאו תערובת המכילה מולקולות של כל הגזים הנמצאים באוויר באותה חלוקה יחסית: 79% חנקן, 20% חמצן, 0.038% פחמן דו-חמצני, כאחוז אחד גז ארגון והשאר אדי מים וגזים אחרים. נוסף לכך, בהרכב האוויר נכללים גם מרכיבים קבועים פחות. אם תערכו סקר משווה של הרכב האוויר במקומות שונים בארץ, סביר שתגלו כמה הבדלים בין מקום למקום.

שאלה 1

אילו חומרים יכולים, לדעתכם, להימצא באוויר בריכוזים שונים, במקומות שונים בארץ?

מ שימה 1

בודקים את מצב האוויר

א. נסו לגלות הבדלים במצב האוויר גם במקום מגוריכם.

1. קחו גביע ריק ונקי של אשל, לבן או מאכל דומה. הכניסו משקולת כלשהי לתוך הגביע. הפרידו ממחטת נייר רגילה לדפים.
2. הניחו דף אחד מקבוצת הדפים שהפרדתם על פתח גביע הפלסטיק והדקו אותו בעדינות בעזרת גומייה, בלי לקרוע אותו.
3. הניחו את הגביע עם כיסוי הניר הדק במקום חשוף לרחוב: על אדן חלון, במרפסת וכדומה.
4. הכינו גביע נוסף באותה שיטה, ושימו אותו בארון סגור היטב בתוך הבית.
5. השוו את מצב דפי הניר כעבור 24 שעות.
6. השוו ביניהם שנית כעבור 48 שעות.
7. סכמו בכתב את ממצאי הבדיקה.

ב. מידע על מצב האוויר במקומות שונים בארץ מתפרסם בעיתונים יומיים ובאינטרנט.

1. מצאו מידע לגבי שני מדדים שונים הקשורים לתכולת

האוויר: אדי מים, מזהמים שונים או חומרים אחרים.

2. עקבו במשך שבוע אחר הנתונים על מדדים אלה בשלושה מקומות שונים - בארץ או בעולם.
3. נסו להסביר ממה נובעים ההבדלים במדדים אלה בין המקומות שעקבתם אחריהם.

כתובת באינטרנט למידע על מצב האוויר:
www.weather.co.il

גם באתר סנונית: www6.snunut.k12.il תמצאו קישורים לאתרים המכילים מידע על מצב האוויר ועל מידת זיהום האוויר בארץ.

העמקה

לחצים חלקיים של גזים

לעתים חשוב לדעת מה חלקו המדויק של כל אחד מהגזים הנמצאים באוויר. המידע הזה חשוב, למשל, למטפסי הרים, לרופאים המטפלים בבעיות הכרוכות בחילופי גזים, וכמובן למדענים החוקרים את האטמוספרה ואת התהליכים השונים המתרחשים בה.

האטמוספרה עוטפת את כדור-הארץ באופן אחיד מכל צדדיו ומפעילה לחץ על פני השטח. עובי האטמוספרה שווה מעל לכל המקומות הנמצאים בגובה פני הים, לכן גם הלחץ שהיא מפעילה על מקומות אלה שווה. אבל במקומות גבוהים בהרבה מפני הים, או נמוכים מפני הים, עובי האטמוספרה משתנה, כפי שמתואר באיור 3.4, ולכן גם הלחץ משתנה.

הלחץ של האטמוספרה על פני השטח בגובה פני הים מוגדר כיחידת לחץ אחת. הוסכם ששמה של יחידת הלחץ יהיה "אטמוספרה". בכל מקום על פני כדור-הארץ בגובה פני הים שורר אפוא לחץ של אטמוספרה אחת. שימו לב: "אטמוספרה" היא שמה של מעטפת הגזים, וגם שמה של יחידת מדידה המציינת את מידת הלחץ.

כל אחד מהגזים הנמצאים באטמוספרה תורם את חלקו ללחץ הכללי שהיא לוחצת על פני השטח. כך החנקן, המהווה 79% אחוז מכלל האטמוספרה, תורם 79% ללחץ האטמוספרי. נהוג להגדיר זאת כך: לחצו החלקי של החנקן הוא 0.79 אטמוספרות. גם החמצן תורם את חלקו ללחץ האטמוספרי. מכיוון שהחמצן מהווה 20% מהאטמוספרה, לחצו החלקי הוא 0.2 אטמוספרות. שאר הגזים תורמים גם הם את חלקם, כל אחד בהתאם לשיעורו באטמוספרה.

לחץ חלקי של גז שווה אפוא לחלקו היחסי של הגז בתערובת, המוכפל בלחץ הכולל של התערובת השלמה.

מתי יכול לחצו החלקי של גז להשתנות?

למשל, בראש הר גבוה. שכבת האטמוספרה בראש הר גבוה דקה יותר (ראו איור 3.4). בהתאם לכך, גם הלחץ שהיא יוצרת על פני השטח קטן יותר. בגובה של 6000 מטר, למשל (גובה הר בינוני ברכס ההימליה), הלחץ אינו אטמוספרה שלמה, אלא רק 0.46 אטמוספרה. מה יהיה לחצו החלקי של החמצן בגובה זה?

עלינו להכפיל 0.2 ב-0.46 נקבל 0.092 אטמוספרות. לחצו החלקי של החמצן ירד מ-0.2 אטמוספרות ללחץ של 0.092 אטמוספרות; זוהי ירידת לחץ של יותר מ-50%!

תנו דעתכם: חלקו של החמצן באטמוספרה לא השתנה כלל! הוא עדיין מהווה כ-20 אחוזים מהאטמוספרה, בדיוק כמו בכרמיאל או בדימונה. אך מכיוון ששכבת האטמוספרה כולה דקה יותר, ולחצה הכולל קטן יותר, פוחת בהתאמה גם לחצו של החמצן.

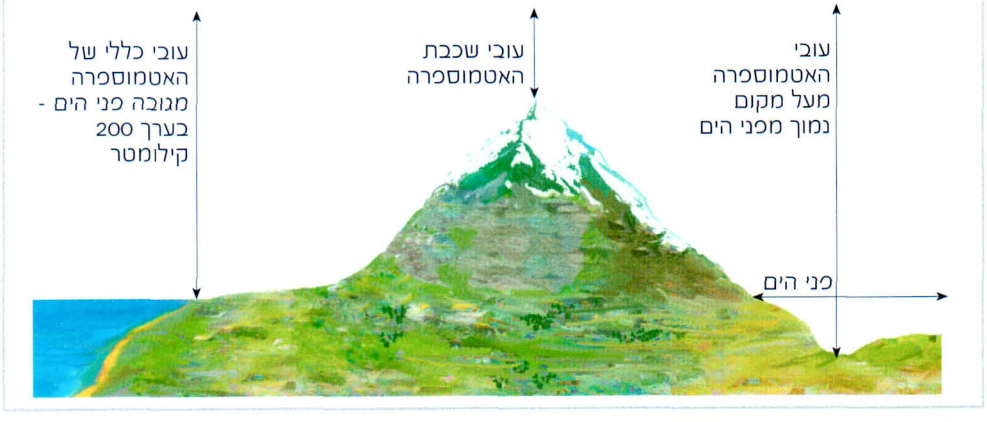
הקושי לבצע את הפעולה המאמצת והתחושה הלא נוחה שחשים בגבהים, הם תוצאה של דרך העברת החמצן מהריאות אל תאי הגוף. כמות החמצן העוברת בכל רגע מהריאות אל הדם תלויה **בלחצו החלקי של החמצן**, ולא בחלקו של החמצן באוויר. הלחץ החלקי הוא הקובע כמה חמצן יקבלו התאים בגוף בכל רגע. על אופן הובלת החמצן בדם מהריאות אל תאי הגוף תלמדו בפרק 4.

באילו נסיבות עשוי הלחץ החלקי של החמצן לעלות? כמובן, אם הלחץ הכולל של האטמוספרה עולה. זה קורה, למשל, במקומות עמוקים במיוחד, כמו ים המלח (שהוא המקום היבשתי הנמוך ביותר בעולם), או בתחתית הקניון הגדול של קולורדו. כאשר נוסעים במכונית לים המלח (או אפילו כשנוסעים בירידה מירושלים למישור החוף), מרגישים היטב בעליית הלחץ האטמוספרי ככל שמעמיקים לרדת. אולם השינויים האלה בלחצים הם זעירים, ואינם משפיעים על הנשימה, שכן ים המלח נמצא בסך הכול כ-400 מטרים מתחת לפני הים.

שאלה 2

הלחץ הכולל השורר על שפת ים המלח הוא 1.06 אטמוספרות. מה לחצו החלקי של החמצן במקום זה?

אין מקום על פני היבשה שמידת עומקו מתקרבת אפילו במעט למידות בהן נמדדים גובהי ההרים, אפילו הנמוכים שבהם (כמו מרבית ההרים בישראל). המקומות העמוקים באמת על פני כדור-הארץ נמצאים בקרקעיות האוקיינוסים, ושם נוסף לחץ המים ללחצה של האטמוספרה.

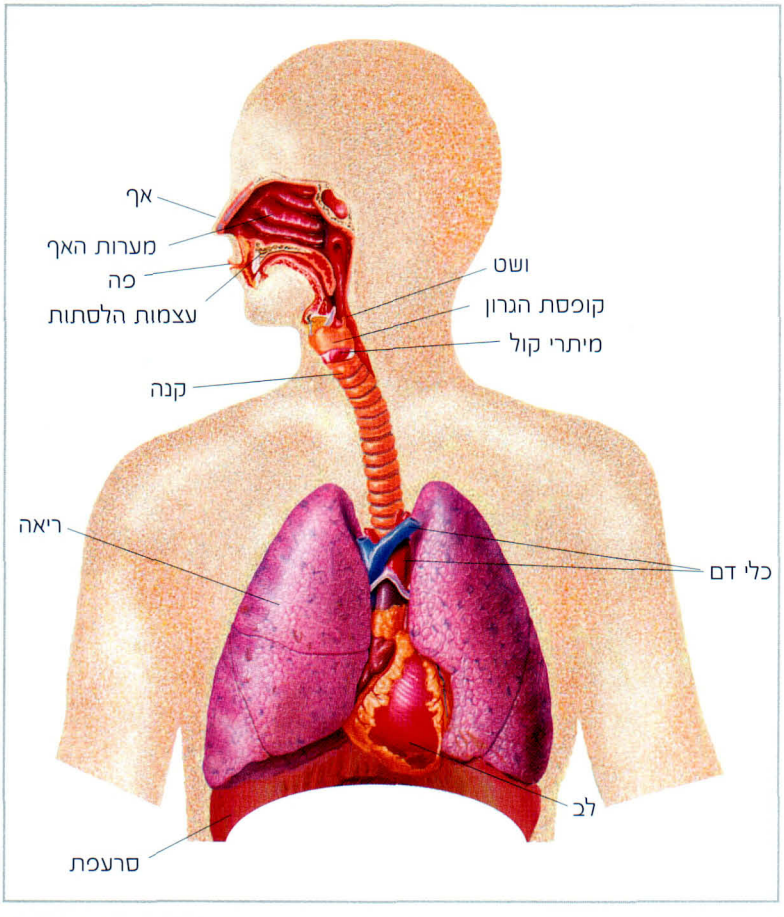


איור 3.4
ככל ששכבת האוטמוספרה דקה יותר, הלחץ שלה על פני השטח קטן יותר

כאמור, מכל הגזים המרכיבים את האוויר, רק החמצן דרוש לגוף האדם. פירוש הדבר, שאנו זקוקים רק ל- 20% מכל כמות של אוויר הנכנסת לאף ולריאות.

3.3 איברים רבים משתתפים בתהליך של חילופי גזים

כפי שראיתם בפרק 2, מערכת העיכול כולה מהווה צינור רצוף הפתוח לסביבה החיצונית בשני קצותיו. גם המערכת של חילופי הגזים מתחילה בצינור רצוף הפתוח לסביבה החיצונית, אך שלא כמו במערכת העיכול, הקשר שלה עם הסביבה החיצונית מתקיים רק דרך פתח אחד. תחילתו של הצינור ב**אף**, והוא מסתיים ב**ריאות**. האוויר נכנס למערכת ויוצא ממנה דרך פתחי האף (ומקצתו - דרך הפה). מערכת חילופי הגזים במלואה מוצגת באיור 3.5.



איור 3.5
מראה כללי של מערכת הנשימה

האף ממזג ומסנן את האוויר

14 פעמים בממוצע בכל דקה אנו מכניסים אוויר לאף ומוציאים אותו ממנו. בזמן הזה אנו קולטים ופולטים כשבעה ליטרים של אוויר. המרחק בקו ישר מהאף לגרון הוא רק סנטימטרים מעטים, אך הדרך שעובר האוויר באף ארוכה ומפותלת, שכן פנים האף בנוי בצורת מערכת של חללים בעלי דפנות מפותלות. חללים אלה נקראים **מערות האף** (איור 3.5). מערות האף מצופות בשכבה של תאים מפרישי ריר, העשירה בלחות. שכבה זו מכונה בקיצור בשם **רירית האף**. הפיתולים בדפנות של מערות האף מגדילים מאוד את שטח המגע של האוויר עם הרירית. האוויר הנכנס לאף עובר דרך מערות האף, והפיתולים גורמים למערבולות קטנות, ובכך מגדילים עוד את המגע של האוויר עם פני השטח. האוויר הנכנס לאף הוא כמעט תמיד קריר ויבש יותר מהאוויר בריאות. אילו היה מגע ישיר בין האוויר החיצוני לפנים הריאות, הוא היה מצנן ומייבש אותן במהירות. אולם במעבר דרך מערות האף, האוויר המתחכך ברירית האף מתחמם וסופח כמות ניכרת של לחות. כך, המעבר באף ממזג את האוויר לטמפרטורה וללחות המתאימות לסביבה השוררת בריאות. הודות למיזוג האוויר המתרחש באף נמנעות תנודות חריפות של הטמפרטורה בריאות ובבית החזה בכלל. אפשר לראות במנגנון זה אמצעי נוסף לשמירה על יציבות הסביבה הפנימית.

נוסף לפעולתו כממזג אוויר, חלל האף מהווה גם מסננת יעילה מאוד. גם אוויר הנחשב נקי מכיל כמות גדולה של חלקיקים שונים. כך, 10,000 ליטרים של אוויר הנכנסים לאף ביממה (בממוצע) מכילים כ-150,000 חיידקים לליטר. במקומות רבים בעולם האוויר מכיל גם כמויות שונות של גרגרי אבק ושל חלקיקי פיח זעירים. הפיח מרובה במיוחד באזורים עירוניים ובמרכזי תעשייה, אך זרמי אוויר מובילים אותו גם למקומות המרוחקים מהם.

השכבה הרירית של מערות האף מסננת את כל אלה ביעילות מרשימה. רוב החיידקים ורוב החלקיקים האחרים נלכדים בריר המופרש מתאי השכבה הרירית. הריר מכיל חומרים קוטלי חיידקים, והוא מהווה אפוא קו הגנה חשוב נגד מחלות זיהומיות.

על פני התאים של השכבה הרירית נמצאים ריסים מיקרוסקופיים הנעים בתנועה גלית מתמדת. ריסים אלה דוחפים את הריר, המכיל חיידקים וחלקיקים אחרים לכיוון פתח הלוע, והוא נבלע בוושט.

האוויר העובר מהאף ל**קנה** (ראו איור 3.5) נקי אפוא הרבה יותר מהאוויר הנכנס לאף.

הוספת לחות לאוויר, מיזוג הטמפרטורה, הפרשת הריר, סילוק החיידקים והחלקיקים המזהמים - כל הפעולות האלה מתרחשות בלי הפסקה ובלי שנחוש בהן, כאשר האוויר עובר דרך מערות האף ועד שהוא נכנס לקנה. אנחנו מבחינים בקיומן רק כאשר משהו משתבש במערכת, למשל, כשיש לנו נזלת.

כניסת כמות גדולה במיוחד של חלקיקים מזהמים מגרה את השכבה הרירית וגורמת לה להגביר מאוד את הפרשת הריר. תופעה דומה מתרחשת גם בהשפעתם של נגיפים מסוימים התוקפים לעתים את רקמות האף. בשני המקרים, הפעילות המוגברת של השכבה הרירית מלווה בהתנפחות של הרקמה, עד כדי כך שהיא מקשה, לעתים, על מעבר האוויר באף. גם גודש הריר שנוצר אינו מקל על העניין. במצב זה האוויר "נאלץ" לעבור רק, או בעיקר, דרך הפה. האוויר העובר דרך הפה נכנס היישר אל הקנה, בלי לעבור דרך מנגנון המיזוג והסינון של מערות האף, וכך הבעיה רק מחמירה: לא די שאנו סובלים מגודש באף, אנו מכניסים לריאותינו אוויר מזוהם, קר ויבש מדי, הגורם לריאות לאבד נוזלים (הסיבה העיקרית לחשיבותה של שתייה מרובה כאשר סובלים מנזלת...). למרות זאת, יש לנזלת גם השפעה חיובית, שכן הכמויות הגדולות של הריר לוכדות בתוכן את הנגיפים ואת המזהמים האחרים, מסלקות אותם מהאף החוצה, וכך מונעות, למעשה, את הגעתם לריאות.

עוד על...

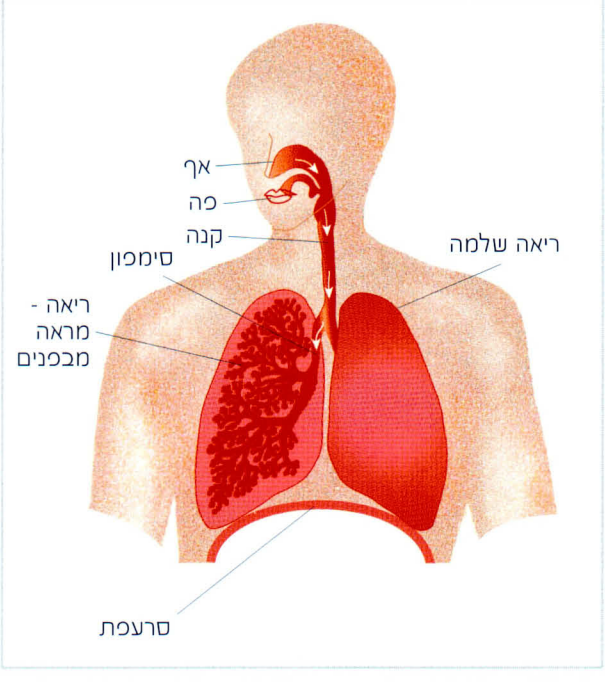
על אבולוציה, אף סתום וזיהום אוויר

זיהום אוויר בחלקיקי פיח ובתוצרי לוואי שונים של פעילות תעשייתית, הוא תופעה חדשה מאוד על כדור-הארץ. היא קיימת רק 250 שנה בקירוב (מתחילת המהפכה התעשייתית באירופה באמצע המאה ה-18) - פרק זמן זעיר ביותר בהשוואה לאבולוציה של האדם, שהחלה לפני כשלושה מליון שנים (וממש אפס זמן בהשוואה לאבולוציה של היונקים כ-60 מיליוני שנה). צעירותה של התופעה עשויה להוות הסבר לכך שהפתרון לנשימה כאשר האף סתום, הוא חלקי ובלתי יעיל. מערכת הנשימה התפתחה במהלך האבולוציה תוך כדי התמודדות עם בעיות סביבה שונות, כגון יובש, שינויי טמפרטורה, שינויים בשיעור האבק באוויר, והיא אכן מותאמת להתמודד עם בעיות אלה באופן מניח את הדעת. אולם מערכת הנשימה אינה מצוידת כלל להתמודדות עם כמויות הפיח והשיירים האחרים של שריפת דלקים, שהאדם מייצר ב-250 השנים האחרונות. נשימה דרך הפה, תוך כדי עקיפת אמצעי המיזוג והסינון של האף, היא אמנם פתרון מרשים למצב של חוסר ברירה, אך ספק אם הייתה עומדת במבחן הישרדות ארוך טווח. (חשבו על כך בפעם הבאה שתראו אוטובוס חונה, שמנועו דולק במשך חצי שעה רק כדי להפעיל מזגן...).

האוויר עובר דרך הקנה והסימפונות אל הריאות

ראו את דרכו של האוויר מהאף לריאות באיור 3.6.

בפרק 2 כבר ראיתם, כי באזור הלוע נפתחים שני צינורות: הוושט והקנה. לוושט, המוביל מכיוון הפה אל הקיבה, יש מבנה רופס



איור 3.6
מסלול האוויר בדרך לריאות

יחסית; כל עוד לא עובר בו מזון, דפנותיו שמוטות והוא סגור. בדפנות הקנה, לעומת זאת, נמצאות טבעות עשויות סחוס[1], המחזיקות את הקנה פתוח כל הזמן. פתחו העליון של הקנה נסגר רק כאשר מזון נבלע בפה ועובר לוושט. טבעות הסחוס המייצבות את הקנה, מבטיחות שהוא יישאר פתוח למעבר אוויר גם בעת שמופעל עליו לחץ מהצדדים - למשל, כשגוש מזון עובר בוושט הצמוד לקנה.

לאורך הדפנות הפנימיות של הקנה נמצאים תאים בעלי ריסים זעירים, דומים לאלה שברירית האף. הריסים בפתח הקנה נעים בתנועה גלית קבועה כלפי מעלה, ודוחפים שאריות של ריר עמוס בחלקיקים, המגיעות ממערות האף, לעבר הלוע שם הן נבלעות. בכך מסייעים הריסים שבפתח הקנה לסינון האוויר בדרכו לריאות.

זרימת האוויר מלווה לעתים בהשמעת קולות

סמוך לחלקו העליון של הקנה נמצא הגרון, בתוכו שוכנים **מיתרי הקול** (ראו את מיקום הגרון באיור 3.5). מיתרי הקול הם שתי רצועות רקמה דקות וגמישות המתוחות לרוחב הצינור, והאוויר העובר דרך הקנה מרעיד אותם ויוצר צלילים.

עוד על...

מיתרים מדברים ושרים

מערכת הנשימה שלנו היא גם מערכת להפקת צלילים, מעין שילוב של כלי נשיפה וכלי מיתרים. חלל בית החזה הוא תיבת התהודה, ומיתרי הקול הם אכן מיתרים.

זרם האוויר היוצא מהריאות חולף על פני מיתרי הקול ומרעיד אותם; למעשה, הוא פורט עליהם כשם שגיטריסט פורט על מיתרים של גיטרה. מי שמנגן בכלי מיתר כלשהו יודע כי גובה הצליל תלוי באורך המיתר ובעוביו: ככל שהמיתר קצר יותר הוא מפיק צליל גבוה יותר; וכאשר לשני מיתרים יש אותו אורך, המיתר העבה יותר יפיק את הצליל הנמוך יותר.

תוכלו לבדוק זאת באמצעות כלי מיתר הנמצא ברשותכם, או ליצור לעצמכם מיתר מאולתר מגומייה קצרה ודקה. מתחו את הגומייה בחוזקה וקבעו אותה בשני קצותיה, למשל בעזרת נעצים, על לוח שעם. פרטו על הגומייה בקצה הציפורן, והאזינו לצליל. עכשיו, כדי לקצר את המיתר, לחצו באצבע באמצע הגומייה ופרטו עליה פעם נוספת. שומעים את ההבדל?

מיתרי הקול מעוגנים בסחוסים היוצרים את תיבת הגרון. שרירים המחוברים לסחוסים יכולים למתוח או לרַפות את המיתרים כרצוננו, ובכך לשנות את האורך והעובי שלהם, ולהשפיע על גובה הצליל שאנו מפיקים. הפתח שבין שני המיתרים, המאפשר את מעבר האוויר, יכול להתרחב או להצטמצם וגם הוא משפיע על גובה הצלילים. עוצמת הצליל תלויה בעוצמת זרם האוויר הנגשף מהריאות.

בממוצע מיתרי הקול של רוב הגברים ארוכים ועבים יותר מאלה של רוב הנשים. זו הסיבה לכך שקולם של גברים נמוך בדרך-כלל מקולן של נשים. אך מדובר, כאמור, בממוצע האוכלוסייה, ואפשר למצוא גם לא מעט דוגמאות השונות מהממוצע.

כשאדם מעשן במשך שנים, פיח הסיגריות מצטבר על מיתרי הקול שלו. הם מתְעַבים ומאבדים את גמישותם והאדם נעשה צרוד.

[1] סחוס - רקמה חלקה מאוד, גמישה וקשיחה במידת-מה; פחות מעצם, אך יותר מהרקמות האחרות של הגוף. נוסף לקנה, סחוסים נמצאים במפרקים, בקצה האף, בתנוכי האוזניים ובין חוליות עמוד השדרה.

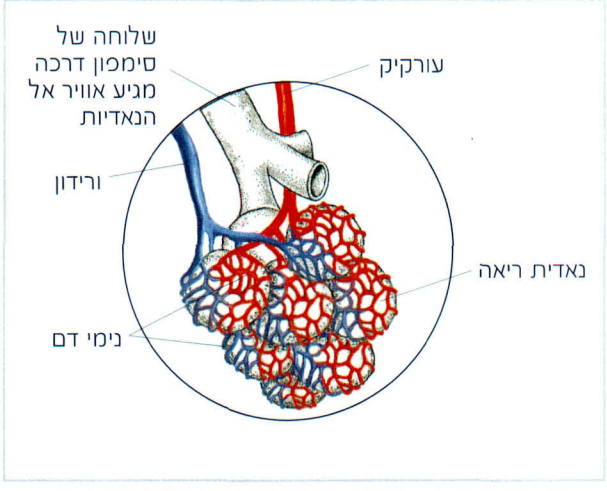
בהמשך, הקנה מסתעף לשני צינורות הנקראים **סימפונות** או **ברונכים** (יחיד - ברונכוס Bronchus).
כל סימפון מסתעף בקצהו לצינורות הממשיכים להסתעף עוד ועוד לסימפונות ההולכים וקטנים. הסימפונות הקטנים ביותר מסתעפים בקצותיהם ונגמרים בהתרחבויות דמויות שקיקים קטנטנים וכדוריים. רקמתה של ריאה ממוצעת בנויה מ- 300 מיליון שקיקים כדוריים כאלה בקירוב, המחוברים כמו אשכולות ענבים לקצוות של הצינורות הזעירים המסתעפים מהסימפונות.
כל שקיק זעיר כזה נקרא **נאדית**.

מה פירוש?

נאדית

"נאד" הוא מיכל עור ששימש לנשיאת נוזלים בתקופות קדומות, וממשיך לשמש למטרה זו גם היום במקומות מסוימים בעולם. "נאדית" נגזרת מנאד. השם נועד לציין את צורתם של השקיקים הזעירים.

באיור 3.7 תוכלו לראות את מבנה נאדיות הריאה.



איור 3.7
צבר של נאדיות ריאה במבט מקרוב

חילופי הגזים מתרחשים בריאות

באיור 3.7 רואים כי כל נאדית נמצאת בקצהו של סימפון קטן. *משמעות הדבר היא, כי האוויר המצוי בתוך נאדית הריאה, הוא* המשך רצוף של הסביבה החיצונית (ממש כשם שמזון שנמצא במעיים, נמצא בסביבה החיצונית). באיור 3.8 מתואר מצב זה. רק כאשר הגזים עוברים את קרומי התאים שבדפנות הנאדיות, הם הופכים לחלק מהסביבה הפנימית של הגוף.
הדופן של כל נאדית בנויה משכבה אחת בלבד של תאים שטוחים. שכבה דקיקה של נוזל מימי נמצאת בקביעות על פני שכבת התאים, בצדה הפונה לחלל הנאדית. נאדיות הריאה מלופפות מכל צדדיהן בכלי דם זעירים רבים מאוד, המכונים **נימי דם** (תכירו אותן בפרק 4). הנימים דקות מאוד, קוטרן 8-10 אלפיות המילימטר, בקירוב (איור 3.7).
החמצן שבאוויר הנאדית מומס בשכבת הנוזל הדקה המצפה את דופנה. החמצן המומס עובר דרך שכבת התאים של הנאדית, דרך שכבת תאים נוספת שהיא דופן נימת הדם, נכנס לנוזל הדם וממנו ל**תאי הדם האדומים** הנמצאים בו. תאי הדם האדומים הם המובילים את החמצן אל כל תאי הגוף.
הריבוי העצום של נאדיות הריאה הזעירות וריבוי נימי הדם סביבן מגדילים מאוד את שטח הקרומים המאפשרים מעבר של חמצן.

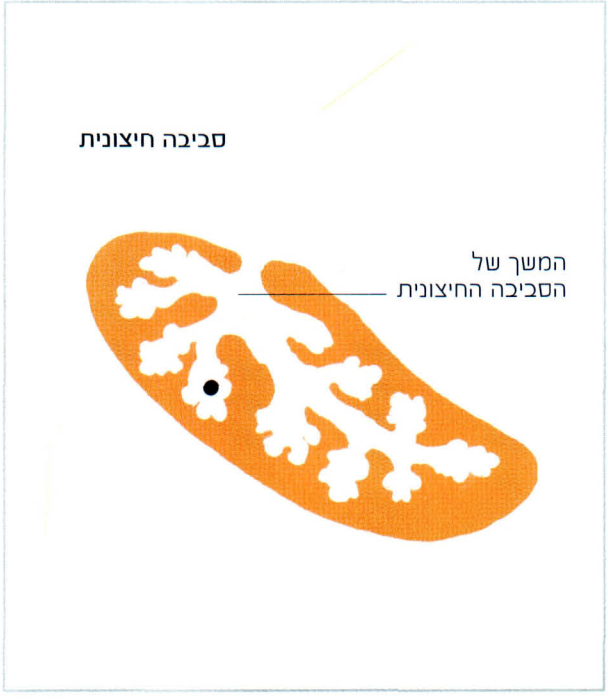
תופעה ביולוגית מרכזית:
שטח פנים גדול בנפח קטן

יש כאן דוגמה נוספת לתופעה ביולוגית מרכזית שהכרתם בפרק 2: הגדלה ניכרת של שטח פנים של גוף שנפחו קטן יחסית. כשהריאות מתמלאות אוויר במלוא כושר קיבולן, הן מסוגלות להכיל בין חמישה לשישה ליטרים. לשם השוואה, זהו נפחו של סיר בישול גדול, אך לא ענק. אולם שטח הפנים הכולל של כל הנאדיות מסתכם ב-100 מטרים רבועים, כשטחה של דירת ארבעה חדרים ממוצעת! כלומר, המבנה המיוחד של רקמת הריאה, המורכבת ממיליוני נאדיות, מגדיל במידה עצומה את שטח הפנים הפנימי של הריאות ביחס לנפחן; ובהתאם לכך הוא מגדיל את יעילות המעבר של החמצן מהאוויר שבריאות אל הדם.

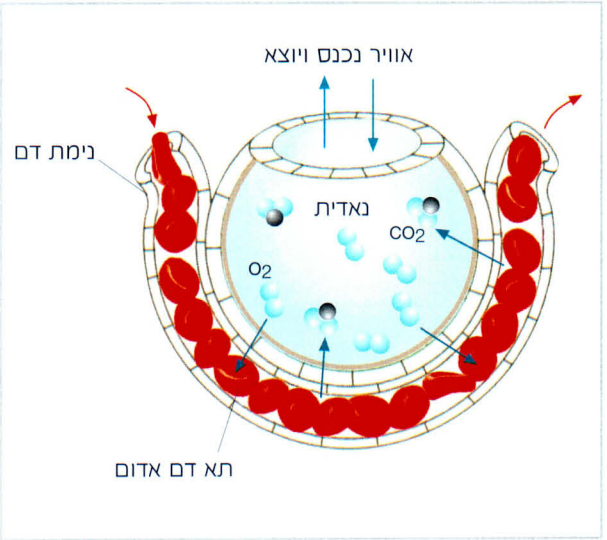
שאלה 3

בפרק 2, העוסק במערכת העיכול, מוזכרת התופעה של הגדלת שטח הפנים בשני הקשרים. באילו תהליכים מדובר, ואיך מושגת הגדלת שטח הפנים בכל אחד מהם?

במקביל למעבר חמצן מנאדיות הריאה לדם, עובר פחמן דו-חמצני מהדם אל תוך הנאדיות, וכך הוא יוצא מהגוף.
מעבר הגזים בין הנאדיות לדם מתואר באיור 3.9.
מעבר החמצן מהנאדיות לדם, ומעבר הפחמן הדו-חמצני מהדם לנאדיות הריאה נעשה ב**דיפוזיה**.



איור 3.8
להיות בפנים ולהרגיש בחוץ;
באיור רואים איך חלקיק שלכאורה נמצא בתוך הגוף (למשל, בתוך הריאה) נמצא למעשה בסביבה החיצונית.



איור 3.9
חמצן עובר מנאדית ריאה לנימת דם ופחמן דו-חמצני עובר מנימת הדם לנאדית.

מהי דיפוזיה

לפני שנפנה להגדרה של דיפוזיה, כדאי שתערכו ניסוי קצר.

שימה 2

מתבוננים בדיפוזיה

א. מלאו כוס זכוכית שקופה לגמרי במים בטמפרטורת החדר. העמידו אותה על גיליון נייר לבן, במקום מואר היטב.

ב. שימו במים שקיק תה שצבעו כהה (לא תה צמחים שצבעו חלש). הקפידו לא לזעזע את הכוס, ולא לערבב את המים.

ג. אם השקיק צף על פני המים, דחפו אותו למטה בעדינות רבה בלי ללחוץ עליו; הוא ישקע לאט תוך כדי שחרור אוויר.

ד. שימו לב מתי מופיע צבע תה במים מחוץ לשקיק. ציינו את הזמן שעבר עד להופעת הצבע לראשונה.

ה. לאחר עשרים דקות חזרו ובדקו לאיזה גובה הגיע הצבע בתוך הכוס.

ו. ציינו כמה זמן חלף עד שהצבע מילא את כל הכוס (רמז: אין צורך לבדוק כל חמש דקות).

ז. ענו על השאלה: מה אפשר לעשות כדי שהשינוי בצבע המים יתחולל מהר יותר? הציעו לפחות שתי שיטות.

כידוע לכם, כל חומר בנוי מחלקיקים זעירים - מולקולות או אטומים - הנמצאים כל הזמן בתנועה אקראית - כלומר, תנועה חסרת כיוון מסוים. התנועה האקראית המתמדת של חלקיקי החומר נקראת בשם "תנועה בראונית". כאשר חלקיקים של חומר מסוים מרוכזים יותר בסביבה אחת, ומרוכזים פחות בסביבה סמוכה אליה, נראה כאילו החלקיקים נעים באופן מכוון מהריכוז הגבוה לריכוז הנמוך. זו התופעה המכונה בשם **דיפוזיה**.

נחזור לניסוי התה. חלקיקי התה נמצאים בריכוז גבוה בתוך שקיק התה. במים, לעומת זאת, הריכוז שלהם בתחילת הניסוי הוא אפס. מכיוון שהחלקיקים נעים בתנועה בראונית ומתנגשים ביניהם כל הזמן, הם מתפזרים במים. לאחר זמן-מה הם יהיו מפוזרים במים בצורה אחידה.

הדיפוזיה פוסקת כאשר חלקיקי החומר מפוזרים בנוזל בצורה אחידה. תנועת החלקיקים אינה פוסקת כלל; אך מכיוון שהם מפוזרים באותה מידה בכל חלקי הנוזל, לא מתרחשת תנועה נטו של החלקיקים בכיוון מסוים. (במילים אחרות, הדיפוזיה פוסקת, אך התנועה הבראונית אינה פוסקת). כל עוד יש הבדל בריכוז החלקיקים בין שתי סביבות, אפשר לזהות, באמצעי מדידה מתאימים, תנועה מוגברת של חלקיקים מריכוזם הגבוה אל ריכוזם הנמוך.

הדיפוזיה היא אפוא תנועה נטו של חלקיקי חומר מסביבה שריכוזם בה גבוה, לסביבה שריכוזם בה נמוך.

כפי שראיתם, הופיע הצבע לראשונה במים מהר מאוד - בתוך שנייה או שתיים. לאחר מכן, התפשט הצבע בכוס בדיפוזיה לאט, וככל שעבר הזמן נעשתה התפשטותו איטית יותר. קצב הפיזור של הצבע במים נעשה איטי יותר ככל שהיה יותר צבע שכבר התפזר בהם.

נסכם עכשיו את הגורמים המשפיעים על קצב הדיפוזיה, ונכיר כמה מתכונותיה החשובות.

1. מהירות הדיפוזיה תלויה בהבדל בריכוזי החומר בין שתי הסביבות. הבדל זה מכונה **מפל ריכוזים**. ככל שמפל הריכוזים בין שתי סביבות גדול יותר, הדיפוזיה של חומר מריכוזו הגבוה לריכוזו הנמוך תהיה מהירה יותר.
2. קצב הדיפוזיה תלוי בשטח המגע בין החלקיקים לסביבה: ככל ששטח המגע גדול יותר, קצב הדיפוזיה מהיר יותר.
3. אפשר להחיש את הדיפוזיה, אם מגבירים את מהירות התנועה של החלקיקים. חימום של התמיסה בה מתרחשת הדיפוזיה מגביר את מהירות תנועת החלקיקים וגורם להחשת קצב הדיפוזיה.
(אפשר שחשבתם לבחוש את המים בכפית כדי להחיש את הדיפוזיה. אולם הבחישה יוצרת תנועת ערבול חזקה במים, ואז החלקיקים פשוט נסחפים עם תנועת המים. הדיפוזיה מוגדרת כתנועה אקראית של החלקיקים עצמם, בלי מעורבות של כוח נוסף הדוחף אותם).
4. משך התנועה של חלקיקים בדיפוזיה תלוי באורך הדרך שהם עוברים. דיפוזיה של מולקולת חמצן למרחק של 20 מיקרומטר (קוטר של תא ממוצע בגוף) אורכת כמה אלפיות השנייה. דיפוזיה למרחק של מילימטר תארך שעה, ולמרחק של סנטימטר - כמה ימים.

נתבונן במתרחש בריאות. ריכוז החמצן בדם המגיע מהגוף לריאות הוא כ-16.4%, בעוד שריכוז החמצן באוויר המצוי בנאדית הריאה קרוב מאוד לריכוזו באוויר החיצוני - כ-20%. ההפרש בריכוזי החמצן מאפשר תנועה נטו של חמצן בדיפוזיה מהנאדית אל הדם. אותו הסבר, אך בכיוון ההפוך, חל גם על הפחמן הדו-חמצני. ריכוזו בדם הזורם בנימי הריאה הוא כ-4%, ואילו ריכוזו באוויר הנאדית - רק 0.038%.

ברור כי כדי שהחמצן יעבור תמיד בדיפוזיה מנאדיות הריאה לדם, חייב להתקיים מפל ריכוזים של חמצן בין הנאדיות לדם.

שאלה 4

מה ההסבר לכך, שבכל רגע נתון, הדם המגיע לריאות מכיל פחות חמצן מהאוויר שבנאדיות הריאה?
(רמז: היעזרו בהגדרה של נשימת התאים.)

לא תמיד מגיע אוויר נקי לריאות

בתחילת סעיף 3.3 (עמוד 52) כבר ראינו, כי כניסת האוויר לאף, וממנו לריאות, יכולה להשתבש לעתים בשל חדירה של גורם מזהם כלשהו, המגרה את השכבה הרירית של האף.
לצערנו, אוויר מזוהם הוא מצרך שכיח למדי בעולם שאנו חיים בו. אמצעי המגן המצויים באף ובקנה לא תמיד מסוגלים למנוע מעבר גורמים מזהמים, החודרים דרך המחסומים האלה ומגיעים עד לאיברים הפנימיים יותר של המערכת - הסימפונות והריאות.
ככלל, אנו מכירים שתי קבוצות גדולות של גורמים מזהמים: קבוצה אחת כוללת גורמים ביולוגיים - מיקרואורגניזמים המצויים בסביבה, בעיקר חיידקים ונגיפים; ואילו הקבוצה השנייה כוללת חומרים שונים, מוצקים וגזים, שנפרטם בהמשך.

מזהמים ביולוגיים

מזהמים ביולוגיים הם כאמור, חיידקים ונגיפים. אלה גם אלה נמצאים באוויר כל הזמן, וכפי שכבר צוין, בדרך-כלל הם נבלמים באף או לכל המאוחר בכניסה לקנה. הם חודרים לסימפונות ולריאות כאשר הם נמצאים בסביבה בכמות כה גדולה, שאמצעי ההגנה לא מסוגלים לבלום אותם; או כאשר מערכות ההגנה של הגוף נחלשות בשל תנאי מחסור, בשל מחלה, או בשל זקנה.
הביטוי לחדירה של מזהמים ביולוגיים הוא מחלה: אם נפגעו רק הסימפונות, יאמר הרופא שיש לנו דלקת סימפונות או "ברונכיטיס". אם הפגיעה מגיעה עד נאדיות הריאה, נקראת המחלה דלקת ריאות.
הסכנה בדלקת ריאות מתבטאת בהפרעה במעבר של חמצן מנאדיות הריאה לדם.

מזהמים לא-ביולוגיים

חיידקים ונגיפים הם דיירים טבעיים של האוויר; אולם מזה כ-250 שנה, מאז המהפכה התעשייתית, האדם מזהם את האוויר בהתמדה בגורמי זיהום שלעתים הם מסוכנים אף יותר מאלה הביולוגיים. חלק נכבד מהזיהום הלא-ביולוגי מקורו בשריפה של סוגי דלק שונים. בראש גורמי הזיהום שורפי הדלק נמצאים מנועי מכוניות מכל הסוגים. במקום השני נמצאים תחנות כוח ומפעלי תעשיה (איור 3.10 ממחיש את התופעה). כתוצאה משריפת סוגי הדלק השונים, משתחררים לאוויר שני סוגי מזהמים: חלקיקים מוצקים זעירים - כמעט מיקרוסקופיים - של פיח וגזים רעילים.
חלקיקי הפיח מגיעים עם האוויר לריאות ושם הם גורמים נזק כפול: הם נדבקים לרקמת הריאה ומפריעים למעבר הגזים, ונוסף לכך, עם הצטברותם בכמויות גדולות, הם גם עלולים לגרום לסרטן.
כאמור, משריפת דלקים שונים נוצרים גם גזים רעילים. גז מסוכן במיוחד הנוצר משרפת דלקים הוא פחמן חד-חמצני, שנוסחתו CO והוא גז חסר ריח ורעיל מאוד. הוא מעכב את קשירת החמצן בתאי הדם האדומים, ולמעשה מונע את הגעתו לתאי הגוף.

עוד על...

פחמן חד-חמצני בבית וברחוב

סכנתו של הגז פחמן חד-חמצני גדולה במיוחד משום שאין סימן מזהה לנוכחותו - כאמור, הוא חסר ריח וחסר צבע. הגז הזה נוצר בעת בעירה לא מושלמת של סוגי דלק שונים. המושג "בעירה לא מושלמת" מתייחס לכמות החמצן המשתתף בבעירה. פחמן חד-חמצני נוצר כאשר חומר דלק בוער בתנאים בהם יש הפרעה כלשהי באספקת החמצן לבעירה. כך, כאשר תנור גז בוער בחדר שאינו מאוורר, נוצר הגז הזה בעת הבעירה, והוא מסכן את חיי כל הנמצאים בחדר. אסונות רבים קרו בישראל בימי החורף, כאשר אנשים שהו בחדרים מחוממים בתנורי גז או נפט, והורעלו מפחמן חד-חמצני.
מנוע של מכונית פולט את הגז הזה כל הזמן, אך בעיקר כשהוא נמצא בהילוך סרק (ניוטרל). כאשר מכונית שמנועה פועל עומדת במקום סגור, למשל בחנייה סגורה, האוויר סביבה מתמלא בפחמן חד-חמצני. גם תופעה זו עלולה לחולל אסון, אם האנשים אינם מכירים את הסכנה ושוהים זמן רב במכונית שמנועה פועל במקום סגור.

בחלק מחומרי הדלק נמצאות תרכובות של גופרית וחנקן, המשתחררות כגזים לאוויר. נשימת אוויר המכיל גזים אלה גורמת לפגיעה בדרכי הנשימה (תוצאה אפשרית אחת היא הופעה של מחלת האסתמה); זאת, לצד נזקים בריאותיים נוספים, לרבות סרטן. משריפת דלק משתחררות גם תרכובות של עופרת, שגם הן רעילות מאוד. זו הסיבה לכך שכיום מייצרים דלק למכוניות שהוא נטול עופרת, ובכך מקטינים את זיהום האוויר.

איור 3.10
אויר מזוהם מעל עיר תעשייתית

בעיר טוקיו ובערים גדולות אחרות ביפן נוהגים אנשים רבים לכסות את האף והפה במסכות הגנה בעת שהם הולכים ברחוב. זיהום האוויר בערים אלה כה גדול, עד כי רבים מרגישים שהם מסכנים את עצמם בעצם השהייה ברחוב וקליטת האוויר לריאותיהם.

לאחרונה התפשט מנהג זה גם לבנגקוק בירת תאילנד.
אך אין די בכיסוי האף והפה כדי להפחית את הנזקים שזיהום האוויר גורם להם. לצד נזקי הזיהום הגוברים והולכים והמודעות הגוברת לנזקים אלו, מתרבות ברחבי העולם תכניות שונות להפחתה בזיהום, ויש אף ביניהן המיושמות באורח ניסיוני.
בישראל אמנם נחקק כבר בשנות השישים חוק האוסר על זיהום האוויר. הוא מכונה בשם "חוק כנוביץ" על-שם האדם שיזם אותו. על-פי חוק כנוביץ, כל נהג שמכוניתו פולטת גזי שריפה מעל הרמה המותרת, עובר עבירה והוא חייב בתשלום קנס; אך למרבית הצער רשויות המדינה לא עושות מאמץ לאכוף את החוק, ואין מי שייאבק על שמירתו.

שימה 3

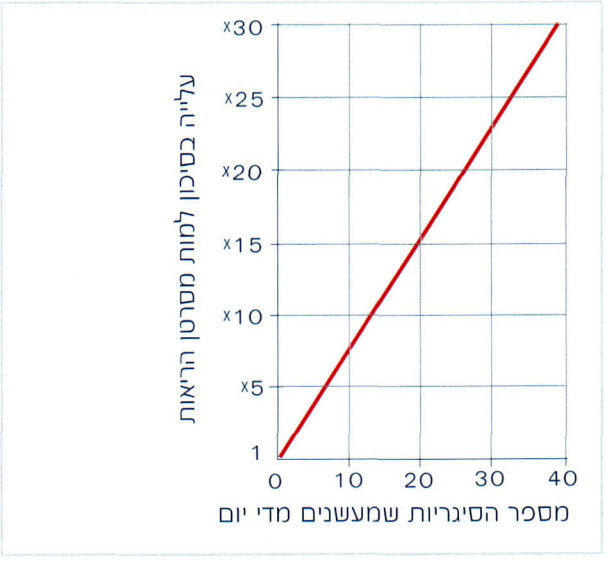
מפחיתים את זיהום האוויר

הציעו דרכים מעשיות להקטנת זיהום האוויר באזורים עירוניים.
כתבו לצד כל הצעה שלכם, אילו יתרונות וחסרונות יש לה ואיך היא עשויה להשפיע על מנהגי היומיום של בני-האדם.

יש להניח, כי הדרכים שהצעתם במשימה מוכרות למומחים העוסקים בתחום, אך כאמור, בישראל נעשה מעט מאוד בכיוונים אלה. אם לא יחול שינוי קיצוני בפליטת הגזים הרעילים לאוויר, ייתכן שגם אנו בישראל נזדקק למסכות בעתיד הלא-רחוק.

עוד דרכים לחבלה בריאות

יש אנשים שאינם מסתפקים בזיהום המצוי באוויר ממילא והם מכבידים על ריאותיהם אף יותר, בכך שהם מחדירים לתוכן מזהמים נוספים. אדם מעשן מכניס היישר לתוך ריאותיו מנה גדושה של פיח עם כל סיגריה. לצד הפיח, המעשן מחדיר לריאותיו חומרים מזהמים המכונים בשם כולל "זפת". הזפת שוקעת ונדבקת לרקמת הריאות. הפיח מגרה את השכבה הרירית שבדפנות הסימפונות, וגורם לה להגביר את הפרשת הריר. זו הסיבה לכך שמעשנים וותיקים מרבים להשתעל שיעול עמוס ליחה. הפיח והזפת מכילים חומרים שהם גורמי סרטן מובהקים. עובדה זו נתמכת על-ידי ממצאים מסקרים רבים שנערכו בכל העולם.
כל הממצאים, מבדיקות של מאות אלפי נבדקים, מצביעים על קשר חד-משמעי בין עישון לבין סרטן הריאות. יתר על כן, הממצאים הרבים מצביעים על כך שעישון מגדיל מאוד גם את ההסתברות ללקות בסרטן של הפה, הלוע והווושט.
הקשר הוודאי בין עישון לסרטן הריאות זוכה לתמיכה מרשימה במיוחד כאשר בוחנים את העלייה בשכיחות סרטן הריאות בקרב אוכלוסיות גדולות לאורך שנים. עד אמצע המאה ה-20 בערך, נהגו הנשים ברוב הארצות לעשן הרבה פחות מגברים. במקביל, גם שכיחות סרטן הריאות בקרב נשים הייתה נמוכה מאוד בהשוואה לשכיחותו בקרב גברים. סקרים שנעשו במדינות רבות מראים, כי ככל שגדל מספר הנשים המעשנות, עלה בהתמדה מספר הנשים הלוקות בסרטן ריאות.
הקשר בין עישון לבין העלייה בסיכון ללקות בסרטן ריאות מוצג בתרשים שבאיור 3.11.



איור 3.11
הקשר בין מספר הסיגריות שמעשנים מידי יום לבין הסיכון למות מסרטן הריאות.
הסיכון למות מסרטן הריאות גדול ככל שמעשנים יותר.
הערך 1 מציין את מידת הסיכון של אנשים שאינם מעשנים כלל, x5 מציין עלייה פי 5 בסיכון וכן הלאה.

נוסף לסכנת הסרטן, החלקיקים המיקרוסקופיים של העשן והפיח גורמים לנזקים שונים בקנה ובריאות. הפיח המצטבר על הריסים בקנה עושה אותם נוקשים ודביקים ומשתק את תנועתם. כתוצאה מכך, נפגע פינוי הליחה מהקנה, והמעשנים חשופים יותר, יחסית, לזיהומים של הגרון. פיח וזפת המצטברים על נאדיות הריאה מצמצמים את השטח החופשי למעבר חמצן מנאדיות הריאה לדם וגורמים בכך לירידה ניכרת בכושר הגופני. וכבר ציינו, כי הפיח מזיק מאוד למיתרי הקול. העישון גורם גם למחלה בשם "נפחת" המתבטאת בקוצר נשימה קיצוני.
משריפת הטבק נוצר פחמן חד-חמצני, שהסכנה הטמונה בו כבר מוכרת לכם. כמו כן נמצא כי חומר המכונה ניקוטין הנמצא בטבק הוא אחד הגורמים למחלות לב.
יחד עם זאת, חשוב לציין כי נזקי העישון הם הפיכים (כל עוד האדם לא חולה בסרטן): כאשר אדם בריא מפסיק לעשן, הפיח והזפת מסולקים במשך הזמן, והריאות מתנקות בהדרגה.

איברים נוספים משתתפים בפעולת הנשימה

בין אם האוויר הנכנס לאף הוא נקי ובין אם לאו, הוא לא יוכל להיכנס לריאות בלא מעורבותם של איברים נוספים השייכים למערכת הנשימה וחילופי הגזים.
חלל בית החזה תחום בחלקו העליון ומצדדיו על-ידי ה**צלעות**. הצלעות הן עצמות ארוכות ודקות המחוברות בקצותיהן לחוליות עמוד השדרה. בין הצלעות נמצאים שרירים המחוברים אליהן ומאפשרים להן לנוע (ראו איור 3.13).
בצידו התחתון סוגרת על חלל בית החזה יריעה שרירית רחבה המכונה **סרעפת** (ראו איור 3.5).
הצלעות, השרירים שביניהן והסרעפת מאפשרים את עצם כניסת האוויר אל תוך הריאות, כפי שתראו בהמשך.

3.4 פעולת הנשימה היא פעולה מחזורית של שאיפה ונשיפה

במצב מנוחה אנו נושמים בין 13 ל-16 נשימות בדקה. כל נשימה מורכבת משתי פעולות: שאיפה ונשיפה.

אם אומרים לנו לנשום עמוק, אנו מכניסים הרבה אוויר ומרגישים שבית החזה מתרחב. נסו לבדוק זאת בעצמכם.

ההרגשה היא שהריאות מתרחבות מאד וכאילו "שואבות" לתוכן את האוויר. אולם ההרגשה הזו מטעה. הריאות עצמן אינן שואבות את האוויר.

כדי להבין איך נכנס אוויר לריאות, ערכו את הניסוי שלפניכם.

מ שימה 4

הדמיה של שאיפה ונשיפה

העמידו מערכת כזו המתוארת באיור 3.12 א.

המכל סגור בפקק. דרך הפקק עובר צינור המסתעף בתוך המכל לשני צינורות. מהקצה של כל צינור תלוי בלון שפתחו מהודק אל פתח הצינור. תחתית המיכל סגורה על-ידי יריעה אלסטית.

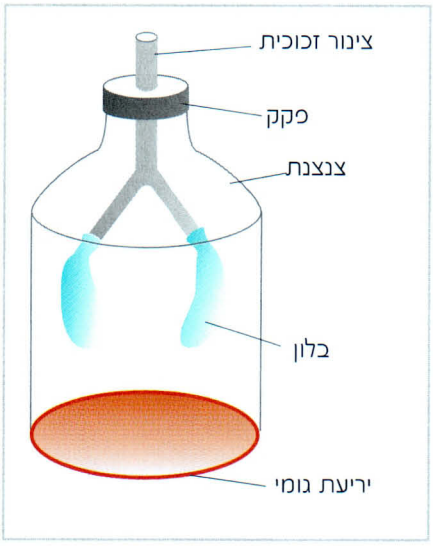
א. כתבו איזה חלק של מערכת חילופי הגזים מיוצג על-ידי כל אחד מחלקי מערכת ההדמיה.

ב. הציעו דרך לנפח את הבלונים. האם יש רק דרך אחת? כתבו את הצעותיכם.

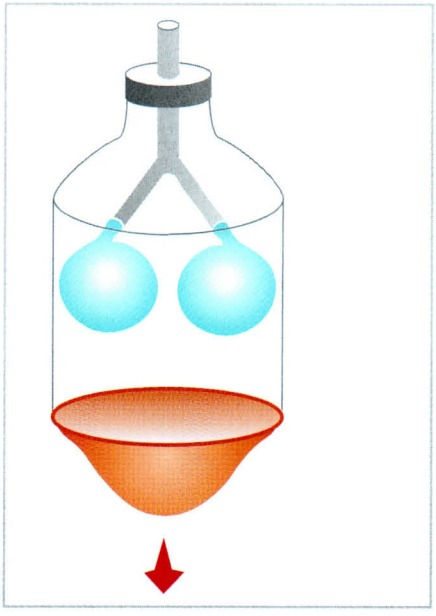
ג. עכשיו מתחו את היריעה כלפי מטה. תארו בכתב את המתרחש.

ד. הרפו מהיריעה ותנו לה לחזור למקומה. תארו בכתב את המתרחש.

בדקו האם מה שהתרחש בשלב ג של המשימה דומה למתואר באיור 3.12 ב.



א



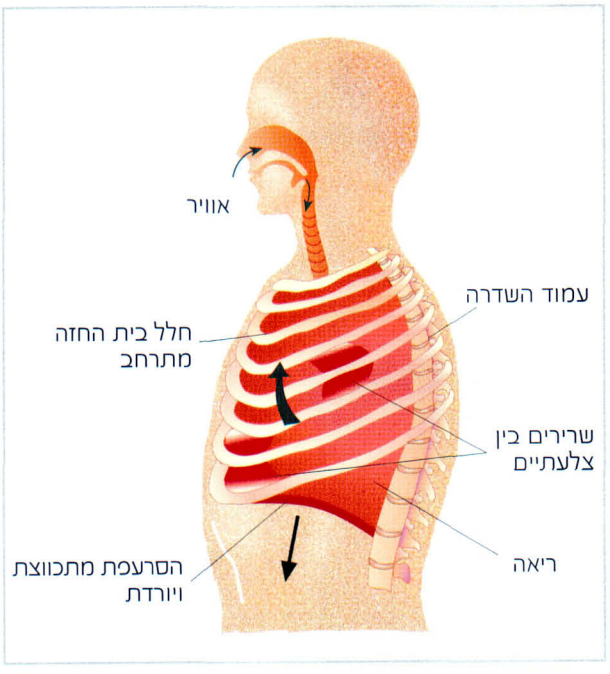
ב

איור 3.12
מערכת להדמיית הנשימה

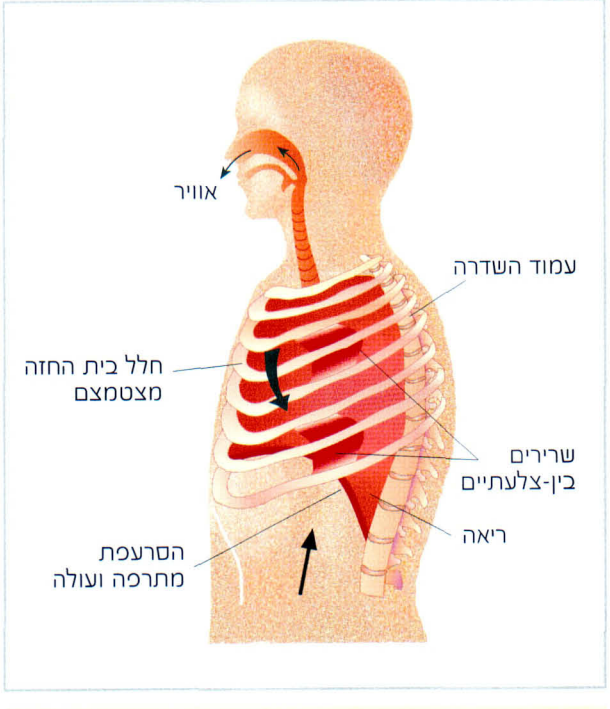
כל מחזור של חילוף גזים מתנהל, כאמור, בשני שלבים: שאיפה ונשיפה. עקבו אחר השלבים בסיוע איור 3.13 א ו-ב.

שאיפה: הסרעפת מתכווצת ויורדת כלפי מטה לעבר הבטן; והתכווצות השרירים שבין הצלעות גורמת לצלעות להתרומם בכיוון מעלה והחוצה. כתוצאה משתי פעולות אלה מתרחב חלל בית החזה. הריאות צמודות לדפנות בית החזה והן נמשכות בעקבות הדפנות ומתרחבות גם הן. בעקבות העלייה בנפח הריאות חלה ירידה בלחץ האוויר בתוכן. לחץ האוויר בריאות נעשה נמוך מלחץ האטמוספרה, ואוויר זורם מהחוץ לתוך הריאות.

נשיפה: מיד אחר-כך הסרעפת מתרפה ומתרוממת כלפי מעלה. השרירים בין הצלעות מתרפים, הצלעות יורדות, חלל בית החזה מצטמצם, והריאות שבות לנפחן הקודם. בשל ירידת נפח הריאות גדל לחץ האוויר בתוכן, ואוויר זורם מהריאות החוצה.



איור 3.13 א
שינויים בבית החזה במהלך שאיפה



איור 3.13 ב
שינויים בבית החזה במהלך נשיפה

אלה 5

א. איזה חלק של מערכת ההדמיה משקף בצורה נאמנה את תהליך הנשימה?
ב. איזה חלק שלה אינו משקף את התהליך?

שלבי השאיפה מסוכמים באיור 3.14.

איור 3.14
מחצית של מחזור נשימה אחד: שאיפה

שימה 5

משרטטים את שלבי הנשיפה

להשלמת התרשים המופיע באיור 3.14, שרטטו תרשים שיסכם את שלבי הנשיפה.

מה מצמיד את הריאות לבית החזה?
כל ריאה עטופה בקרום דק מאוד הנקרא **אדר** (Pleura). האדר הוא בעצם קרום כפול: שכבה אחת שלו עוטפת כל ריאה, והשכבה השנייה צמודה לדופן בית החזה. בין שתי שכבות הקרום מצויה שכבה רצופה ודקה מאוד של נוזל. שכבת הנוזל שבין הקרומים מצמידה אותם זה לזה וגורמת לכך שכל ריאה צמודה בעוצמה רבה לדופן בית החזה.
בדיקה פשוטה מאוד תמחיש לכם את חוזקה של שכבת נוזל דקה.

שימה 6

כוחו של מתח הפנים של נוזל

א. קחו שתי זכוכיות נושאות של מיקרוסקופ והניחו אותן על שולחן חלק ונקי.
ב. טפטפו טיפת מים קטנה מאוד על אחת מהן, והניחו את הזכוכית השנייה עליה. הניחו למים להתפשט בין שתי הזכוכיות. (אין צורך בטפי; די בטיפה שתטפטפו מקצה האצבע.)
ג. נסו להפריד את שתי הזכוכיות זו מזו. מה קורה?
ד. נסו לשער מה מצמיד את שתי הזכוכיות זו לזו?
ה. עכשו החליקו זכוכית אחת על פני השנייה בתנועה סיבובית, ונסו להפריד ביניהן. מה מאפשר לכם להפריד בין הזכוכיות? כתבו את השערתכם.

כפי שאתם רואים, שכבה דקה של נוזל יכולה להצמיד שני גופים זה לזה בכוח רב. כוח זה - **מתח הפנים** של הנוזל שבין קרומי האדר - הוא המצמיד את הריאות אל דופן בית החזה.

ה עמקה

כוח מתח הפנים

כוח מתח הפנים הוא כוח הפועל בנוזל. הוא מבטא את פעולתו של כוח המשיכה המחזיק את חלקיקי הנוזל ביחד. כוח מתח הפנים גורם, למשל, לטיפת מים לשמור על צורתה הכדורית, במקום להתפזר לכל עבר ברגע שהיא באה במגע עם האוויר.

כוח מתח הפנים מורגש בעיקר באזורי גבול בין נוזל למוצק, או בין נוזל לגז. במים הנמצאים בתוך כוס, למשל, שכבת המולקולות העליונה ביותר, זו שנמצאת במגע עם האוויר, מוחזקת במקומה על-ידי כוחות משיכה שמפעילות עליה מולקולות המים שנמצאות מתחתיה. כוחות המשיכה בין מולקולות המים הם חזקים למדי. אפשר להניח על פני המים בכוס עצם שמשקלו הסגולי גדול מזה של המים, ושכבת המים העליונה תמנע ממנו לשקוע. נסו זאת בעצמכם: שימו פיסה שטוחה של נייר אלומיניום על פני שטח המים, ותראו שהפיסה אינה שוקעת. במבט מהצד תוכלו להבחין, כי פיסת האלומיניום מונחת על פני המים במעין גומה שטוחה. אם נדמה לכם שפיסת האלומיניום אינה שוקעת בגלל משקלה הקל, שברו את ה"קרום" של מתח הפנים, השקיעו אותה במים, ותיווכחו שהיא שוקעת לקרקעית הכוס ואינה צפה - הוכחה לכך שהאלומיניום כבד מהמים.

כוח מתח הפנים הוא אפוא כוח שאין לזלזל בו. הוא חזק במיוחד כאשר שכבת מים דקה מאוד לכודה בין שתי שכבות מוצקות, כמו שכבת המים שבין שתי הזכוכיות. כפי שראיתם, קשה מאוד להתגבר עליו ולנתק אותן זו מזו.

מהתיאור של תנועות בית החזה עולה נקודה חשובה: **הריאות עצמן פסיביות לחלוטין**. הן כאילו "נגררות" בצמידות לדופן בית החזה: ההתרחבות שלהן היא תוצאה של תנועת הסרעפת ושרירי בית החזה. וכמובן, הן אינן שואבות את האוויר. האוויר זורם לתוכן ויוצא מהן בהתאם לשינויים שחלים בנפח בית החזה ובלחץ האוויר בתוכו.

ע וד על...

אוויר בין קרומי האדר - סכנה גדולה

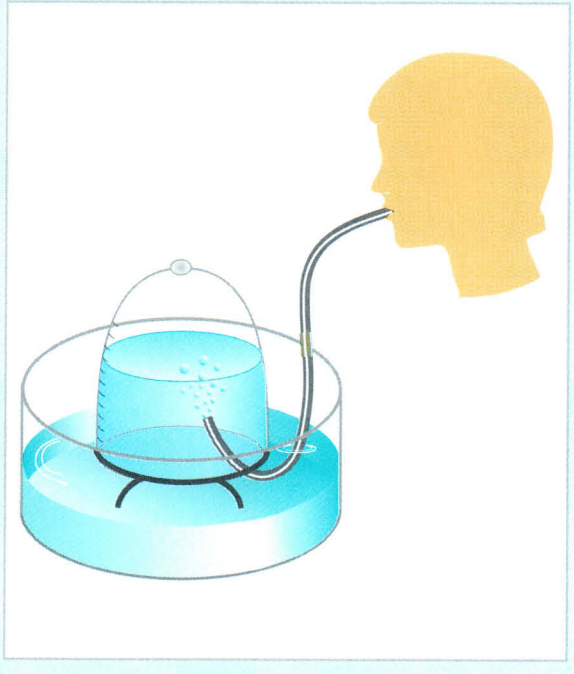
כפי שהבנתם, יכולתן של הריאות לנוע בצמידות לדופן בית החזה היא תנאי הכרחי לקיום השאיפה והנשיפה. אם משהו יפריד בין הריאות לדפנות בית החזה, הן לא תוכלנה להתמלא ולהתרוקן מאוויר. מצב כזה עלול לקרות לאדם שנפצע בתאונה. עצם חד, או צלע שבורה עלולים לפרוץ את קרומי האדר, ואוויר יכול לחדור לשכבת הנוזל שביניהם. כפי שראיתם בניסוי עם הזכוכיות הצמודות על-ידי המים, די בחדירת כמות קטנה מאוד של אוויר, השוברת את רציפות שכבת הנוזל, כדי לפגוע בכוח מתח הפנים. במצב זה, הריאות אינן צמודות אל דפנות בית החזה ולא יכולות להתרחב או להתכווץ ביחד איתו. זכרו, הריאות פסיביות, אין להן כושר תנועה עצמאי! נוסף לכך, האוויר החודר בין קרומי האדר לוחץ על הריאות וגורם להן לקרוס. מצב זה מכונה "חזה אוויר" ויש בו סכנת חיים.

תוכלו לבדוק בניסוי כמה אוויר אתם יכולים לנשוף מהריאות בנשיפה אחת.

מ שימה 7

כמה אוויר אפשר לנשוף?

כדי לבצע את הניסוי, יש להעמיד מערכת כמו זו המתוארת באיור 3.15.



איור 3.15
מתקן למדידת הקיבולת החיונית - נפח האוויר המרבי שאפשר לנשוף

א. מלאו קערה גדולה במים.

ב. קחו כוס זכוכית גדולה (או פעמון זכוכית) ומכוילת. הניחו את הכוס באלכסון בתוך המים שבקערה, עד שתתמלא במים. כאשר הכוס מלאה, הציבו אותה על תמיכות בתוך הקערה. לתמיכה אפשר לקחת חצובה, או שלוש כוסות קטנות שיוצבו בקערה כשהפתחים שלהן כלפי מעלה, כדי שיתמלאו במים ולא יזוזו.

ג. קחו צינור גומי גמיש, שקל לכופף אותו. השחילו קצה אחד של הצינור מתחת לפני המים, לתוך הכוס ההפוכה.

ד. שימו את קצה הצינור בפה, וסתמו את האף ביד הפנויה. נשפו בכל כוחכם לתוך הצינור. ברגע שאתם מפסיקים לנשוף, הוציאו מיד את הצינור מהפה וקפלו את קצהו כדי למנוע בריחת אוויר.

ה. האוויר שאתם נושפים ידחק מים מהכוס לתוך הקערה. הסתכלו על הכיול שבצד הכוס, ותוכלו לראות כמה אוויר נשפתם מהריאות.

נפח האוויר שנשפתם מהריאות שווה לנפח המרבי שאתם יכולים להכניס לריאות. נפח זה נקרא "קיבולת חיונית".

ו. השוו בין קיבולת הריאות של תלמידים שונים בכיתה. ציינו האם יש הבדל בקיבולת בין תלמידים העוסקים בספורט לבין מי שאינם עוסקים בספורט.

כמות האוויר הנכנסת לריאות בדקה נקראת **אוורור ריאתי**. האוורור תלוי בשני גורמים: בנפח האוויר הנכנס בשאיפה אחת, ובמספר המחזורים של שאיפה/נשיפה בדקה.

נפח האוויר בשאיפה אחת X מספר הנשימות בדקה = שיעור האיוורור הריאתי.

האוורור הריאתי יכול להשתנות בטווח רחב מאוד. במצב מנוחה, אנו נושמים בממוצע 14 פעמים בדקה, ובכל מחזור נשימה, נשאף ונשוף כחצי ליטר אוויר, כלומר, שבעה ליטרים בדקה בממוצע. כמות זו יכולה לגדול מאוד במאמץ, למשל, בתחרות ריצה, ולהגיע עד 150 ליטרים בדקה.

קצב האוורור נקבע במוח

כל מי שרץ אי-פעם, או טיפס במעלה הר, יודע כי בשלב מסוים מתחילים להתנשם ולהתנשף בקצב אחר לגמרי מאשר בהליכה נינוחה ברחוב.

בנוסחה של שיעור האוורור רואים, כי הוא תלוי **בנפח השאיפה** - כלומר, במידת ההתכווצות של הסרעפת ושרירי בית החזה: ככל שאלה מתכווצים בעוצמה גדולה יותר, כך ייכנס אוויר רב יותר בכל שאיפה. האוורור תלוי גם ב**קצב הנשימות**. ככל שהשרירים יתכווצו ויתרפו במהירות גדולה יותר, יהיו יותר נשימות (או מחזורי שאיפה/נשיפה) בדקה. אולם מערכת הנשימה אינה עצמאית לקבוע את קצב פעילותה; חייב להיות תיאום בין תפקודה לבין שאר הפעולות המתרחשות בגוף, ומי שאחראי לתיאום הזה היא מערכת העצבים.

תנועות השרירים המעורבים בשינוי נפח בית החזה - הסרעפת ושרירי הצלעות - נתונות לבקרה של מערכת העצבים. מרכז עצבים המצוי במוח הוא המכתיב את התנועות המאפשרות שאיפה ונשיפה.

המוח משנה את שיעור האוורור בהתאם למצבו המשתנה של הגוף. כשאדם רץ, שרירי הרגליים שלו מתכווצים בכוח רב יותר, ומספר פעמים גדול יותר בדקה. התאים המרכיבים את השרירים נזקקים לאספקת אנרגיה רבה יותר ובמהירות גדולה יותר מאשר במצב מנוחה.

שאלה 6

שובו וקראו את הגדרת הנשימה התאית (עמוד 49), וענו:

א. ממה מפיקים התאים אנרגיה?

ב. איזה גז צורכים התאים בכמות מוגברת בעת מאמץ שרירים?

ג. בעת מאמץ, איזה גז משתחרר מהתאים בקצב גובר?

ד. הציעו השערה: מה עשוי להיות הגירוי המוביל להגברה של האוורור (כלומר, לנשימות מהירות ועמוקות יותר)?

שאלה 7

חוקרים בדקו את הגורמים המשפיעים על קצב הנשימה של חולדה. החולדה הושמה בכלי אטום ונשמה את האוויר בו. החוקרים ספרו את מספר הנשימות שנשמה בדקה .

כעבור 10 דקות הוכנס לכלי חומר סופח CO_2.

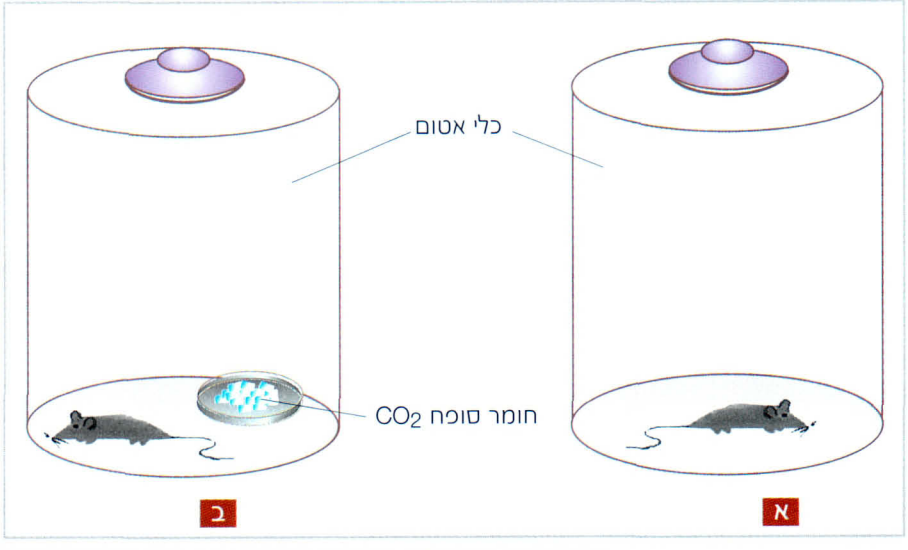
התבוננו באיור 3.16 המתאר את הניסוי.

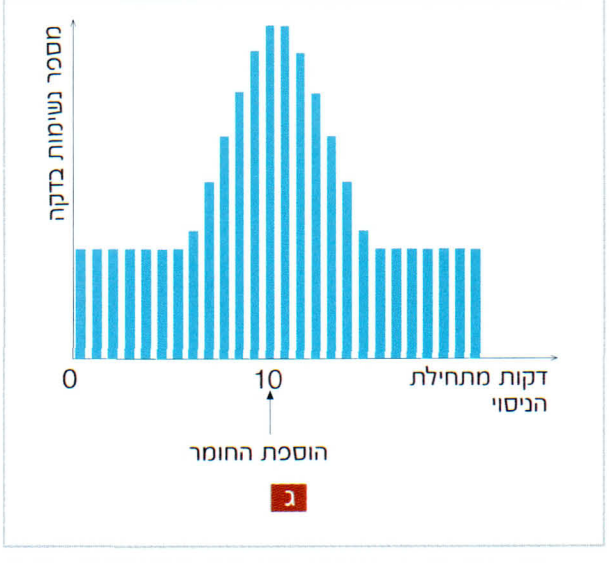
א. תארו את השינוי שחל בריכוז <u>החמצן</u> בצנצנת במהלך הניסוי.

ב. תארו את השינוי שחל בריכוז <u>הפחמן הדו-חמצני</u> בצנצנת במהלך הניסוי.

ג. לפי תוצאות הניסוי המתוארות באיור 3.16 ג, מהו הגירוי המוביל להגברת האוורור אצל החולדה?

ד. האם הניסוי תומך בהשערה שהצעתם בתשובה לשאלה 6.ד?





איור 3.16

ניסוי: מעקב אחרי נשימתה של חולדה

א. תחילת הניסוי,

ב. כעבור 10 דקות מוכנס כלי עם חומר סופח CO_2,

ג. עקום המראה את השינוי במספר הנשימות בדקה במהלך הניסוי.

בדרך-כלל נוטים לחשוב שהירידה בריכוז החמצן בדם גורמת להגברה של האוורור. הנחה זו מתיישבת לכאורה עם ההגיון הפשוט האומר: אם דרוש עוד חמצן לתאים, כי אז מחסור בחמצן יהיה הגורם שיפעיל את המערכת.

אכן, מערכת הבקרה המוחית רגישה לירידה בשיעור החמצן בדם, אך כפי שרואים בניסוי, הגורם העיקרי המשפיע על שיעור האוורור הוא דווקא רמת הפחמן הדו-חמצני בדם.

עודף של פחמן דו-חמצני בדם מהווה גירוי חזק ל**מרכז בקרת הנשימה**, הנמצא במוח. בתגובה על עלייה ברמת הפחמן הדו-חמצני בדם, המרכז מוציא פקודות לסרעפת ולשרירי בית החזה להגביר את שיעור האוורור. תגובת המוח לשינוי ברמת הפחמן הדו-חמצני מהירה בהרבה מתגובתו לשינוי ברמת החמצן בדם. רגישותו לעלייה ברמת הפחמן הדו-חמצני כה גבוהה, עד שהוא מונע למעשה כל אפשרות של הפסקת הנשימה מרצון.

אדם לא יכול לגרום לעצמו להפסקת נשימה עד מוות. ברגע שרמת הפחמן הדו-חמצני בדם עולה מעל סף מסוים, מרכז בקרת הנשימה מפעיל את שרירי בית החזה והסרעפת, ופעולה זו גוברת על כל פעולה רצונית אחרת. זוהי דוגמה מרשימה להומאוסטאזיס. העלייה ברמת הפחמן הדו-חמצני בדם היא סטייה מיציבות הסביבה הפנימית, והמוח מתקן את הסטייה הזו מיד וביעילות מושלמת.

הנשמה מפה לפה עוזרת לחדש את הנשימה

אדם נופל ומאבד את ההכרה. מי שהשתתף בקורס החיאה (או בקורס עזרה ראשונה) יודע כי הדבר הראשון שעליו לבדוק הוא, האם האדם נושם. אם מתברר שהאדם אינו נושם, צריך להנשים אותו מפה לפה. ראו הנשמה מפה לפה באיור 3.17

איור 3.17
הנשמה מפה לפה

ההנשמה מפה לפה משיגה שתי מטרות קריטיות. ראשית, היא מזרימה אוויר לריאותיו של האדם. שנית, המנשים פולט מפיו אוויר המכיל אחוז גבוה יחסית של פחמן דו-חמצני, ודוחף אותו לתוך ריאותיו של המונשם. הרמה הגבוהה של פחמן דו-חמצני שמגיעה לדמו של המטופל מהווה גירוי חזק למוחו, ומעוררת את מרכז בקרת הנשימה שלו להגביר את האוורור. בקצרה, האוויר העובר מפה לפה לא רק מספק חמצן, אלא גם יוצר גירוי חזק לחידוש הנשימה של המטופל.

עוד על...

ממתי ידעו להנשים מפה לפה?

ייתכן שהתיאור הראשון בהיסטוריה של הנשמה מפה לפה נמצא כבר בתנ"ך. בספר מלכים ב מסופר על הנביא אלישע, שהקים לתחייה נער ששכב מת לכאורה בבית אמו. כמתואר בספר "ויעל וישכב על-הילד וישם פיו על פיו ועיניו על עיניו וכפיו על כפיו ויגהר עליו ויחם בשר הילד" (מלכים ב, פרק ד, פסוקים ל"ד-ל"ה). אלישע חזר על פעולה זו פעמיים, והילד שנחשב למת התעטש שבע פעמים ופקח את עיניו.

העמקה

אוורור-יתר מהו?

האם קרה לכם שהתנשמתם במהירות רבה, ופתאום נתקפתם סחרחורת? קורה שאנשים, הנתונים במצב של חרדה, או התרגשות גדולה, מתחילים להתנשם במהירות, למרות שהם לא נתונים במאמץ גופני. כך הם גורמים לעצמם מצב של אוורור-יתר.

שחיינים המשתתפים בתחרויות מנסים לפעמים "למלא את הריאות בחמצן". לפני תחילת התחרות הם נושמים נשימות מהירות ועמוקות, ונדמה להם שבדרך זו הם מצטיידים בחמצן רב שיעזור להם לשחות מהר יותר בלי להאט כדי לנשום באמצע התחרות. למעשה, הם מסכנים את עצמם מאוד. בואו נראה מה קורה כאשר מתנשמים במהירות ומגבירים את האוורור הריאתי במידה גדולה בלי שמבצעים פעילות גופנית מאומצת.

אוורור חזק ומהיר של הריאות מְפַנֶּה מהן במהירות את הפחמן הדו-חמצני, וריכוזו בדם יורד במידה ניכרת. הירידה בריכוז הפחמן הדו-חמצני בדם גורמת לעיכוב הנשימה. האדם עלול להתעלף. כאשר האדם מתעלף, קצב הנשימה המהיר נחלש, המצב של אוורור-יתר נפסק, והפחמן הדו-חמצני חוזר לרמתו הנורמלית.

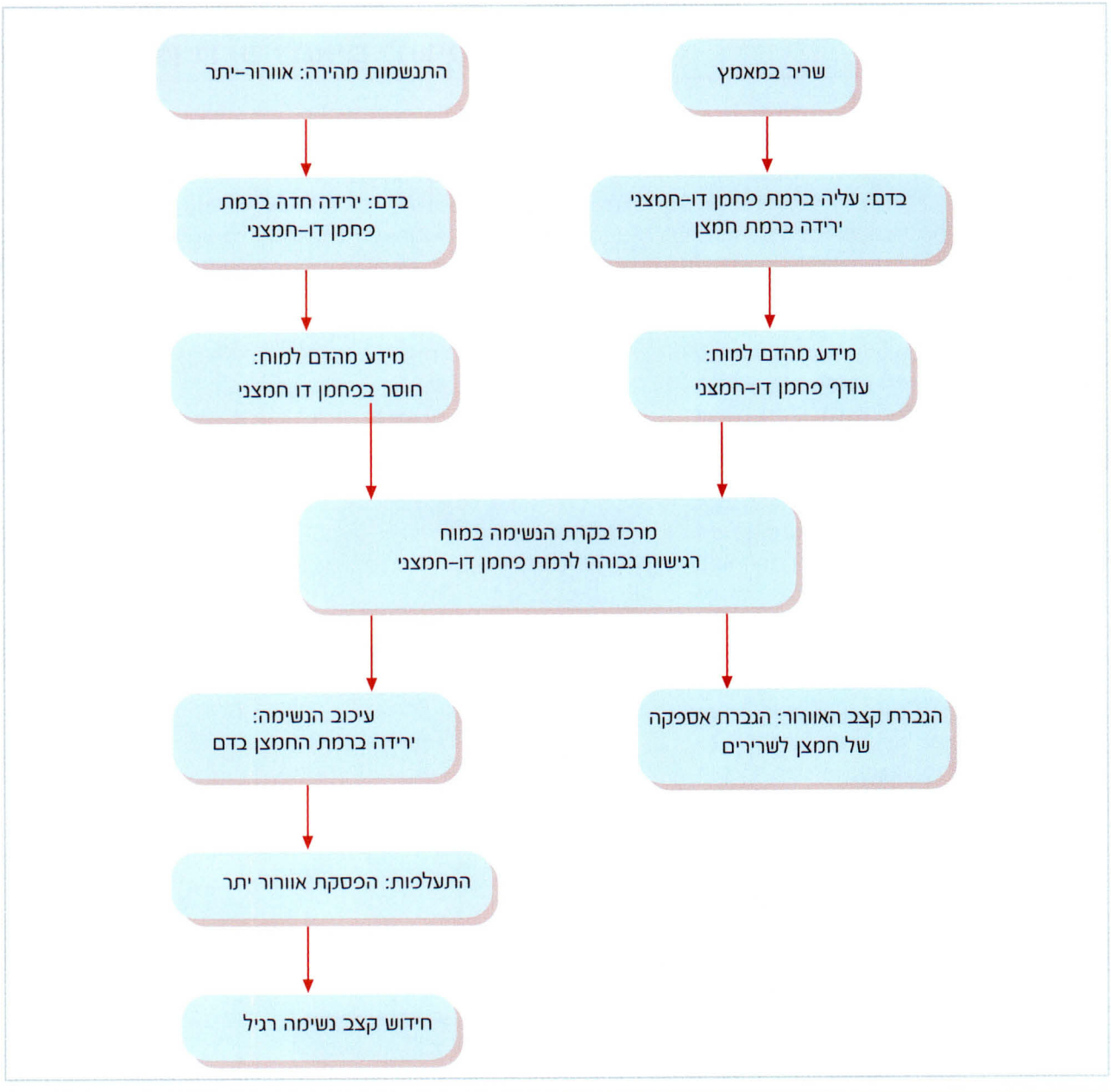
לשם הבהרה, התבוננו באיור 3.18, הממחיש את הקשרים בין רמות גזי הנשימה לבין פעולתו של מרכז בקרת הנשימה במוח.

השחיינים, כאמור, מסתכנים במיוחד. כשהם מתנשמים כדי "לצבור חמצן", רמת הפחמן הדו-חמצני בדמם יורדת כל-כך, שמערכת בקרת הנשימה שלהם פשוט מפסיקה את הנשימה. במצב כזה החמצן בדמם עלול לרדת לרמה מסוכנת. בגלל מיעוט הפחמן הדו-חמצני, מערכת בקרת הנשימה לא תחדש מיד את הנשימה, והשחיין עלול להתעלף ממחסור בחמצן. כאשר השחיין נמצא מתחת למים במצב כזה, הוא מסתכן בטביעה.

אם מישהו בסביבתכם נכנס לאוורור יתר בגלל חרדה או בגלל התרגשות פתאומית, תוכלו לעזור לו למנוע התעלפות. תנו לו לנשום לתוך שקית נייר או ניילון סגורה (ונטולת חורים!)

שאלה 8

מדוע נשימה לתוך שקית מפסיקה את המצב של אוורור – היתר?



איור 3.18
ויסות קצב האוורור במצב של מאמץ ובמצב של אוורור יתר

3.5 החמצן דרוש לתאים לנשימתם

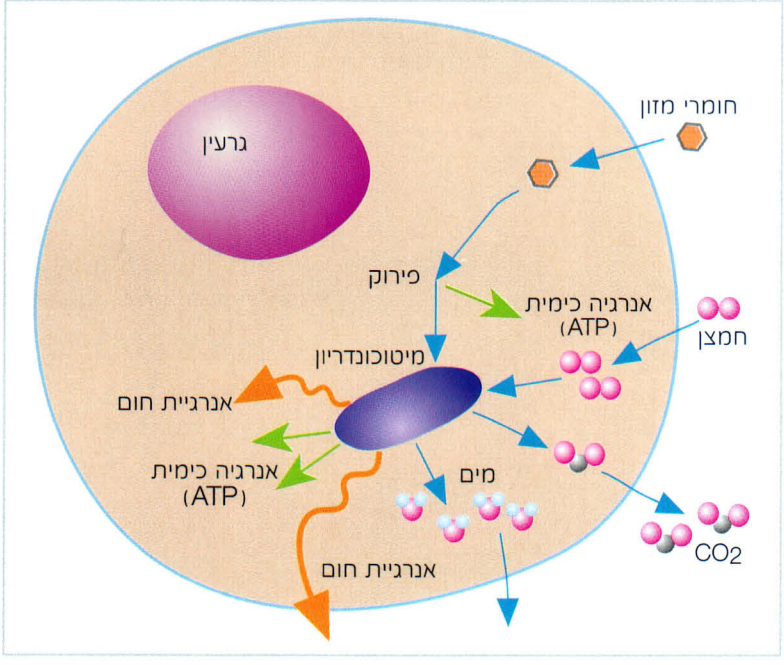
כפי שהבהרנו בפתח הפרק, תהליך הנשימה עצמו - פירוק חומרי מזון תוך כדי קליטת חמצן ופליטת פחמן דו-חמצני - מתרחש בתוך התאים. תהליך זה מכונה, כאמור, **נשימה תאית**. חלקו העיקרי של התהליך מתרחש באברונים תוך תאיים הנקראים מיטוכונדריה (ביחיד: מיטוכונדריון). האנרגיה המשתחררת בתהליך מופיעה בשתי צורות: חלקה מופיע כאנרגיה כימית, המאפשרת קיום תהליכים שונים בתאים; וחלקה מתגלגל באנרגיית חום, הנפלטת מהתא לסביבה.

הבהרה של התהליך תוכלו לראות באיורים 3.19, ו-3.20.

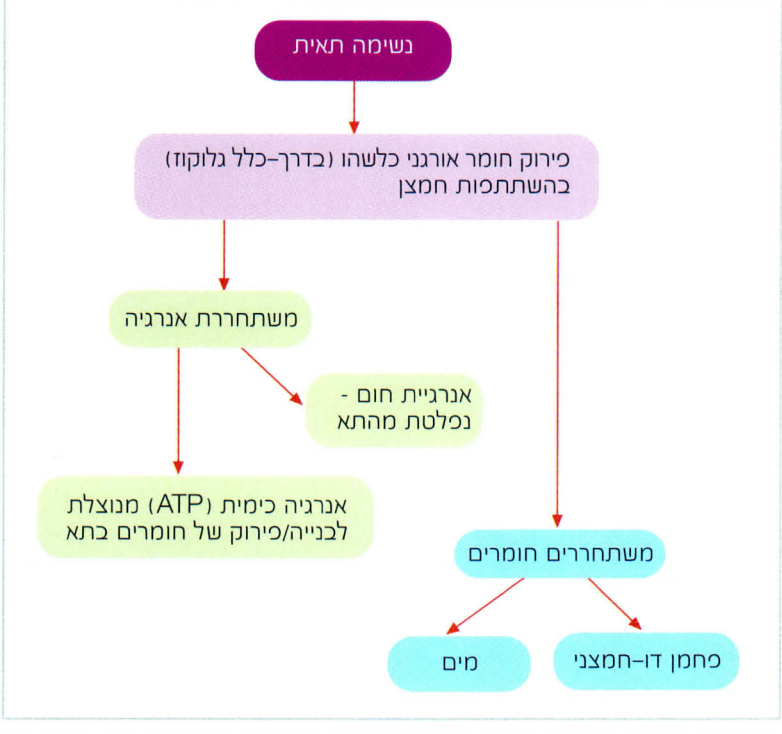
כפי שרואים באיורים, האנרגיה המשתחררת בנשימת התא מנוצלת בחלקה בתהליך בו נוצר חומר המכונה ATP. בהמשך, חומר זה מתווך מעבר של אנרגיה בתהליכים המתרחשים בתא: ייצור של חומרים, שינוי ההרכב של חומרים, תנועת חומרים ומעבר חומרים דרך קרומים. האנרגיה בצורתה זו נקראת אנרגיה כימית. כשליש מכלל האנרגיה המשתחררת מפירוק חומרי המזון, מהווה אנרגיה כימית. האנרגיה שאינה מנוצלת לתהליכים אלה - כשני שלישים מהאנרגיה שמקורה במזון - משתחררת בצורת חום.

אנרגיית החום הזו, המשתחררת מהתאים כתוצר של נשימתם, היא המקור העיקרי לחום השורר בתוך הגוף. הטמפרטורה הפנימית של גופנו (כמעט 37 מעלות צלזיוס) נובעת מכך שכל תאי הגוף משחררים חום בזמן נשימתם.

מהבחינה הזו, התאים דומים לכל מכונה מהסוג הנקרא "מכונת חום" - מתקן המנצל מקור אנרגיה, משתמש במקצת האנרגיה לביצוע תהליך או פעולה כלשהי, ובתוך כך מפסיד אנרגיה לסביבה בצורת חום. כל מנוע של מכונית, מטוס, טיל או כל מנוע אחר המונע על-ידי דלק הוא מכונת חום.



איור 3.19
מראה סכמתי של נשימה תאית



איור 3.20
סיכום מהלכי הנשימה התאית

אלה 9

כל עוד האדם חי, התאים בגופו נושמים, ולפיכך הם גם פולטים חום לסביבתם. איך תסבירו את העובדה שטמפרטורת הגוף של האדם לא עולה כל הזמן?

בתשובתכם כתבו מה חייב להתקיים בגוף, כך שהטמפרטורה שלו לא תעלה בהתמדה עקב פליטת החום מהתאים.

אם מוכרים לכם אמצעים בגופכם המונעים את עליית הטמפרטורה, כתבו אותם.

נשימת התאים היא אפוא המקור לחום הגוף. אולם הגוף חשוף כל הזמן לטמפרטורות חיצוניות שונות - ברוב המקרים, נמוכות מטמפרטורת פנים הגוף (להוציא ימי שרב קשים במיוחד).

העובדה שטמפרטורת הגוף נשמרת בערך קבוע, נובעת מפעולתם של גורמי בקרה וויסות הפועלים כל העת בגופנו. תהליכי הוויסות והבקרה האלה, המאפשרים שמירה על טמפרטורת הגוף הם ביטוי להומאוסטאזיס - לכושר לשמור על יציבות הסביבה הפנימית, אשר כפי שלמדתם בפרק הראשון, מאפיין את כל היצורים החיים. בפרק 4 תכירו ביתר פירוט תהליכים המווסתים את חום הגוף.

3.6 סיכום

כל התאים בגוף זקוקים לחמצן כדי להפיק אנרגיה מהמזון. החמצן נמצא באוויר, והוא מגיע לסביבה הפנימית הודות לפעולתה של מערכת חילופי גזים, המתווכת בין פנים הגוף לבין הסביבה החיצונית. המבנה של איברי המערכת מותאם לביצוע שורה של פעולות החיוניות לכניסת חמצן מהסביבה אל פנים הגוף. האף מאפשר ניקוי של האוויר וממזג את הטמפרטורה והלחות שלו בהתאם לתנאים השוררים בתוך הגוף. מבנה הריאות מספק שטח ענק לדיפוזיה של חמצן מהאוויר לדם, ודיפוזיה של פחמן דו-חמצני מהדם החוצה. מבנה בית החזה - הצלעות, השרירים, הסרעפת וקרום האדר - מותאם לביצוע פעולות השאיפה והנשיפה. הריאות עצמן פסיביות, והן מתמלאות אוויר ומתרוקנות בהתאם לתנועות בית החזה ולשינויי הלחץ החלים בו.

שיעור האוורור - קצב הכנסת האוויר לריאות - נתון לבקרה של מרכז הנמצא במוח. מרכז זה רגיש במיוחד לרמת הפחמן הדו-חמצני בדם. עלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני בדם תגרום למרכז הבקרה להגביר את תנועות השרירים של בית החזה, ובכך להגביר את האוורור; ירידה בריכוזו בדם תוביל להחלשת האוורור.

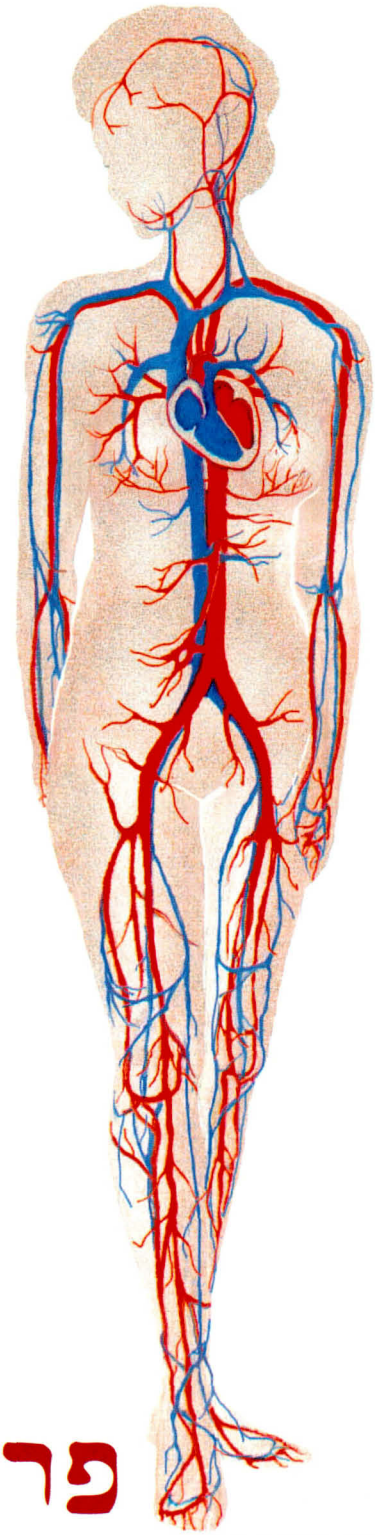
גורמי זיהום שונים הנמצאים באוויר עלולים לפגוע בפעולת הריאות, להפריע להגעת חמצן לדם ולחולל מחלות שונות. גורמי הזיהום המסוכנים ביותר הם תוצרי שריפתם של חומרי דלק ועישון סיגריות.

החמצן המגיע מהאוויר לתאים משתתף בנשימת התאים, שהיא מקור האנרגיה לביצוע כל התהליכים בתאים ובגוף כולו. נשימת התאים היא גם המקור העיקרי לחום הגוף.

עתה נוכל לחזור לשאלות שהצגנו בפתיח לפרק: מתי באמת אנחנו נושמים? הנשימה במשמעותה המלאה - פירוק חומר מזון והפקת אנרגיה ממנו בסיוע חמצן - מתרחשת בתאים. כשאדם צולל וסותם את האף למשך דקה, הוא אינו מחליף גזים עם הסביבה, אך התאים בגופו אינם מפסיקים לנשום בפרק זמן זה. כמובן, אם קליטת החמצן תופרע לפרק זמן ארוך מדי, יתמעט החמצן בדם במידה כזו שהתאים יחדלו מלנשום. וממה נובעת תחושת המחנק? תחושה זו קשורה להפרעה בחילופי הגזים, וככל הנראה נובעת מהעלייה ברמת הפחמן הדו-חמצני בדם.

שאלות סיכום וחזרה

1. הסבירו מדוע הנשימה דרך האף בריאה יותר מנשימה דרך הפה.
2. הסבירו את מקורה של האמרה: "אין מסיחין בסעודה שמא יקדים קנה לוושט..."
3. הריאות בנויות כך שתתאפשר דיפוזיה יעילה של גזים מהאוויר שבריאות אל הדם ובחזרה.
   עברו על הגורמים המשפיעים על קצב הדיפוזיה ועל תכונות המבנה של הריאות וציינו היכן אתם מוצאים התאמה של מבנה לתפקוד.
4. איזו תכונת מבנה משותפת לנאדיות הריאה ולמעי הדק? מהו הקשר בין תכונה זו לדמיון בתפקוד של שני האיברים?
5. נאמר ש"הריאות כאילו שואבות לתוכן את האוויר, אולם ההרגשה הזו מטעה". הסבירו מדוע והציעו הסבר נכון לשאלה: כיצד נכנס אוויר לריאות?
6. במחזור השאיפה-נשיפה שלב אחד מלווה בפעולה אקטיבית של שרירים והשלב השני הוא פסיבי. מהו כל שלב?
7. עיינו בריכוזי הגזים בדם שנזכרו בעמ' 55 ביחס לנימים בריאות. חשבו וענו: מה יכול להיות ההסבר לעובדה שהמנגנון המרכזי שמפקח על קצב פעולות השאיפה-נשיפה, מבוסס בעיקר על שינויים בריכוזי הפחמן הדו-חמצני ופחות על שינויים בריכוז החמצן?
8. הסבירו מדוע לא ניתן להפסיק את הנשימה באופן רצוני?
9. כתבו משפטים שיקשרו בין זוגות המושגים האלו:
   א. נשימה תאית - חילופי גזים בריאות
   ב. פירוק חומרי המזון - חום הגוף
   ג. אנרגיה כימית - אנרגיית חום



פרק 4

מערכת ההובלה

פרק 4

תוכן העניינים

4.1 הדם זורם בגוף במחזור סגור 69
• מבט אל העבר : מגלים את מחזור הדם 69

4.2 מערכת כלי הדם מורכבת ממשאבה ומרשת צינורות 72
• דרכי הזרימה: עורקים, ורידים, נימים 72
כלי הדם במבט מקרוב 74
• חומרים מובלים בנבכי ה"צנרת" 74

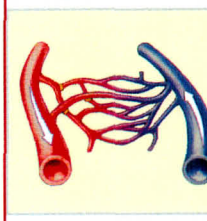
4.3 הלב - שתי משאבות הפועמות כאחת 77
• הלב בנוי מארבעה מדורים 77
בכל פעימת לב המדורים מתכווצים 78
• זרימת הדם בגוף תלויה בלחץ הדם 80
• ללב קצב משלו 82
• הלב - מכונה מופלאה באמת 82
תפוקת הלב היא מדד לכמות הדם המוזרמת מהלב 82
פעילות גופנית מחזקת את הלב 83
ללב מערכת הזנה משלו 84
"מתכונים" לטרשת עורקים 85
מסתמים תקינים חיוניים לפעולת הלב 86
יתר לחץ דם מסכן גם הוא את הלב 86
• לאכול ולרוץ - מה הבעיה? 86
רק המוח לא נח לרגע 88

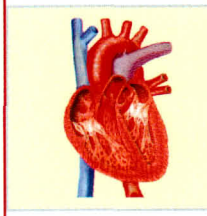
4.4 מחצית מהדם היא נוזל, וכל השאר - תאים 89
• פלזמת הדם משמרת סביבה פנימית יציבה 89
חלבונים, מלח, סוכר והומאוסטאזיס 89
הפלזמה מסייעת לשמור על טמפרטורת גוף קבועה 90
• קבוצות תאים - אדומים ולבנים - נמצאות בפלזמת הדם 90
תאי הדם האדומים מותאמים להובלת חמצן 90
סיבות אחדות לאנמיה 91
כוחם של תאי הדם האדומים במספרם 92
קשירת חמצן בגבהים 92
התאים הלבנים מגינים על הסביבה הפנימית 92
• לוחיות הדם חיוניות לקרישת הדם 93

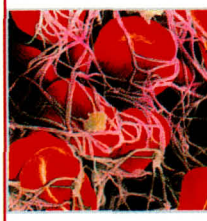
4.5 מערכת הלימפה מקבילה למערכת הדם 95

4.6 סיכום 96

שאלות סיכום וחזרה 96







מערכת כלי הדם בגוף כמוה כרשת תחבורה ענקית. היישובים בארץ מחוברים ביניהם בכבישים, דרכים ומסילות ברזל, המשמשים בין היתר להובלת מוצרים ממקום למקום. בדומה לכך, החלקים השונים של גופנו מקושרים ביניהם על-ידי רשת מסועפת של צינורות - כלי דם, המאפשרים זרימה של דם מכל מקום לכל מקום בגוף.

קל לנו להבין את חשיבותה של רשת התחבורה לקיומה של מדינה מודרנית: חומרי גלם ועובדים חייבים להגיע למפעלים, ומוצרים שונים חייבים להגיע לחנויות. אולם הנקודה החשובה כאן היא, שתחבורה יעילה חיונית לקיומו של כל מקום יישוב, קטן ככל שיהיה.

כך גם אין תא בגוף הרב-תאי היכול להתקיים בלי רשת הובלה, שתאפשר לו לקבל את כל צורכי הקיום שלו. יצור שהוא תא יחיד, מקיים את כל תהליכי ה"ייבוא" וה"ייצוא" שלו במישרין עם הסביבה החיצונית, הנמצאת במגע ישיר עם קרום התא; אולם לתאים בגוף רב-תאי אין קשר ישיר עם הסביבה החיצונית. מערכת הובלה היא אפוא הכרח קיומי לגוף הרב-תאי.

4.1 הדם זורם בגוף במחזור סגור

היצורים החיים הראשונים שהופיעו על פני כדור הארץ היו חד-תאיים. ביצור חד-תאי, כל פעילות הגומלין של קליטת חומרים מהסביבה ושחרורם אל הסביבה נעשית דרך קרום התא. אמנם גם בתוך התא נדרשת תנועה, או הובלה, של חומרים ממקום למקום; כך, אם חלקיק מזון נבלע על-ידי התא, תוצרי פירוקו מועברים למקומות שונים בתא באמצעות אברונים מיוחדים המאפשרים העברה של חומרים ממקום למקום בתא. אולם, מערכת הובלה מורכבת קשורה להופעתם של יצורים רב-תאיים, לפני כ-600 מליון שנים.

הופעתם של יצורים רב-תאיים במהלך האבולוציה התאפשרה, בין השאר, הודות לכך שהתפתחו מבנים ייחודיים שאפשרו הובלת חומרים בין התאים המרכיבים את היצור השלם. ביצורים רב-תאיים יש מערכות הובלה מסוגים שונים. מערכת ההובלה של האדם מייצגת את סוג מערכת ההובלה שהתפתחה בחולייתנים: מערכת מסועפת של צינורות, שנוזל הדם זורם בתוכם במעגל סגור, ואיבר מיוחד - הלב - המתפקד כמשאבה ומזרים את הדם בכל המערכת.

הדם עובר בכלי דם הנמצאים במעיים וקולט מהם תוצרים מעוכלים של מזון, שאותם הוא מעביר לתאים בשאר הגוף. בריאות הוא "מעמיס" חמצן ו"פורק" אותו בכל תאי הגוף. בכליות הוא "פורק" חומרים שונים - תוצרי חילוף חומרים - ואלה הופכים בכליות לשתן. הדם, העובר בתוך בלוטות ההפרשה הפנימית, "מעמיס" שם הורמונים ו"פורק" אותם באיברים שונים וברקמות שונות, המהווים אתרי מטרה לפעילות ההורמונים.

הדם הוא אפוא המתווך הראשי בין מערכות הגוף והמוביל המרכזי של חומרים ממקום למקום.

בט אל העבר

מגלים את מחזור הדם

הפסוק "הדם הוא הנפש" [דברים י"ב, כ"ג] מעיד על כך שכבר בתקופות קדומות מאוד היו אנשים מודעים לחשיבותו העצומה של הדם בגוף. בעת העתיקה חקרו חוקרים סקרנים, רובם אלמונים ומיעוטם ידועים, את גופו של האדם ואף ניתחו גופות מתים, כדי להבין את מבנה הגוף. תיאור מפורט של איברים פנימיים, המופיע בכתביו של הפילוסוף היווני המהולל אפלטון, מלמד על כך שעסק בנתיחת גופות. תלמידו המהולל לא פחות, אריסטו, הרחיב מאוד את מחקריו על מבנה גוף האדם.

גם אפלטון וגם אריסטו הבחינו היטב בכלי הדם הגדולים הקשורים ללב - העורקים והווריד. אך מכיוון שבגופה מתה העורקים מתרוקנים מדם מהר מאוד וכל הדם מתרכז בווריד, לא היה ביכולתם לדעת מה תפקידם של העורקים. שניהם סברו, כי העורקים משמשים להזרמת אוויר סביב הלב, כדי לצננו.

אולם כבר במאה השנייה לספירה ידע הרופא גלנוס, (ראו פרק 1, עמ' 14), כי בצינורות שראו אפלטון ואריסטו זורם דם, וידע זה נשמר במאות השנים שאחריו. גלנוס סבר, כי הדם נוצר בכבד וזורם בכלי הדם אל הלב, וכי בלב הדם הופך ל"טהור", או ל"רוחני" יותר, הודות לאוויר המגיע מהריאות ומתערבב בו. גלנוס גם הבחין, כי בתוך הלב נמצאת מחיצה המפרידה בין שני מדורים - ימני ושמאלי - וחשב, כי הדם מחלחל דרך נקבים זעירים ובלתי נראים, הנמצאים במחיצה, וכך הוא עובר בין מדורי הלב באופן חופשי. עוד סבר גלנוס, כי הדם זורם הלוך ושוב מהלב אל האיברים - כגון, המוח, הכבד והריאות - וחוזר מהם אל הלב. מי שגרם למהפכה בתפיסה הזו היה **ווילאם הארווי** (William Harvey), רופא אנגלי שחי בין השנים 1578 - 1657.

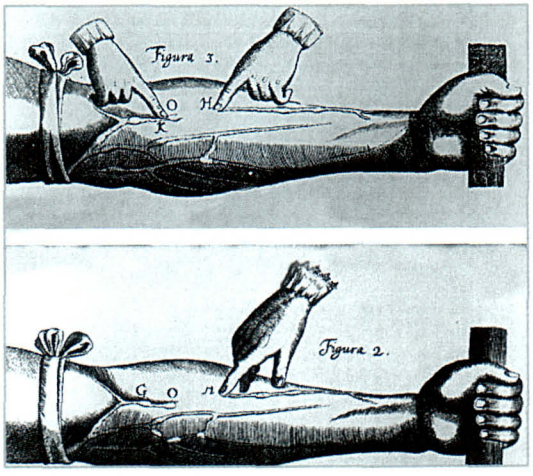
בזמנו של הארווי עדיין הייתה נהוגה שיטת לימודי רפואה, שהחלה כ-1500 שנים קודם לכן, ולפיה למדו רפואה מתוך ספרים בלבד. סטודנט לרפואה היה נדרש לקרוא ולשנן בעל-פה את הכתוב בכל הספרים החשובים, ובראשם ספריו של גלנוס מהמאה השנייה לספירה.

הארווי שבר את המסורת הזו. הוא הרבה לנתח בעלי-חיים וגופות של אנשים, ובדק היטב לבבות רבים. הוא ניתח בעלי-חיים קטנים, ועקב אחר פעולת הלב שלהם בעודם בחיים. בתצפיות אלה, כשהתבונן בלב המתכווץ ומתרפה, עלה בדעתו הדימוי של הלב כמשאבה. נוסף לכך הבחין, כי המחיצה בין חדרי הלב של עופות ויונקים אטומה לחלוטין ואינה מאפשרת מעבר של דם בין החדרים, כפי שחשבו כל קודמיו.

במהלך הנתיחות נתן הארווי את דעתו גם להבדל מבני בולט בין ורידים לעורקים.

כבר מימיו של גלנוס ידעו הרופאים להבדיל בין ורידים - כלי הדם בעלי הדפנות הדקים - לבין עורקים, שדפנותיהם עבות יותר. אך הדעה המקובלת, עד ימיו של הארווי, הייתה, שאין הבדל בין תפקידיהם של כלי דם אלה - כולם מזרימים דם לכל הגוף. הארווי הבחין, כי בווריד נמצאים מסתמים, קפלי רקמה דקים, המאפשרים זרימה של דם רק בכיוון אחד - לעבר הלב. נוסף לנתיחות ערך הארווי גם חישובים שונים של זרימת הדם (שיתוארו בהמשך). החישובים שערך, תצפיותיו במבנה הלב ובפעולתו, גילוי המסתמים בווריד - כל אלה הובילו את הארווי לחשוב, כי הדם זורם בכל כלי דם רק בכיוון אחד. אך איך אפשר לבחון השערה זו?

הניסוי שעשה היה ניסוי פשוט, שכל אחד יכול לעשות בעצמו. התבוננו באיורים 4.1 ו-4.2



איור 4.1
הניסוי של הארווי לקביעת כיוון זרימת הדם בווריד

איור 4.2
הארווי מבצע את הניסוי

כפי שרואים באיור 4.1, הארווי בחר בשתי נקודות בוריד בזרוע: נקודה O הקרובה יותר ללב ונקודה H המרוחקת מהלב. הוא לחץ על נקודה H, המרוחקת מהלב, ועצר את זרימת הדם בוריד. אחר-כך, באמצעות לחיצה מתמשכת של האגודל לאורך הוריד, ותוך שהוא ממשיך ללחוץ בנקודה H, דחף את הדם בתוך הוריד לכיוון הלב ורוקן אותו מדם. לאחר שקטע של הוריד התרוקן מדם, המשיך הארווי ללחוץ על הוריד בנקודה O הקרובה יותר ללב. נוצר אפוא קטע של וריד, בין נקודה H לנקודה O, שהיה ריק מדם.
עתה שחרר הארווי את הלחץ בנקודה הקרובה ללב, נקודה O, אך המשיך ללחוץ בנקודה H הרחוקה יותר.

שאלה 1

מה יקרה לדעתכם:
א. אם הדם זורם בוריד בשני כיוונים - מכף היד ללב וגם מהלב לכף היד?
ב. אם הדם זורם רק מכף היד ללב?
ג. אם הדם זורם בוריד רק מהלב לכף היד?

כאשר שחרר הארווי את הלחיצה בנקודה O, הקרובה ללב, הוריד לא התמלא מחדש. אולם כאשר שחרר את הלחיצה בנקודה H, המרוחקת מהלב, הוריד שב והתמלא מייד בדם. המסקנה שלו הייתה, כי הדם זורם בוריד בכיוון אחד בלבד - מהגוף לעבר הלב.

שאלה 2

האם בניסוי שתואר כאן הוכיח הארווי שהדם זורם גם בעורקים בכיוון אחד בלבד?
אם אתם מתלבטים לגבי התשובה, נסו לצייר את כל האפשרויות העולות בדעתכם.

הארווי לא הסתפק בחקירת הכיוונים של זרימת הדם. הוא התקשה לקבל את הטענה, שהדם נשפך ונעלם בין חלקי הגוף, ודם חדש נוצר כל הזמן. הוא הערך שתהליך כזה מחייב ייצור כמויות ענק של דם מדי יום. אך הוא לא הסתפק בהשערות. הוא ניסה לפענח את מה שמתרחש באמת. כדי לעשות זאת, פנה הארווי לדרך שלא הייתה מקובלת בלימודי הרפואה בזמנו: הוא החליט לערוך חישוב של כמויות הדם הזורמות בגוף.

עוד על...

רפואה בלי חשבון

עד המאה ה-20 בדרך כלל לא חשבו שכדי לעסוק ברפואה צריך לעסוק בחישובים כמותיים. בתקופות מוקדמות יותר אף היה נתק מוחלט בין לימודי רפואה לבין מתמטיקה. הרעיון שחישובים מתמטיים כלשהם יכולים לסייע בהבנת פעולתן של מערכות הגוף, היה זר לחלוטין לרופאים בני זמנו של הארווי. כך, למשל, רופא היה אמור להתבונן בצורתם של איברים שונים בגוף, אך לא נדרש ממנו לדעת מהי כמות הדם הזורמת בגוף. ההפרדה הייתה עקרונית: מתמטיקה (וגם חשבון פשוט) נחשבה תחום דעת שאין לו שום נגיעה למדעים העוסקים בחומר, או בגוף החי.

הארווי חישב את כמויות הדם המוזרמות מהלב בכל פעימה. לשם כך מדד את נפח חדרי הלב והגיע לאומדן מדויק למדי של קיבולם.
הארווי מצא, כי כל אחד משני חדרי הלב מכיל כ-70 מ"ל נוזל.

משימה 1

מצטרפים לוויליאם הארווי

הלב פועם בממוצע 70 פעימות בדקה. בכל פעימה יוצאים מכל חדר בלב כ-70 מיליליטר דם.

א. כמה דם יוצא מכל חדר בדקה?

ב. כמה דם יוצא מחדר אחד בשעה? כמה ביממה?

ג. כמה כוסות נוזלים אתם שותים בממוצע במשך יום אחד? חשבו את נפח הנוזלים שאתם שותים ביום לפי הערכים האלה: כוס ממוצעת = 200 מ"ל; כוס גדולה (מאג) = 280 מ"ל; פחית משקה = 330 מ"ל.

ד. האם אפשר שהגוף ייצר ויאבד ביממה את כמויות הדם שחישבתם בשאלה ב? נמקו את תשובתכם.

הארווי עשה חישוב דומה למדי לחישוב שלכם. כדי לשכנע את יריביו, הציג לפניהם חישוב שהתבסס על הערכה נמוכה מאוד של כמות הדם היוצאת מהלב בכל פעימה. הוא הראה, כי גם בחישוב של רבע או שמינית מכמות הדם האמיתית שהלב מכיל, עדיין יש צורך בייצור כמויות דם בלתי-אפשריות מדי יום.

מסקנתו הייתה חד-משמעית: אין כל אפשרות שהדם הזורם בגוף נוצר מחדש בכל יום. הוא חייב לזרום במחזור סגור. הגילוי שלו, שהדם זורם בכל כלי דם רק בכיוון אחד, חיזק את המסקנה שיש מחזור סגור של זרימת דם בגוף.

התפיסה החדשה שהציע הארווי היתה אפוא זו:

הדם מתחיל מחזור של זרימה מהלב לתוך העורקים. הוא זורם בעורקים, ומגיע מקצות העורקים אל הווריד‍ים. בווריד‍ים נמשכת זרימת הדם בחזרה לעבר הלב.

כדי להסביר איך הלב מזרים את הדם, השתמש הארווי בדימוי של משאבה, שבימיו הייתה חידוש טכנולוגי שזכה לשימוש נרחב. הארווי כתב, כי בזמן שהלב מתכווץ, הוא דוחף את הדם לתוך העורקים, ובעת שהוא רפוי, הדם חוזר וזורם לתוכו מהווריד‍ים.

אך היה קושי בהסבר של הארווי: לא עלה בידו להראות כיצד מגיע הדם מהעורקים אל הווריד‍ים. בזמנו של הארווי עדיין לא הכירו את מערכת זרימת הדם במלואה. מערכת זו כוללת כלי דם זעירים ביותר - נימי דם, שאפשר לראותם רק במיקרוסקופ. בלי לדעת על קיומן של נימי הדם, אי-אפשר להראות איך זורם הדם מהעורקים לווריד‍ים, המחזירים אותו אל הלב.

בעת שהארווי היה עסוק במחקריו, עסק החוקר האיטלקי מרצ'לו מלפיגי (M. Malpighi), שחי בין השנים 1628 - 1694, בחקר מבנה הרקמות בבעלי חיים. זמן קצר לפני מותו של הארווי (1657) צפה מלפיגי בנימי דם דרך אחד מהמיקרוסקופים ששכלל. הארווי מת בלא שידע, כי כבר נמצאה הוכחה מוחשית לאישוש התיאוריה שלו בדבר המחזור הסגור.

שאלה 3

גילויו של הארווי מלמד על הבדל חשוב בין עורקים לווריד‍ים, בכל הנוגע לזרימת הדם בהם. מהו ההבדל?

הארווי נאלץ להיאבק מאבק קשה כדי שתגליותיו יזכו להכרה. בימיו היו לו מתנגדים רבים, אולם קולם נחלש בהדרגה ככל שרבו העדויות שתמכו בממצאיו. התמיכה החשובה ביותר הייתה, כמובן, גילוי נימי הדם הודות לשכלול המיקרוסקופ. מרגע שניתן היה להבחין בנימי דם, דעכה במהירות המחלוקת סביב מחזור הדם.

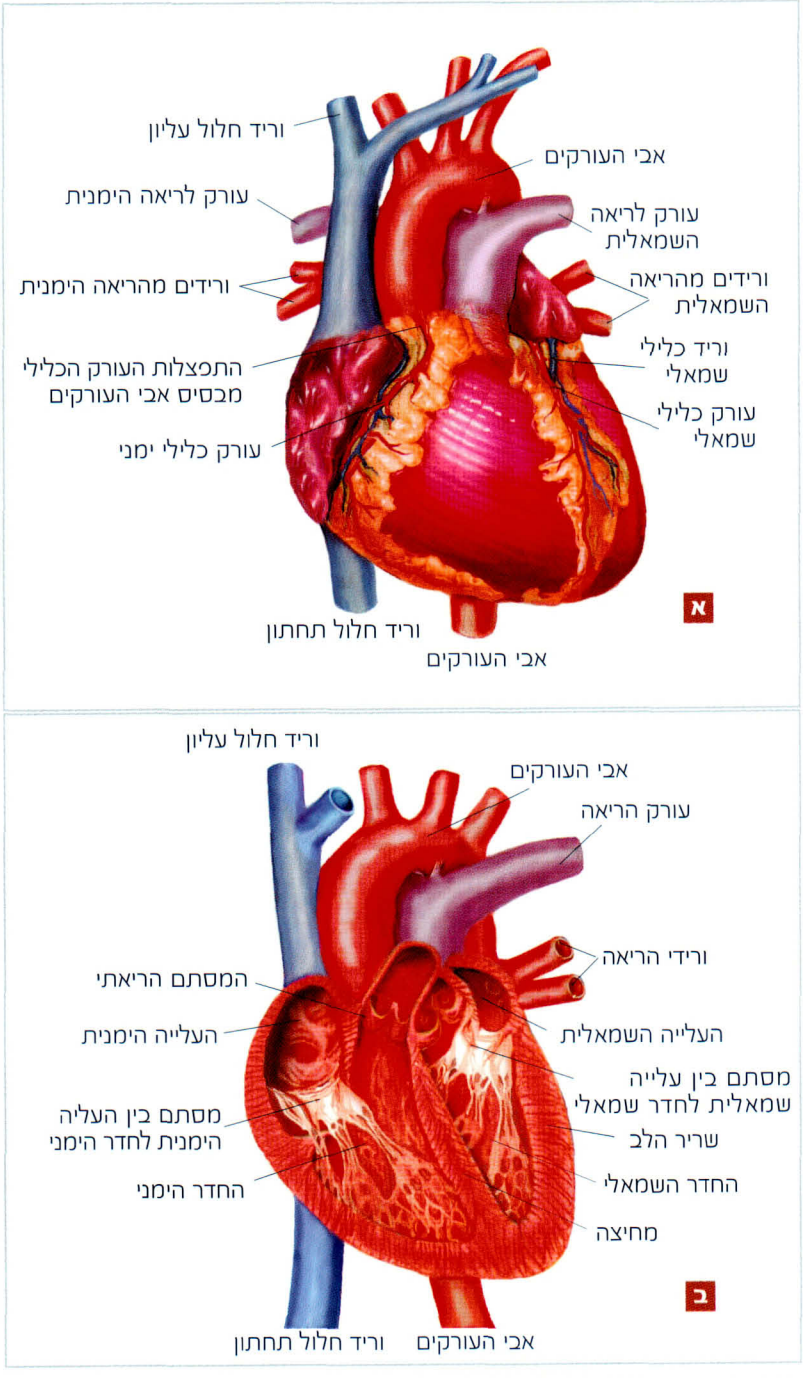
4.2 מערכת כלי הדם מורכבת ממשאבה ומרשת צינורות

היום יש בידינו תמונה שלמה של מערכת זרימת הדם. מערכת זו מכילה מספר עצום של צינורות מסועפים הנקראים כלי דם. במרכז המערכת נמצא **הלב** - הגורם המניע, הדוחף את הדם ומזרים אותו בכלי הדם. הדם הזורם בכלי הדם אינו יוצא מהם ואינו מתפזר בין הרקמות והתאים בגוף. כפי שקבע הארווי, אף שלא יכול היה להצביע על ההוכחה החותכת לכך, המערכת היא אכן סגורה.

דרכי הזרימה: עורקים, ורידים, נימים

שלושה סוגים של כלי דם נמצאים במערכת: עורקים, ורידים ונימים. כאמור, העורקים והווריד‌ים היו מוכרים לרופאים בעת העתיקה, ואילו הנימים התגלו רק לאחר אמצע המאה ה-17, בעקבות המצאת המיקרוסקופ.

תוכלו לשאול, אם הדם אינו יוצא כלל מכלי הדם, איך הוא מוביל חומרים שונים אל התאים בגוף? התשובה לשאלה זו תתברר לכם בהמשך הפרק, כשתכירו את דרך פעולתם של כלי הדם השונים.



איור 4.3
א. הלב וכלי הדם הגדולים (מבט מלפנים)
ב. מבנה הלב כפי שהוא נראה בחתך (מבט מלפנים)

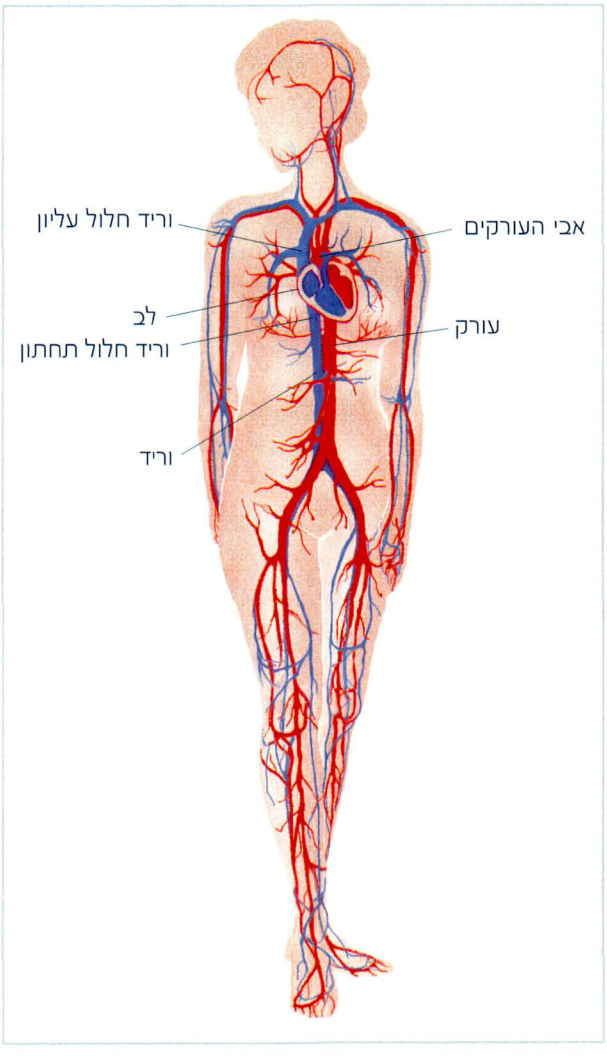
נפתח בסקירה כללית של המערכת, ונעקוב אחר זרימת הדם בתוכה, החל מהלב.

ראו באיור 4.3 את הלב ואת כלי הדם הקשורים אליו. כפי שאתם רואים באיור 4.3ב, הלב מחולק על-ידי מחיצה לשני חלקים: שמאלי וימני. בכל צד נמצאים שני מדורים: עלייה וחדר. מכל חדר יוצא עורק אחד, ולכל עלייה נכנסים ורידים. תנו דעתכם לכך, שהלב באיור הוא תמונת ראי: צד ימין של האיור הוא, למעשה, צד שמאל של הלב, וצד שמאל של האיור הוא צד ימין של הלב.

מהחדר השמאלי של הלב יוצא עורק גדול, למעשה זהו כלי הדם הגדול ביותר בגוף. עורק זה מכונה **אבי העורקים**, שכן כל העורקים בגוף מסתעפים ממנו. קוטרו של אבי העורקים הוא כ-2.6 ס"מ. סמוך מאוד למקום יציאתו מהלב מסתעף מאבי העורקים **העורק הכלילי הראשי** המזרים דם אל שריר הלב. בהמשך, אבי העורקים מתכופף בקשת כלפי מטה, לעבר הבטן. במקום הכיפוף מסתעפים ממנו שלושה עורקים גדולים. אחד משלושת הסעיפים של אבי העורקים פונה כלפי הצוואר והראש; שני האחרים פונים לצדדים, לעבר בית החזה והזרועות. אבי העורקים עצמו ממשיך כלפי מטה לאורך עמוד השדרה, ועורקים מסתעפים ממנו לעבר חלל החזה והבטן (איור 4.4).

כפי שרואים באיור 4.5, העורקים הגדולים מסתעפים בגוף לעורקים צרים יותר. אלה מסתעפים גם הם לעורקים הולכים וקטנים. הקטנים ביותר הם ה**עורקיקים** - אותם לא ניתן לראות באיור. באיור 4.6 ניתן לראות שמכל עורקיק מסתעפות נימי דם רבות, הפרושות כרשת רחבה וצפופה בין התאים. שימו לב לסוגרים שבמעבר בין העורקיקים לבין הנימים. נתייחס אליהם בהמשך.

נימי הדם מתכנסות בקצותיהן ל**ווריד‌ונים**, שהם כלי דם רחבים ועבים יותר. אלה מתלכדים לווריד‌ים, המתנקזים לווריד‌ים גדולים יותר ויותר. הדם הזורם בהם מגיע לווריד‌ים הגדולים ביותר. שני ורידים גדולים נראים באיורים 4.4 ו-4.5: **וריד חלול תחתון ווריד חלול עליון**. התחתון מנקז אל הלב דם החוזר מחלקי הגוף הנמצאים מתחת לבית החזה; הווריד העליון מנקז אל הלב דם המגיע מהראש ומחלקי הגוף העליונים. שני הווריד‌ים החלולים נפתחים לעלייה הימנית, והדם שנאסף מהגוף חוזר דרכם אל הצד הימני של הלב (איור 4.3ב).



איור 4.4
כלי הדם הראשיים בגוף - מראה כללי

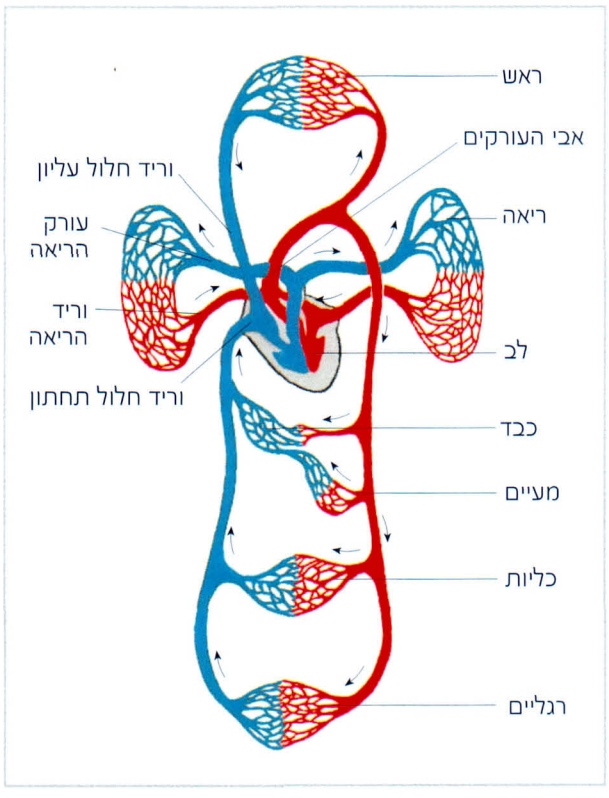
אלה 4

בתיאור שקראתם עקבתם אחר הדם שיצא מהלב וחזר ללב. האם אפשר לומר שהדם השלים מחזור שלם של זרימה? הסבירו את תשובתכם.

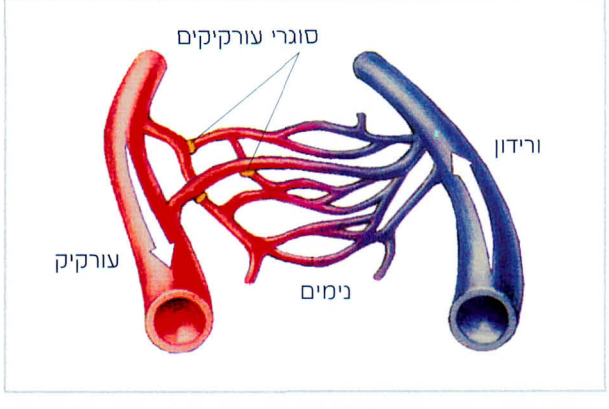
המסלול של זרימת הדם מהחדר השמאלי דרך הגוף ובחזרה לעלייה הימנית, מכונה **מחזור הדם הגדול** או **מחזור הגוף.** אך בכך לא הושלם מחזור זרימת הדם. מהעלייה הימנית זורם הדם לחדר הימני. משם הוא יוצא **לעורק הריאות.** עורק זה מסתעף סמוך לנקודת יציאתו מהלב לשני עורקים - אחד פונה לעבר הריאה הימנית ואחד לעבר הריאה השמאלית. הדם זורם בעורקי הריאות אל הריאות. העורקים בכל ריאה מסתעפים לעורקים קטנים יותר, ואלה מסתעפים לעורקיקים, המסתעפים לנימים.

אלה 5

א. היעזרו בפרק 3 כדי להסביר מה קורה לדם הזורם בנימים שבתוך הריאות.
ב. לפני שהדם חוזר לצדו השמאלי של הלב, הוא עובר בריאות. מה החשיבות של מעברו שם?



איור 4.5
מחזור הדם - סכמה



איור 4.6
הגדלה של המעבר עורקיק-נימה-ורידון

ג. תארו את הדרך שהדם חוזר בה מהריאות אל הלב.
ד. הסתכלו באיור 4.3ב והשלימו את שמות כלי הדם וחלקי הלב:
- כלי הדם בו זורם דם מכל ריאה לכיוון הלב נקרא _____ ,
- הדם המגיע מהריאות נכנס אל _____ של הלב,
- הדם מהריאות מגיע לצד שמאל / ימין של הלב

(סמנו את התשובה הנכונה).

המסלול של הדם מהחדר הימני של הלב אל הריאות, ומשם אל העלייה השמאלית נקרא **מחזור הדם הקטן** או **מחזור הריאות.** למעשה, רק כאשר הדם מגיע אל החדר השמאלי, הוא משלים מחזור זרימה מלא. במילים אחרות, מחזור הדם השלם כולל אפוא שני מחזורים: המחזור הגדול (מחזור הגוף) והמחזור הקטן (מחזור הריאות).

כלי הדם במבט מקרוב

בתחילת היכרותנו עם מערכת ההובלה דימינו אותה למערכת תחבורה ארצית. במהלך התיאור פגשנו בשלושה סוגים של "כבישים" או "דרכים" - הלוא הם שלושת הסוגים של כלי הדם שלנו: העורקים, הווריד והנימים. עכשיו נתבונן בהם מקרוב, בעזרת איור 4.7 המופיע להלן.

שאלה 6

התבוננו באיור 4.7 וזהו את ההבדלים הבולטים במבנה של כלי הדם השונים.

- מהו מספר השכבות שאפשר להבחין בהן בדופן כל אחד מכלי הדם?

השוו בין עורק לבין וריד על פי הנקודות הבאות:

- עובי השכבות השונות?
- לאיזה כלי דם יש קוטר חיצוני גדול יותר?
- לאיזה כלי דם קוטר פנימי גדול יותר?
- האם יש או אין מסתמים?

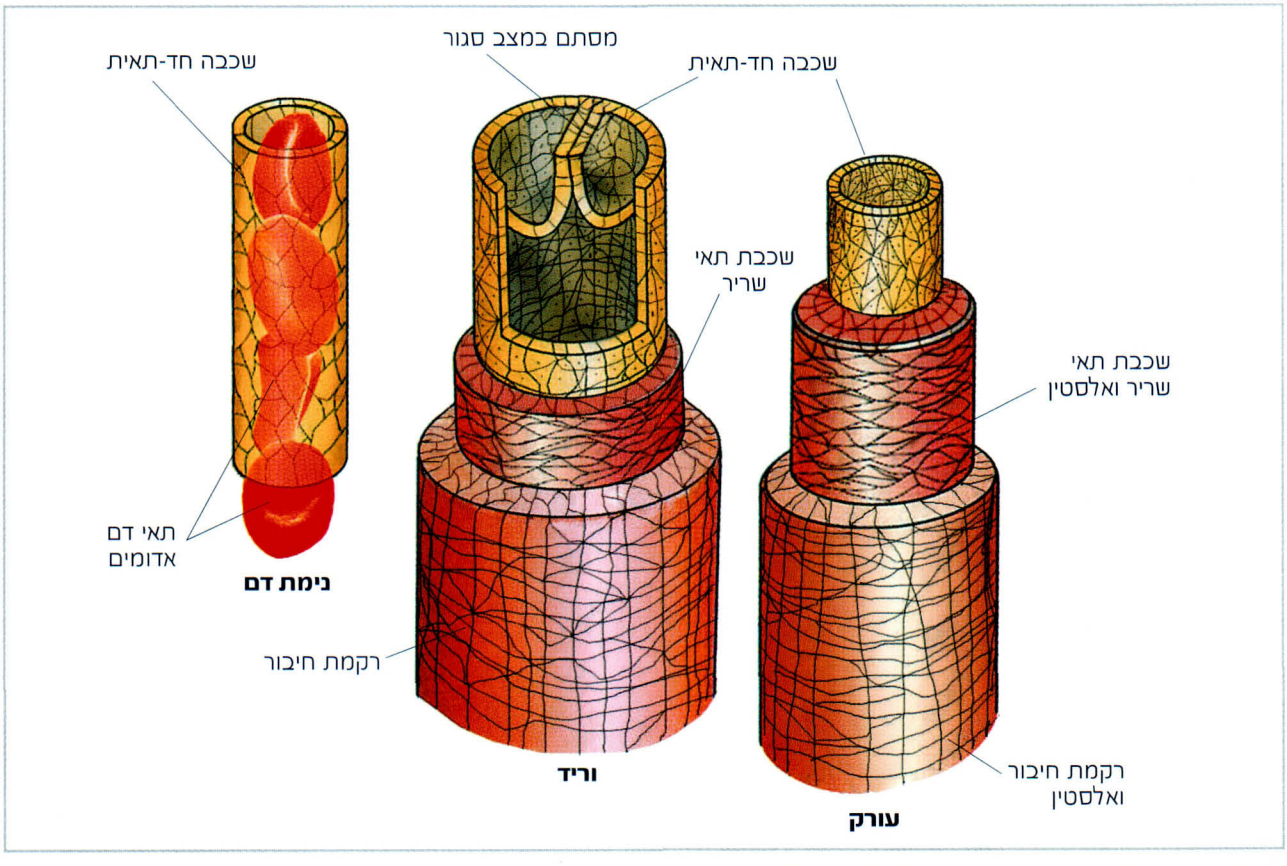
כפי שראיתם באיור 4.7, דפנות העורקים הן העבות ביותר, ומכילות חומר גמיש - אלסטין - שאינו נראה באיור. דפנות הווריד דקות מהן. לאורך הדפנות הפנימיות של הווריד נמצאים **מסתמים** - זוג יריעות דקות של רקמה - המאפשרים זרימה בכיוון אחד בלבד. דפנות הנימים דקות ביותר ובנויות משכבה אחת שטוחה של תאים.

כאמור, מעבר לכל ההבדלים במבנה בין העורקים לווריד, ידוע לנו כבר מימיו של הארווי, כי בכל העורקים זורם דם מהלב לעבר חלקי גוף אחרים, ובכל הווריד זורם דם מחלקי גוף שונים אל הלב. שימו לבכם לכך, שכיוון הזרימה של הדם הוא הבסיס להגדרתם של העורקים והווריד ולא תכולת החמצן שבו. בנימים כיוון זרימת הדם הוא מעורקיק לווריד.

ההבדלים במבנה בין העורקים לווריד ולנימים ממחישים היטב את תופעת ההתאמה בין תפקוד האיבר לבין מבנהו.
הדם הזורם בעורקים נדחף מהלב בלחץ חזק, ומגיע בתוך זמן קצר מאוד (פחות מדקה) אל כל תאי הגוף. הדפנות העבות והאלסטיות של העורקים מאפשרות התרחבות של העורקים וחזרתם לקוטר המקורי. האלסטיות מקנה עמידות ללחץ הדם ומאפשרת את הזרימה המהירה. יש אפוא התאמה בין מבנה העורקים לאופן זרימת הדם בהם. התאמה זו של המבנה לתפקוד מתגלה גם בווריד ובנימים: הזרימה בווריד בכיוון אל הלב איטית הרבה יותר מאשר בעורקים, ונעשית בלחץ נמוך בהרבה מזה שבעורקים. דפנות הווריד בעלות האלסטיות הנמוכה עומדות בה בלא קושי. המסתמים בדפנות הווריד מאפשרים זרימה בכיוון אחד בלבד, ומונעים זרימת דם בכיוון ההפוך, גם במקרים של הפרעה פתאומית בזרימת הדם.
הדפנות הדקיקות החד-שכבתיות של הנימים מאפשרות מעבר של חומרים מהדם אל התאים, כפי שנתאר בהמשך הפרק.

חומרים מובלים בנבכי ה"צנרת"

העורקים, הווריד, העורקיקים והווריד ונים - הם דרכי ההובלה הראשיות: הם מאפשרים זרימה, אך לא מתרחש בהם מעבר של חומרים בין הדם לבין תאי הגוף. פעולות ההעברה - כלומר, ה"פריקה" וה"העמסה" - של חומרים שונים (כגון חמצן, פחמן דו-חמצני או תוצרי עיכול) מהדם לתאים ברחבי הגוף, ומהם אל הדם, מתרחשות רק בנימי הדם. נראה, לדוגמה, כיצד הדם מתווך בין מערכת חילופי הגזים לבין שאר חלקי הגוף. לשם כך, נעקוב

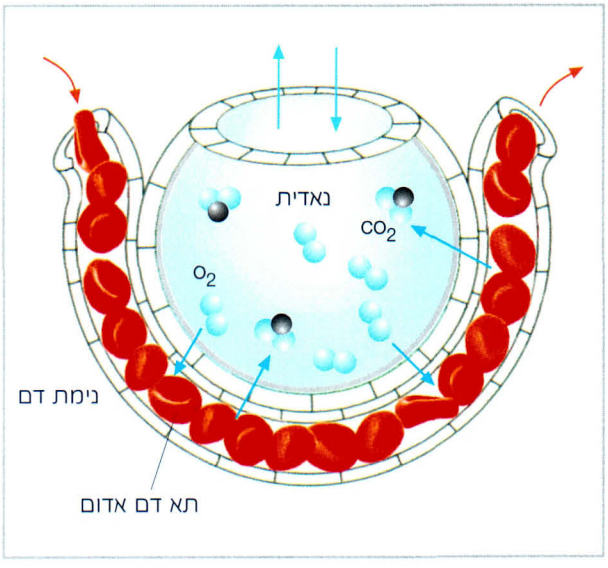


איור 4.7
שלושה סוגים של כלי דם: עורק, וריד ונימת דם (הממדים של נימת הדם באיור אינם בקנה מידה זהה לממדים של העורק והווריד)

אחר מולקולות של חמצן שהגיעו לאחת הריאות ועברו ממנה לדם.

התבוננו באיור 4.8, המוכר לכם מפרק 3.

מולקולות החמצן שאנו עוקבים אחריהן (כמו כל האחרות) עוברות בדיפוזיה מהאוויר שבנאדית הריאה לתוך אחת מנימי



איור 4.8
חמצן עובר מנאדית ריאה לנימת דם

הדם המקיפות אותה. בדם נמצאים תאים המכונים תאי דם אדומים ("כדוריות אדומות" בשפה לא-מדעית). מולקולות החמצן הנכנסות לנימה, נקשרות בתוך תאי הדם האדומים. הדם, עם התאים והחמצן שבתוכם, עובר בתוך מחצית השנייה מרחק של מילימטר, שהוא אורכה הממוצע של נימת דם. מהנימה זורם הדם בווריד לווריד הנמצאים בריאה, עד הגיעו לוריד הריאה. דרך וריד הריאה מגיעות מולקולות החמצן אל צדו השמאלי של הלב.

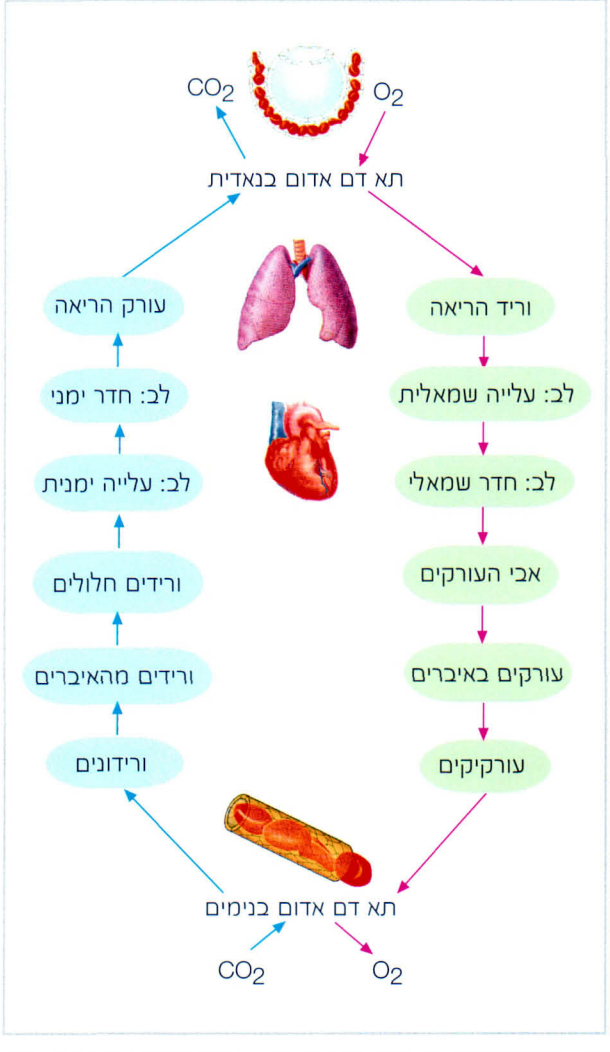
תאי הדם עם מולקולות החמצן שבתוכם עוברים מהעלייה השמאלית לחדר השמאלי, וממנו הם יוצאים לאבי העורקים. עתה מתחילות מולקולות החמצן את מסען במחזור הגוף, בתוך תא דם אדום: מעורק גדול לעורק קטן יותר, וממנו, דרך עורקים ועורקיקים, לנימת דם הסמוכה לתא כלשהו באחת הרקמות בגוף. תוכלו לעקוב אחר מסען של מולקולות החמצן בגוף בעזרת איור 4.9.

כאשר הדם נמצא בתוך נימת דם, מולקולות החמצן משתחררות מתא הדם האדום, עוברות בדיפוזיה דרך דופן הנימה לחומר החוץ-תאי, וממנו הן חודרות בדיפוזיה אל התאים ברקמה. בכך מסיימות חלק ממולקולות החמצן את מסען במערכת ההובלה. רבות אחרות נשארות בתוך תאי הדם ולא מגיעות לתאים. מולקולות אלה ימשיכו את דרכן בתוך מחזור הדם, ויחזרו דרך הווריד ללב.

בו-בזמן, מולקולות של פחמן דו-חמצני, שהתא פלט בנשימתו, מגיעות גם הן בדיפוזיה אל נימת דם הסמוכה לתא (איור 4.9). מולקולות אלה יינשאו בדם מהנימה לווריד כלשהו, ויגיעו דרך הווריד אל העלייה הימנית ואל החדר הימני של הלב. מהחדר הימני יעברו מולקולות הפחמן הדו-חמצני עם הדם בעורק הריאות אל אחת הריאות. שם הן יעברו לעורקיקים ולנימי דם הנמצאות סביב נאדיות הריאה.

בריאות, כזכור לכם, מתרחשים חילופי גזים (ראו פרק 3). רוב מולקולות הפחמן הדו-חמצני שעקבנו אחריהן יעברו בדיפוזיה מנימת דם אל אחת מנאדיות הריאה, וייפלטו החוצה לאוויר.

מסעם של החמצן והפחמן הדו-חמצני בגוף מדגים את התפקיד המרכזי שיש לדם כ"מוביל המרכזי" של חומרים בגוף וכ"מתווך הראשי" בין כל מערכות הגוף. אילו התחלנו את המעקב שלנו במעיים, למשל, ולא בריאות, היינו יכולים לעקוב אחר מולקולות של גלוקוז, או של חומצה אמינית. מולקולות אלה, הנמצאות במעי לאחר שהסתיים עיכול המזון, עוברות לנימי דם בדופן המעי הדק ומהן לתאי הגוף. שם הן משתתפות בתהליכים המתרחשים בתאים. עם זאת, חשוב לציין, כי בעוד החמצן נכנס לתוך תאי הדם האדומים, שאר החומרים העוברים בדם מומסים בנוזל ואינם נקשרים בתוך תאי הדם. כך הדבר לגבי חלבונים הנוצרים בכבד; לגבי גלוקוז שהתקבל מפירוק פחמימות במערכת העיכול; לגבי הורמונים הנוצרים בבלוטות במקומות שונים בגוף ומופרשים לדם (עליהם תלמדו בהמשך); ולגבי עוד חומרים רבים מאוד, הנוצרים ברקמות הגוף השונות. כל החומרים האלה נמצאים בדם, ובאמצעותו הם מגיעים לתאים, לרקמות ולאיברים המרוחקים מהמקום בו נוצרו. בדרך זו מתווך הדם בין מערכות גוף ומגשר בין תהליכים המתרחשים במקומות שונים בגוף. איור 4.10 מתאר את התפקוד של מערכת הדם כמוביל ראשי.



איור 4.9
מעקב אחר מסע החמצן והפחמן הדו-חמצני במחזור הדם

עוד על...

קילומטרים של נימים

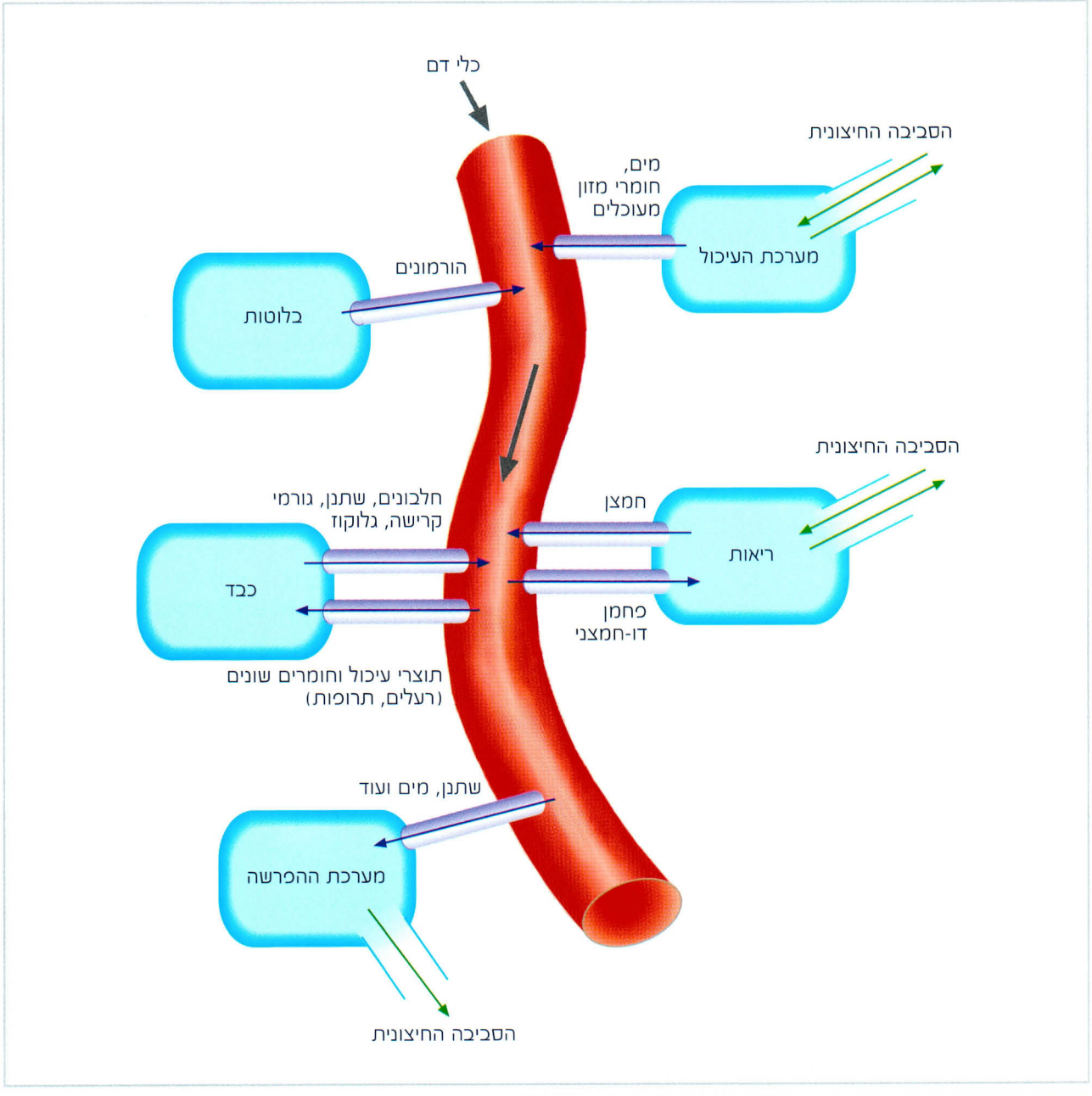
מספר נימי הדם בגוף הוא עצום, אם כי צפיפותן אינה זהה בכל הרקמות. במילימטר מעוקב של רקמת שריר, למשל, יש בין 1400 ל-4000 נימי דם. אורכה של נימת דם ממוצעת הוא כמילימטר. אם נחבר את כל נימי הדם שבגופנו בקצותיהן, נקבל צינור שאורכו כ-100,000 ק"מ (פי 2.5 מהיקף כדור הארץ).

כאמור, הנימים פרושות ברשת רחבה מאוד בכל הגוף. מרבית תאי הגוף קרובים ביותר לנימי הדם שברקמה. המרחק בין תא כלשהו ברקמה לבין נימת הדם הקרובה ביותר אינו עולה על 150 מיקרומטר - מרחק השווה לקוטרם של כעשרה תאים בעלי גודל ממוצע.

150 מיקרומטר (0.15 מ"מ) - המרחק המרבי בין תא לבין נימת הדם הקרובה - הוא המרחק המרבי שמולקולת חמצן יכולה לעבור בדיפוזיה בתוך זמן קצר העונה על צורכי הנשימה של התאים. דיפוזיה למרחק גדול מזה נמשכת זמן רב מדי, ואינה יכולה לספק את צורכי הנשימה של התאים הרחוקים מהנימה.

יש מעט מקומות בגוף בהם תאים מרוחקים מנימי דם מרחק גדול מ-150 מיקרומטר. בקרניות העיניים אין כלל נימי דם, תאי הקרניות ניזונים מהנוזל הממלא את כדור העין. גם בתוך הסחוסים - למשל, במפרקים, בקצה האף, בתנוכי האוזניים ובין חוליות עמוד השדרה - אין פרישה של נימי דם.

בשל הריבוי העצום של נימי דם בין התאים, אין הכרח שהדם יזרום בכל רגע דרך כל הנימים ברקמה. למעשה, כשהגוף נמצא במצב מנוחה, הדם זורם רק בכ-20% מכלל הנימים, וכל השאר ריקות מדם וסגורות (ראו את הסוגרים באיור 4.6).



איור 4.10
הדם כמוביל הראשי בגוף

אלה 7

אם תופעת הריבוי של נימי הדם נראית לכם כבזבוז, תארו לעצמכם את המצב הזה:
אדם שוכב ונח, וזבוב מעופף מעליו; האדם מרים יד אחת, ומנפנף בה קלות.

א. נסו לנחש: האם 80% מהנימים המזינות את שרירי הזרוע עדיין סגורות?

ב. נניח שהזבוב לא נבהל, והאדם הנרגז מתחיל לנפנף בידו בכוח לכל הכיוונים. איזה שינוי עשוי להתרחש, לדעתכם, במספר הנימים הנפתחות ומתמלאות דם?

ג. נסו להסביר מה היתרון הכרוך בריבוי הנימים ובאפשרות לסגור אותן.

העמקה

תופעת הריבוי כאמצעי ויסות

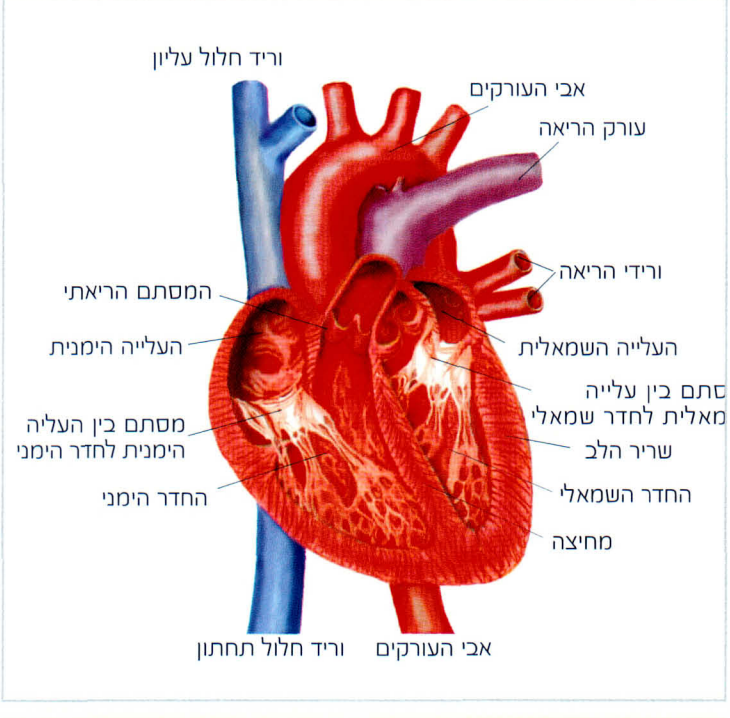
ריבוי הנימים ואפשרות סגירתן ממחישים תופעה ביולוגית מעניינת: אפשר לכנותה "חיסכון פיזיולוגי". יש הרבה מאוד נימי דם בגוף, הרבה יותר מכפי שנדרש כדי לספק לתאים חמצן וחומרי מזון בעתות מנוחה, או פעילות מתונה. ואכן, כשאין צורך בכך, רוב הנימים פשוט "לא משחקות"; אך לעומת זאת, בשעת הצורך, הנימים "הנחות" יכולות להיפתח באופן מיידי ולאפשר הזרמת דם, בתגובה לצרכים המשתנים של התאים. הריבוי העצום של הנימים מקנה לגוף מרחב תמרון גדול מאוד, ומאפשר ויסות מדויק ביותר של כמות הדם שתזרום אל האזור הפעיל, בהתאמה מלאה לצרכיו.

4.3 הלב - שתי משאבות הפועמות כאחת

לאחר שהכרנו את מערכת הזרימה, הגיע הזמן לבחון מקרוב את הגורם המניע - הדוחף ומזרים את הדם בכלי הדם.
הלב הוא איבר הבנוי כמעט כולו שרירים. הוא אינו גדול ומרשים כמו שרירי הענק שיש למתאבקים ולמרימי משקולות לאורך הזרועות והירכיים, אך כפי שתיווכחו, הוא בעצם השריר החזק ביותר בגוף. גודלו של הלב כגודל אגרופו של האדם שבגופו הוא נמצא. ראיתם כבר, כי ללב יש שני צדדים, שמאלי וימני, המופרדים על-ידי מחיצה, ובכל צד נמצאים שני מדורים: עלייה וחדר. עתה נכיר אותם מקרוב.

הלב בנוי מארבעה מדורים

איור 4.11 הוא תזכורת למבנה של פנים הלב, שכבר ראיתם באיור 4.3 ב.



איור 4.11
מראה פנים הלב

חדרי הלב הם חללים המוקפים בדפנות עבות ושריריות. דפנות החדר השמאלי עבות יותר מאלה של החדר הימני. לעליות יש דפנות דקות יותר ושריריות פחות מאלה של החדרים.
התבוננו באזור המעבר שבין עלייה לחדר, המופיע באיור. בין כל עלייה לחדר מפריד **מסתם**, המאפשר לדם לזרום בכיוון אחד בלבד - מהעלייה אל החדר.
עוד אפשר לראות באיור, כי מכל חדר יוצא עורק יחיד. מהחדר השמאלי יוצא אבי העורקים, ומהחדר הימני יוצא עורק הריאות.
החדר השמאלי, שדפנותיו עבות מאוד, מסוגל להתכווץ בעוצמה רבה. דפנות החדר הימני דקות יותר ועוצמת התכווצותן קטנה יותר. גם בפתחו של כל עורק נמצא מסתם. הוא מאפשר לדם לזרום רק בכיוון אחד: מהחדר לעורק.
הלב הוא, למעשה, שתי משאבות הפועלות כאחת. כל חדר מהווה משאבה הדוחפת את הדם לכיוון אחר: החדר השמאלי דוחף את הדם לאבי העורקים, ולמעשה, לכל העורקים במחזור הגוף; ואילו החדר הימני דוחף את הדם לעורק הריאות, ובהמשך לכל העורקים במחזור הריאות. שני החדרים דוחפים את הדם לשני מסלולי זרימה שונים מאוד באורכם ובמספר הכולל של כלי הדם שהדם זורם דרכם. עובי שרירי החדרים מותאם, אפוא, למסלולים שהם מזרימים את הדם אליהם.
אולם, אף שכל חדר מהווה משאבה נפרדת, שניהם פועלים בעת ובעונה אחת, כמנגנון שאיבה אחד. יתר על כן, חדר אחד של הלב כלל אינו מסוגל לפעול בנפרד מהחדר האחר; פעולות השאיבה של שניהם תלויות תלות מוחלטת זו בזו.

אלה 8

א. מנו את ההבדלים בין החדרים לעליות ובין החדר השמאלי לחדר הימני של הלב.

ב. קראו שנית את תיאור מחזור הדם, המופיע בעמודים 72-73. במה מתבטאת ההתאמה בין המבנה של כל חדר בלב לבין תפקודו?

הרחבה

התפתחות מבנה הלב במהלך האבולוציה

כאמור, ליונקים, שהאדם נמנה עמם, וכך גם לעופות, יש לב הבנוי מארבעה מדורים. מבנה זה של הלב התפתח לאורך האבולוציה של החולייתנים, כפי שתוכלו לראות באיור 4.12. לדגים יש לב הבנוי כצינור שיש בו שתי התרחבויות: הצינור נפתח לחלל - העלייה - וזו נפתחת לחלל נוסף שהוא החדר. כאשר החדר מתכווץ הוא מזרים את הדם לעורק הראשי. הדם זורם ברצף מעגלי מהעורק הראשי דרך הזימים אל איברי הגוף, מהם אל העלייה וממנה אל החדר. (דרך אגב, לעובר של אדם בן שלושה שבועות יש לב דומה מאוד ללב של דג).

לדו-חיים יש לב מורכב יותר: יש בו שתי עליות מופרדות לחלוטין, אך בניגוד ללב של אדם, יש בו רק חדר אחד. מן החדר מוזרם הדם בשני עורקים נפרדים אל הגוף ואל הריאות. מהגוף חוזר הדם אל העלייה הימנית ומהריאות הוא חוזר לעלייה השמאלית. משתי העליות עובר הדם לחדר היחיד ושם מתערבב הדם המחומצן עם הדם הדל בחמצן ולכן הדם המסופק לגוף הוא דם מעורבב.

הפרדה מוחלטת בין דם מחומצן המגיע מהריאות, ונמצא רק בצד שמאל של הלב, לבין דם לא מחומצן המגיע מהגוף, ונמצא רק בצד ימין של הלב, הופיעה לראשונה באבולוציה אצל העופות; היא קיימת רק אצלם ואצל היונקים, שלבבותיהם, כזכור, בעלי ארבעה מדורים נפרדים זה מזה.

נבחן מה משמעותה של ההפרדה: בדו-חיים כל תא מתאי הגוף מקבל פחות חמצן מכפי שהיה יכול לקבל אלמלא הערבוב בין דם מחומצן לבין דם דל בחמצן. בעופות וביונקים מאפשרת ההפרדה אספקת חמצן יעילה יותר לתאים. אספקת חמצן יעילה היא אחד התנאים הדרושים לשמירה על טמפרטורת גוף קבועה וגבוהה מטמפרטורת הסביבה כפי שהיא קיימת באדם. (עוד על כך בעמוד 90).

בכל פעימת לב המדורים מתכווצים

הבה נעקוב אחר פעולת המשאבות, הידועה יותר בשם **פעימת הלב**. פעימת הלב היא תהליך מחזורי, אך כדי לתארו עלינו להתחיל מנקודה מסוימת. נפתח ברגע שבין שתי פעימות, כשהלב רפוי (ראו איור 4.13).

הרפיה

הלב נח. שריר הלב רפוי. דם זורם מווריד הריאות לעלייה השמאלית, ומהווריד החלולים, המנקזים את כל הדם מהגוף, לעלייה הימנית. המסתמים בין העליות לחדרים פתוחים, הדם ממלא את העליות ומתוכן הוא זורם לחדרים, המתמלאים בהדרגה. שלב זה של הפעימה מכונה **דיאסטולה** ונמשך כ-0.3 שניות.

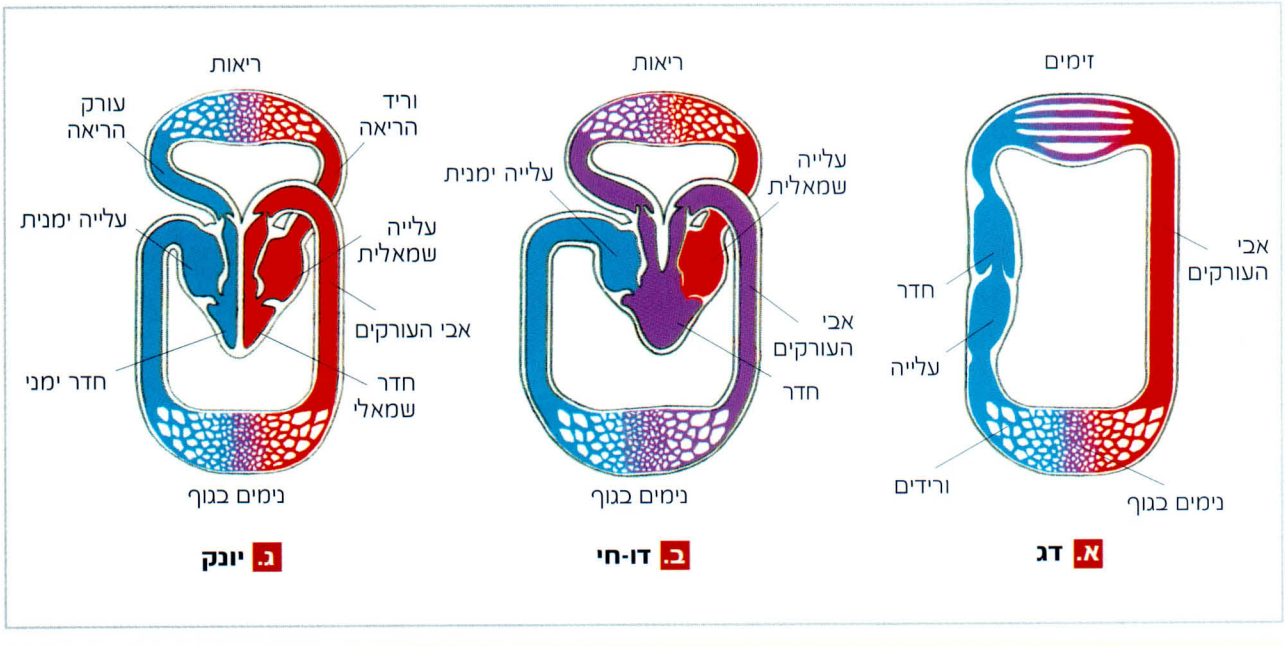
התכווצות העליות ומילוי החדרים

ההרפיה, שנמשכה רק כ-0.3 שניות, נקטעת בבת-אחת. העלייה הימנית והעלייה השמאלית מתכווצות כמעט ביחד (הימנית מקדימה במאית שנייה). בהתכווצותן הן דוחפות "מנה" אחרונה של דם לחדרים.

התכווצות החדרים

לחצו של הדם, הממלא את החדרים, גובר. המסתמים בין העליות לחדרים נסגרים בבת-אחת. החדרים המלאים דם מתכווצים בעוצמה רבה. מסתמי העורקים נפתחים, והדם זורם בגל חזק מהחדר השמאלי לאבי העורקים, ומהחדר הימני לעורק הריאות. הלחץ שנוצר בתוך פתחי העורקים סוגר את המסתמים בדפיקה, והדם אינו יכול לחזור לחדרים. ההתכווצות של העליות ושל חדרי הלב נקראת **סיסטולה**. כל שלבי הסיסטולה נמשכים 0.55 שניות בקירוב.

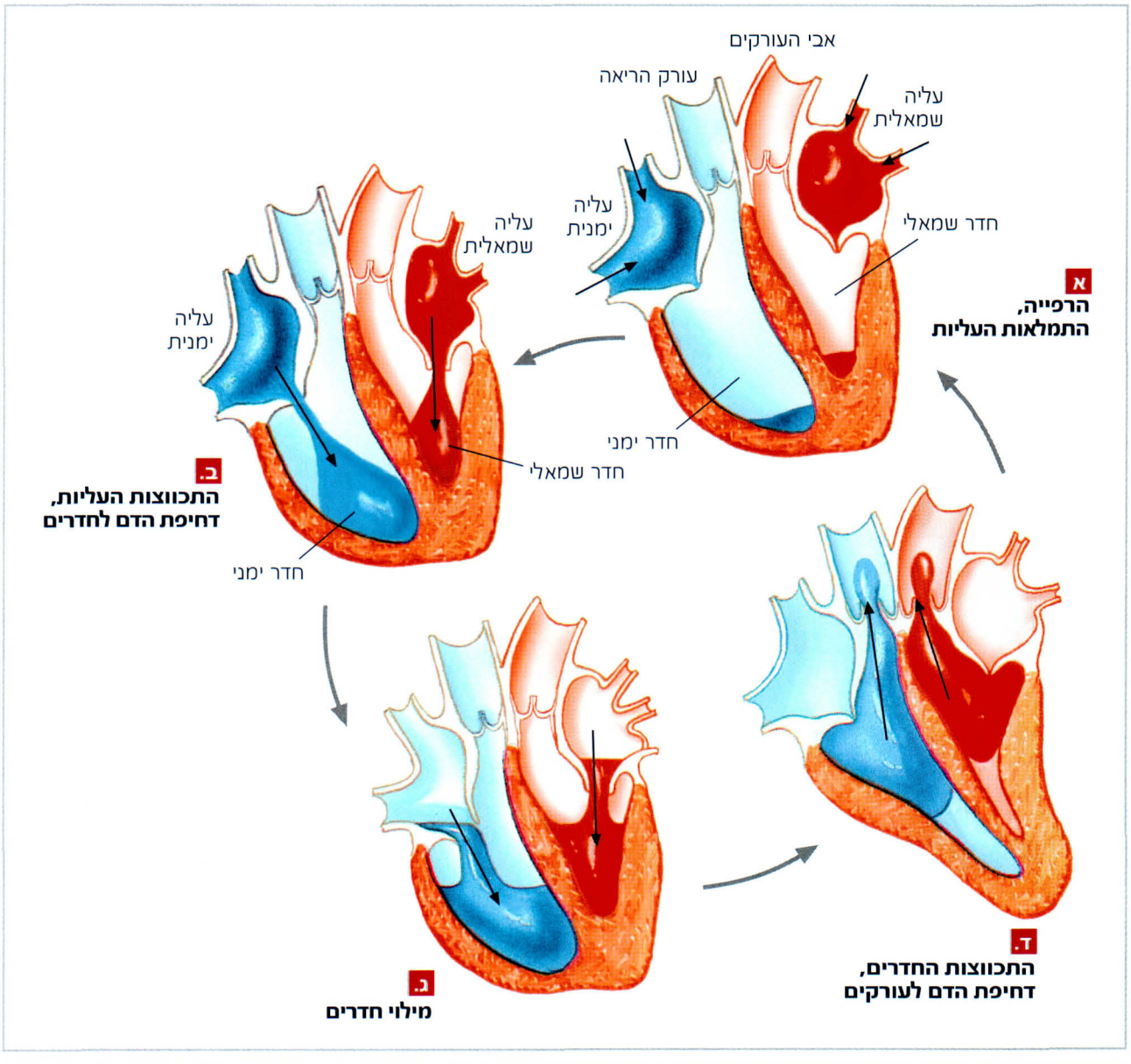
עם תום שלבי הסיסטולה הלב חוזר להרפיה וחוזר חלילה. במצב מנוחה הלב פועם כ-70 פעימות בדקה. כל מחזור פעימה שלם נמשך אפוא כ-0.85 שניות. חשוב לזכור, כי קצב של 70 פעימות בדקה הוא קצב ממוצע. אצל אנשים שונים, הקצב עשוי להיות שונה במקצת.



איור 4.12

מבנה לבבות של דג, צפרדע ויונק

מקרא: אדום - דם עשיר בחמצן; כחול - דם עני בחמצן; סגול - דם מעורבב



איור 4.13

מחזור פעימה אחד:

א - דיאסטולה, **ב,ג,ד** - סיסטולה (וכל זה בפחות משניה אחת!)

הרחבה

"דפיקות הלב" הן צלילי סגירת המסתמים

הצלילים הקצביים של פעימת הלב מוכרים לכל אחד. בפעימה של לב בריא אנו שומעים שני קולות: תחילה צליל דפיקה רפה ואחריו דפיקה חזקה יותר. הצליל הראשון, הרפה יותר, הוא קול סגירתם של המסתמים בין העליות לחדרים. הצליל השני, שאפשר לחוש בו לעתים ברגעי מאמץ או התרגשות גדולה ("אוי, הלב שלי דופק נורא"), הוא צליל סגירתם של המסתמים בין החדרים לעורקים, מייד לאחר שהדם יוצא לעורקים, בסוף הסיסטולה. השקט המשתרר בעקבותיה מציין את ההרפיה (הדיאסטולה), הנמשכת עד לתחילת הפעימה הבאה.

רופאים, המקשיבים לפעימות הלב בעזרת סטטוסקופ, מקבלים מידע חשוב על בריאותו של האדם. ראשית, יש חשיבות לעצם הסגירה של המסתמים. תנועת סגירה לא חלקה לחלוטין של מסתמי העליות נשמעת כמעין רחש קל הנלווה לצליל הדפיקה. רחש זה מכונה "רשרוש". לא כל רשרוש קל בסגירת מסתמי העליות מעיד על בעיה. רשרוש חזק, המלווה ברחשי זרימה, עשוי להעיד על כך שמסתמי העליות פגועים ומניחים לכמות קטנה של דם לחמוק בחזרה לעליות. במקרה כזה עורכים בדיקות נוספות, כדי לאמוד את מידת הפגיעה במסתמים, וכדי לבדוק האם יש צורך בטיפול מיוחד. הדפיקות הנשמעות בעת סגירת המסתמים מאפשרות לרופאים להבחין גם בסטיות מהקצב הסדיר של פעימות הלב. גילוי של הפרעות בקצב מחייב בדיקות נוספות לבירור הגורם להפרעות אלו.

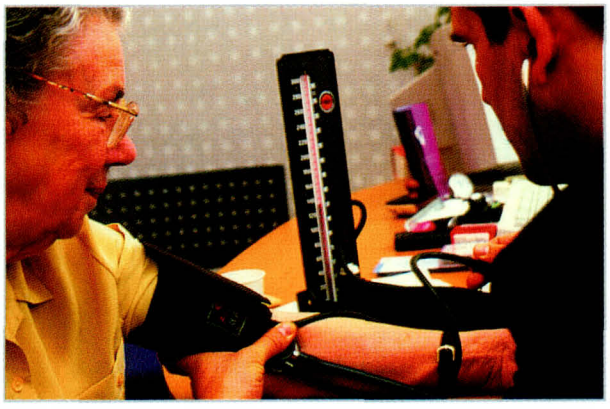
זרימת הדם בגוף תלויה בלחץ הדם

פעולת הדחיפה של הלב וקוטרם הצר של העורקיקים, הגורם להתנגדות לזרימת הדם, יוצרים לחץ ניכר על דפנות העורקים. ללחץ זה אנו מתכוונים כשאנו מדברים על **לחץ דם**. הדם זורם תמיד מאזור בו לחצו גבוה לאזור בו לחצו נמוך יותר. הלחץ הגבוה ביותר שורר בנקודת היציאה של הדם מהלב לעורקים, והלחץ הנמוך ביותר שורר בנקודת הכניסה של הווריד הגדולים לעלייה הימנית של הלב. לחץ הדם בעורקים חייב להיות גבוה במידה מספקת, כדי לאפשר זרימה של הדם בכל המחזור במהירות שתספק את צורכי הגוף. ככלל, לחץ הדם בעורקים גבוה בהרבה מלחץ הדם השורר בווריד.

שאלה 9

בשאלה 6 בעמוד 74 השוויתם בין מבניהם של כלי הדם. איזה קשר קיים, לדעתכם, בין העובי השונה של הווריד והעורקים לבין לחצי הדם השוררים בכל אחד הם?

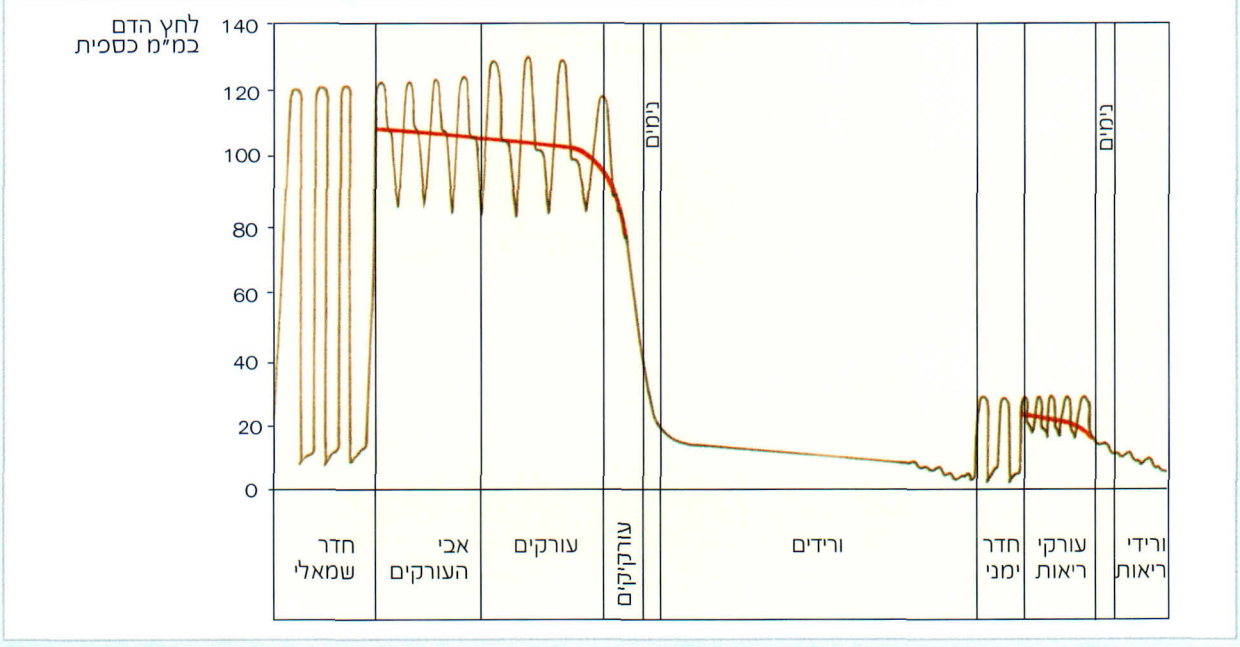
אולם הלחץ בעורקים אינו קבוע. הוא עולה ויורד בקביעות בהתאם לפעימת הלב: בסיסטולה, שלב התכווצות החדרים, כאשר הדם ממלא את העורקים, לחץ הדם מגיע לשיא. מייד אחר-כך, בדיאסטולה, לחץ הדם יורד לערך נמוך יותר.
לחץ הדם הנמדד בעורקים הגדולים בעת הסיסטולה נקרא לחץ דם סיסטולי, וערכו הממוצע אצל אנשים בריאים הוא 120. לחץ הדם הנמדד בשלב הדיאסטולה נקרא לחץ דם דיאסטולי, וערכו הממוצע אצל אנשים בריאים הוא 80 (המספרים הם ביחידות של מ"מ כספית - יחידה המשמשת למדידת לחץ). שני המספרים האלה, 120 ו-80, מתארים לחץ דם במצב מנוחה.
למעשה, לחץ הדם בעורקים תלוי במה שאנחנו עושים בכל זמן נתון. ככלל, כל דבר שגורם ללב לפעום במהירות מוגברת, מגדיל את לחץ הדם. כך, פעילות גופנית, התרגשות, או כעס מעלים באופן זמני את לחץ הדם. גם הצרת קוטרם של העורקים מגבירה את לחץ הדם.



איור 4.14
מדידה של לחץ דם

שימת אתגר

העקומה באיור 4.15 מראה את לחצי הדם בעורקים, בנימים ובווריד במחזור הגוף ובמחזור הריאות. הקו האדום מציין את הערך הממוצע של לחץ הדם בעורקים. קו זה נועד להבליט את הירידה ההדרגתית בלחץ הדם בעורקים.
התבוננו בעקומה וענו על השאלות המופיעות בעקבותיה.



איור 4.15
לחץ הדם בעורקים, בווריד ובנימים

א. יש הבדלים גדולים בין לחצי הדם בשני חדרי הלב. הסבירו את הקשר בין נתון זה לבין מבנה החדרים ותפקידם.
ב. בעקומה רואים שתנודות לחץ הדם באבי העורקים קיצוניות יותר מתנודות הלחץ בעורקי הריאות. הציעו הסבר לכך.
ג. בעקומה רואים שבעורקים יש תנודות קיצוניות בלחץ הדם, בעוד שבווריד ובנימים, הלחץ פחות או יותר קבוע. הציעו הסבר לכך.

הרחבה

לשתות בשביל הלחץ

הזרימה הסדירה של הדם במחזור הדם תלויה בכך שיהיה לחץ דם תקין בעורקים. כאמור, הגורמים הראשיים ללחץ הדם הם כוח השאיבה ודחיפת הדם על-ידי הלב, והתנגדות כלי הדם הצרים, בעיקר העורקיקים, לזרימה. אולם הלחץ הכולל של הדם בכל ה"צנרת" יכול להשתנות גם אם יחול שינוי ניכר בכמות הכללית של הנוזל. איך יכול להתרחש שינוי כזה? איבוד נוזלים ממערכת הדם יכול לקרות בשני מצבים: האחד - אובדן דם רב בשל פציעה; השני - אובדן נוזלים בעת התייבשות.

כל אובדן ניכר של נוזלים, אם בשל פציעה, אם בשל התייבשות, מוריד את לחץ הדם ירידה ניכרת. כאשר הלחץ נמוך מאוד, מהירות הזרימה של הדם במחזור יורדת מאוד. הסכנות הגדולות ביותר הן שתיים:

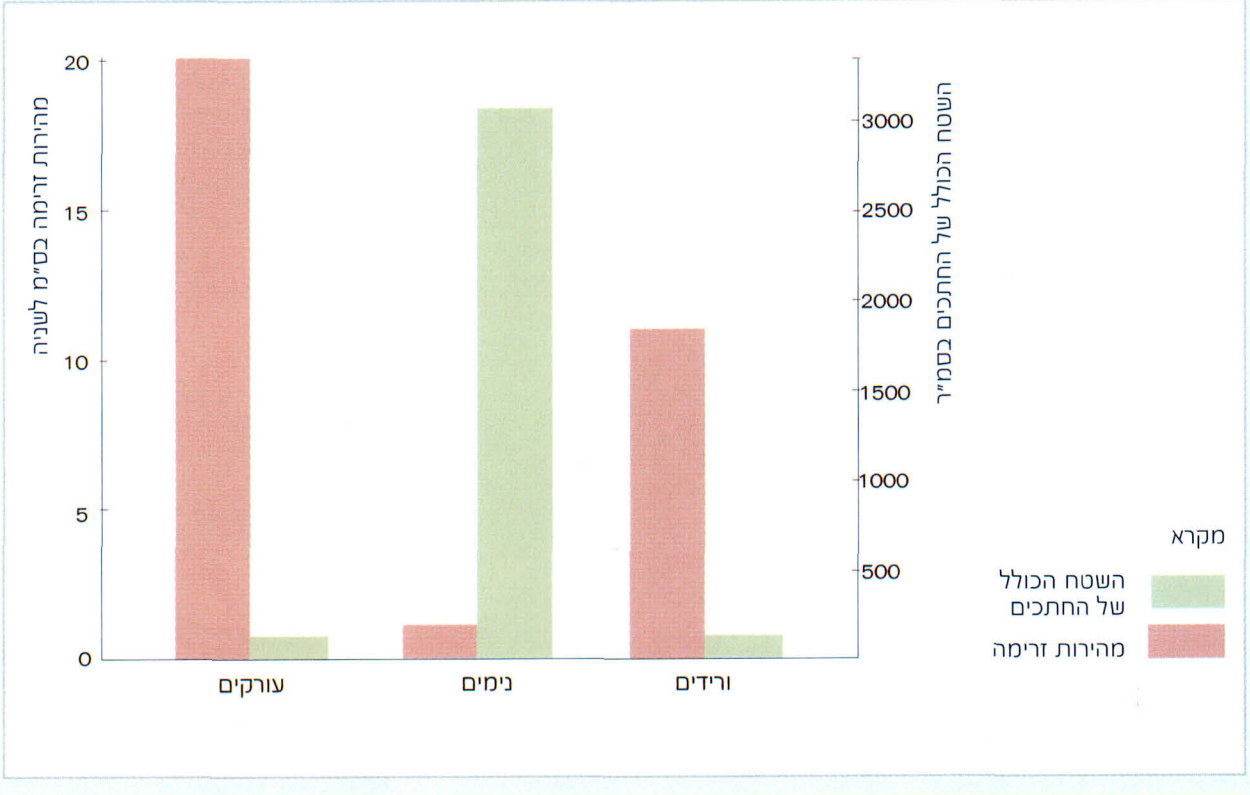
האחת - דם נושא חמצן לא מגיע למוח במהירות הנדרשת. הדבר גורם לחוסר הכרה, לשיבושים בפעילותה של מערכת העצבים, ומסכן את חייהם של תאי עצבים הזקוקים לחמצן רב לתפקודם התקין.

השנייה - הדם חוזר ללב במהירות נמוכה מדי, ואינו ממלא אותו מחדש בקצב תקין. התמלאות החדרים בקצב קבוע היא תנאי לסדירות של פעימות הלב, ואם החדרים לא מתמלאים כראוי, או מתמלאים לאט מדי, זרימת הדם בגוף משתבשת.

לכן, מי שנמצא בחוץ ביום חם, או שוהה זמן רב בשמש, חייב לשתות כמויות גדולות של נוזלים. בשעה אחת של שהייה בחוץ ביום קיץ חם מתנדפות מהגוף כשתי כוסות מים. הכמות הזו חייבת לחזור למערכת הדם.

משימת אתגר

באיור 4.16 מתוארים מהירות זרימת הדם בכלי הדם והשטח הכולל של חתכי הרוחב שלהם. התבוננו באיור וענו על השאלות המופיעות בעקבותיו.



איור 4.16
הקשר בין מהירות זרימת הדם בכלי הדם לבין השטח הכולל של חתכי הרוחב שלהם

א. היכן זורם הדם במהירות הגדולה ביותר: בכלי הדם הרחבים יותר, או באלה הצרים יותר?

ב. לפי איור 4.16, באילו כלי דם השטח הכולל של חתכי הרוחב הוא גדול יותר: באבי העורקים או בנימים? איך תסבירו את מהירות זרימת הדם בנימים בהשוואה למהירות זרימתו באבי העורקים?

ג. השוו בין מהירות זרימת הדם בעורקים ובורידים. תארו את הקשר בין מהירויות הזרימה בכלי הדם השונים לבין לחצי הדם בהם (איור 4.15)?

ללב קצב משלו

חוקרים שעקבו אחר פעילות הלב גילו, כי הלב "מגלה עצמאות" יוצאת דופן בפעימותיו. כך, למשל, כאשר מוציאים לב של בעל-חיים ומניחים אותו בכלי המכיל תמיסה מתאימה, הלב ממשיך לפעום למרות היותו מנותק מהגוף. כל עוד הוא מוחזק בתמיסה, הלב יכול להמשיך לפעום במשך שעות.

יתרה מזו, קצב פעימותיו יהיה קבוע, ממש כמו בתוך הגוף במצב מנוחה.

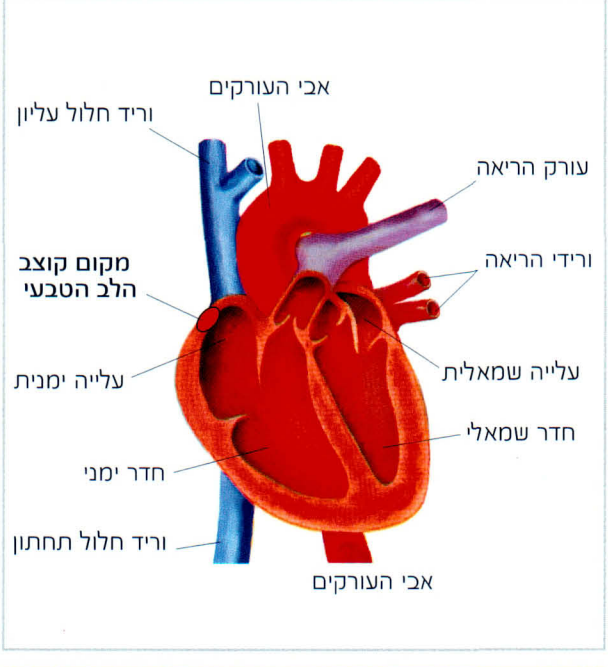
מה מקנה ללב את העצמאות הזו, ואיך נשמר הקצב הסדיר של פעימותיו?

המקור לפעימות הוא **קוצב הלב**, הנמצא בתוך הלב. בדרך-כלל, אנשים שומעים על קוצב לב רק בהקשר של ניתוח, כאשר מישהו נזקק להשתלה של קוצב לב מלאכותי. אולם לכל אחד מאתנו יש קוצב לב טבעי בתוך הלב (איור 4.17), והוא הגורם לכך שהלב יפעם בקצב קבוע וסדיר במשך כל החיים. אל הקוצב הטבעי מחוברים עצבים, ויש קשר רצוף בינו לבין המוח; אך ברמות פעילות ממוצעות, וכשהגוף נמצא במנוחה, הקוצב פועל באופן עצמאי.

קוצב הלב הוא למעשה צבֶר של תאי שריר מיוחדים, השונים משאר תאי שריר הלב בכך שהם מפיקים באופן ספונטני דחפים עצביים. דחפים אלה גורמים להם עצמם להתכווץ, וגם מעוררים את שאר חלקי שריר הלב להתכווץ. דחף המופק מתאי הקוצב מסמן את סוף ההרפיה ואת תחילתו של מחזור פעימה חדש.

קצב פעימות הלב משתנה בהתאם לשינויים החלים ברמת הפעילות של הגוף. מערכת העצבים, המווסתת את פעימות הלב, מעבירה הוראות לשינוי הקצב, ההוראות נקלטות בקוצב הלב, והוא גורם לשינוי הנדרש בקצב הפעימות.

באיור 4.17 תוכלו לראות את מיקומו של קוצב הלב בדופן העלייה הימנית, בערך בין פתחי שני הווריד החלולים המתנקזים אל העלייה.



איור 4.17
מיקומו של קוצב הלב הטבעי בתוך הלב

הלב - מכונה מופלאה באמת

הלב עובד קשה יותר מכל שריר בגוף. העומס המוטל עליו לאורך זמן הוא מדהים. תוכלו להעריך זאת באמצעות ניסוי קטן שתבצעו על עצמכם.

מ שימה 2

הדמייה של פעולת הלב

א. החזיקו ביד אחת שעון עצר, או שעון עם מחוג שניות. קמצו את כף היד השנייה לאגרוף ופתחו אותה, וחזרו על התרגיל במשך דקה. נסו לקמץ ולפתוח את האגרוף 70 פעם במשך דקה.

מה אתם מרגישים? האם תוכלו להתמיד בתרגיל למעלה מדקה? לכמה זמן?

ב. בשעה אחת פועם הלב בממוצע 4200 פעימות. חשבו באמצעות מחשבון:

כמה פעימות יפעם לבכם עד הגיעכם לגיל 75?

שריר הלב שלכם (בניגוד לשרירי כף היד שאימצתם בניסוי) ימשיך לפעום בלא הרף, כל אותן שנים. אם תנהגו בו בכבוד הראוי לו, הוא ימשיך לפעום כך במשך כל חייכם, בדייקנות רבה ובהתאמה מלאה לרמת הפעילות שגופכם יהיה נתון בה.

ע וד על...

מהו הדופק?

בעת התכווצות החדרים נדחפת מהחדר השמאלי לפתח אבי העורקים כמות דם גדולה, המפעילה לחץ על דפנות אבי העורקים. הדם מתנגש בדפנות העבות והאלסטיות ונדחף מהם אל הקטע הבא בעורק. "גל" הדם הזה, הפוגע בדפנות אבי העורקים, ממשיך הלאה ומתנגש בדפנות העורקים בהמשך דרכו. מייד אחריו מגיע עוד "גל", כאשר החדר השמאלי שוב מזרים דם אל אבי העורקים. "גל" הנוזל המכה על דפנות העורקים, החוזר ונשנה בכל פעם שיוצא דם מהחדר השמאלי, הוא הדופק שאנו חשים כאשר אנו מניחים את קצות האצבעות על פרק כף היד, או על צדו של הצוואר. קצב הדופק שווה, אפוא, לקצב פעימות הלב.

תפוקת הלב היא מדד לכמות הדם המוזרמת מהלב

כאמור, במצב מנוחה הלב פועם בממוצע כ-70 פעם בדקה, ובכל פעימה הוא מזרים כ-70 מ"ל דם לגוף. כמות הדם היוצאת מהחדר בפעימה אחת נקראת **נפח פעימה**.

פעימת לב אחת היא אירוע קצר מאוד הנמשך פחות משנייה. כאשר מעוניינים לעקוב אחר פעילותו של הלב, בין אם למטרות רפואיות ובין אם למטרות מחקר, צריך לבחון את פעילות הלב במרווחי זמן גדולים יותר. לשם כך מכפילים את נפח הפעימה (נפח הדם היוצא מהחדר בפעימה אחת) במספר פעימות הלב בדקה, ומקבלים את כמות הדם הממוצעת היוצאת מהלב בכל דקה.

כמות הדם היוצאת מהלב בדקה נקראת **תפוקת הלב**.

תפוקת הלב הממוצעת במצב מנוחה היא אפוא 70 X 70 -כלומר, 4,900 סמ"ק. בכל דקה מוזרמים מהלב 4,900 סמ"ק, שהם כמעט חמישה ליטרים דם - כמעט כל הדם הנמצא בגוף! חשוב לזכור, כי כל המספרים האלה מציינים ערכים ממוצעים - כלומר, אצל אנשים שונים יכולים להימדד ערכים שונים מעט. כאשר אדם מבצע פעילות גופנית נמרצת, תפוקת לבו משתנה. בזמן

ריצה ניתן לחוש במשהו מן השינוי: הלב פועם בקצב מהיר יותר. השאלה היא, האם רק קצב הפעימות גובר?

שאלה 10

יש שתי אפשרויות לשינוי תפוקת הלב על-ידי שינוי המדדים הקובעים אותה. מה הן האפשרויות?

פעילות גופנית מחזקת את הלב

ידוע לכם בוודאי, כי פעילות גופנית מתמשכת וסדירה משפרת את בריאותו של הלב. השאלה היא: מה התועלת שמפיק הלב מהמאמץ הגופני הקבוע?

מי שמתאמן בקביעות ולאורך זמן בפעילות גופנית כלשהי, מרגיל את לבו בהדרגה לפעום בעוצמה ובמהירות בעת המאמץ.

ההתכווצויות התכופות והחזקות בעת האימון מגבירות את חילוף החומרים בתוך תאי שריר הלב. כתוצאה מכך, השריר כולו גדל, מתעבה ונעשה חזק יותר. בעת מאמץ, הלב מסוגל להגביר בלא קושי את עוצמת ההתכווצויות, בהתאם למידת המאמץ. תפוקת הלב גדלה במהירות, והגוף מקבל מדי דקה כמויות גדולות יותר של דם נושא חמצן. עם תום המאמץ, לבו של האדם המאומן חוזר במהירות רבה לתפוקה הרגילה שלו.

הדבר בולט בעיקר אצל ספורטאים. מספר פעימות לבו של ספורטאי בעת מנוחה נמוך באופן בולט מהממוצע: במקום כ-70 פעימות בדקה רק כ-50 בדקה, ולעתים אף פחות מכך. הדבר אפשרי משום ששריר הלב של הספורטאי גדול וחזק מהממוצע. הוא מתכווץ בעוצמה רבה, ונפח הפעימה שלו גדול מהממוצע. לכן, בכל פעימה בודדת מזרים הלב יותר דם לגוף - כלומר, הגוף מקבל את כמות הדם הנדרשת בפחות פעימות בדקה.

משימה 3

מודדים את קצב פעימות הלב

המשימה שלפניכם תבוצע בזוגות. עליכם להצטייד בשעון בעל מחוג המורה את השניות, או בשעון עצר (סטופר). לאחר שתוודאו כי מצאתם את מקומו של הדופק בפרק כף ידכם, שימו שתי אצבעות על המקום המדויק. התחילו לספור את הפעימות ברגע שבן זוגכם, המצויד במכשיר המדידה, ייתן את האות לכך. לאחר 30 שניות יסמן לכם בן זוגכם על סיום המדידה. אם תכפילו בשתיים את מספר הפעימות שקיבלתם, תדעו את מספר פעימות לבכם בדקה.

הכינו טבלה דוגמת הטבלה שלהלן ורשמו בה את תוצאות מדידותיכם.

מצב הגוף	מנוחה (ממוצע)	פעילות קלה (דריכה במקום)	מנוחה לאחר פעילות קלה			פעילות נמרצת (ריצה במקום)	מנוחה לאחר ריצה					
			מדידה				מדידה					
			1	2	3		1	2	3	4	5	6
מספר הפעימות בדקה												

א. שבו על כיסא, כדי למדוד את מספר פעימות הדופק שלכם בעת מנוחה. לקבלת תוצאה מדויקת יותר, חזרו על המדידה שלוש פעמים, רשמו את התוצאות וחשבו את הממוצע של כל המדידות.

ב. דרכו במקום במשך שלוש דקות ומדדו את הדופק מיד בגמר התרגיל. רשמו את תוצאות המדידה בטבלה.

ג. שבו על כסא במשך דקה אחת ומדדו את הדופק מיד בתום הדקה. חכו עוד שתי דקות, ומדדו שוב את הדופק. חזרו על המדידה לאחר שתי דקות נוספות. רשמו את כל התוצאות בטבלה.

ד. רוצו במקום 150 צעדי ריצה, ומדדו את הדופק מיד בגמר התרגיל. רשמו את תוצאות המדידה בטבלה.

ה. שבו על כיסא וחכו דקה. מדדו את הדופק וכתבו את התוצאה. חזרו על מדידת הדופק כל דקה, עד שיחזור לקצב שלו בעת מנוחה. רשמו את כל התוצאות בטבלה.

ו. התחלפו בתפקידים וחזרו על המשימה.

ז. השוו את השינויים בקצב הדופק שלכם עם בני כיתתכם. האם אפשר לזהות מי מכם עוסק באופן סדיר בפעילות גופנית?

העמקה

מה מווסת את תפוקת הלב?

הלב עצמו אינו "יודע" אם הגוף משנה את רמת פעילותו, שכן הוא אינו מצויד באמצעים לקליטת מידע על מידת המאמץ, או על שינויים אחרים המתחוללים בגוף. המידע על המאמץ מגיע מהשרירים - באמצעות הדם - אל מרכזי בקרה הנמצאים במוח (ראו פרק 3, עמ' 61-62). המוח מעבד את המידע שנקלט, ומעביר הוראות אל הלב. מרכזי בקרה במוח הם אלה המורים, למשל, לקוצב הלב לשנות את קצב הפעימות. הם גם גורמים לשריר הלב להגביר את עוצמת ההתכווצויות, או להחליש אותן, בהתאם לרמת הפעילות של הגוף. גם מערכת הפרשת ההורמונים מעורבת בשינוי של תפוקת הלב. עוד על תהליכי בקרה וויסות אלה תלמדו ביחידה ב.

הרחבה

לבו של מי זוכה לנוח יותר?

תפוקת לבם של העוסקים בספורט גדלה לעתים קרובות, ואילו תפוקת לבם של מי שאינם פעילים משתנה רק לעתים רחוקות. למרות זאת, לבו של הספורטאי זוכה לנוח הרבה יותר מלבו של מי שמבלה שעות מול המחשב או הטלוויזיה. הפתרון של הסתירה-לכאורה הוא פשוט למדי: אם בעת מנוחה לב הספורטאי פועם רק 50 פעימות בדקה, פירוש הדבר שמשך כל מחזור פעימה שלו ארוך יותר מזה של אדם שאינו עוסק בספורט.

במקום 0.85 שניות נמשכת פעימת לבו של הספורטאי 1.2 שניות - כלומר, היא ארוכה יותר ב-40% מפעימת לבו של ה"נייח". כל שלבי הפעימה מתארכים, לרבות משך ההרפיה. אולי שברירי השניות האלה לא נראים לכם מרשימים במיוחד, אבל זכרו, ההרפיה היא זמן המנוחה של הלב, וזמנים אלה מצטברים לאורך דקות, שעות, ימים ושנים.

נניח שמשך ההרפיה של לב הספורטאי הוא 0.5 שניות, לעומת 0.3 שניות - משך הרפיה של המרבה בישיבה. "עודף המנוחה" שלב הספורטאי מרוויח הוא אפוא 0.2 שניות בכל פעימה - עודף הנראה חסר משמעות בטווח הקצר, אך בעל משמעות בטווח הארוך. שימו לב לחישוב הזה:

לבו של הספורטאי נח במשך יממה אחת 0.5 x 50 x 60 x 24 = 36,000 שניות של מנוחה מצטברת. באותו זמן, לבו של זה שאינו ספורטאי נח רק 0.3 x 70 x 60 x 24 = 30,240 שניות. ההפרש בין זמני המנוחה האלה הוא 5760 שניות, שהן 96 דקות, או שעה ו-36 דקות. זהו "רווח המנוחה" שיש ללב הספורטאי ביממה אחת. במשך שבוע הוא מרוויח 11.2 שעות מנוחה בהשוואה ללבו של מי שאינו עוסק כלל בפעילות גופנית.

ובכן, פעילות גופנית סדירה היא מתכון, לא רק לחיזוק שריר הלב, אלא גם לשיפור איכות חייו לאורך זמן. ככל שהלב מסוגל להפיק נפח פעימה גדול יותר בעת מנוחה, כך מתארך משך ההרפיה שלו בין פעימה לפעימה, וזמן המנוחה שלו גדל.

עוד על...

זהירות - לא לרוץ מהר מדי!

לפני שאתם רצים למכון הכושר הקרוב, כדאי לזכור שאסור לפצוח במאמץ גופני פרוע ובלא הדרכה. שריר לב חזק ומאומן במאמץ משיגים רק באמצעות פעילות סדירה, הנעשית בהדרגה ובהכוונה של מדריך או מורה. כל שיטה אחרת היא מתכון לצרות, ולא לטיפוח לב בריא. יתר על כן, הפעילויות המתאימות ביותר לטיפוח בריאות הלב הן אלה הכרוכות במאמץ כלל-גופני סדיר - כגון ריצה, הליכה מהירה, חתירה, או רכיבה על אופניים - וכדי לעשות אותן אין צורך לפנות דווקא למכון כושר.

מה עוד אפשר לעשות כדי לטפח את בריאות הלב?

איור 4.18
שומרים על כושר

ללב מערכת הזנה משלו

הנטייה הטבעית היא לחשוב שהלב אינו זקוק למערכת הזנה מיוחדת, שכן, דם נמצא בתוכו כל הזמן. אולם למעשה, תאי שריר הלב אינם ניזונים ישירות מהחומרים שבדם הנמצא בחדרים ובעליות של הלב.

העורק הראשי, האחראי על הזרמת דם לשריר הלב, מסתעף מאבי העורקים קרוב מאוד לנקודת יציאתו מהחדר השמאלי (איור 4.3א). עורק זה נקרא **עורק כלילי ראשי**.

מה פירוש?

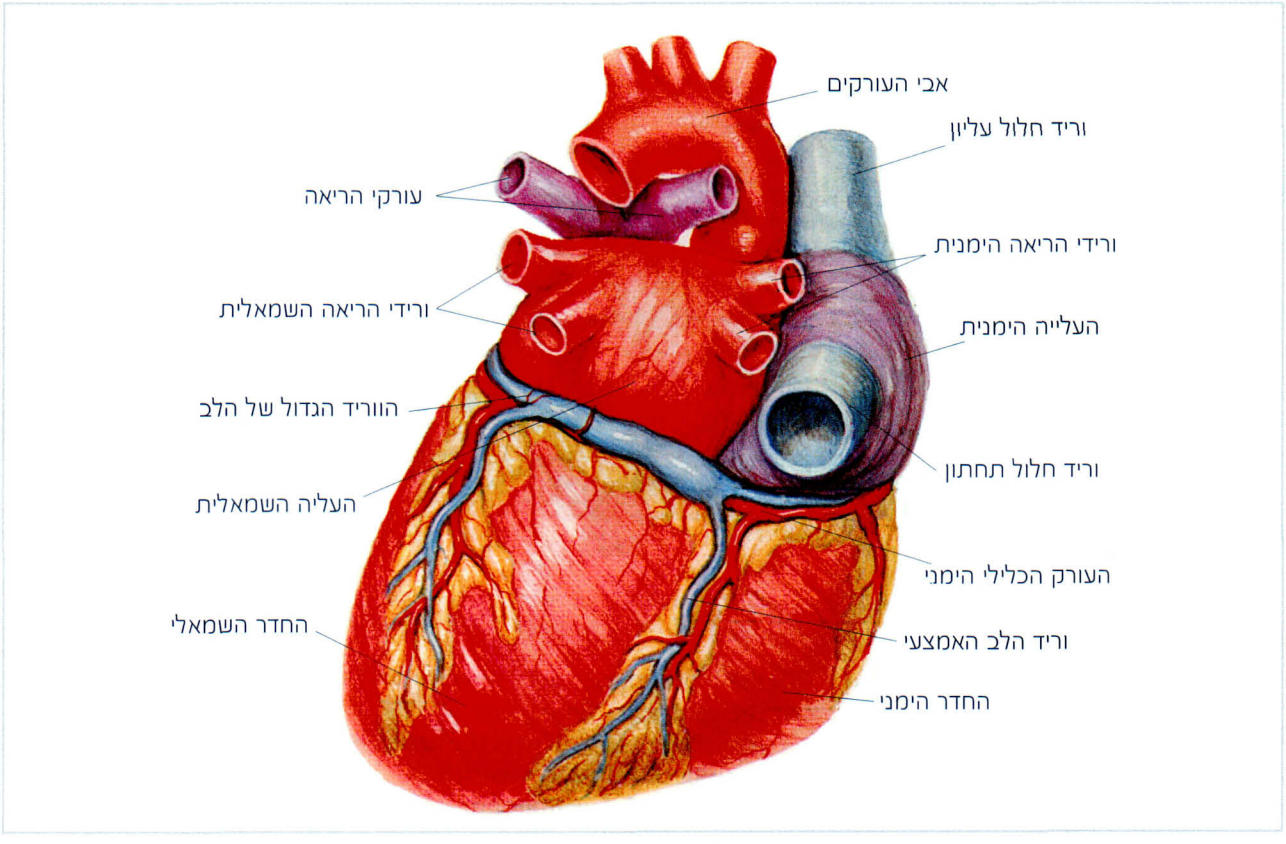
"כלילי"?

"כלילה" היא מילה נרדפת ל"כתר". העורקים המזינים את הלב נראים כאילו הם מכתרים אותו מכל עבריו. לשם האנגלי (הנגזר מלטינית) של עורקים אלה - Coronary arteries - יש בדיוק אותו פירוש. פירוש המילה corona בלטינית הוא "כתר", או "עטרה".

התבוננו באיור 4.19, המראה את העורקים הכליליים. מהעורק הכלילי הראשי מסתעפים עורקים כליליים רבים, העוברים בתוך רקמת שריר הלב, ואלה מסתעפים לעורקיקים ובהמשך לנימים. תאי שריר הלב מקבלים אפוא את החמצן ואת חומרי ההזנה הדרושים להם מנימי דם המסתעפות מהעורקיקים ומהעורקים הכליליים.

קל לשער, כי כל הפרעה לזרימת הדם בעורקים הכליליים תמנע מהחמצן להגיע לתאי שריר הלב ותפגע בפעילותו הסדירה של הלב. ואכן, אחת הסכנות הגדולות ביותר לתקינות פעולתו של הלב מתבטאת בהפרעה לזרימת הדם בכלי הדם הכליליים. אחד הגורמים הראשיים לנזק בשריר הלב היא מחלה הנקראת **טרשת עורקים**. זוהי מחלה ניוונית של דפנות כלי הדם, הקשורה קשר הדוק להרגלי יומיום לקויים שיש לרבים מאתנו.

כאשר אדם אוכל מאכלים רבים עשירים בשומנים, אינו עוסק בפעילות גופנית, ומעשן סיגריות מצטברים בדפנות העורקים שלו חומרים שאינם מתפרקים. חומרים אלה נותרים כמשקע בדפנות העורקים. משקע זה הולך וגדל, פוגע בגמישותן של דפנות העורקים, מקטין את חלל העורקים ועלול אף לסתום אותם. כך נגרמת, אם כן, טרשת העורקים. טרשת עלולה לפגוע בכל כלי הדם בגוף, אך היא מסוכנת במיוחד כשהיא פוגעת בכלי הדם הכליליים, המזינים את שריר הלב.



איור 4.19
מערכת כלי הדם הכליליים (מראה מצד הגב)

באיור 4.20 תוכלו לראות חתך בעורק במצב תקין ובשני מצבי טרשת.

חסימה כזו באחד העורקים הכליליים מונעת מתאים באיזור מסוים בשריר הלב לקבל את החמצן הדרוש להם וגורמת למותם. מותם עלול לשבש את פעילות שריר הלב. למצב הזה קוראים **אוטם שריר הלב** ובשפת היומיום - התקף לב. אם האזור שאיבד את אספקת החמצן שלו הוא גדול, הלב כולו עלול להפסיק לפעום.

"מתכונים" לטרשת עורקים

כאמור, מי שמרבה באכילת שומנים וממעט בפעילות גופנית, בעצם "מזמין" את הטרשת להתפתח בעורקיו. מבין השומנים השונים המצויים במזון, נמצא כי בעיקר שומנים מן החי תורמים תרומה ניכרת להתפתחות טרשת.

שימה 4

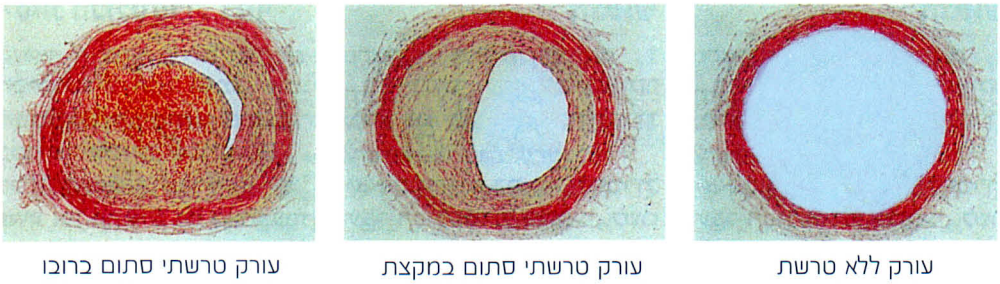
תזונה נבונה מונעת טרשת

א. עיינו בפרק 2, בעמודים 32-33. כתבו שמות של מאכלים העשירים בשומן. חלקו את המאכלים לשתי קבוצות: מאכלים מן החי ומאכלים מן הצומח.

ב. חפשו מידע על מאכלים אלה וציינו את אחוז השומן בהם.

ג. קראו שנית את הסעיף בפרק 2, העוסק בתפקידי השומנים בגוף, וענו על השאלות האלה:

- האם אפשר לוותר לחלוטין על אכילת כל המאכלים המכילים שומנים? נמקו.
- האם אפשר לוותר לחלוטין על כל המאכלים המכילים כולסטרול? נמקו.


עורק ללא טרשת
עורק טרשתי סתום במקצת
עורק טרשתי סתום ברובו

איור 4.20
טרשת - הצטברות משקע בדפנות העורקים גורמת לסתימתם

עוד על...

הכולסטרול - טוב או רע?

בשנים האחרונות אנו עדים לתופעה מטרידה: בעיתונים מתפרסמות, לעתים מזומנות, כתבות המספרות על מחקרים שגילו כי מאכל זה או אחר, המכיל כולסטרול "רע", מסוכן לבריאות, מעודד טרשת ומזיק ללב. כעבור זמן מה מתפרסמת ידיעה הפוטרת את המאכל ההוא מכל אשמה, מתירה לנו לאכול ממנו בלא חשש, ומטילה את האשמה על מאכל או משקה אחר. ואנחנו ניצבים חסרי אונים מול המידע הזה ותוהים ביאוש, לאכול, או לא לאכול?

מה עושים?

בעת כתיבת הדברים האלה, בתחילת המאה ה-21, מכל המחקרים והמחלוקות בין החוקרים עולה מידע בסיסי הנראה מוצק למדי: יש קשר סיבתי מובהק בין **עודף** ניכר של שומנים מן החי לבין התפתחות טרשת עורקים. ההמלצה הנובעת מכך היא אפוא זו שדגלו בה גם אפלטון, גם הרמב"ם וגם קונג פו טסה (המכונה קונפוציוס): שביל הזהב של המתינות. זו הדרך הנכונה בימינו כשם שהייתה נכונה בימיהם.

הרחבה

צנתור מאפשר לאבחן טרשת עורקים ולטפל בה

צנתור הוא פעולה שבה מחדירים צינורית דקה - צנתר - דרך עורק אל הלב, כדי לאתר מצבים של טרשת בעורקים הכליליים, כדי לאבחן בעיות בפעולת הלב ובזרימת הדם בעורקים, ולעתים אף כדי לטפל בבעיות אלו.

התיאור של פעולת הצנתור נשמע אולי מפחיד, אך למעשה הסיכון הכרוך בפעולה זו אינו גדול. החדרת הצנתר נעשית דרך עורק גדול באזור המפשעה, או דרך עורק הזרוע, ומחייבת דקירה, הגורמת לאי-נוחות מסוימת. אך מאחר שהצנתר דק מאוד, הנבדק אינו מרגיש בו בעת שהוא עובר דרך כלי הדם ללב. הצנתר עשוי מחומר פלסטי גמיש מאוד, אך בלתי חדיר לקרינת רנטגן. תכונה זו של הצנתר מאפשרת לקרני הרנטגן להבחין בו בשעה שהוא נמצא בתוך כלי הדם.

כאמור, בדיקת הצנתור, המיועדת לאנשים שיש חשד כי הם סובלים מטרשת באחד מכלי הדם הכליליים, יכולה להיות מלווה גם בטיפול. אם הרופא מזהה שכבה של משקע טרשתי, הגורם להצרת כלי הדם, הוא יכול לטפל בדופן העורק באותו מקום. הוא מחדיר בלון מיוחד דרך הצנתר, ממקם אותו במקום המתאים באזור ההצרה ומנפח אותו. בעקבות הניפוח, המרחיב את כלי הדם, מתאפשרת זרימת דם טובה יותר בעורק.

בדיקת הצנתור מגלה, לעתים, כי עורק כלילי סתום במידה כזו שאי אפשר לתקן את מצבו באמצעות בלון. במקרה כזה מטפלים בחולה בשיטה המכונה **ניתוח מעקפים**. בניתוח כזה עוקפים את האזור החסום באמצעות השתלה של כלי דם תקין שנלקח ממקום אחר בגופו של החולה וכך מתחדשת הזרימה בכלי הדם.

מסתמים תקינים חיוניים לפעולת הלב

בתיאור של פעימת הלב יכולתם לעמוד על חשיבותם של המסתמים המפרידים בין העליות לחדרים ושל המסתמים המפרידים בין החדרים לעורקים. כך, מסתמי עלייה-חדר, שאינם נסגרים היטב, מאפשרים זרימה של דם מהחדר בחזרה לעלייה; ומסתמי חדר-עורק שאינם נסגרים היטב, מאפשרים זרימה של דם מהעורק בחזרה לחדר. אם מסתם אינו נסגר כהלכה, יתבטא הדבר בשינויים בלחץ התקין השורר במדורי הלב בשלבים השונים של פעימת הלב. גם מצבים אלה ניתנים לאבחון באמצעות פעולת ה**צנתור** (ראו הרחבה). הצנתר מאפשר למדוד את לחץ הדם השורר במדוריו של הלב. באמצעות חיישן אלקטרוני רגיש ללחץ דם, המוחדר לתוך הצנתר, ניתן למדוד את הלחץ השורר משני צדדיו של מסתם. מדידת לחץ הדם משני צדי המסתם תאבחן את הבעיה, והרופא יוכל להחליט אם נדרש ניתוח להחלפת המסתם. ניתוחים להחלפת מסתמים פגועים הפכו בשנים האחרונות לטיפול מקובל. המסתם הפגום מוחלף במסתם עשוי אריג סינתטי דק וחזק, שיש לו הגמישות והחוזק הדרושים לסגירה מושלמת של המעברים בין מדורי הלב.

יתר לחץ דם מסכן גם הוא את הלב

גורם נוסף המשפיע השפעה ניכרת על בריאותם של כלי הדם ושל הלב הוא לחץ הדם.

יש אנשים הסובלים מלחץ דם גבוה באופן קבוע. תופעה זו מכונה בפי הרופאים **יתר לחץ דם**. גם בעת מנוחה, הלחץ הסיסטולי של הסובלים מיתר לחץ דם גבוה מ-120, והלחץ הדיאסטולי שלהם גבוה מ-80.

מחקרים מראים, כי לחץ דם גבוה יכול להיות תוצאה של משקל עודף, עישון ושתייה מרובה של אלכוהול. נוסף לכך, ידוע כי יש אנשים הסובלים מיתר לחץ דם בשל נטייה תורשתית.

לחץ דם גבוה מסכן את הבריאות בכמה דרכים. ראשית, ההכרח להזרים את הדם נגד הלחץ הגבוה בעורקים מכביד על הלב ומאמץ אותו, גם כשהגוף לא נתון בפעילות מאומצת. הלחץ הגבוה עלול גם לגרום להתפוצצות של כלי דם, בעיקר אצל אנשים זקנים, שדפנות כלי הדם שלהם איבדו חלקית את האלסטיות שלהן. אם מתפוצץ כלי דם במוח, התאים הניזונים על-ידי כלי דם זה מתים. הדבר גורם לשיתוק של הפעילות שאותם תאי מוח אחראים לה. מצב זה מכונה "שבץ מוחי" (ובלשון עממית "אירוע מוחי"). מתברר, כי יתר לחץ דם הוא גם אחד הגורמים לטרשת עורקים, אף כי ההסבר לכך עדיין לא הובר במלואו. לכן, יתר לחץ דם עלול לגרום בעקיפין לאוטם שריר הלב.

לאכול ולרוץ - מה הבעיה?

"לא טוב לרוץ אחרי הארוחה", "אם את הולכת עכשיו לשחות בבריכה, אל תאכלי כל-כך הרבה" - משפטים אלו ודומים להם, ששמעתם מן הסתם לא אחת והתייחסתם אליהם כמו אל דעות קדומות של הורים מודאגים, אינם אלא אמת לאמיתה. בחינה של זרימת הדם בחלקי הגוף השונים תבהיר לכם את שורש הבעיה. התבוננו באיור 4.21.

שאלה 11

התבוננו באיור, וענו על השאלות האלו:

א. ציינו את שלושת ההבדלים הבולטים ביותר בין כמויות הדם המוזרמות לאיברים שונים ברמות פעילות שונות.

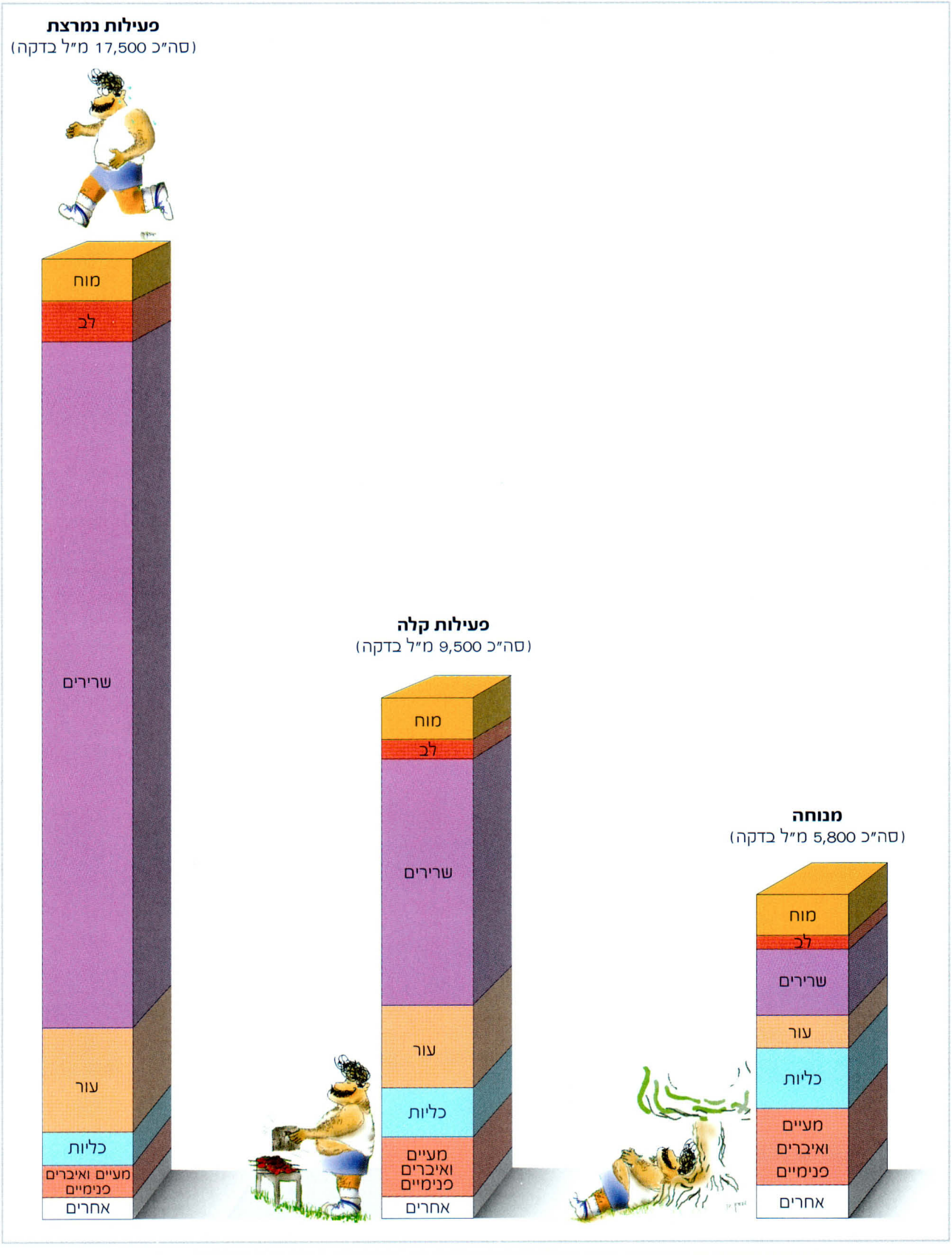
ב. איך נראה עורו של אדם שרץ ריצה ממושכת? האם יש באיור הסבר לכך?

ג. אדם אכל ארוחה דשנה ומיד לאחר מכן יצא לריצת הכושר היומית שלו. מה יכול לקרות, לדעתכם, בגופו כתוצאה מכך? כתבו את השערתכם, ואחר כך קראו את ההמשך.

השאלה המעניינת היא: איך נקבעת חלוקת הדם בין האיברים והרקמות בגוף במצבי פעילות שונים?

כבר ידוע לכם, כי הגורם המבקר ומנהל את כל התהליכים בגוף הוא המוח. המוח מנהל כל העת מערכת תקשורת הדדית עם כל חלקי הגוף, ומתאים את פעילותם לשינויים החלים במצב הגוף.

כאשר אדם רץ, השרירים בגופו, בעיקר ברגליו, מתכווצים במהירות ובעוצמה. כדי שיוכלו לעשות זאת, הם זקוקים לאספקה מוגברת של חמצן מהדם. בה-בעת, הם משחררים לדם כמויות גדולות של פחמן דו-חמצני.



איור 4.21
זרימת הדם לחלקי הגוף ברמות פעילות שונות

כאשר למדתם על מערכת הנשימה, ראיתם כי בדפנות העורקים נמצאים תאי חישה הרגישים לשינויים ברמות של גזי הנשימה - החמצן והפחמן הדו-חמצני - בדם. תאים אלה מעבירים מידע למוח בדבר השינויים ומאפשרים למערכת של בקרת הנשימה להתאים את שיעור האוורור לצורכי הגוף. מנגנון דומה מאפשר להתאים גם את הזרמת הדם בגוף לרמות פעילות שונות.

המוח קולט את המידע המעיד על פעילות מאומצת, ולאחר שעיבד אותו הוא משדר שני סוגים של פקודות:

פקודות להגדלה של תפוקת הלב - עצבים המקשרים בין המוח ללב גורמים להגברה של תפוקת הלב; ופקודות המשפיעות על ויסות זרימת הדם - עצבים המקשרים בין המוח לכלי הדם, גורמים להרחבת העורקים המזרימים דם לשרירים ולהצרת העורקים המזרימים דם לאיברים אחרים. הודות לכך, פחות דם זורם לאיברים שפעילותם אינה קשורה למאמץ הגופני - למשל, למעיים.

כאשר המעיים מתמלאים במזון שהגיע מהארוחה האחרונה, גם הם משדרים מסר למוח, מסר המדווח על "עומס מזון במערכת". תנועות הערבול של הקיבה והתנועה של המעיים בעת העיכול - כל אלה תלויות גם הן באספקה מוגברת של דם.

מי שרוצה להתחיל לרוץ, או לצאת לאימון שחייה מפרך, דווקא אחרי הארוחה, גורם ל"מהומה" במערכת. מרכזי הבקרה במוח מקבלים מסרים סותרים: צריך הרבה דם במעיים, צריך הרבה דם בשרירי הרגליים, צריך הרבה דם בשרירי בית החזה (הגברת האוורור, זוכרים?). והתוצאה - שיבושים במערכות שונות: קשה לרוץ, קשה לנשום בקצב הנדרש, ומי שמתעקש להתמיד, נתקף בחילה, ועלול אף להקיא.

רק המוח לא נח לרגע

התבוננו שוב באיור 4.21.

אלה 12

א. השוו בין כמויות הדם המוזרמות למוח בכל דקה בעת מנוחה ובמאמץ. מה אתם רואים?

ב. מה ההסבר שלכם למתואר באיור?

ההשוואה שערכתם מלמדת משהו מרתק אודות המוח: אין במוח הבדל בין מנוחה למאמץ, לפחות בכל הנוגע לצריכת דם. אפשר לפרש את המידע הזה בשתי דרכים. פירוש אחד אומר, כי המוח לא זקוק ליותר דם בעת מאמץ, משום שהוא לא מתאמץ; בכל רמת פעילות של הגוף המוח מתמיד במצב מנוחה.

אלה 13

א. הגוף צורך 5800 מ"ל דם בממוצע בכל דקה במצב מנוחה. המוח מקבל 750 מ"ל מתוכם. איזה אחוז מכלל הדם המוזרם בגוף בדקה, במצב מנוחה, מגיע למוח?

ב. חלקו היחסי של המוח ממשקל הגוף הוא כ- 5%, ואילו שיעור זרימת הדם למוח מכלל הזרימה בגוף עולה על 5% - פי כמה?

ג. לאור הנתונים האלה, מהו הפירוש הנוסף שתוכלו להציע לכך שצריכת הדם של המוח קבועה במצבי מאמץ גופני ובמצבי מנוחה?

מסתבר, שחלקו של הדם המגיע אל המוח במצב מנוחה, מכלל הדם הנצרך, עולה פי שלושה על החלק שתופס המוח מכלל משקל הגוף. לאור זאת, בוודאי לא תתפלאו לגלות, כי רקמת המוח צורכת כ-15% מכלל החמצן שמגיע לרקמות הגוף בכל דקה. פירוש הדבר, כי בכל דקה המוח מפרק גלוקוז ומנצל חמצן להפקת אנרגיה, יותר מכל רקמה אחרת בגוף. במילים פשוטות, המוח צורך הרבה אנרגיה.

עתה ברורה יותר משמעותה של צריכת הדם הקבועה והגדולה של המוח, שאינה תלויה במצב הפעילות של הגוף. פירוש הדבר שהמוח - אותו איבר נטול שרירים - ממשיך לקבל את כל כמות הדם הדרושה לו, בלי קיצוצים ובלי פשרות, גם בעת שמערכות פנימיות אחרות, כגון מערכת העיכול, או מערכת ההפרשה, "מסתפקות" בכמות מופחתת של דם.

בשביל מה נחוצה למוח אספקת החמצן הגדולה הזו? על כך נרחיב בפרק 7 העוסק במוח. בינתיים, כדאי שתזכרו כי מלאכתו של המוח אינה קלה כלל, גם אם לא מזיעים בגללה.

4.4 מחצית מהדם היא נוזל וכל השאר - תאים

הכרנו את מערכת השאיבה וההובלה, ראינו איך היא פועלת במצבים שונים, ועתה הגיע הזמן שנכיר את החומר המובל בצינורות - את הדם.

אפשר להתחיל לחקור את הרכב הדם בהתבוננות פשוטה. כאשר שואבים מעט דם לתוך מבחנת זכוכית ומניחים לה לעמוד זמן-מה, הדם במבחנה נפרד לשתי שכבות בולטות לעין: בחצייה התחתון של המבחנה מתהווה משקע סמיך שצבעו אדום, ומעליו שכבת נוזל שקוף בעל גוון צהבהב. אם נתבונן בגבול שבין שתי השכבות, נבחין בשכבת ביניים דקה מאוד שצבעה לבנבן (ראו איור 4.22).

איור 4.22
מה יש לנו בדם:
מראה דם במבחנה, לאחר שהופרד למרכיביו

הנוזל הצהבהב, הנראה בחלקה העליון של המבחנה, מכונה **פלזמה**, והוא מהווה כ- 55% מהנפח הכולל של הדם. כ-45% מנפח הדם תופסים תאים משלושה סוגים: **תאי דם אדומים, תאי דם לבנים** ו**לוחיות דם**. כמעט כל המשקע האדום הנוצר במבחנה מורכב מתאי דם אדומים; חלקם של התאים הלבנים ושל לוחיות הדם מכלל התאים זעום ביותר. אלה יוצרים ביחד את שכבת הביניים הלבנבנה, הנראית אך בקושי במבחנה.

פלזמת הדם משמרת סביבה פנימית יציבה

תחילה נכיר את מרכיביה של פלזמת הדם, כפי שהם מופיעים בטבלה 1 שלפניכם.

טבלה 1: ריכוזי החומרים העיקריים בפלזמה

החומרים	ריכוז בפלזמה
מים	90% מנפח הפלזמה
חלבונים שונים	7%-9% מנפח הפלזמה
מינרלים (יוני אשלגן, סידן, כלוריד, מגנזיום, נחושת, יונים של חומצה פחמתית, חומצה זרחתית ואחרים)	סך הכול 0.9% מנפח הפלזמה. לכל מינרל ריכוז שונה, הנשמר בקביעות בפלזמה.
גלוקוז	80-120 מ"ג לכל 100 מ"ל
חומצות אמיניות, שומנים	ריכוז משתנה לפי זמני ארוחות וקצב חילוף החומרים
שתנן – תוצר פירוק חלבונים	0.03% מנפח הפלזמה
הורמונים	ריכוזים משתנים זעירים מאוד

בפרק 1 הכרתם את המושג הומאוסטאזיס - כושרו של היצור החי לשמור על סביבה פנימית יציבה, למרות שינויים החלים בסביבה. ראיתם, כי כושר זה בא לידי ביטוי בדרכים שונות. כפי שתראו עתה, לפלזמת הדם יש תפקיד מרכזי בשמירה על יציבות הסביבה הפנימית.

חלבונים, מלח, סוכר והומאוסטאזיס

בטבלה 1 אפשר לראות, כי נוזל הדם עשיר במומסים רבים. יש ביניהם כאלה שריכוזם משתנה - אמנם לזמן קצר - בהשפעת המזון שאנו אוכלים; ריכוזם של מומסים אחרים כמעט קבוע ועשוי להשתנות רק בתוך גבולות צרים מאוד.

הרכב הדם מדגים בצורה מוצלחת ביותר את אחד מביטויי החשובים ביותר של ההומאוסטאזיס: דמו של אדם בריא, שתזונתו מאוזנת לאורך זמן, מכיל ריכוז קבוע של חלבונים מסוגים מסוימים, בלי קשר לשאלה אם האדם אוכל סטייק כל יום, אוכל רק דגים, או אם הוא אוכל מזון צמחוני. החלבונים המומסים בפלזמת הדם מבצעים פעולות רבות ומגוונות, לדוגמה: נוגדנים משתתפים בהגנה על הגוף ממחלות; חלבונים אחרים קשורים לקרישת הדם בעת פציעה. בפלזמה יש גם אנזימים רבים.

גם ריכוז המינרלים בדמו של אדם בריא הוא קבוע, בלי קשר לכמות המלח שהוא מוסיף למרק שלו. למינרלים שונים יש תפקידים ייחודיים בתהליכים רבים המתרחשים בתאים: לדוגמה, הסידן חיוני לבניית חומר העצם וגם להתכווצות של תאי השרירים; יונים של נתרן ואשלגן חיוניים לפעילותם התקינה של תאי העצבים; ומינרלים נוספים חייבים להגיע לתאי הגוף, כדי שיוכלו להתקיים בהם אלפי תהליכים חיוניים. הורמונים - שתכירו בפרק 6 - מאזנים את ריכוזי המינרלים בדם, כך שיישמרו בתוך גבולות צרים מאוד.

חומר נוסף שריכוזו בדם נשמר בתוך גבולות צרים וקבועים הוא הסוכר גלוקוז. כפי שכבר למדתם, הגלוקוז דרוש לכל תאי הגוף כמקור לאנרגיה וגם כמקור לחומרי גלם רבים. ריכוז הגלוקוז בדמו של אדם בריא נשמר תמיד בטווח שבין 80 - 120 מ"ג גלוקוז לכל 100 מ"ל דם. עודף גלוקוז בדם הוא עדות ל"תקלה": ההורמון אינסולין (שתכירו בפרק 6), האחראי לכניסת גלוקוז לתאים - כמותו קטנה, או אינו מתפקד כהלכה. מצב זה מעיד על מחלה בשם **סוכרת**.

אפשר לסכם ולומר, כי ההומאוסטאזיס מתבטא, בין השאר, בכך שבפלזמה נשמרים ריכוזים קבועים של מומסים שונים. כל הפרה של ההומאוסטאזיס - כלומר, כל סטייה מריכוזים אלה - מסכנת את התפקוד התקין של מערכות הגוף, ובעצם, מבטאת מחלה.

הפלזמה מסייעת לשמור על טמפרטורת גוף קבועה

בפרק 1, כאשר בדקתם את טמפרטורת גופכם, גיליתם את אחד מביטוייו של ההומאוסטאזיס - טמפרטורת גופכם נשארת קבועה, ואינה מושפעת מהטמפרטורות השוררות בחוץ. כפי שתראו, נוזל הדם, הפלזמה, הוא אחד מהגורמים המרכזיים המסייעים בשמירה על קביעות הטמפרטורה של הגוף.

התאים בגוף נושמים כל הזמן, ובנשימתם הם פולטים חום לסביבה. אפשר לדמות את התאים למנוע של מכונית. משריפת הדלק במנוע משתחררת אנרגיה להנעה, אך פרט לאנרגיה הדרושה להנעת המכונית, נפלטת גם אנרגיה בצורת חום. אם נניח לחום להצטבר, הוא ישרוף את המנוע; אך במכונית, ובכל מתקן אחר המופעל על-ידי מנוע, יש מערכת קירור. קירור מנוע המכונית נעשה על-ידי הזרמת מים, או אוויר, בצינורות מיוחדים המקיפים אותו. כלי הדם, עם הפלזמה הזורמת בהם, ממלאים תפקיד דומה בגוף. נוזל הדם הזורם בקרבת התאים קולט מהם את החום הנפלט בנשימתם. מכיוון שהדם מגיע לכל פינה ופינה בגוף, הוא פועל כמפזר חום יעיל, ומפיץ את החום הנוצר בנשימת התאים בצורה אחידה על פני כל הגוף.

באיור 4.21 אפשר לראות שכמות הדם המוזרמת לעור בעת מאמץ גדולה כמעט פי ארבע מכמות הדם המוזרמת אליו בזמן מנוחה. זו הסיבה לכך שהעור מאדים כשאנו מתאמצים. ומה קורה כשקר לנו? בחלקים רבים של הגוף העור מחוויר. שינויי הצבע האלה מעידים על התפקיד שממלא הדם בשמירה על טמפרטורת הגוף. הפעילות המוגברת של השרירים בעת מאמץ מלווה בפליטה מוגברת של חום מתאי השרירים. החום נקלט בדם ומעלה את הטמפרטורה שלו. מידע על השינוי בטמפרטורת הדם מגיע אל המוח, ומן המוח מגיעה הוראה להרחבת כלי דם המזרימים דם אל העור. העורקיקים בקרבת העור מתרחבים, נימי דם הנמצאות סמוך לפני העור נפתחות למעבר דם, דם רב זורם קרוב לפני העור, והחום העודף נפלט ממנו אל מחוץ לגוף. כאשר בחוץ קר מאוד, והאדם אינו מוגן כראוי מהקור, מתרחש תהליך הפוך. מפני העור נפלט חום אל הסביבה, וטמפרטורת הדם בנימים הסמוכות לפני העור יורדת. המידע על כך מגיע למוח, והמוח מגיב בהוראה לצמצם הזרמת דם לפני השטח. העורקיקים בקרבת העור נעשים צרים יותר, רוב נימי הדם נסגרות, והעור מחוויר.

העמקה

"דם קר" לעומת "דם חם" - מה הסיפור?

מקובל לומר שדגים, לטאות וצפרדעים הם בעלי "דם קר" ואילו עופות ויונקים הם בעלי "דם חם". למעשה ההבדל העקרוני בין העופות והיונקים לבין שאר החולייתנים הוא במקור החום העיקרי של גופם וביכולתם לווסת את הטמפרטורה. מקור החום העיקרי של עופות ויונקים הוא חילוף החומרים (המטבוליזם) הנמרץ המתרחש בתוך גופם ואילו הדגים, הזוחלים והדו-חיים תלויים בעיקר בחום של הסביבה שהם חיים בה. בעופות וביונקים נשמרת טמפרטורה שהיא לרוב גבוהה מטמפרטורת הסביבה. לעומתם, טמפרטורת הגוף של דגים, זוחלים ודו-חיים תלויה במידה רבה בטמפרטורת הסביבה ומשתנה במהלך היממה. אם כן, ללטאה המתחממת בשמש יש בהחלט "דם חם"! היכולת לווסת את הטמפרטורה קשורה, בין היתר, במבנה לב בעל ארבעה מדורים נפרדים שבו דם עשיר בחמצן מופרד לחלוטין מדם דל בחמצן (ראו הרחבה בעמוד 78).

כאמור, הפלזמה מהווה רק כמחצית מנפחו של הדם, כל השאר הם התאים, אותם נכיר עכשיו.

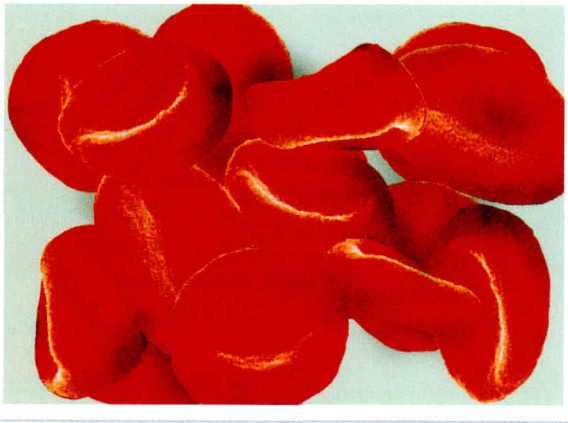
קבוצות תאים - אדומים ולבנים - נמצאות בפלזמת הדם

שתי קבוצות של תאים נמצאות בפלזמת הדם: **תאי דם אדומים** (Erythrocytes) ו**תאי דם לבנים** (Leukocytes). התאים האדומים נושאים את החמצן הדרוש לכל תאי הגוף. התאים הלבנים משתתפים בהגנה על הגוף מגורמים זרים העלולים לפלוש אליו. נוסף לתאים האדומים והלבנים נמצאת בדם עוד קבוצה גדולה של גופיפים קטנים, הנקראים **לוחיות דם**, או טסיות דם (Platelets); השם מלמד על כך שגופיפים אלו הם שטוחים מאוד. לוחיות הדם אינן תאים שלמים, אלא חלקי תאים, המשתתפים בתהליכים של קרישת הדם. כל תאי הדם נוצרים במוח העצמות - רקמה רכה הנמצאת בתוך חללים בחלק מעצמות הגוף.

תאי הדם האדומים מותאמים להובלת חמצן

באיור 4.23 תוכלו לראות תאי דם אדומים.

תאי הדם האדומים הם הקטנים ביותר מבין תאי הגוף. כפי שרואים באיור, צורתם של תאים אלו אינה כדורית, כפי שעולה מהכינוי המקובל, אך השגוי, "כדוריות דם אדומות". באיור אפשר להבחין בצורתם המיוחדת - מעין דיסקוס, השקוע במרכזו משני צדדיו. לצורתם של תאי הדם האדומים יש חשיבות רבה. צורה זו מגדילה מאוד את שטח הפנים שלהם בהשוואה לתאים בעלי אותו נפח, שצורתם כדורית. הצורה הקעורה משני צדדיה מספקת אפוא שטח לדיפוזיה של חמצן מנאדיות הריאה אל תא הדם וממנו אל תאי הגוף. המבנה של תאי הדם מקנה לתאים גם גמישות גדולה מאוד ומאפשר להם לעבור דרך נימי הדם, שקוטרן קטן במעט מקוטר התאים. למעשה, בזמן שתאי הדם האדומים נדחקים דרך הנימים, הם נמעכים קלות במעבר הצר ונצמדים לדפנות הנימים. צורת מעבר זו מגדילה מאוד את שטח המגע של התאים עם דפנות הנימים, וכך גדל עוד יותר השטח הזמין לדיפוזיה של חמצן מתאי הדם דרך דפנות נימי הדם אל תאי הגוף.



איור 4.23
תאי דם אדומים (מוגדל פי 2,500 בערך)

בתאים האדומים שבדם אין גרעין תא, וגם אין בהם אברונים. הם מלאים **המוגלובין** - חלבון אדום המקנה לדם את צבעו. כמות ההמוגלובין בתאים האדומים גדולה מאוד: פרט למים, רוב תכולת התא היא המוגלובין. היעדרם של גרעין ואברונים מגדיל את נפח הציטופלזמה הפנוי להכלת המוגלובין בתאים.

כאשר תאי הדם האדומים עוברים בנימי דם בריאות, החמצן שעובר בדיפוזיה מהאוויר לדם נכנס לתאים ונקשר להמוגלובין שבתוכם. המוגלובין שנקשר אליו חמצן הוא המוגלובין מחומצן. כאשר תאי הדם האדומים עוזבים את הריאות ומגיעים לנימי דם בקרבת תאי הגוף (לאחר שעברו במחזור הריאות אל הלב, וממנו למחזור הגוף), משתחרר החמצן מהקשר שלו להמוגלובין, יוצא מהתאים האדומים ועובר בדיפוזיה לתאי הגוף (ראו שוב איור 4.9).

העמקה

הקשר של ההמוגלובין לחמצן מותנה בתנאי הסביבה

בסביבה עתירת חמצן, כמו זו שבריאות, ההמוגלובין נוטה לקשור אליו את החמצן. לעומת זאת, בסביבה מעוטת חמצן, בקרבת תאי הגוף, הקשר בין ההמוגלובין לחמצן מתרופף מאוד, ורוב החמצן נפרד בקלות מההמוגלובין ויוצא מתאי הדם. נשאלת השאלה: למה סביבת התאים היא תמיד מעוטת חמצן?

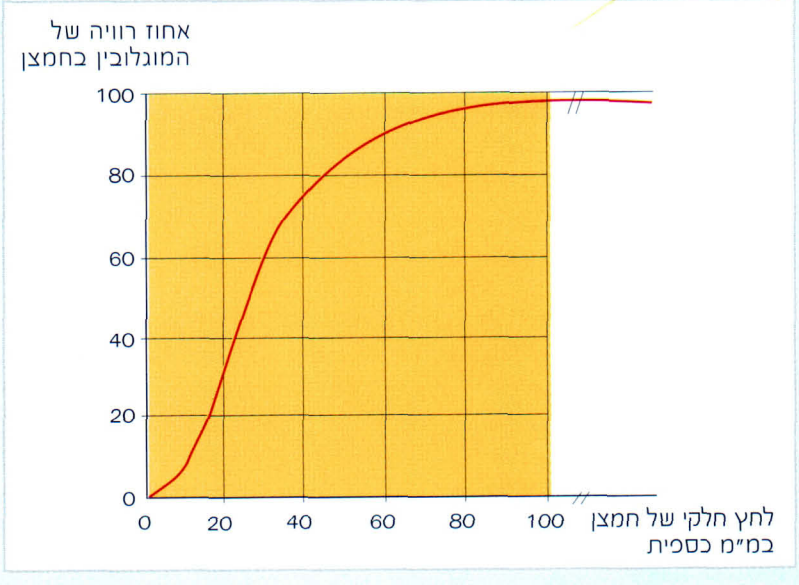
כל התאים נושמים. כאשר תא נושם, הוא משתמש בחמצן שהגיע אליו, להפקת אנרגיה מהמזון בתהליך הנשימה התאית. תא נושם מנצל אפוא ברציפות את החמצן המגיע אליו. לכן, בתאי הרקמות ובסביבתם כל הזמן יש פחות חמצן מאשר בתאי הדם האדומים, המגיעים מהריאות. עובדה זו מבטיחה שתמיד תהיה דיפוזיה של חמצן מתאי הדם האדומים אל תאי הרקמות בגוף.

משימת אתגר

העקומה באיור 4.24 מתארת את התלות של קשירת החמצן להמוגלובין בלחצו החלקי של החמצן בסביבה. המושג "לחץ חלקי" של חמצן מוסבר בפרק 3, עמוד 51.

התבוננו בעקומה וענו על השאלות שאחריה.

1. איזה אחוז מההמוגלובין קשור לחמצן, כאשר לחצו החלקי של החמצן בסביבה הוא 20 מ"מ כספית? וכאשר לחצו החלקי בסביבה 80 מ"מ כספית?
2. לחצו החלקי של החמצן בדם הנמצא בנימים שבין תאי הגוף (אך לא בריאות!), עשוי להיות כ-40 מ"מ כספית בממוצע (יש הבדלים בעניין זה בין הקצה העורקי לקצה הווריד של נימת דם). איזה אחוז של ההמוגלובין יהיה קשור לחמצן בתנאים אלה?
3. איזה חלק של העקומה מתאר את קשירת החמצן להמוגלובין בנימי הדם שבריאות?



איור 4.24
קשירת חמצן להמוגלובין

חשוב לזכור, כי החמצן הנמצא בתאי הדם האדומים, לעולם אינו עובר במלואו אל תאי הגוף.

למעשה, הדם החוזר בווריד אל הצד הימני של הלב, מכיל כ- 16% חמצן (לעומת כ- 20% חמצן באוויר שנכנס לריאות). כלומר, הדם שאנו מכנים "מעוט חמצן" או "דל בחמצן" עדיין מכיל אחוז לא מבוטל של חמצן.

תאי הדם האדומים מובילים גם פחמן דו-חמצני. אמנם רובו מומס בפלזמת הדם, אך 20%-25% ממנו נכנס לתאים האדומים ונקשר להמוגלובין. וכמובן, הוא מובל בכיוון ההפוך: מתאי הגוף אל הריאות.

ההמוגלובין הוא חלבון. כזכור לכם, החלבונים בנויים ממספר רב של אבני בניין, המכונות חומצות אמיניות. ייחודה של מולקולת ההמוגלובין הוא בכך שיש בה אטומי ברזל שאליהם נקשר החמצן. הברזל הוא אפוא מרכיב בעל חשיבות רבה במבנה של ההמוגלובין.

סיבות אחדות לאנמיה

מיעוט של תאי דם אדומים בדם מתבטא במחלה הנקראת **אנמיה**. כאמור, תאי דם אדומים נוצרים במח העצמות. שלב מרכזי בתהליך בנייתם של התאים הוא ייצור ההמוגלובין, שהוא החומר העיקרי הממלא את התאים. ייצור ההמוגלובין מותנה בנוכחות ברזל בתאים. מחסור בברזל פוגע אפוא בייצור ההמוגלובין ומעכב את בנייתם של תאים אדומים. אנמיה יכולה להיווצר לא רק כתוצאה ממחסור בברזל, אלא גם מסיבות אחרות כמו, מחסור בוויטמינים מקבוצה B או כתוצאה מפגם גנטי.

שאלה 14

א. מאיזו בעיה עיקרית סובל מי שחולה באנמיה וכיצד תתבטא בעייתו בחיי היומיום?

ב. מה כדאי לאכול כדי לא לסבול מחוסר בברזל ובוויטמינים המתאימים? בדקו אילו סוגי מזון מכילים ברזל ואילו מכילים ויטמינים מקבוצת B.

כוחם של תאי הדם האדומים במספרם

כאמור, תאי הדם האדומים הם התאים הקטנים ביותר בגוף. החמצן נקלט בהם בדיפוזיה, וקצב הדיפוזיה, כזכור לכם, תלוי בשטח המגע בין הסביבות שביניהן היא מתרחשת. ואכן, לתאי הדם האדומים יש שטח מגע עצום עם החמצן, הנובע לא רק מצורתם המיוחדת, אלא גם ממספרם העצום. מספר תאי הדם האדומים במילימטר מעוקב אחד של דם אצל נשים הוא 4.7-5 מיליון תאים בממ"ק (מילימטר מעוקב), ואצל גברים - 5-6 מיליון תאים לממ"ק.

תגר מתמטי

נסו לחשב את השטח הכולל בגוף המאפשר דיפוזיה של חמצן לתאי דם אדומים. השתמשו בנתונים האלה:
גופו של אדם בוגר מכיל חמישה וחצי ליטרים של דם (ליטר אחד = מיליון מילימטרים מעוקבים), וכל מילימטר מעוקב בגופו מכיל חמישה מיליון תאי דם אדומים בממוצע. שטח הפנים של תא דם אחד הוא 100 מיקרומטר רבועים.

1. כמה תאי דם אדומים יש בגוף בסך הכול?
2. מהו שטח הפנים הכולל של כל תאי הדם האדומים?

לאחר שתכפילו שטח פנים של תא אחד במספר התאים, נסו להפוך את השטח ממיקרומטרים רבועים למטרים רבועים.
(וקצת עזרה בדרך: מיקרומטר הוא אלפית של מילימטר; במטר רבוע יש 100 ס"מ x 100 ס"מ - כלומר, 10,000 סמ"ר.)

האם הסתבכתם במספרים? אם צלחתם בהצלחה את כל ההכפלות באלף, קיבלתם שטח השווה ל-2.5 דונם (2500 מ"ר), - שטחו של מגרש כדורגל! כדאי שתציינו לעצמכם, כי פני השטח הכוללים של תאי הדם האדומים גדולים פי 1,500 משטח העור של אדם בוגר.
כמובן, דיפוזיה של חמצן לתוך תאי הדם לא נעשית דרך כל השטח הזה בבת-אחת, שכן בכל רגע נתון מתרחשת דיפוזיה רק בתאים האדומים הנמצאים בנימים החובקים את הנאדיות. לכן, יש לחשב גם את שטח המגע של נאדיות הריאה עם נימי הדם. לא נלאה אתכם בחישובים נוספים, אך נציין כי שטח המגע בין האוויר לבין נימי הדם בריאות הוא 100 מ"ר .
ולקינוח - עוד קצת מספרים: אם נניח את כל תאי הדם האדומים בגופנו זה על גבי זה, יגיע גובה ה"ערימה" ל-55,000 קילומטרים; ואם נסדר אותם זה אחר זה בשורה אופקית, הם יקיפו את כדור-הארץ חמש פעמים סביב קו המשווה. וכן, בכל תא אדום יש 250 מיליון מולקולות של המוגלובין. כל אחת מהן יכולה לקשור ארבע מולקולות חמצן, כך שכל תא אדום יכול לקשור כמיליארד (1000 מיליונים) מולקולות חמצן!

קשירת חמצן בגבהים

כאמור, יכולתו של המוגלובין לקשור חמצן גוברת ככל שיש יותר חמצן בסביבה, ונחלשת עם הירידה בלחץ החלקי של החמצן. בפרק 3, העוסק בחילופי גזים, הזכרנו כבר את השינויים החלים בלחץ האטמוספרה ובלחצו החלקי של החמצן ככל שמגביהים לעלות. עתה נבהיר איך משפיעים שינויים אלה על קשירת החמצן להמוגלובין.
מכיוון שהחמצן הוא גז, דרך יעילה לבטא את כמותו היא על-ידי מדידת לחצו. בגובה פני הים לחצה הכולל של האטמוספרה הוא 760 מ"מ כספית. מכיוון שהחמצן מהווה כ- 20% מהאטמוספרה, לחצו החלקי בגובה פני הים הוא 760:5, שהם 152 מ"מ כספית.
ככל שעולים למקומות גבוהים יותר, שכבת האטמוספרה מעל פני השטח נעשית דקה יותר, וגם הלחץ שלה יורד בהתאמה. וכשיורד לחץ האטמוספרה, יורד גם לחצו החלקי של החמצן באותה מידה (ראו פרק 3, עמוד 51). ככל שיורד לחצו של החמצן, יורד גם שיעור קשירתו להמוגלובין בכל נקודת זמן.
מי שהזדמן לו לטייל בהרים גבוהים מאוד - למשל, באלפים באירופה, בהרי האנדים בדרום אמריקה, או בהימליה באסיה - ודאי חש בקושי לעשות מאמץ גופני כלשהו, בעיקר בימים הראשונים. ההסבר לכך ברור: מכיוון שכמות ההמוגלובין המחומצן המיוצרת בכל דקה פוחתת, הרי שגם כמות החמצן המגיעה לתאים יורדת, ולכן יורד גם כושרם לעמוד במאמץ. אדם שחי כל חייו באזורים לא הרריים ומגיע לגובה העולה על 3000 מטר, מגלה שהוא מתקשה לתפקד כרגיל.
לאחר כמה ימי שהייה בהרים, המצב הזה משתנה: הגוף מגיב לירידה בלחץ החמצן ביצירה מוגברת של תאי דם אדומים, כך שמספרם בדם עולה במידה ניכרת. התגובה הזו דורשת זמן, ומשך הזמן תלוי בגובה שהאדם נמצא בו. הזמן הדרוש לייצור כמות מוגדלת של תאים אדומים הוא זמן ההסתגלות של האדם לגובה החדש. בגובה 3000 מטר, זמן ההסתגלות הוא ימים ספורים, אולם ככל שהגובה רב יותר, נדרש זמן הסתגלות ארוך יותר.
ומי לא צריך להסתגל? כמובן - אנשים שההרים הם סביבת חייהם הקבועה. בדיקות מראות שבדמם של תושבי האנדים ושל התושבים בהימליה, יש למעלה משבעה מיליון תאים אדומים בכל מילימטר מעוקב של דם - כ-15 עד 16 אחוזים יותר מאשר בדמנו-אנו, שוכני המישורים (ולעניין זה, גם צפת וירושלים הן מישור...).

אלה 15

מה צפוי שיקרה לאדם יליד ההימליה, שיגיע למקום נמוך יחסית - למשל, לירושלים?

כל תא דם אדום נמצא במחזור הדם כ-120 יום, ובתום תקופה זו הוא מתפרק. פירוק התאים האדומים נעשה בעיקר בטחול, שם נמצאים תאים המזהים תאי דם זקנים, בולעים אותם ומפרקים אותם. מוח העצמות מחדש בלי הרף את מלאי התאים, ומייצר לא פחות משני מיליון תאי דם אדומים חדשים בכל שנייה!

התאים הלבנים מגינים על הסביבה הפנימית

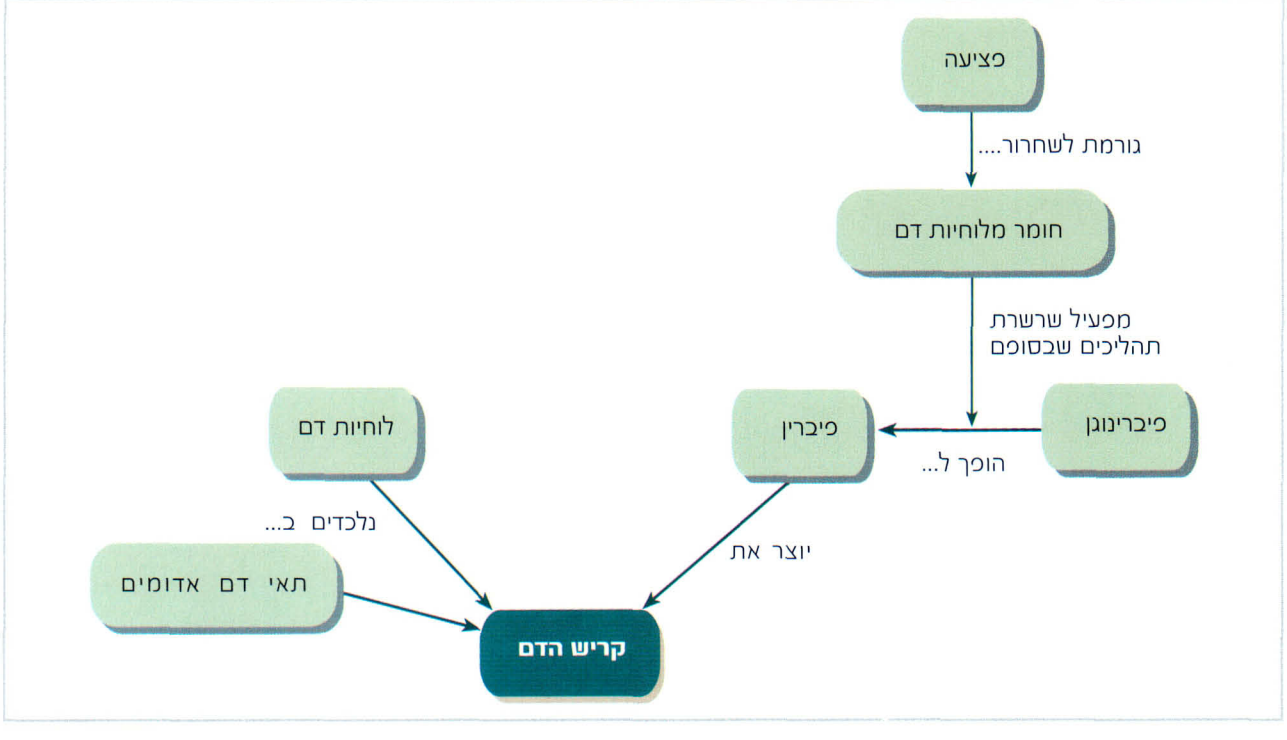
לעומת התאים האדומים, תאי הדם הלבנים הם מיעוט זעיר: בכל מילימטר מעוקב של דם מצויים רק 5000 עד 10,000 תאים כאלה. התאים הלבנים נוצרים גם הם במוח העצמות, אך לבד מהיותם דיירי הדם, אין הרבה מן המשותף ביניהם לבין התאים האדומים. בניגוד למליוני התאים האדומים, שכולם זהים ביניהם בכל פרטי המבנה שלהם, בממדיהם ובתפקודם, התאים הלבנים נחלקים לכמה קבוצות שונות בצורה, בגודל וגם בדרכי התפקוד. ככלל, כל הקבוצות משתתפות בפעילויות המגינות על הגוף מפגיעה של פולשים זרים ומסייעות במניעה של מחלות שונות, אולם לכל קבוצה של תאים לבנים יש תפקיד שונה בהגנה על הגוף.
התאים הלבנים אינם מוגבלים לשהייה בכלי הדם בלבד, והם מסוגלים לצאת דרך דפנות נימי הדם ולנדוד ברקמות. כושר הנדידה שלהם חיוני לפעולות ההגנה על הגוף מפולשים. למעשה, פעולות ההגנה שלהם מפני גורמים זרים ותקיפתם יכולות להתבצע כאשר הם נמצאים בין תאי הרקמות, ולא כאשר הם

נישאים בזרם הדם. כאשר תאים לבנים קולטים מידע על נוכחות פולש זר במקום כלשהו בגוף, הם נמשכים למקום זה, יוצאים מתוך נימי הדם ומגיעים אל הפולש.
תאי הדם הלבנים הם המרכיבים העיקריים של **מערכת ההגנה** של הגוף - מערכת החיסון. דרכי ההתמודדות של מערכת החיסון עם גורמים זרים הן מורכבות מאוד, ולכן הוקדשה להן יחידה נפרדת, יחידה ג.

לוחיות הדם חיוניות לקרישת הדם

פצע קטן לא ימשיך לדמם יותר מאשר שתיים-שלוש דקות. גם אם לא ננקוט בכל אמצעי שהוא, הדימום ייעצר מעצמו בתוך זמן קצר. הדם נקרש בשל פעולתו של חומר הנמצא בלוחיות הדם, אליו מצטרפים חומרים אחרים המומסים בפלזמת הדם.
לוחיות הדם הן גופיפים שטוחים כמו לוח, ומכאן שמן. הלוחיות קטנות אף מתאי הדם האדומים, והן נמצאות בדם במספרים גדולים: כ-250,000 לוחיות בכל מילימטר מעוקב של דם (פי 25 עד פי 50 יותר מתאי הדם הלבנים). כפי שכבר ציינו, הלוחיות אינן תאים שלמים, אלא חלקי תאים.
תהליך קרישת הדם מתואר באופן סכמתי באיור 4.25. זהו "תהליך שרשרת", שמהלכו התקין תלוי במעורבותם של חומרים רבים. רוב החומרים הדרושים לקרישת הדם נמצאים בפלזמה כל הזמן בצורה לא פעילה. החומר הפעיל המתחיל את תהליך הקרישה, נמצא בתוך לוחיות הדם. כל עוד הדם זורם בזרימה חלקה ובלי הפרעה, לא מתרחשת קרישה. בעת פציעה נקרעות דפנות כלי הדם באזור הפצע. כאשר לוחיות דם נתקלות בקרע בדופן של כלי דם, הן מתפרקות. החומר הפעיל הנמצא בתוכן משתחרר לדם, ומתחילה תגובת שרשרת:
ברגע שחומר זה בא במגע עם חומר קרישה בלתי פעיל המצוי בדם, הוא מפעיל אותו; חומר זה מפעיל חומר אחר הנמצא בדם, וכך מתחיל תהליך הקרישה להתגלגל. התהליך מסתיים כאשר החומר האחרון בשרשרת, ששמו **פיברינוגן** (Fibrinogen), הופך לחומר בשם **פיברין** (Fibrin). הפיברין הוא חלבון בלתי מסיס במים, והוא יוצר סיבים ארוכים ומפותלים. במקום הפציעה מופיעה, בתוך כמה דקות, פקעת סבוכה של סיבי פיברין. בתוך הפקעת נלכדים תאי דם אדומים המצויים בכל מקום במספרים עצומים, ונוצר מעין פקק העוצר את הדימום.
באיור 4.26 תוכלו לראות "פקק" כזה - סבך של סיבי פיברין, שתאי דם אדומים לכודים בתוכו. צבעו האדום של קריש הדם נובע מנוכחותם של תאי הדם האדומים.

איור 4.26
קריש דם -
קריש הדם נוצר מסבך של סיבי פיברין וביניהם תאי דם אדומים



איור 4.25
שלבים ביצירת קריש דם

שאלה 16

אם לוחיות הדם גורמות לקרישה מהירה של הדם מיד לאחר פציעה, איך ייתכן שהדם שלוקחים במרפאה לצורך בדיקות לא נקרש? הציעו השערות להסבר התופעה, וברר מה התשובה.

עוד על...

המופיליה - מחסור בחומרי קרישה

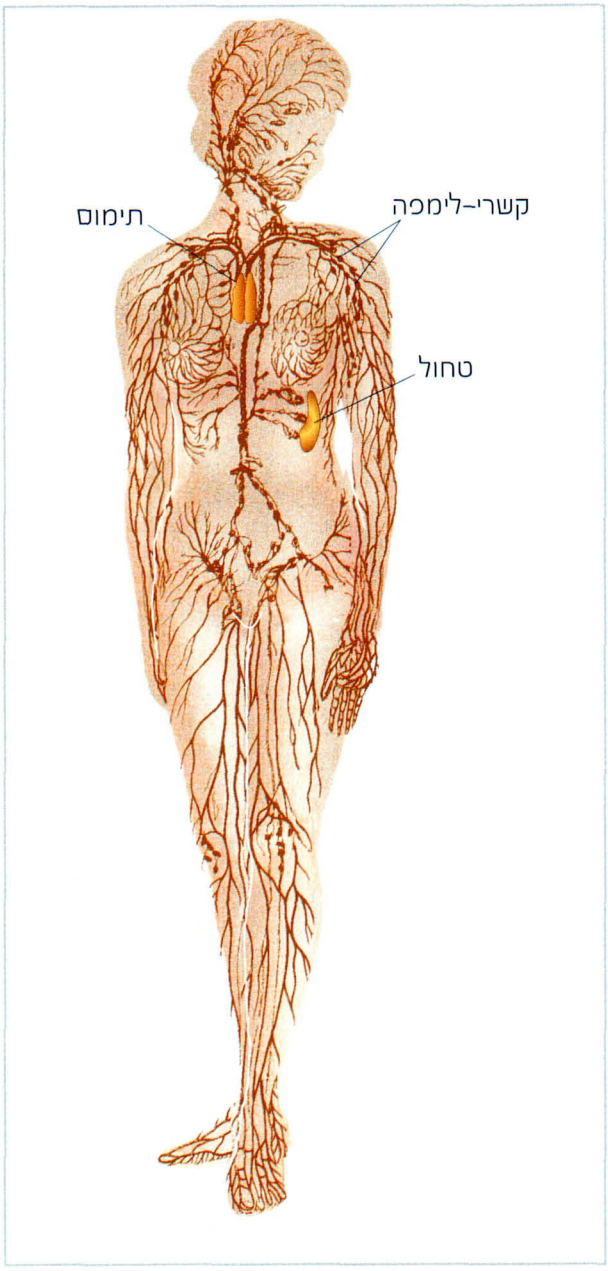
אנשים הסובלים מחסר באחד מהחומרים המשתתפים בקרישה, חולים במחלת ההמופיליה. אנשים אלה נתונים בסיכון מיוחד, כי כל פציעה קלה שלהם עלולה להוביל לדימום בלתי פוסק, ואפילו לדימום עד מוות. נוסף לכך, הם עלולים לסבול מדימומים באיברים פנימיים גם בלי קשר לפציעה. הטיפול הניתן להם כולל עירוי של פלזמה, המכילה את גורם הקרישה החסר, והם נזקקים לעירויים כאלה לעיתים תכופות. מנות הדם הרבות שמקבלים חולי ההמופיליה נבדקות בדיקה קפדנית, כדי למנוע את היחשפותם של החולים לגורמי מחלות העלולים להימצא בהן. למרות זאת, בשנות ה-80 של המאה ה-20 נדבקו חולי המופיליה רבים בארצות שונות (ובמקרים מעטים גם בישראל) באיידס. באותן שנים עדיין לא ידעו החוקרים להסביר את הגורם למחלת האיידס ואת דרכי ההידבקות בה. ההדבקה של חולי המופיליה במחלת האיידס היוותה הוכחה ישירה לכך שגורם המחלה מצוי בדם, ועודדה את החוקרים למקד את מחקריהם בכיוון זה. לאחר אמצע שנות ה-80 נוספו לבדיקות השגרתיות שעברו מנות הדם גם בדיקות לזיהוי נגיף האיידס, או לאיתור עדויות לנוכחותו.

4.5 מערכת הלימפה מקבילה למערכת הדם

לצד מערכת כלי הדם נמצאת בגופנו מערכת זרימה מקבילה - **מערכת הלימפה**. מערכת זו בנויה מרשת של נימים וצינורות לימפה, שנוזל הלימפה זורם בהם. מערכת הלימפה מנקזת עודפי מים ומומסים הנקווים בין התאים ברקמות. הרכב הלימפה דומה מאוד להרכב הפלזמה של הדם אך אין בה תאים אדומים והיא מכילה אחוז נמוך יותר של חלבונים. נוזל הלימפה מתחיל את זרימתו בנימי הלימפה, שהנוזל העודף מבין התאים נאסף בהן, וזורם מהן לצינורות הלימפה.

בצינורות הלימפה יש מסתמים המאפשרים זרימה בכיוון אחד בלבד - לכיוון הלב. נוזל הלימפה זורם בקצב איטי מאוד בהשוואה לדם. צינורות הלימפה מתנקזים לוריד החלול העליון, וכך מגיע נוזל הלימפה אל הדם.

באיור 4.27 תוכלו לראות את פרישת מערכת הלימפה בגוף.



איור 4.27
מערכת הלימפה בגוף האדם

במקומות שונים לאורך צינורות הלימפה אפשר להבחין ב**קשרי הלימפה** - בליטות, או גושים קטנים בעלי צורה המזכירה שעועית. קשרי לימפה מפוזרים בכל מערכת הלימפה, אך ריכוזים גדולים במיוחד שלהם נמצאים במפשעות, בבתי-השחי, באזור הצוואר, מתחת ללסתות וסביב הגרון. קשר הלימפה הגדול בגוף הוא הטחול, שיש לו גם תפקידים נוספים שלא יפורטו כאן.

לקשרי הלימפה יש תפקיד חשוב בהגנה על הגוף מפני מחלות. תאי הדם הלבנים הרבים המרוכזים בקשרי הלימפה תוקפים גורמים זרים שמגיעים אליהם בתוך נוזל הלימפה. התימוס הוא איבר במערכת הלימפה הקשור גם הוא לתפקודם של תאי הדם הלבנים בהגנה. תיאור מפורט של פעילות תאי הדם הלבנים מופיע בפרק 8, העוסק במערכת החיסון.

יש המכנים את קשרי הלימפה בטעות בשם "בלוטות", אך חשוב לדעת, כי אין אלה בלוטות; בלוטות הן איברים שונים לחלוטין, בעלי פעילות אחרת, ותכירו אותן בפרק 6, העוסק בהורמונים.

שאלה 17

א. מה, לדעתכם, בודק הרופא הממשש את צווארכם, כאשר אתם מדווחים לו על חום ועל כאב גרון?

ב. על מה מעידים נפיחות וכאב בצדי הגרון?

בעיקרו של דבר, הסביבה הפנימית של גופנו היא סביבה המורכבת ממערכות נוזלים, המקיימות ביניהן יחסי גומלין. כך, מים ומומסים דולפים מנימי הדם ומצטברים בין התאים, מגיעים בהמשך ללימפה, וממנה הם חוזרים לדם. בין מערכות הנוזלים האלה מתקיים אפוא מאזן דינמי בלתי פוסק. כל שינוי קטן בריכוז של חומר כלשהו יגרום לתנועה של מים או של מומסים בין הנוזלים, עד שהאיזון ישוב על כנו.

4.6 סיכום

לרוב התאים ביצור רב-תאי אין כלל מגע עם הסביבה החיצונית. קיומם מותנה, בין השאר, בכך שמערכת הובלה תספק להם חמצן וחומרים שונים הדרושים לתפקודם, ותסלק מהם חומרים מיותרים או מזיקים. בגוף האדם, כמו בגופם של כל בעלי-החיים הרב-תאיים, יש מערכת הובלה כזו. המערכת מורכבת מצינורות הובלה - כלי הדם, וממשאבה הדוחפת ומזרימה את הדם - הלב. כלי הדם הם משלושה סוגים: עורקים, ורידים ונימים. בעורקים זורם דם מהלב אל כל חלקי הגוף, ובורידים זורם דם מכל הגוף בחזרה ללב. במעברו מהעורקים לוורידים זורם הדם בנימים. הנימים הם כלי דם דקים מאוד, הפרושים ברשת רחבה ביותר בין תאי הגוף. בעת שהדם זורם בנימים עוברים חומרים מהדם לתאים ומהתאים לדם. מספרם העצום של הנימים מספק שטח רחב מאוד למעבר חומרים בינם לבין התאים. כאשר הדם זורם בנימי הדם בריאות, עובר חמצן בדיפוזיה מנאדיות הריאה אל תאי הדם האדומים. החמצן משתחרר מתאי הדם בעת שהדם זורם בנימים, ועובר מהם אל כל תאי הגוף. פחמן דו-חמצני עושה את הדרך בכיוון ההפוך.

הלב פועל כמשאבה כפולה. בכל פעימה של הלב נדחף דם מהחדר השמאלי אל אבי העורקים וממנו אל כל העורקים בגוף, ובו-בזמן נדחף דם מהחדר הימני אל עורק הריאות וממנו אל שתי הריאות. קצב פעימות הלב נקבע על-ידי קוצב הלב, המסוגל להפעיל את הלב באופן עצמאי, בלא מעורבות של מערכת העצבים, שהוא מחובר אליה. רק כאשר חל שינוי משמעותי ברמת הפעילות הגופנית מתערבת מערכת העצבים בפעולת קוצב הלב ומשנה את קצב פעימות הלב ואת עוצמתן.

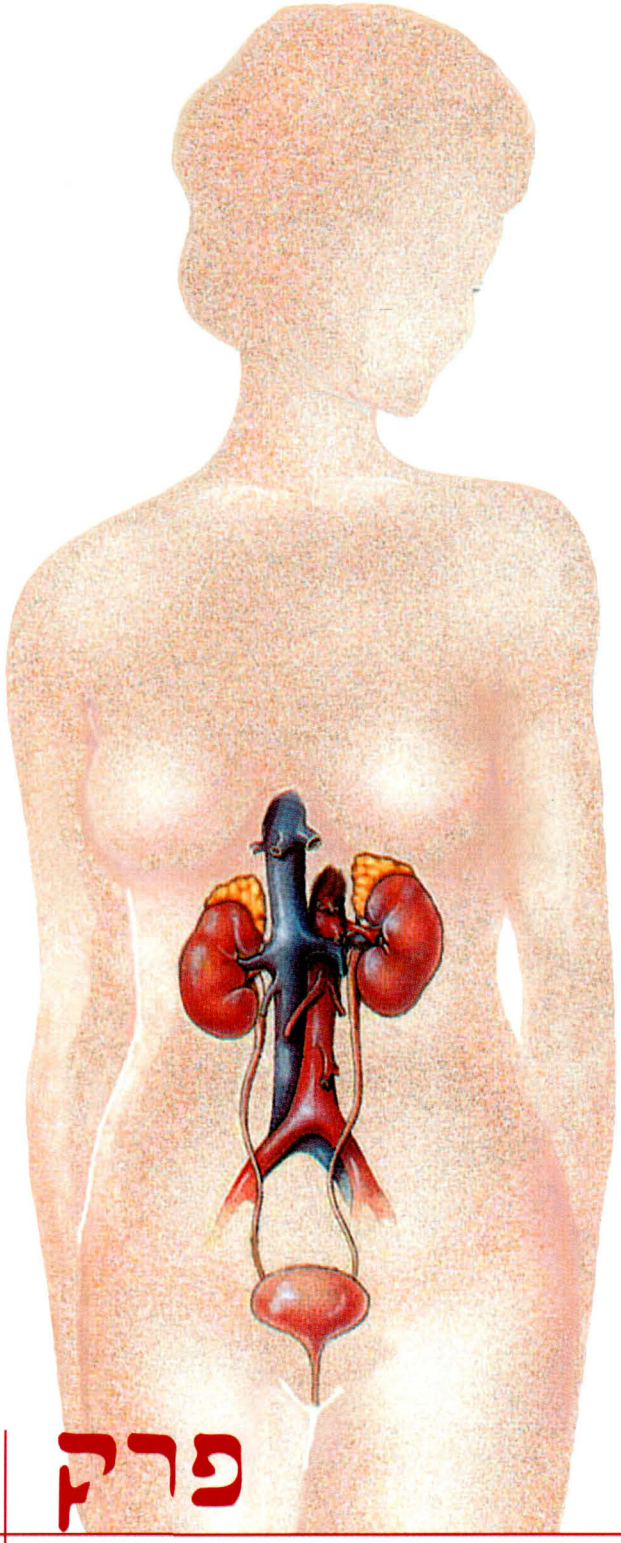
הדם עצמו מורכב מחלקים כמעט שווים של נוזל ותאים: 55% נוזל - פלזמת הדם, ו-45% תאים, שרובם אדומים ומיעוטם לבנים. נוסף לתאי הדם, נמצאות בדם גם לוחיות דם. תאי הדם האדומים מובילים חמצן לכל התאים בגוף. התאים הלבנים משתתפים בהגנה על הגוף מפולשים זרים ומגורמי זיהום למיניהם. לוחיות הדם מעורבות בקרישת הדם בעת פציעה.

תאי הדם האדומים הם התאים הקטנים ביותר בגוף. צורתם כשל דיסקוס קעור משני צדדיו, ואין בהם גרעין ואברונים. צורתם המיוחדת מגדילה מאוד את שטח הפנים שלהם ביחס לנפחם, ובהתאם לכך גדל השטח הזמין לדיפוזיה של חמצן לתוכם בעת מעברם בנימי הדם בריאות. היעדר גרעין ואברונים בתאי הדם האדומים מותיר מקום רב להמוגלובין הממלא את הציטופלזמה שלהם.

בגוף פועלת מערכת הובלה נוספת המקבילה למערכת הדם - מערכת הלימפה. מערכת זו מורכבת מצינורות ומנימי לימפה, הסגורות בקצה אחד. מקורו של נוזל הלימפה במים ובמומסים שונים שדלפו מנימי הדם ונקוו בחומר החוץ-תאי. הרכבו דומה מאוד להרכב הדם, אך אין בו תאים אדומים, אלא רק תאי דם לבנים. במערכת הלימפה נמצאים גם קשרי לימפה, ובהם ריכוזים גדולים במיוחד של תאי דם לבנים. מערכת הלימפה משתתפת בהגנה על הגוף ממזהמים. נוסף לכך, היא מתווכת בין הנוזלים בדם ובחומר החוץ-תאי, ובכך היא מסייעת לאיזון הסביבה הפנימית.

שאלות סיכום וחזרה

1. סכמו את תרומתו של הארווי:
   א. להבנת מערכת הדם;
   ב. להתפתחות הגישות למחקר במדע.
2. אם היה הארווי מודע לממצאיו של מלפיגי אודות נימי הדם, כיצד היה יכול לשפר את ההסבר שלו לזרימת הדם בגוף?
3. סכמו את ההתאמות של מבנה כלי הדם השונים לתפקידים שהם ממלאים בהובלת הדם.
4. באילו מקומות במחזור הדם ישנם מסתמים? מהי חשיבותם של המסתמים דווקא במקומות אלו?
5. כשמקשיבים לפעימות הלב שומעים דפיקות בקצב קבוע, מהו המקור לדפיקות?
6. מדוע איבוד דם רב בעת פציעה ואיבוד נוזלים בעת התייבשות גורמים שניהם לירידה בלחץ הדם? מהן הסכנות במצבים אלו?
7. מדוע ניתן לבדוק את קצב הלב באמצעות מדידת הדופק במקומות שונים בגוף?
8. אצל ספורטאי מאומן, תפוקת הלב עולה במהירות בעת מאמץ מבלי שקצב פעימות הלב עולה בהרבה. הסבירו כיצד זה אפשרי.
9. כיצד נגרם "אוטם שריר הלב"?
10. "יתר לחץ דם" כרוני - כלומר, מצב של לחץ דם גבוה רוב הזמן - נחשב לאחד מגורמי המוות הראשיים בעולם המערבי. מהן הסכנות במצב זה?
11. אילו מסרים משדר המוח לאחר ארוחה דשנה לכלי הדם המוליכים למעיים ולכלי הדם המוליכים לשרירי הגפיים?
12. על-פי מה שכבר למדתם בפרקים הקודמים, מניין מגיעים לדם גלוקוז וחומצות אמיניות?
13. כאשר קר לנו, הטמפרטורה של האוזניים, כפות הרגליים וכפות הידיים נמוכה מזו שביתר חלקי הגוף. נסו לשער את הסיבה לכך.
14. בסעיף העוסק בטרשת עורקים הזכרנו את המשקע המצטבר בדפנות כלי הדם. לוחיות דם הנתקלות במשקע מחוספס כזה עלולות להגיב כמו במגע עם קרע בדופן. מהי הסכנה במצב כזה?
15. כיצד תורמת מערכת הלימפה ליציבות הסביבה הפנימית של הגוף?
16. סכמו את ההתאמות של מבנה תאי הדם האדומים לתפקודם בהובלת חמצן.



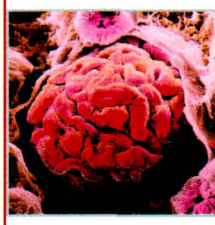
פרק 5

מערכת ההפרשה

פינוי חומרים מהגוף

פרק 5

תוכן העניינים



5.1 חומרים מיותרים מסולקים מהגוף 99

5.2 כניסות ויציאות במערכת ההפרשה 100
- השתן נוצר מהדם 101

מתן שתן: "לחץ גורר לחץ" 101

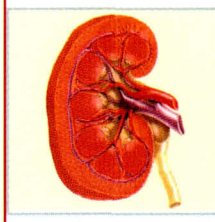
5.3 כליות הן מתקני סינון מתוחכמים 102
- הנפרונים הם יצרני השתן 102

כמות השתן תלויה בכמות המים בדם 104
- בדיקות שתן מסייעות לאבחן מחלות 104

5.4 מה עושים כשהכליות אינן מתפקדות כראוי? 105
- דיאליזה 105
- השתלת כליות 106

5.5 סיכום 107

שאלות סיכום וחזרה 107



5.1 חומרים מיותרים מסולקים מהגוף

אדם בוגר אוכל ושותה ביום רגיל בין שניים וחצי לשלושה וחצי ק"ג חומרי מזון מוצקים ונוזלים בממוצע. מה קורה לכל הכמות הזו של חומרי המזון?
אחד הביטויים המרשימים ביותר של ההומאוסטאזיס הוא ניצול יעיל של החומרים הנכנסים לגוף ופינוי של החומרים המיותרים, העלולים לפגוע בגוף.
בפרק 2 ראיתם, כי המזון נעכל במערכת העיכול, מתפרק למרכיביו, ואלה נספגים

איור 5.1
אם כל מה שנכנס יוצא, מה נשאר?

ממערכת העיכול לדם, ומגיעים אתו לתאי הגוף. ציינו גם, כי רק חלק קטן מהמזון לא נעכל ויוצא ממערכת העיכול בצואה.
כל החומרים שנאכלו, נעכלו ונקלטו בדם מגיעים לתאי הגוף. בתאים מתרחש מכלול תהליכים מגוונים של שינוי, פירוק נוסף ובנייה של חומרים חדשים, המכונה **חילוף חומרים**. הגלוקוז, לדוגמה, מתפרק בכל התאים בתהליך הנשימה התאית. פירוקו גורם בין היתר ליצירת פחמן דו-חמצני, שאינו דרוש לתאים, והצטברותו בתאים אף עלולה להזיק להם. הפחמן הדו-חמצני נפלט מן התאים לדם. עם הדם הוא מגיע לריאות ומסולק מהגוף החוצה באמצעות מערכת הנשימה. חומרים מיותרים ומזיקים רבים נוצרים כל הזמן בכל התאים, והם נפלטים מן התאים לסביבתם וממנה לדם.
חומרים מזיקים נוצרים גם בכבד (אם כי נוצרים בו גם חומרים חשובים ביותר). כפי שלמדתם בפרק 2, בתאי הכבד מתרחש פירוק מתמיד של חלבונים שונים. מפירוק החלבונים נוצר האמוניה - חומר רעיל המכיל אטומי חנקן. אנזימים בתאי הכבד הופכים אותו מיד לחומר רעיל פחות, ששמו **שתנן** (Urea), ובצורה זו משתחרר החומר מתאי הכבד לדם. נוכחותו של השתנן בדם אינה מזיקה כל עוד היא נשמרת מתחת לסף ריכוז מסוים. השתנן מגיע עם הדם לכליות, שם הוא מסולק בשתן. פינוי השתנן דרך השתן מונע את הצטברותו בדם.
בדם עשויות להימצא גם כמויות שונות של חומרים שנוכחותם בגוף אינה קבועה. כך, למשל, החומרים הכלולים בתרופות שאנו לוקחים, משתנים או מתפרקים בתאי הכבד, ומשם הם מגיעים לדם, או למיץ המרה (ראו פרק 2, עמוד 42). לאחר שהתרופות פעלו את פעולתן בתאים, תוצרי הפירוק שלהן מגיעים לשתן ומסולקים מהגוף. זהו גם גורלם של חומרים נוספים שאינם תרופות, כגון ויטמינים עודפים וסמים למיניהם.
הדם מכיל אפוא בכל רגע כמויות מסוימות של חומרים שהגוף לא משתמש בהם, וביניהם גם חומרים שעלולים להזיק לגוף, אם יצטברו בתוכו.
בגופו של אדם בריא, חומרים אלה מסולקים בהתמדה מהדם ומפונים מהגוף. זהו בעצם אחד מביטויי המרכזיים של ההומאוסטאזיס - הרכב הנוזלים בסביבה הפנימית ובדם נתון לתיקונים רצופים ובלתי פוסקים, וכך הוא נותר יציב לאורך זמן.
עם זאת, חשוב לציין, כי לא תמיד הפינוי של חומרים מיותרים הוא מושלם. אם האדם צורך כמויות גדולות מאוד של חומרים כאלה, מערכת הפינוי לא תמיד מצליחה להתגבר על הכמויות העודפות.
בגופנו פועלות כמה מערכות, המפרישות חומרים אל מחוץ לגוף. הזיעה המופרשת מבלוטות הזיעה מכילה מלחים. הפרשת זיעה גורמת אפוא לאיבוד מים ומלחים מהסביבה הפנימית. הריאות פולטות, כלומר, משחררות לסביבה, פחמן דו-חמצני ואדי מים.
אולם התיקונים העיקריים של הרכב הנוזלים בגוף נעשים על-ידי מערכת ההפרשה, שהמבנה שלה מאפשר פינוי מדויק מאוד של חומרים מיותרים מתוך הדם.
פינוי החומרים על-ידי מערכת ההפרשה פותר שתי בעיות נפרדות:
האחת - בעיית נוכחותם של חומרים מזיקים בגוף - מערכת ההפרשה מסלקת מהדם חומרים מזיקים המסכנים אותו - שתנן, תוצרי פירוק של תרופות וחומרים אחרים;
השנייה - בעיית השמירה על ריכוז תקין של מלחים, של מים ושל חומרים אחרים בדם - מערכת ההפרשה מפנה עודפי מים מהדם, או שומרת על המים בעת הצורך. במקביל, היא מפנה מהדם גם עודפי מלחים, בהתאם לריכוזם בדם, ובכך היא שומרת על ריכוז תקין של מלחים ושל חומרים אחרים בדם ותורמת ליציבות הסביבה הפנימית.

5.2 כניסות ויציאות במערכת ההפרשה

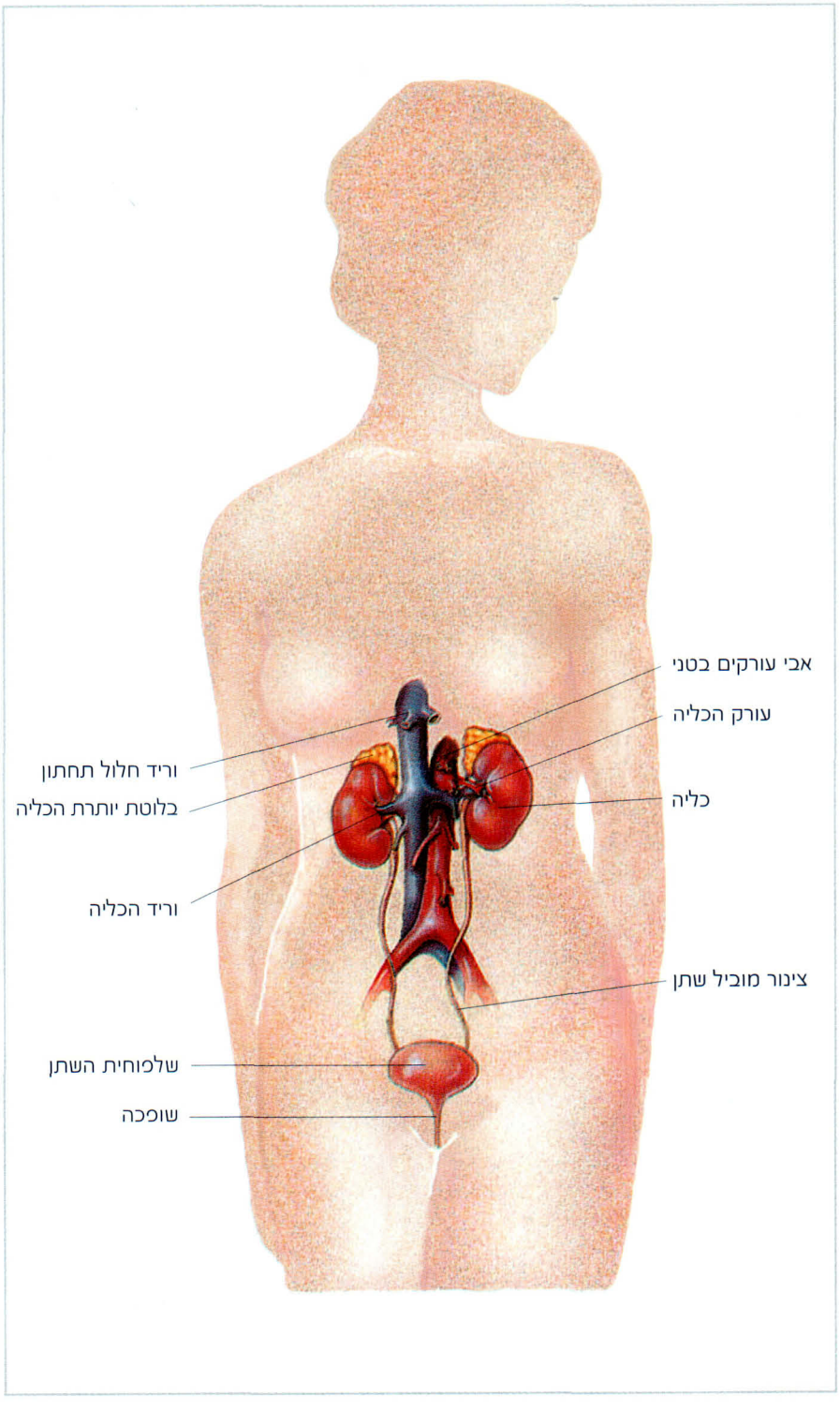
באיור 5.2 תוכלו לראות את מבנה מערכת ההפרשה של האדם.

שאלה 1

א. מה שמו של כלי הדם המוביל דם מהחדר השמאלי של הלב אל כל הגוף?

ב. הדם הנמצא בעורק, יצא מהחדר השמאלי של הלב. היכן היה הדם הזה לפני שהגיע לצד השמאלי של הלב?

ג. מה מאפיין את הדם הזורם בעורק הזה?



איור 5.2
מערכת ההפרשה

באיור רואים את איברי המערכת: שתי כליות, שני צינורות מובילי שתן, שלפוחית שתן וצינור השופכה היוצא מן השלפוחית. אל כל כליה נכנס עורק, ומכל כליה יוצא וריד.
הדם מגיע אל הכליות היישר מהצד השמאלי של הלב. כדי לעמוד על משמעות התופעה, כדאי שתערכו חזרה קצרה על מהלכו של הדם במחזור הגוף. הסתייעו לשם כך בקטע המתאר את מחזור הגוף, בעמודים 72-73 בפרק 4.

אבי העורקים יוצר כיפוף בצאתו מהחדר השמאלי וממשיך את דרכו כלפי מטה לעבר הבטן. העורק, המהווה המשך של אבי העורקים באזור הבטן, נקרא "אבי העורקים הבטני" (איור 5.2). שני העורקים המובילים דם אל הכליות מסתעפים מאבי העורקים הבטני. חלק נכבד מהדם היוצא מהלב מגיע אפוא אל הכליות הישר מצד שמאל של הלב, לפני שזרם דרך איברי גוף אחרים. למעשה, כמות הדם המגיעה לשתי הכליות בכל דקה היא 1.2 ליטר, כרבע מכלל הדם היוצא מהלב בדקה - כלומר, רבע מכלל

הדם בגוף נתון בכל דקה בתהליך של סינון ושל סילוק חומרים מזיקים ומיותרים, וזאת, לפני שהוא זורם לאיברים אחרים. ומכאן, כל הדם הנמצא בגופו של אדם בוגר עובר את תהליכי הטיהור בכליות מדי ארבע-חמש דקות.

הדם הזורם בעורקי הכליות מכיל שתנן, הנוצר מפירוק חלבונים בכבד; וכן הוא מכיל חומרים מיותרים אחרים, כגון מלחים עודפים, תוצרי פירוק של תרופות ותוצרים שונים של חילוף חומרים מתאי הגוף. הדם בווריד היוצאים מהכליות נקי מכל אותם חומרים מיותרים. חומרים אלה נכללים בהרכבו של השתן.

השתן נוצר מהדם

כל החומרים הנמצאים בשתן באים מהדם, אם כי לא כל מה שנמצא בדם מגיע בהכרח לשתן. גם ריכוזי החומרים הנמצאים בדם ובשתן אינם דומים. הסתכלו בטבלה 1 , המציגה את ההבדל בין הרכב הדם להרכב השתן.

טבלה 1: הבדלים בהרכבי הדם והשתן

שם החומר	ריכוז באחוזים מהנפח	
	בדם	בשתן
מים	93-90	95
חלבונים	7	0
גלוקוז	0.1	0
מלחים (יוני כלור)	0.37	0.60
שתנן	0.03	2

הערה: הטבלה אינה מפרטת את כל החומרים המצויים בדם ובשתן, אלא רק את אלה הנמצאים בכמויות הגדולות ביותר.

שאלה 2

מה ההבדלים בין הדם לשתן?

כפי שרואים בטבלה, חלבונים וגלוקוז הנמצאים בדם, אינם נמצאים כלל בשתן של אדם בריא. גם תאי דם אדומים ולבנים אינם עוברים מהדם לשתן; בשתן אין תאים.
חלקם של המים בשתן גדול בדרך-כלל מחלקם בדם. כך הדבר גם לגבי השתנן: ריכוז השתנן בשתן גדול פי 67 מריכוזו בדם. ריכוז המלחים בשתן גדול כמעט פי שניים מריכוזם בדם. כמות המים בשתן עשויה להשתנות בהתאם לכמות המים ששתה האדם במשך היום.

השתן נוצר בכליות כל העת, בלי הפסקה. עצירה בייצור שתן למשך חמש דקות בלבד פירושה, שכל הדם בגוף לא השתחרר מהתוצרים המזיקים המצטברים בו. מצב כזה מבטא, למעשה, שיבוש בהרכב הדם - כלומר, סטייה מיציבות הסביבה הפנימית, המזיקה לתאים ומסכנת את הגוף כולו.
השתן מטפטף לשלפוחית והיא מתמלאת ומתנפחת בהדרגה. בצדה התחתון של השלפוחית נמצא שריר סוגר טבעתי, המכווץ רוב הזמן. השריר הסוגר מקיף את פתח המוצא של השלפוחית. כאשר כמות השתן בשלפוחית מגיעה ל-350 מ"ל בערך, נוצר לחץ על השריר הסוגר, והאדם מרגיש גירוי הדוחף אותו לשחרר את תוכן השלפוחית. הרפיית השריר הסוגר היא פעולה רצונית; כאשר השריר מתרפה, הוא מאפשר יציאת שתן.

מתן שתן: "לחץ גורר לחץ"

בתהליך של מתן השתן באה לידי ביטוי תופעה מעניינת. ברגע שהשתן מתחיל לצאת מהשלפוחית, לחץ הנוזל בתוכה יורד. לכאורה, אפשר לצפות שלאחר שחרור כמות קטנה של שתן, תוביל ירידת הלחץ לסגירת השריר הסוגר. אילו התהליך היה מתרחש בדרך זו, היינו נאלצים לתת שתן מדי שעה, ואולי אף לעתים קרובות יותר, והיינו מבלים את מרבית זמננו בשירותים.
למזלנו, לא זה המצב. בדופן שלפוחית השתן נמצאים שרירים, המתכווצים בד בבד עם פתיחת השריר הסוגר. התכווצות דפנות השלפוחית מגדילה את הלחץ בתוכה, גם כאשר היא מתחילה להתרוקן משתן. הלחץ המוגבר השורר בשלפוחית בעת מתן השתן מאפשר לה להתרוקן.
התהליך הזה מסביר תופעה שכל אחד מכיר אותה מהתנסות אישית: כל אדם מסוגל להתאפק במידה מסוימת ולמנוע יציאת שתן (בהבדלים אישיים קלים בין אדם לאדם). אולם ברגע שמתחילים לשחרר את השלפוחית, וטיפות השתן הראשונות יוצאות, כמעט אי-אפשר לעצור את התהליך. הדבר מוסבר בהתכווצות של שרירי דפנותיה של שלפוחית השתן. התכווצות זו היא בלתי רצונית לחלוטין, ואין לנו שליטה בה. מרגע שהאדם מאפשר את ההתחלה של מתן השתן, קשה מאוד, למעשה כמעט אי-אפשר, לעצור את התהליך.

העמקה

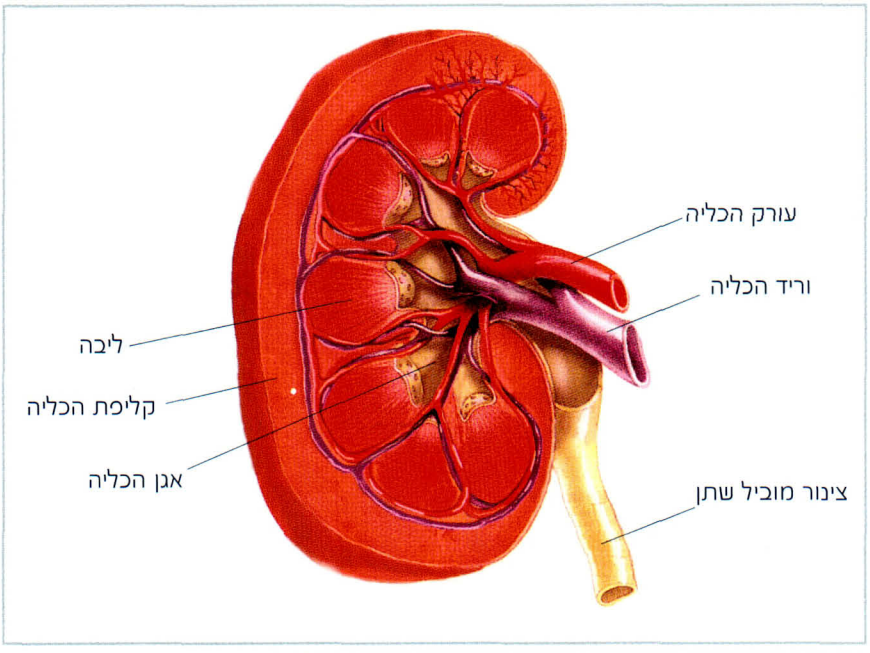
משוב חיובי בפעולת שלפוחית השתן

בגופנו פועלים מנגנוני בקרה שונים, אותם תכירו ביחידה ב, בפרקים 6 ו-7. אולם כדאי לשים לב למנגנון הבקרה המפעיל את השלפוחית, המגלם תופעה שאינה אופיינית לרוב מנגנוני הבקרה בגופנו. הכוונה היא למצב שבו ככל שהתהליך מתקדם, הדחף להתרחשותו גובר. בקרה מהסוג הזה נקראת "משוב חיובי". רוב מנגנוני המשוב הפועלים בגוף, מבוססים על עיקרון הפוך: ככל שהתהליך מתקדם, נכנסים לפעולה אמצעים הבולמים את המשך התהליך. בקרה כזו נקראת "משוב שלילי". משוב שלילי גורם לכך שתהליכים לא יימשכו עד אין-סוף. כאשר למדתם על הנשימה למשל, ראיתם כי ירידה ניכרת בשיעור הפחמן הדו-חמצני גורמת למנגנון של בקרת הנשימה להפסיק את אוורור הריאות (פרק 3, עמוד 62); בהכללה אפשר לומר, כי אוורור-יתר מהווה דחף להפסקת האוורור.
כאמור, בפעולת השלפוחית מתבטא עיקרון הפוך: יציאה של נוזל מהשלפוחית מעודדת את המשך היציאה של הנוזל. מנגנון פעולתה של השלפוחית הוא אחד מכמה מנגנונים מעטים בגוף המבוססים על משוב חיובי.

5.3 כליות הן מתקני סינון מתוחכמים

באיור 5.3 אפשר לראות את המבנה של כליה אחת. אם מסתכלים על כליה שלמה חתוכה לכל אורכה, רואים שהיא מחולקת לשני אזורים בולטים: אזור ההיקף, מכונה **קליפת הכליה**, ואזור הנקרא **ליבה**. פנימה לליבה אפשר להבחין באזור בהיר ממנו יוצא ה**צינור מוביל השתן**. אזור זה נקרא **אגן הכליה**.

הקליפה מורכבת ממספר עצום של מבנים זעירים, שכל אחד מהם מסנן דם ומייצר שתן מהמים העודפים ומהחומרים המיותרים שסולקו מהדם. "מטהרים" זעירים אלה הם יחידות הפעולה של הכליה, והם נקראים **נפרונים** (Nephron). בכל כליה יש כמיליון נפרונים. צינורית קטנה מאספת שתן יוצאת מכל נפרון לעבר הליבה של הכליה. בליבה עוברות כל הצינוריות מאספות השתן, מכל הנפרונים. הצינוריות מתלכדות באגן הכליה לצינור מוביל שתן אחד, היוצא מן הכליה לעבר שלפוחית השתן.



איור 5.3
מבנה של כליה בחתך אורך

הנפרונים הם יצרני השתן

כדי להבין את דרך ייצור השתן בנפרון, יש להכיר את המבנה המיוחד שלו. הנפרונים מהווים דוגמה מוחשית במיוחד לקשר ההדוק שבין מבנה לתפקוד.

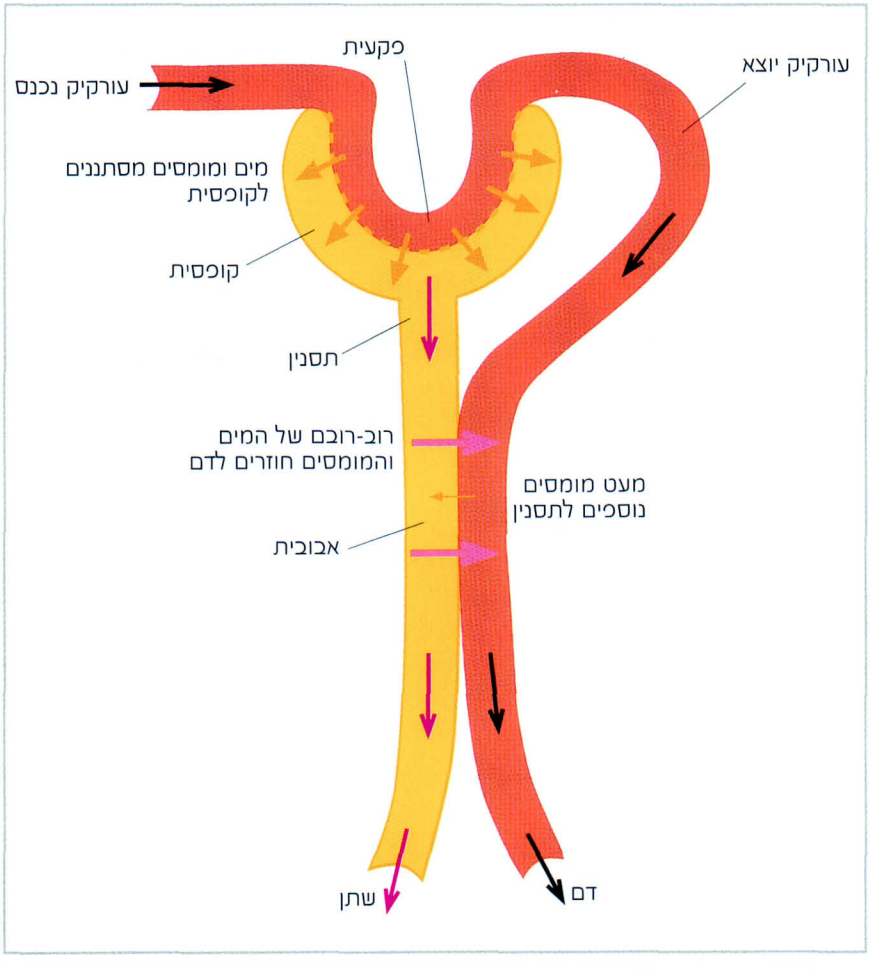
באיור 5.4 אפשר לראות, כי כל נפרון מורכב משני סוגי צינורות: כלי דם וצינורית מייצרת שתן, הנקראת **אבובית**.

נתחיל בתיאור כללי של ייצור השתן.

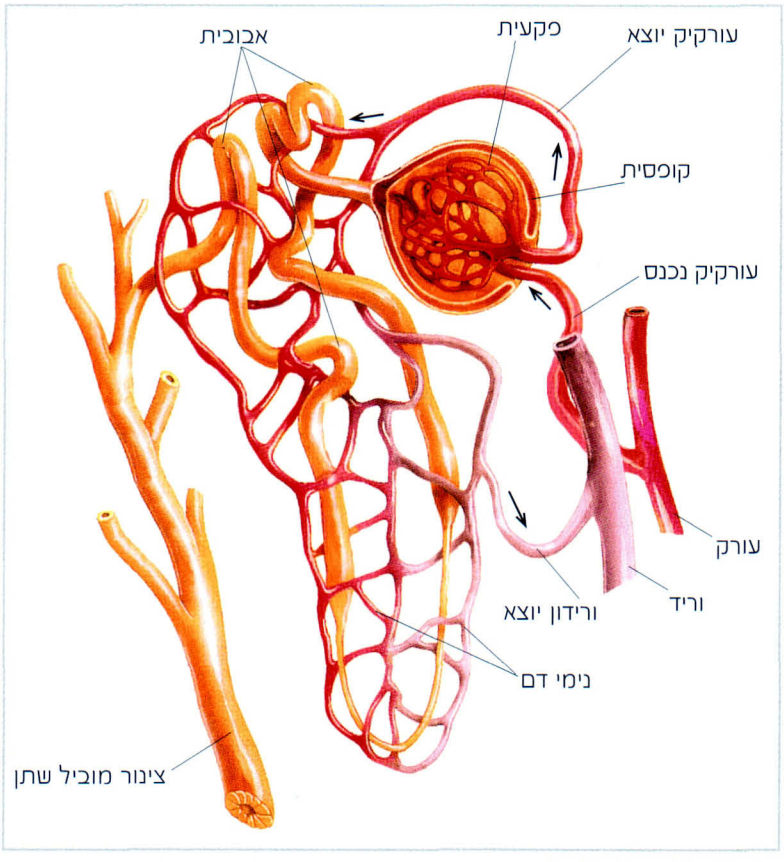
בכל נפרון מתרחש התהליך הזה: מים וכמעט כל החומרים המומסים בהם יוצאים מהדם ומסתננים אל תוך מבנה צינורי דמוי גביע - **קופסית** - שהוא תחילתה של האבובית; בדם נותרים רק חלבונים, תאי דם ומים; בהמשך, הדם והנוזל המסונן זורמים זה לצד זה בצינורות צמודים, ובעת הזרימה כמעט כל המים, ורוב-רובם של החומרים שהסתננו מהדם חוזרים אליו; באבובית נותר מיעוט מהחומרים, שהם בעיקר שתנן, מלחים וחומרים מיותרים שונים. המים והחומרים שנותרו הופכים בהדרגה לשתן במהלך הזרימה באבובית.

עתה נתבונן בהרחבה בשלבי התהליך. התבוננו באיור 5.4, והיעזרו בו כדי לעקוב אחר ייצור השתן בנפרון.

בצד שמאל של האיור רואים את כלי הדם הנכנס לנפרון. זהו עורקיק שהדם הזורם בו הגיע אליו מעורק הכליה. הקופסית, הדומה לגביע קטן, היא תחילתה של האבובית.



איור 5.4
סכמה פשטנית ביותר של נפרון ומעקב אחר ייצור השתן בתוכו



איור 5.5
סכמה של נפרון

איור 5.6
קטע מנפרון. צילום במיקרוסקופ סורק (מוגדל בערך פי 1000)

ממש בפתח הקופסית, העורקיק מסתעף למספר גדול של נימים, 200 נימים בקירוב, וכל הדם שזרם בו זורם לתוך הנימים האלה. הנימים הרבות מקופלות בתוך הקופסית בצורת פקעת צפופה מאוד. אפשר לראות את המצב הזה בצורה דומה יותר למציאות באיור 5.5. לפקעת הצפופה של נימי הדם קוראים **פקעית** (Glomerulus). תמונה של פקעית אמיתית רואים באיור 5.6.

כל נימי הדם מתלכדות ביציאה מהקופסית לעורקיק אחד העוזב את הקופסית. באיור 5.4 מופיע עורקיק זה כשהוא יוצא מהשקע בצד ימין. הדם שזרם בנימים שבתוך הקופסית נדחק עתה בחזרה לתוך עורקיק אחד.

מאחר שהדם נדחק בחזרה לעורקיק, יש לחץ גבוה מאוד, יחסית, בנימי הדם שבפקעית הצפופה.

כדי להבין זאת דמיינו לכם מצב כזה: אנשים רבים ממלאים מספר גדול של מסדרונות. כל המסדרונות נפגשים בקצותיהם והופכים למסדרון אחד. כל האנשים רוצים להיכנס לתוכו, ומובן שנוצר דוחק גדול בכל המסדרונות המובילים אליו.

מצב דומה שורר בנימי הדם היוצרות את הפקעית. מאחר שהדם הזורם בכל הנימים מתנקז בקצותיהן לעורקיק אחד, הלחץ בכניסה לעורקיק יוצר לחץ חזק בתוך הנימים. הלחץ בנימים גורם לכך שחלק גדול מהמים שבדם וכמעט כל החומרים המומסים בו, נדחפים דרך דפנות הנימים ועוברים לתוך הקופסית העגולה. רק חלבונים ותאי דם לא עוברים ונותרים בתוך נימי הדם. בנימים נותרת תמיסה מרוכזת של חלבונים ותאי דם.

בחלל הקופסית נמצאת עתה תמיסה מימית הממשיכה לזרום באבובית. לתמיסה הזו קוראים **תסנין**. שימו לב, בשלב הזה התסנין עדיין איננו שתן! הוא מכיל את רוב המים שהיו בדם וכמעט את כל החומרים המומסים בדם, לרבות חומרים שנוכחותם בדם חיונית, כגון גלוקוז.

העורקיק שיצא מתוך השקע של הקופסית מסתעף פעם נוספת לנימים רבות, והנימים האלה מלפפות את אבובית הנפרון לכל אורכה. תוכלו לראות זאת באיור 5.5.

עתה זורמים שני נוזלים בסמוך מאוד זה לצד זה: בנימים זורם דם, ובאבובית הנפרון זורם תסנין.

הדפנות של שני סוגי הצינורות - נימי הדם ואבובית הנפרון - הם דקים מאוד וקרובים זה לזה; כל אחד מהם בנוי רק משכבה אחת של תאים. במהלך הזרימה חל מעבר הדרגתי ומבוקר של מומסים החוזרים מהתסנין לדם דרך הדפנות הדקיקות האלה. כמעט כל המים חוזרים אל נימי הדם, וגם כל הגלוקוז חוזר מהתסנין לדם. חלק מהמינרלים וחומרים נוספים חוזרים גם הם לדם. בו בזמן עוברות כמויות זעירות של מינרלים נוספים מהדם לתסנין.

מעבר חומרים מהתסנין בחזרה לדם נקרא **קליטה חוזרת**[1]. יש חומרים הנקלטים בחזרה באופן מוחלט, כגון הגלוקוז; ואילו חומרים אחרים, בעיקר מלחים, נקלטים בחזרה באופן חלקי, ויש ביניהם הנותרים בשתן. השתנן אינו חוזר כלל; כל השתנן שעבר לתסנין נותר בו. ריכוז המלחים, השתנן ושאר החומרים שנותרים בתסנין, מתייצב בהדרגה. השתן הוא הנוזל שנותר באבובית לאחר שהסתיימה הקליטה החוזרת.

הקליטה החוזרת של מומסים מהתסנין לדם כפופה לבקרה של הורמונים. תשובו ותלמדו עליה ביחידה ב, העוסקת בתיאום, ויסות ובקרה של תהליכים בגוף. תהליכי הקליטה החוזרת מחייבים

[1] יש המכנים תהליך זה "ספיגה חוזרת", אולם אנו מעדיפים "קליטה". החומרים נקלטים מחדש בדם, ולא "נספגים" בדפנות הצינורית.

השקעת אנרגיה מצד התאים המרכיבים את דפנות אבובית הנפרון. דרכיהם של שני הנוזלים, הדם והשתן, נפרדות בקצה הנפרון. בשלב זה אבובית הנפרון מכילה שתן וכו הכמות הסופית של כל החומרים שסולקו מהדם. הנימים המקיפות את האבובית מתלכדות לווריד, והדם הזורם בהן ממשיך לזרום בווריד ומגיע לוריד הכליה. וריד הכליה מוביל מהכליה דם נטול חומרים מזיקים, המכיל כמויות תקינות של מים, מלחים ומומסים אחרים.

סינון המים והמומסים מהדם לאבובית והקליטה החוזרת מתרחשים במציאות בנפח קטן אך על-פני שטח מגע עצום שאינו משתקף באיור 5.5. למעשה, האבובית ונימי הדם המלפפות אותה מפותלים מאוד, וכך נוצר שטח המגע הגדול, המאפשר את מעבר החומרים ביניהן. אם נחבר את כל האבוביות בכליה אחת לצינור אחד, נקבל צינור שאורכו כ-8 קילומטר; ואם נחבר את כל נימי הדם בכליה אחת יתקבל צינור באורך של כ-80 קילומטר!

מיליון האבוביות, שיש לנו בכליה אחת, מתלכדות לצינור מוביל שתן. מקום ההתלכדות של האבוביות הוא באזור הבהיר - אגן הכליה, שראיתם באיור 5.3. שני צינורות מובילים היוצאים משתי הכליות מובילים את השתן מהכליות לשלפוחית השתן.

כמות השתן תלויה בכמות המים בדם

אדם בוגר בריא מפריש בממוצע כ-1.5 ליטר שתן ביום. אם אותו אדם שותה כמויות נוזלים גדולות במיוחד, כמות השתן היומית שלו עשויה להגיע לשלושה ליטרים. לעומת זאת, כאשר אדם נתון בתנאי יובש או במאמץ גופני קשה, כמות השתן שלו מצטמצמת מאוד ועשויה לרדת עד לחצי ליטר ביום.

באקלים הישראלי, אם שותים במשך היום פחות מליטר נוזלים, כמות השתן פוחתת, וצבעו הופך לצהוב חזק יותר, דבר המעיד על כך שהוא מרוכז יותר ומכיל פחות מים מהרצוי. כמות השתן וריכוזו מותאמים אפוא לכמות הנוזלים בגוף בכל עת.

הקביעה של כמות המים בשתן והאיזון של ריכוז המלחים בו - נעשים בנפרונים. ככל שייקלטו יותר מים מהתסנין בחזרה לדם, כך יהיו פחות מים בשתן. וככל שתפחת הקליטה החוזרת של המים מהתסנין, כך יהיה השתן מהול יותר, כלומר מימי יותר.

כפי שכבר הזכרנו, תהליכי הקליטה החוזרת כפופים לכמה גורמי בקרה המעורבים ביצירת השתן. גורמי הבקרה הראשיים הם הורמונים. הפרשת ההורמונים מתרחשת בהשפעת שינויים בריכוז המלחים בדם. לדוגמה, כאשר אדם עודר בגינה, מזיע ולא שותה - דמו מפסיד מים, וריכוז המלחים בו עולה. המידע על השינוי בריכוז המלחים בדם נקלט במוח. המוח מעבד את המידע ומעביר הוראות להפרשת הורמון המכונה ADH (עוד על הורמונים בפרק 6). ההורמון, המופרש לפי הוראות המוח, גורם לנפרונים בכליות לאפשר קליטה חוזרת של כמות מים גדולה יותר אל הדם. התוצאה היא, שפחות מים עוברים מהדם לשתן, כמות השתן קטֵנה, וריכוז המלחים בדם יורד.

שאלה 3

מדוע חשוב לשתות הרבה נוזלים, אם יש הורמון המסוגל למנוע הפסד של מים בשתן?

עוד על...

משמעת מים - פקודה לא-בריאה בעליל

במשך שנים רבות הייתה נהוגה בצבא משמעת מים. בעת אימון או פעילות היו החיילים רשאים לשתות רק כשקיבלו הוראה לכך על-ידי המפקד. הדעה המקובלת הייתה, שהיכולת להתאפק ולהחזיק מעמד בצמא היא חלק מתהליך ההתחשלות של החייל. גם בתנועות הנוער נהגו כך בעת טיולים. כפי שהבנתם, הרעיון של משמעת מים נבע מאי-הבנה של חשיבות השמירה על כמויות מים קבועות בגוף. ואכן, ההקפדה על משמעת מים גרמה לאסונות רבים של מוות מהתייבשות. באמצע שנות ה-60 הובאו לידיעת המטכ"ל ממצאי מחקרים שהוכיחו חד-משמעית את חשיבות ההקפדה על שתייה מרובה, ובעיקר בעת שהייה בחוץ. מאז בוטלה משמעת המים, וניתנה הוראה למפקדים בצה"ל להקפיד על שתייה מרובה בעת אימונים או פעילויות אחרות. למרבית הצער, עדיין קורה לעתים שמפקדים לא מקפידים על "משמעת שתייה" כפי שהם נדרשים. חשוב שכל אדם ידע, כי אסור בשום פנים למנוע שתייה או להמעיט בה, אלא יש לעודד שתייה מרובה בעת שהייה בחוץ, ולהגדיל את כמות המים שצורכים ככל שמזג האוויר חם ובעיקר, יבש יותר. איבוד המים המהיר ביותר מתרחש בארצנו בנגב - אזור מדברי, יבש, החשוף לקרינה. באזור ים המלח, אדם העובד עבודה גופנית חייב לשתות במשך שמונה שעות בין שישה לשבעה ליטרים מים, כמות השווה ל-24 עד 28 כוסות רגילות, וזאת רק בשעות העבודה!

בדיקות שתן מסייעות לאבחן מחלות

כמעט כל אחד מאתנו התבקש למסור שתן לבדיקה בעת מחלה כלשהי. השתן הנלקח לבדיקה מאפשר לאבחן סוגים שונים של בעיות.

א. זיהום בשלפוחית השתן: שתן של אדם בריא הוא סטרילי - כלומר, נקי לחלוטין מחיידקים או מכל מזהם אחר. כאשר הרופא חושד שהמטופל סובל מדלקת בשלפוחית השתן, הוא יבקש לאתר עדויות לזיהום בשתן. אם נמצאים בשתן תאי דם לבנים, הרי זו עדות לנוכחות גורם מזהם, כגון חיידקים, בשלפוחית השתן. לעתים מצליחים לזהות את החיידקים עצמם בשתן. כדי לזהות חיידקים מעבירים דגימה מהשתן לכלי המכיל מצע מזין לגידול חיידקים. בהנחיות שנותן הרופא למעבדה כתובה המילה "תרבית", והכוונה היא שיש לבדוק האם מתפתחים חיידקים במצע המזון. זיהום בשלפוחית השתן הוא מצב שכיח יחסית; זאת, מכיוון שהשופכה (איור 5.2) הנפתחת לסביבה החיצונית, חושפת את השלפוחית לזיהומים.

ב. זיהום בכליות: זיהום בכליות, הנמצאות בסביבה הפנימית, הוא מצב נדיר יותר. חיידקים המגיעים לכליות ופוגעים ברקמתן עלולים לשבש את תפקוד הנפרונים. בבדיקת שתן של אדם שסובל מזיהום בכליותיו יימצאו חלבונים שעברו לתסנין, ובמקרים מסוימים אף תאי דם לבנים ואדומים.

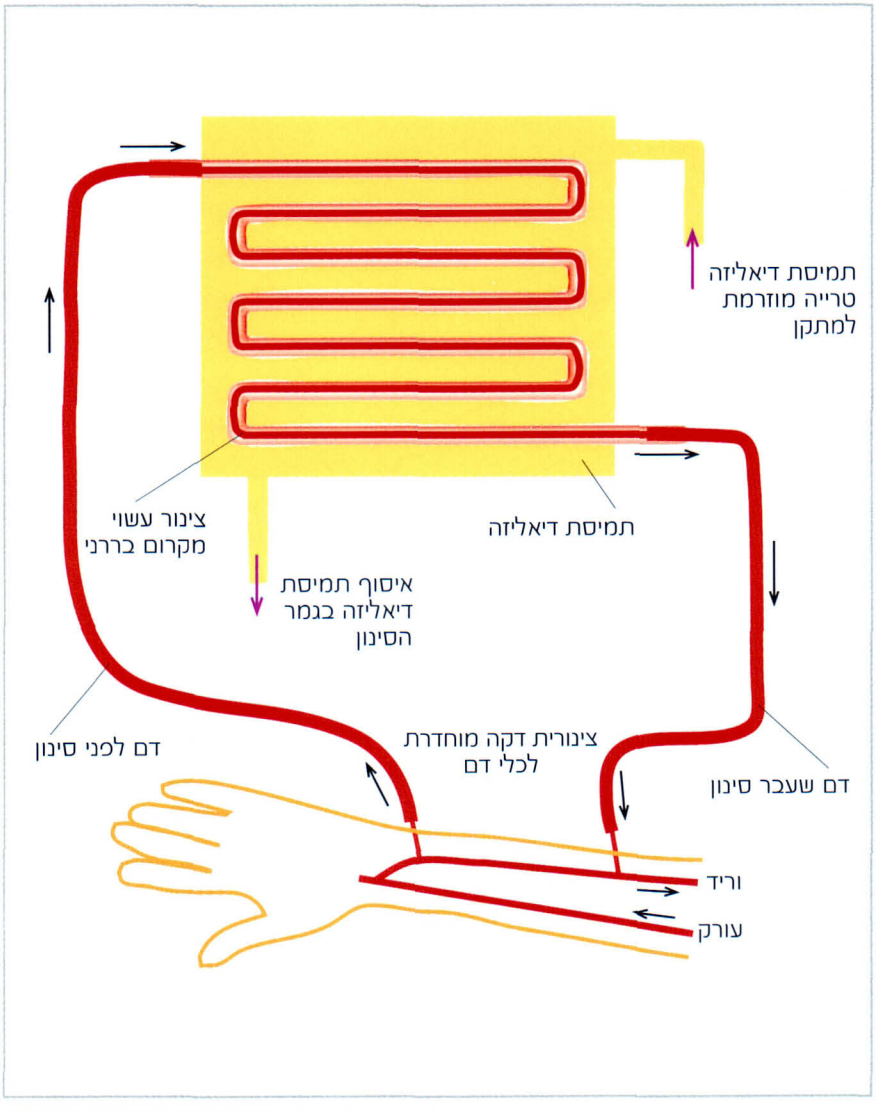
ג. אבחון סוכרת: הימצאות גלוקוז בשתן היא עדות למחלת הסוכרת. כזכור, כל הגלוקוז אמור לחזור מהתסנין לדם. נוכחות של גלוקוז בשתן, משמעה שיש עודף גדול של גלוקוז בדם - תסמין מובהק של סוכרת. גם נוכחות של חומר המכונה אצטון בשתן היא עדות לסוכרת.

5.4 מה עושים כשהכליות אינן מתפקדות כראוי?

אם כל הדם בגוף עובר את תהליכי הסינון בכליות מדי ארבע-חמש דקות, תארו לעצמכם כמה מסוכן הדבר, אם הכליות אינן מתפקדות במשך 15 דקות, למשל (כלומר, מחמיצות שלושה מחזורי סינון של כל הדם בגוף). כמות השתנן המצטברת בדם בפרק זמן כזה גורמת נזק כבד לתאים בגוף. למעשה, אי-ספיקת כליות - מצב שבו הכליות לא מספיקות לסנן את הדם ולייצר שתן בקצב תקין - פירושה סכנת חיים.

אי-ספיקת כליות יכולה להתרחש כתוצאה מזיהום שנגרם לכליות על-ידי חיידק מסוים, בעקבות פגיעה בכליות בתאונה, או בשל מחלות תורשתיות מסוימות. כאשר הפגיעה היא רק בכליה אחת, אין בכך סכנה, כי כליה אחת מסוגלת לייצר שתן בקצב הדרוש לשמירה על הרכב תקין של הדם. אולם כאשר שתי הכליות אינן מתפקדות כראוי, חייבים לספק לאדם אמצעי חלופי לסילוק חומרים מזיקים מהדם. עד אמצע המאה ה-20 בערך, היה אי-תפקוד של הכליות, שנמשך יותר מיומיים, מסתיים במוות.

מאז שנות ה-60 הרופאים יכולים לטפל במצב של אי-ספיקת כליות בשתי דרכים: לחבר את האדם שכליותיו נפגעו למכשיר דיאליזה, המבצע את פעולת הסינון במקום הכליות הפגועות, או להשתיל לאדם כליה בריאה שנלקחה מתורם.



איור 5.7
סכמה של התהליך במכשיר דיאליזה

דיאליזה

מכשיר הדיאליזה פועל באופן הדומה במידה רבה לאופן פעולתם של הנפרונים בכליות - כלומר, המכשיר מסנן ומוציא את החומרים המיותרים מהדם המוזרם דרכו.

עקרון הפעולה של המכשיר פשוט למדי, ותוכלו לראותו באיור 5.7. בכל טיפול מחברים צינור לוריד בזרוע של החולה. הדם זורם מהוריד דרך הצינור למכשיר. הדם מוזרם בצינורות עשויים קרום דק הנקרא "קרום דיאליזה" (או "ממברנת דיאליזה"). קרום הדיאליזה הוא קרום בררני, המונע מעבר מולקולות גדולות, כגון חלבונים. מצד אחד של הקרום זורם דם החולה, ומצדו השני זורמת תמיסה מוכנה מראש - תמיסת דיאליזה. התמיסה המוכנה מראש מורכבת מגלוקוז וממלחים שונים בריכוז הזהה לריכוזם בדם בריא. השתנן וחומרים מזיקים אחרים הנמצאים בדם עוברים בדיפוזיה דרך הקרום לתמיסה, ואילו החומרים החיוניים לדם נותרים בתוכו.

שאלה 4

כאמור, מטרת הדיאליזה היא לסלק מדם החולה את החומרים המזיקים הנמצאים בו. מדוע, לדעתכם, מכילה תמיסת הדיאליזה גלוקוז ומלחים המצויים באופן נורמלי בדם?

איור 5.8
מכשיר דיאליזה: מכונה גדולה ומסובכת מבצעת פעולה של כליה שגודלה כמה סנטימטרים

הרחבה

חיי יומיום של מטופל דיאליזה

אדם הסובל מאי-ספיקת כליות צריך להתחבר למכשיר דיאליזה שלוש פעמים בשבוע, למשך חמש שעות בכל פעם. מובן ששגרה כזו של טיפולים מהווה מעמסה כבדה על חיי היומיום. חולים רבים הנזקקים לדיאליזה מוצאים דרכים לנצל את זמן הטיפול לקריאה, ללימוד, או לפעילות אחרת. עם זאת, אין ספק בכך שההכרח להגיע שלוש פעמים בשבוע לבית חולים ולשהות שם כל פעם חמש שעות, מכביד מאוד על החולים.

במשך השנים נעשו, ועדיין נעשים, ניסיונות שונים להקל על מצוקתם של מטופלי הדיאליזה. בין השאר פותחו מתקני דיאליזה ניידים, שניתן להציבם בבית. אולם מתקנים אלה הם יקרים, ויכולים להקל רק על מי שידו משגת לרכוש אותם.

בשנים האחרונות נמצאו שיטות להתקין אמצעי סינון נייד, המוצמד לגוף החולה. האמצעי מבוסס על הזרמה של תמיסת דיאליזה לחלל הבטן של החולה דרך צינור הצמוד לפתח קטן בחלל הבטן. תמיסת הדיאליזה שבחלל הבטן קולטת לתוכה את השתנן וחומרים מזיקים אחרים. החולה המשתמש בשיטה זו צריך לרוקן את הנוזל מבטנו דרך הצינור לאחר שש או שמונה שעות, אך הוא יכול לעשות זאת בביתו, ואינו חייב להגיע לבית- החולים. אמצעי זה מתאים רק למקצת המצבים של אי ספיקת כליות, לא לכולם.

כפי שאתם רואים, מיטב השכלולים הטכנולוגיים לא הצליחו עד כה לחקות באופן מושלם את יעילותה של כליה אמיתית אחת, המורכבת מתאים חיים.

ואכן, הפתרון היעיל ביותר להקלת חייהם של חולי כליות הוא השתלה של כליה בריאה.

השתלת כליות

מכיוון שלכל אדם בריא יש שתי כליות, ומכיוון שדי בכליה אחת כדי לסנן את הדם וליצור שתן בכמות ובקצב הדרושים לחיים בריאים, אפשר להוציא כליה מאדם בריא ולהשתילה בגופו של חולה. כמובן, אפשר להשתמש גם בתרומת כליה מנפטר, בתנאי שהאדם נתן את הסכמתו לכך בעודו בחיים, או בתנאי שמשפחתו הסכימה לכך לאחר מותו. ניתוחים של השתלת כליות הם מניתוחי ההשתלה השכיחים ביותר הנעשים בימינו, ורק השתלות קרנית העין שכיחות יותר.

אולם אסור לטעות ולחשוב שמדובר בפתרון מושלם. בעת ההשתלה מחדירים לגוף החולה איבר הבנוי מרקמות זרות לגופו, והוא עלול לדחות את האיבר המושתל.

אפשר לצמצם את הסיבוכים, אם מוצאים כליה שאינה זרה לחלוטין לרקמות גופו של החולה, למשל כליה של אחד מבני משפחתו הקרובה של החולה. אולם לא תמיד יש דמיון מספיק בין רקמות החולה לבין אלו של בני משפחתו הקרובה, ולעתים אין לחולה קרובי משפחה המסוגלים לתרום לו כליה. כך קורה, שחולי כליות רבים המטופלים בדיאליזה ממתינים במשך שנים לתרומת כליה שתתאים להם.

הסוגיה של השתלת איברים בכלל והשתלת כליות בפרט תשוב להעסיק אותנו בפרק 8, העוסק במערכת ההגנה והחיסון של הגוף. שם נסביר בהרחבה מהם הקשיים הנלווים להשתלת איברים, וכיצד מצליחים לפתור חלק מהם.

5.5 סיכום

במהלך חילוף החומרים בגוף נוצרים כל העת חומרים רעילים המזיקים לו. החומר הנוצר בכמות הגדולה ביותר הוא שתנן, והוא נוצר כתוצאה מפירוק חומצות אמיניות בכבד. נוסף לכך, גופו של אדם ער קולט מים, מלחים וחומרים אחרים, שהצטברותם עלולה לשבש את מאזן החומרים בסביבה הפנימית.

מערכת ההפרשה תורמת לשמירה על יציבות הסביבה הפנימית בכך שהיא מפנה מהגוף את החומרים המזיקים ומאזנת את כמויות המים והמלחים בדם ובסביבה הפנימית.

האיברים הכלולים במערכת ההפרשה הם: כליות, צינורות מובילי שתן, שלפוחית שתן וצינור שופכה.

בכליות נמצאים מעין "מתקני סינון" זעירים - נפרונים - בהם נוצר השתן. מים וחומרים שונים מסתננים מהדם אל האבוביות שבנפרונים. התסנין שבאבוביות זורם במקביל לדם שבנימי דם סמוכות, ושני הנוזלים מחליפים ביניהם מים ומומסים. כך למשל, כל הגלוקוז שהגיע לתסנין חוזר לדם, וכן חוזרים לדם חלק מהמלחים ומומסים אחרים בתהליך המכונה "קליטה חוזרת". חומרים מזיקים, כגון שתנן או שאריות של תרופות, אינם חוזרים לדם ונשארים בתסנין, ההופך לשתן. התהליך של החזרת מים ומומסים לדם כפוף לבקרה של הורמונים. ההורמונים מווסתים את כמות המים והמלחים בדם ובשתן בהתאמה למצבו הכללי של הגוף.

אם אדם סובל מפגיעה בכליות, המפריעה לייצור תקין של השתן, מתערערת מייד יציבות הסביבה הפנימית בגופו במידה המסכנת את חייו. יש שתי דרכים לטפל במצב זה: חיבור למכשיר דיאליזה, או השתלה של כליה בריאה. מכשיר דיאליזה מחקה את פעולת הסינון הנעשית בכליות. האדם הנזקק למכשיר מתחבר אליו שלוש פעמים בשבוע למשך חמש שעות בכל פעם. פיתוחים שונים נועדו להקל על מצוקתו של מי שנזקק לדיאליזה, אך עדיין לא נמצא פתרון מושלם למצוקה זו.

לחילופין, ניתן להשתיל כליה בריאה לאדם שכליותיו אינן מתפקדות, אך קשה מאוד למצוא לכל חולה כליה מתאימה, שתיקלט בגופו ותתפקד כראוי.

שאלות סיכום וחזרה

1. מהם שני התפקידים שממלאת מערכת ההפרשה בשמירה על ההומאוסטאזיס?
2. מהו הכוח שדוחף מים ומומסים בנפרון לצאת מנימי הדם שבפקעית אל הקופסית?
3. מדוע חלבונים ותאי דם לא עוברים מנימי הדם בפקעית אל הקופסית?
4. מהו התהליך שבאמצעותו חוזרים מים ומומסים מאבובית הנפרון אל הדם?
5. כיצד משפיעים הורמונים על כמות המים בשתן?
6. אדם שמאבד דם רב, למשל כתוצאה מפציעה, יפריש כמות קטנה מאד של שתן. מהו ההסבר לכך ומהי הסכנה הנובעת ממצב זה?
7. מדוע העדר תפקוד של הכליות למשך 15 דקות, עלול להביא לסכנת חיים?
8. מה הדומה ומה השונה בין סינון הדם בכליות "טבעיות" לסינונו במכשיר דיאליזה?

תיאום, ויסות ובקרה

6. מערכת ההפרשה הפנימית
7. מערכת העצבים ואיברי החושים

תיאום, ויסות ובקרה של תהליכים בגוף

מבוא ליחידה

בפרק 1 הכרתם את המושג "סביבה פנימית". כזכור לכם, תכונות הדם, הרכבו והרכב החומר החוץ-תאי נשמרים כל העת בתוך תחומים צרים וקבועים. כך הדבר, למשל, לגבי הטמפרטורה של הגוף ולגבי ריכוזי מלחים וחומרים אחרים המומסים בדם. כמו כן ראיתם, כי חומרים שונים הנכנסים לגוף מדי יום ביומו מנוצלים בצורה מדויקת: חומרים שאינם מנוצלים להתחדשות התאים, להפקת אנרגיה, לאגירה, או לביצוע תהליכים בתאים - מסולקים מהגוף (ראו פרק 5). עוד למדתם, כי בגוף פועלות כמה מערכות המאפשרות את ה"תחזוקה היומיומית" שלו:

- מערכת העיכול, הקולטת חומרים ומעבדת אותם כך שיהיו זמינים לתאים;
- מערכת הנשימה, המאפשרת לחמצן להגיע לסביבה הפנימית, ומפנה ממנה גז מיותר - פחמן דו-חמצני;
- מערכת ההובלה (הלב, כלי הדם והלימפה), המובילה את כל החומרים ממקום למקום בגוף;
- מערכת ההפרשה, המסלקת מהגוף חומרים מיותרים ומזיקים ושומרת על ריכוזים תקינים של מים ומומסים בדם.

בוודאי ברור לכם, כי כל המערכות האלה חייבות לפעול בתיאום מלא ביניהן. כבר תיארנו איך כמות המלחים הנמצאת בדם מפעילה מנגנון בקרה המשפיע מיד על כמות המלחים והמים הנספגים מהנפרונים בחזרה לדם. וזו רק דוגמה אחת מתוך רבות המבליטה את חשיבות התיאום בין מערכות הגוף.

אך במקום לעסוק בדוגמאות מפורטות, חשבו לרגע על גופכם כולו כיחידה אחת. בפרק 1 - האדם הוא יצור חי - כבר עסקנו בכך. כל אחד מאתנו חש את עצמו כאדם יחיד ושלם - משחק, עובד, לומד, שמח, עצוב וכדומה - ואינו חווה את שלל הפעולות והתהליכים המתרחשים בגופו בכל רגע ורגע ("מעכל", "קולט חמצן", "מזרים דם", "מפריש", "פולט פחמן דו-חמצני"). זאת, כמובן, בתנאי שהגוף בריא - כלומר, שמערכות הגוף פועלות באופן תקין.
אולם גם התפיסה הטבעית שלנו את עצמנו כיצור אחד שלם היא תוצאה של פעולת המערכות בגופנו.
בפרק 1 תיארנו כמה רמות של ארגון המתקיימות ביצורים רב-תאיים: ציינו שם את רמת הארגון של התא היחיד; ואחריה, בסדר עולה, רמות הארגון של הרקמה, האיבר והמערכת.
הפעילות בכל אחת מרמות הארגון האלו כפופה לבקרה - כלומר, לכל רמת ארגון יש מנגנוני בקרה משלה: בקרה של תפקוד התאים ברקמה, בקרת תפקודן של רקמות באיבר ושל כל האיברים במערכות הגוף השונות. רמת הבקרה הגבוהה ביותר היא זו המתאמת בין כל המערכות וגורמת לכך שכל הגוף בשלמותו יתפקד כיחידה אורגנית אחת. ביחידה זו נכיר את מערכות הגוף המפעילות את רמת הבקרה הזו.

שתי מערכות גוף גדולות שהתפתחו במהלך האבולוציה, הן המבקרות את פעילותן של כל המערכות בגופנו ומפקחות עליהן, כך שיתקיים ביניהן תיאום מדויק ומלא. האחת היא מערכת ההפרשה הפנימית - מערכת הבנויה מתאים מפרישי הורמונים; השנייה היא מערכת העצבים. מערכות אלה מאפשרות לגופנו לתפקד כיחידה שלמה אחת, ולא כאוסף של מערכות נפרדות.

שתי מערכות אלה מתאמות, מווסתות ומבקרות את הפעילויות המתרחשות בגוף בלי הרף. הן אחראיות, אפוא, ליציבותה של הסביבה הפנימית, ליכולתו של הגוף לקלוט מידע מהסביבה החיצונית והפנימית, להגיב עליו ולהתאים את תפקודו למצבים משתנים בסביבתו.
אך ששתי המערכות מבצעות פעולות של תיאום, ויסות ובקרה, יש הבדלים ברורים באורח פעילותן. מערכת ההפרשה הפנימית פועלת בדרך של הפרשת חומרים לדם - כלומר, התקשורת שלה עם חלקי הגוף השונים היא תקשורת כימית בלבד. מערכת העצבים פועלת הן על-ידי העברה של דחפים חשמליים והן באמצעות מסרים כימיים. פעולתה של מערכת ההורמונים איטית יותר, והשפעתה בגוף מתמשכת יותר; ואילו פעולתה של מערכת העצבים מהירה מאוד, והשפעותיה הן קצרות טווח.

לפני שנלמד על המבנה ועל דרך הפעולה של שתי מערכות אלה, כדאי לבחון מה משמעות המונחים "תיאום", "ויסות" ו"בקרה".

שימה

על משמעות המונחים: תיאום, ויסות ובקרה

א. חפשו במילון עברי את פירושן של שלוש המלים האלה: תיאום, ויסות, בקרה (בשל התפתחותה המהירה של השפה העברית המודרנית, מומלץ להשתמש במילון שיצא לאור ב- 15 השנים האחרונות, ולא קודם-לכן).

ב. בחיי היומיום אנו נתקלים במצבים רבים בהם נעשות פעולות של תיאום. כתבו שלוש דוגמאות לפעולות תיאום, הלקוחות משלושה תחומים שונים, שאינם קשורים לגוף האדם.

ג. בעיר מסוימת יש מערכת רמזורים. הרמזורים מקושרים ביניהם, וכולם מקושרים לחדר הפיקוד. קראו את רצף האירועים שלהלן, וענו על השאלות המופיעות אחריו:

- כל רמזור בודד מכתיב את קצב זרימת המכוניות לכיוונים השונים בצומת שהוא מוצב בו.
- בצומת מסוים נוצר עומס כבד של תנועה מכיוון צפון. התנועה במסלולים החוצים את הצומת (ממזרח למערב) דלילה יותר. המידע על כך מגיע לחדר הפיקוד של מערכת הרמזורים. שם מתקבלת החלטה מתאימה, ועוברת פקודה לרמזור בצומת הזה. הפקודה היא לאפשר מעבר ממושך יותר של התנועה מכיוון צפון, ולעכב את התנועה במסלולים החוצים.
- במקביל מועברת מחדר הפיקוד פקודה לרמזורים בצמתים אחרים לאפשר זרימה מהירה יותר של התנועה מכיוון צפון, כך שיקטן הלחץ מכיוון זה.

1. ציינו לגבי כל משפט אם הוא מתאר פעולה של ויסות, בקרה, או תיאום.

2. אם אתם חושבים כי משפט אחד מתאר יותר מפעולה אחת, ציינו זאת, והסבירו איזו פעולה מתאר כל חלק של המשפט.

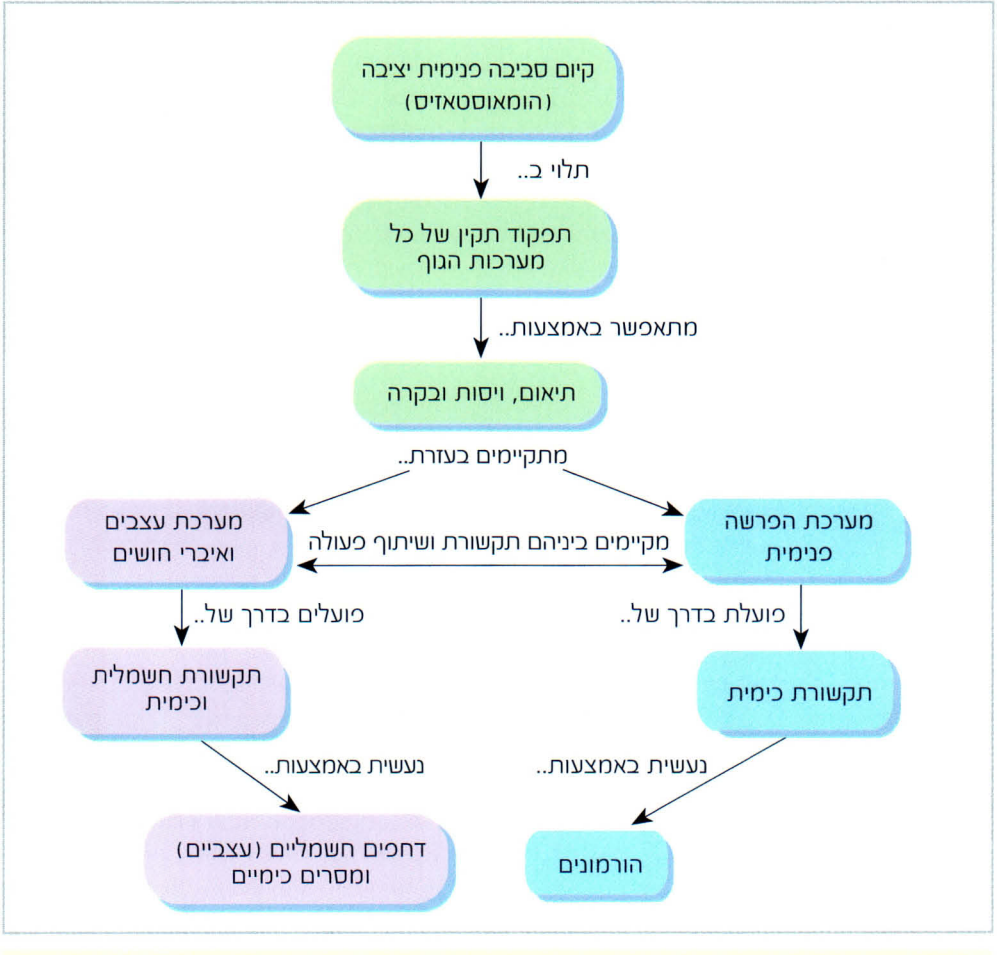
לאחר שעמדתם על משמעותם של המונחים, נחזור ונסכם.

תיאום (coordination) הוא המונח הכללי יותר מבין השלושה. הוא מתאר מצבים בהם הפעולה של מערכת, או של חלק מהמערכת, מתואמת עם פעולה שעושה מערכת אחרת. למשל, מערכת חילופי הגזים מתואמת עם פעולת הלב, ושתיהן מתואמות עם פעולתם של השרירים בגוף. כאשר השרירים נתונים במאמץ, תפוקת הלב עולה, ובאותו הזמן עולה גם שיעור האיוורור. המילה "תיאום" מתארת את המצבים האלה, בלי לפרט איך בדיוק מתבצעים המהלכים המתואמים.

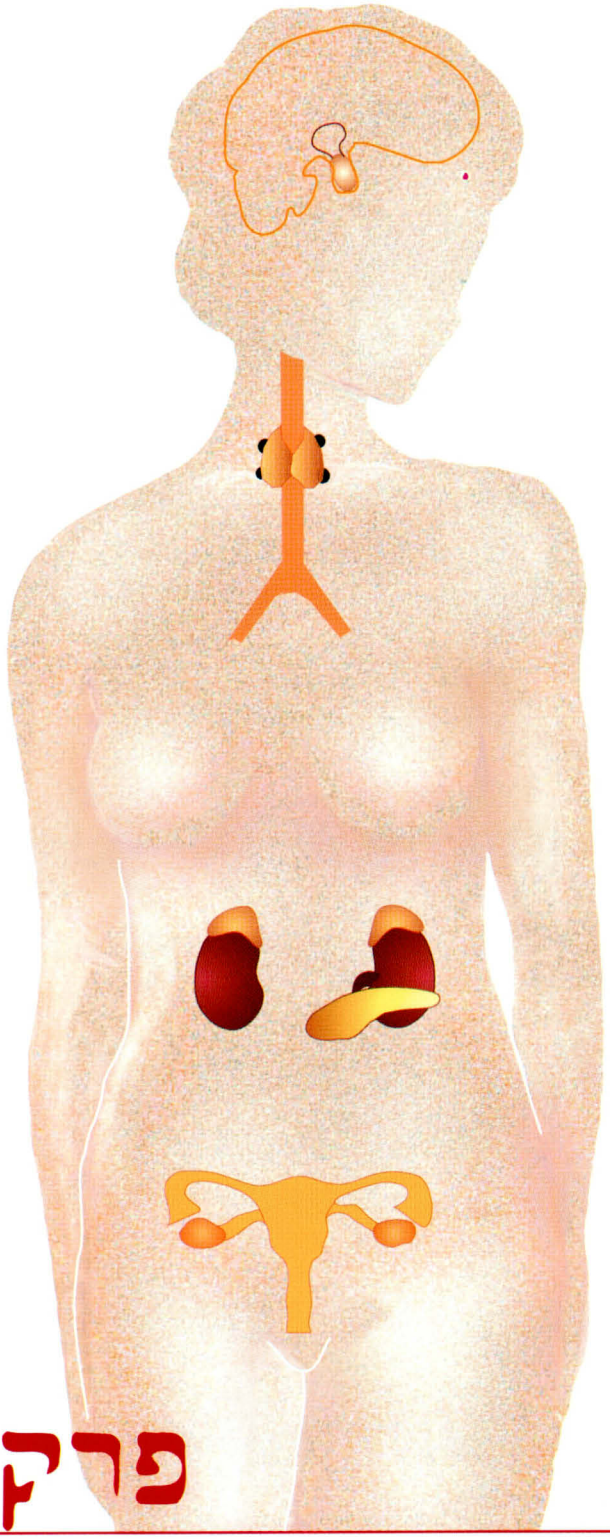
ויסות (regulation) פירושו הכוונה ישירה של קצב התהליכים או של עוצמתם. כך, הורמון מסוים יכול לגרום לתאים בדפנות הנפרונים בכליות (ראו פרק 5, עמוד 103) להגביר קליטה חוזרת של נתרן מאבוביות הנפרונים אל הדם. ההורמון **מווסת** את רמת הנתרן בדם. יש הורמונים המווסתים את שיעור הסידן בעצמות ובדם. הם גורמים לכך שכמויות הסידן בעצמות ובדם לא יחרגו מהרמה התקינה. אם נשוב לדוגמת הרמזור, ויסות התנועה מתבטא בכך שבזמן מסוים הרמזור יכול לאפשר למספר גדול של מכוניות לעבור את הצומת מדרום לצפון; ובפרק זמן אחר הוא יכול לאפשר למעט מכוניות לעבור באותו כיוון ולהרבה מכוניות לעבור בכיוון אחר.

בקרה (control) פירושה מתן הוראות לפעולה, על-סמך מידע שוטף המתקבל כל הזמן. הבקרה נעשית תמיד ביחידה מרכזית, המהווה מעין פיקוד עליון של מערכת. חדר הבקרה במערכת הרמזורים מקבל מידע שוטף על מצב התנועה בעיר בכל שעות היום. בהתאם למידע, הוא מוציא פקודות לרמזורים השונים, איך לווסת את התנועה בצמתים שהם מוצבים בהם.

מרכז הבקרה הראשי של גופנו נמצא במוח, שהוא האיבר הראשי של מערכת העצבים. הוא קולט כמויות כבירות של מידע על הנעשה בגוף ובסביבתו, ומוציא הוראות לפעולתן של כל מערכות הגוף, כל הזמן.
מערכת העצבים - עם המוח במרכזה - היא אפוא המרכז העליון המפקח ומבקר את הנעשה בגוף, ואחראי על התיאום הכולל בין כל המערכות. המערכת האנדוקרינית, שגם היא מבצעת פעולות של תיאום וויסות, כפופה ברובה לבקרה של מערכת העצבים.
מבין שתי המערכות העוסקות בבקרה, בתיאום ובוויסות הפעולות בגוף, בחרנו לפתוח במערכה האנדוקרינית, המפרישה הורמונים.



יחידה ב:
תיאום, ויסות ובקרה

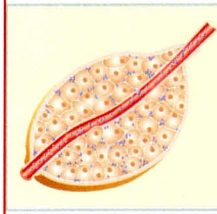


פרק 6

מערכת ההפרשה הפנימית

פרק 6

תוכן העניינים



6.1 סיפור גילויו של ההורמון אינסולין 115
- פעילותו של האינסולין 116

חקר האינסולין חולל מהפכה במדע וברפואה 117

6.2 מערכת ההפרשה הפנימית היא מערכת תקשורת כימית 117
- ההורמונים מווסתים תהליכים בתאים 119

6.3 ההיפופיזה מבקרת את פעולתן של בלוטות להפרשה פנימית 121
- בקרה באמצעות משוב שלילי - ההיפופיזה ובלוטת המגן 122
- בלוטת יותרת הכליה כפופה להיפופיזה וגם למוח 123

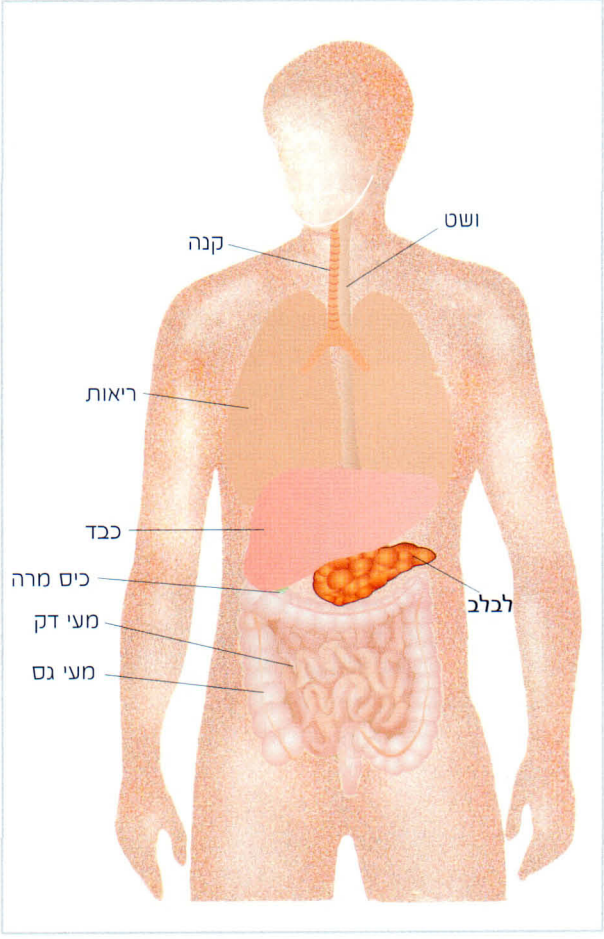
6.4 תקשורת כימית בין תאים היא תנאי לקיום היצור הרב-תאי 124
- הורמונים מחוללים שינויים מבוקרים בסביבה הפנימית 125

6.5 סיכום 125

שאלות סיכום וחזרה 126

6.1 סיפור גילויו של ההורמון אינסולין

למעלה מ-50 שנה נדרשו לחוקרים כדי לגלות את ההורמון **אינסולין** ולהבין את השפעתו. ראשית הסיפור בחשדות לקיומו של חומר כזה, חשדות שנסמכו על ידע מקוטע שהצטבר מתצפיות רבות. תהליך הגילוי הקשה והממושך מזכיר בכמה משלביו חקירה בלשית. תחילת התהליך בניסיונם של חוקרים במאה ה-19 להבין את תפקודו של איבר פנימי בגוף - **הלבלב**. סופו (הזמני) - בהענקת פרס נובל לשניים מהחוקרים שמילאו תפקידים ראשיים בגילוי חומר המופרש ממנו - ההורמון אינסולין. גילויים של השנים האחרונות העניקו לסיפור סוף נוסף (סביר שגם הוא זמני): ההורמון שכה התקשו לגלותו מיוצר כיום באמצעים שמגליו לא היו מסוגלים לדמיין לעצמם בחלומותיהם הפרועים ביותר. גם במחקר, כמו בסיפור בלשי, אפשר לסמן בדיעבד צעדים בולטים שהובילו לגילוי המבוקש. נעקוב אחר הצעדים האלה.



איור 6.1
מקומו של הלבלב בגוף

מבט אל העבר

טרם הצעד הראשון: ידע קודם

בסוף המאה ה-19, על בסיס תצפיות רבות שערכו רופאים וחוקרים, היו ידועות שלוש העובדות שלהלן:

1. הלבלב (Pancreas), איבר הנמצא סמוך למעיים, מייצר חומרים המסייעים בעיכול מזון. חומרים אלה, המכונים "מיצי עיכול", עוברים מהלבלב דרך צינור לחלל המעי הדק. (ראו את הלבלב באיור 6.1)
2. בכלי הדם שבדפנות התריסריון נמצא חומר המעורר תאים להפריש מיצי עיכול כאשר מגיע אליו מזון. החומר זכה לשם **סקרטין** (secrete - להפריש). החוקרים טענו, כי נוכחותו בדם מעידה על תופעה כללית של הפרשת חומרים לדם בעת שהם נדרשים לצרכים מיוחדים, והציעו לקרוא לחומרים אלה **הורמונים**.
3. חולים במחלה קטלנית, הגורמת להופעת כמויות גדולות של סוכר בדם ובשתן, מרבים לשתות, להפריש כמויות שתן גדולות מאוד, וכן סובלים מרעב מתמיד לסוכר. נוסף לכך, החולים חלשים מאוד, וסובלים במשך הזמן מנמק באצבעות רגליהם ומפצעים שאינם נרפאים. המחלה מסתיימת במוות. סיבת המחלה אינה ידועה, ואין גם דרך לטפל בחולים. המחלה כונתה **סוכרת** - Diabetes mellitus.

צעד ראשון: מתגלים ה"איים" בלבלב

כבר באמצע המאה ה-19 ידעו החוקרים שרקמת הלבלב מורכבת מתאים, המסודרים במעין אשכולות. כמו כן זיהו החוקרים, כי מכל האשכולות יוצאים צינורות זעירים, המתלכדים לצינור המוביל לתריסריון. החוקרים אף ידעו לומר, כי הצינורות הללו מובילים "מיצי עיכול" - הפרשות המשתתפות בעיכול המזון (על הלבלב ותפקודו במערכת העיכול למדתם בפרק 2).

בשנת 1869 הבחין החוקר הגרמני פאול לנגרהנס (P. Langerhans), כי בין אשכולות התאים המוכרים בלבלב נמצאים גם צברים זעירים של תאים מסוג אחר - תאים נטולי צינורות מוצא. לנגרהנס חקר תאים אלו, בניסיון לגלות מה הם מייצרים, אך העלה חרס בידו. צברי תאים אלו זכו, מאוחר יותר, לכינוי **איי לנגרהנס**.

צעד שני: כלב בלי לבלב מאבד שליטה בשתן - מה הקשר?

כ-20 שנה לאחר גילוי ה"איים" בלבלב, חקרו שני חוקרים גרמנים אחרים, מינקובסקי ומרינג (J. von Mering & O. Minkovski) את תפקיד הלבלב במערכת העיכול. במסגרת הניסויים שלהם הם ניתחו כלב והסירו את הלבלב שלו. הכלב - כלב בית מחונך - החל להפריש כמויות גדולות של שתן בתוך המעבדה. זבובים שנמשכו לשתן הצביעו על כך, כי משהו בו אינו כרגיל. שני החוקרים ידעו, כי השתנה מרובה היא תסמין (סימפטום) של מחלה חשוכת מרפא, סוכרת. הם בדקו את השתן של הכלב, ומצאו בו כמויות גדולות של סוכר. התברר, כי הסרת הלבלב גרמה אצל הכלב להופעת תסמינים של מחלת הסוכרת. בניסויים נוספים שנעשו על-ידי חוקרים אחרים, נמצא, כי אין הכרח להסיר את כל הלבלב כדי לגרום לסוכרת, ואפשר להשיג אותה תוצאה, אם הורסים רק את איי לנגרהנס. עתה היה ברור, כי איי לנגרהנס מפרישים חומר המונע הופעת סוכר בשתן. החוקרים ניסו לבודד את החומר, אך הדבר לא עלה בידיהם. במשך 30 שנה ניסו חוקרים נוספים רבים לבודד את החומר המבוקש מהלבלב, אך איש לא הצליח בכך.

צעד שלישי: הגילוי

בינתיים הגענו למאה ה-20. כ-50 שנה חלפו מאז גילה לנגרהנס את האיים בלבלב, ואנו נמצאים בשנת 1920. בתקופה זו כבר היה ברור שפגיעה באיי לנגרהנס גורמת לסוכרת, אך איש עדיין לא ידע איך פועלים התאים שבאיים הללו בגופו של אדם בריא ומונעים הופעת סוכר בשתן - התסמין המובהק של הסוכרת.

פרדריק בנטינג (F. Banting), רופא קנדי בן 29, קרא באחד הלילות מאמר המתאר נתיחת גופה של אדם לאחר מותו. הרופאים מצאו, כי בגופו של הנפטר נחסם צינור המוצא של הלבלב המוביל את מיצי העיכול מהלבלב למעי. במאמר נכתב, כי החסימה גרמה להתנוונות הלבלב, אך נראה כי איי לנגרהנס לא ניזוקו. ברגע שקרא את התיאור, הבזיק במוחו של בנטינג רעיון, ובבת-אחת נראה לו כי הפתרון בידו: הוא יידע איך לבודד את החומר החמקמק של איי לנגרהנס!

עלה בדעתו של בנטינג כי כל הניסיונות לבודד מאיי לנגרהנס את החומר מונע הסוכרת נכשלים, משום שמיצי העיכול המופרשים מהלבלב מעכלים והורסים את החומר בתהליך המיצוי. בעקבות קריאת המאמר, הוא חשב שיצליח למנוע את הפרשת מיצי העיכול מהלבלב, וכך לבודד מאיי לנגרהנס את החומר המסתורי שלהם.

מאחר שבנטינג לא היה מדען חוקר אלא רופא, לא עמדה לרשותו מעבדת מחקר. לכן פנה אל חוקר ידוע ומומחה בחקר הלבלב מאוניברסיטת טורונטו - ג'ון מקלאוד (J. McLeod). מקלאוד היה ספקני מאוד לגבי הרעיון של בנטינג, ולמעשה לא האמין בו. אך מכיוון שחופשת הקיץ עמדה להתחיל, הסכים להקצות לו מקום במעבדה, נתן לו כמה כלבים, וגייס לעזרתו סטודנט מתנדב בן 21 צ'רלס בסט (C. Best).

הרופא הצעיר בנטינג והסטודנט בסט הרדימו את אחד הכלבים וקשרו את צינור המוצא של הלבלב שלו. פעולה זו גרמה להתנוונות התאים המפרישים את מיצי העיכול, והם הפסיקו להפריש לחלוטין; הלבלב התכווץ והתנוון, אך איי לנגרהנס המפוזרים בו לא נפגעו.

במקביל, ניתחו השניים כמה כלבים נוספים, וסילקו את הלבלבים שלהם, כך שהופיעו אצלם סימני סוכרת.

לאחר שהלבלב של הכלב הראשון התנוון והצטמק, וחדל לייצר מיצי עיכול, הסירו אותו שני החוקרים והכינו מיצוי של הרקמה הנותרת - כלומר, נוזל המכיל רק חומרים מומסים, בלי תאים שלמים. הם הזריקו את המיצוי לאחד הכלבים חולי הסוכרת. הכלב הראה סימני התאוששות מיידיים, ובבדיקת השתן שלו מצאו, כי רמת הסוכר בשתן ירדה מאוד. החוקרים חזרו על הפעולה בכלבים נוספים. בתוך שבועות מעטים התקבלה תמונה ברורה: הזרקת מיצוי נוזלי של לבלב, שאינו מכיל מיצי עיכול אך מכיל חומרים מהתאים של "איי לנגרהנס", גורמת להיעלמות התופעות האופייניות לסוכרת ומשפרת מאוד את מצבן של חיות הניסוי.

ההמשך: משפרים ומשכללים

בשלב זה של המחקר השתכנע מקלאוד, כי הרעיון של בנטינג אכן פועל. הוא הצטרף למחקר, צירף אליו חוקר נוסף, כימאי, והקבוצה עמלה תקופה ארוכה על שיפור תהליך המיצוי של החומר מהלבלב. הם קראו לחומר **אינסולין**. השם הוא מחווה ללנגרהנס, שכן "אינסולה" ((Insula) בלטינית פירושו "אי". דרך-אגב, הם גילו כי האינסולין הוא חלבון, אך הרכבו ומבנהו נותרו בלתי מפוענחים למשך 30 שנה בקירוב.

באותו זמן כבר הבינו החוקרים, כי האינסולין הוא חומר המתנהג כמו הסקרטין: הוא מופרש לדם ומשפיע על תהליכים המתרחשים במקום מרוחק מאתר הפרשתו. כלומר גם האינסולין הוא הורמון.

סיום (זמני) - ההצלחה

בשנת 1922 הכינו החוקרים מיצוי של אינסולין מלבלב של פרה והשתמשו בו לראשונה לטיפול באדם - נער בן 12 ששכב גוסס מסוכרת בבית-חולים בטורונטו. השפעת ההזרקה הייתה מדהימה. הנער התאושש כמעט מייד. כל יום הזריקו לו אינסולין, ולאחר כמה ימים עזב את בית-החולים.

ביילים (Bayliss), הביוגרף של בנטינג, כותב בספרו:

"אלה שראו במו עיניהם את חולי הסוכרת המורעבים, לעתים חסרי הכרה, מקבלים אינסולין וחוזרים לחיים, זכו לראות את אחד הנסים המובהקים ביותר של הרפואה המודרנית. הם נכחו באירוע הקרוב ביותר למושג של תחיית הגוף, שאפשר לדמיין ..."

ב-1923 קיבלו בנטינג ומקלאוד פרס נובל. בנטינג חלק את כספי הפרס שלו עם בסט, שלא נמנה עם מקבלי הפרס, כנראה בשל מעמדו הזוטר. מקלאוד הלך בעקבותיו והתחלק בכספי הפרס עם קוליפ, הכימאי שצירף לצוותו.

עתה נניח לסיפור ההיסטורי, ונעבור אל מה שידוע לנו היום.

פעילותו של האינסולין

ומה עושה את האינסולין לחומר חיוני כל-כך לגוף? מחקרים מאוחרים יותר הראו כי האינסולין, המופרש מאיי לנגרהנס שבלבלב לדם, הוא הגורם לכך שגלוקוז הנמצא בדם נכנס לתוך תאי הגוף. בהיעדר אינסולין, הגלוקוז המגיע ממערכת העיכול כתוצר של עיכול המזון, לא נכנס לתוך התאים, נשאר בדם ובחלקו יוצא בשתן.

שאלה 1

מדוע גלוקוז חיוני לתאים?
לכתיבת התשובה היעזרו בפרקים 2 ו-3.

התסמינים הקשים של מחלת הסוכרת נובעים מצד אחד ממחסור בגלוקוז בתאים, ומהצד האחר, מהצטברותו בדם. החולשה המתמדת, העייפות והרעב לסוכר נובעים מכך שהתאים אינם מקבלים את מקור האנרגיה הדרוש להם. הצטברות הגלוקוז בדם מלווה בנזקים לדפנות כלי הדם הגורמים במשך הזמן להפרעה בזרימת הדם. נוסף לכך, כושר ההתנגדות למחלות נחלש, האדם סובל מפצעים שאינם נרפאים, ועלול אף להתעוור כתוצאה מנזקים הנגרמים לכלי הדם ברשתית העין. רמתו הגבוהה של הגלוקוז בדם המגיע לכליות גורמת לכך שחלק ממנו אינו נקלט מאבוביות הנפרונים בחזרה לדם; גלוקוז רב נותר בתסנין שבנפרון ויוצא עם השתן. השתן המופרש מכיל גלוקוז וכן מים רבים, הגורמים לחולה הסוכרת לסבול מצמא מתמיד.

חקר האינסולין חולל מהפכה במדע וברפואה

גילוי האינסולין ושכלול אמצעי הפקתו היוו מהפך אדיר ברפואה המודרנית. הסוכרת הפכה ממחלה קטלנית חשוכת מרפא, למחלה שאפשר לחיות אתה לאורך שנים רבות. מיליונים רבים של חולי סוכרת אמנם חייבים בטיפול יומיומי, אך הם מצליחים לנהל חיים מלאים כמו כל אדם אחר.

רק בשנת 1955, כלומר כ-33 שנים לאחר הטיפול הראשון באמצעות אינסולין, נרשמה פריצת הדרך הבאה, הפעם בכימיה: הכימאי האנגלי פרדריק סנגר (F. Sanger) הצליח לפענח את הרכבו של האינסולין, וגילה כי הוא חלבון קטן, המורכב מ-51 חומצות אמיניות. האינסולין היה החלבון הראשון בהיסטוריה, שרצף החומצות האמיניות המרכיבות אותו פוענח במלואו.

פריצת הדרך הבאה התרחשה בשנות ה-80 של המאה ה- 20, למעלה מ-60 שנה לאחר שהתאושש הילד, חולה הסוכרת, הודות להזרקת אינסולין. פריצת דרך זו אפשרה להפיק אינסולין של בני-אדם בכמויות גדולות באמצעות שימוש בחיידקים בטכניקה של הנדסה גנטית, ולוותר על מיצויו של האינסולין מלבלבים של בעלי-חיים.

עוד על...

לסוכרת גורמים שונים, לא כולם ידועים

הגורמים למחלת הסוכרת הם תורשתיים בחלקם וסביבתיים בחלקם. הסוכרת המופיעה בגילאים מבוגרים יותר היא הצורה השכיחה יותר של המחלה. הגורמים לה לא תמיד ברורים, ואפשר שהם משולבים: תורשתיים וסביבתיים. החולים בה אינם סובלים בהכרח ממחסור באינסולין ורובם לא נזקקים להזרקות של אינסולין, אלא לתרופות המשפרות את כניסת הגלוקוז לתאים. **סוכרת נעורים** היא הצורה הקשה יותר של המחלה, והיא נגרמת בדרך-כלל על-ידי פגם גנטי. רוב אלה הסובלים מהפגם הזה לוקים במחלה מילדות, והלבלב שלהם לא מייצר די אינסולין. החולים בסוכרת נעורים נזקקים להזרקה יומיומית של אינסולין.

שאלה 2

מדוע אי אפשר לתת את האינסולין דרך הפה, בגלולה?

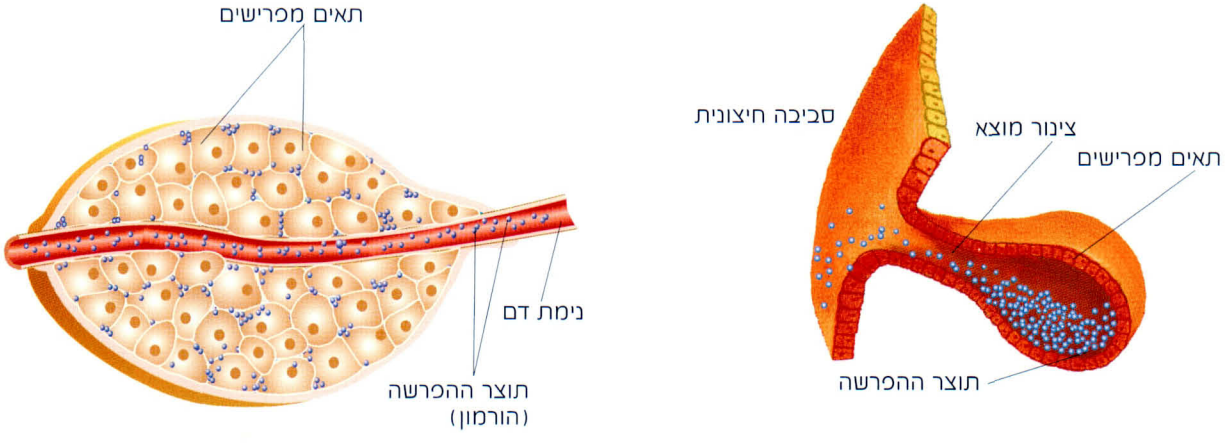
6.2 מערכת ההפרשה הפנימית היא מערכת תקשורת כימית

גילוי האינסולין היווה נקודת מפנה היסטורית: בעקבותיו התרחב מאוד המחקר, ובתוך זמן קצר יחסית חשפו החוקרים מערכת-גוף שלמה המשפיעה על תהליכים בגוף באמצעות מסרים כימיים.

המערכת שהתגלתה בנויה מריכוזי תאים בעלי התמחות מיוחדת: הם מעבירים מידע למקומות אחרים בגוף בדרך של הפרשת חומרים לדם. חלק מהתאים האלה מאורגנים באיברים בעלי מבנה מיוחד הנקראים בלוטות, וחלקם מפוזרים באיברים שונים, כגון תאים מפרישים הנמצאים באפיתל המעי הדק, ברקמה המצפה את חלל הרחם ובמקומות אחרים בגוף.

קודם לגילוי האינסולין הכירו החוקרים איברים מפרישי חומרים, שנקראו בלוטות, והיו מצוידים בצינורות מוצא. עתה התברר, כי שני סוגים של בלוטות פועלים בגוף: בלוטות בעלות צינורות מוצא ובלוטות חסרות צינורות מוצא. תרשימים של שני סוגי הבלוטות תוכלו לראות באיור 6.2. הבלוטות מהסוג השני מפרישות את התוצרים שלהן לנוזל החוץ תאי, וממנו הם עוברים אל זרם הדם. הבלוטות והתאים המפרישים האלה נקראים בשם כולל **מערכת ההפרשה הפנימית** או **המערכת האנדוקרינית**.

(ראו איור 6.3)



א בלוטה להפרשה חיצונית

ב בלוטה להפרשה פנימית

איור 6.2
חתכים בבלוטות הפרשה

הרחבה

בגוף נמצאות בלוטות משני סוגים

ההבחנה בין שני סוגי הבלוטות אינה מתמצה רק בשאלה האם יש להן או אין להן צינורות מוצא; ההבדל הזה נתגלה כמשקף הבדל עקרוני בדרך הפעולה בין שני סוגי הבלוטות. הסוג הראשון של הבלוטות, אלה בעלות צינורות המוצא, מכונה "בלוטות להפרשה חיצונית" ובמינוח המדעי הלועזי **בלוטות אקסוקריניות** (אֶקסו, exo = "חוץ"). החומרים שבלוטות אלה מפרישות מתנקזים מתאי הבלוטה לצינור המוצא ומובלים דרכו לסביבה החיצונית. להזכירכם, סביבה חיצונית אינה רק מה שנמצא מחוץ לגוף השלם. לדוגמה: התאים בלבלב שיש להם צינורות מוצא, מפרישים את התוצרים שלהם - אנזימי עיכול מסוימים - לחלל המעי הדק, כלומר לסביבה החיצונית. בלוטות אקסוקריניות נוספות הן בלוטות הזיעה, בלוטות הרוק, בלוטות הדמעות, בלוטות החלב - כולן משחררות את תוצרתן דרך צינורות אל הסביבה החיצונית.
לבלוטות להפרשה פנימית אין צינורות, תוצריהן מופרשים לדם - כלומר לסביבה הפנימית - והן נקראות בלוטות אנדוקריניות (אנדו, endo = "פנימי").

מהי אפוא **בלוטה אנדוקרינית**? זהו איבר הבנוי מתאים המתמחים בייצור ובהפרשה של חומר, או של קבוצת חומרים, ייחודיים לבלוטה. החומרים הנוצרים בבלוטה האנדוקרינית מופרשים מהתאים לנוזל החוץ-תאי, וממנו הם מגיעים לדם. החומרים המופרשים מהבלוטות להפרשה פנימית נקראים הורמונים.

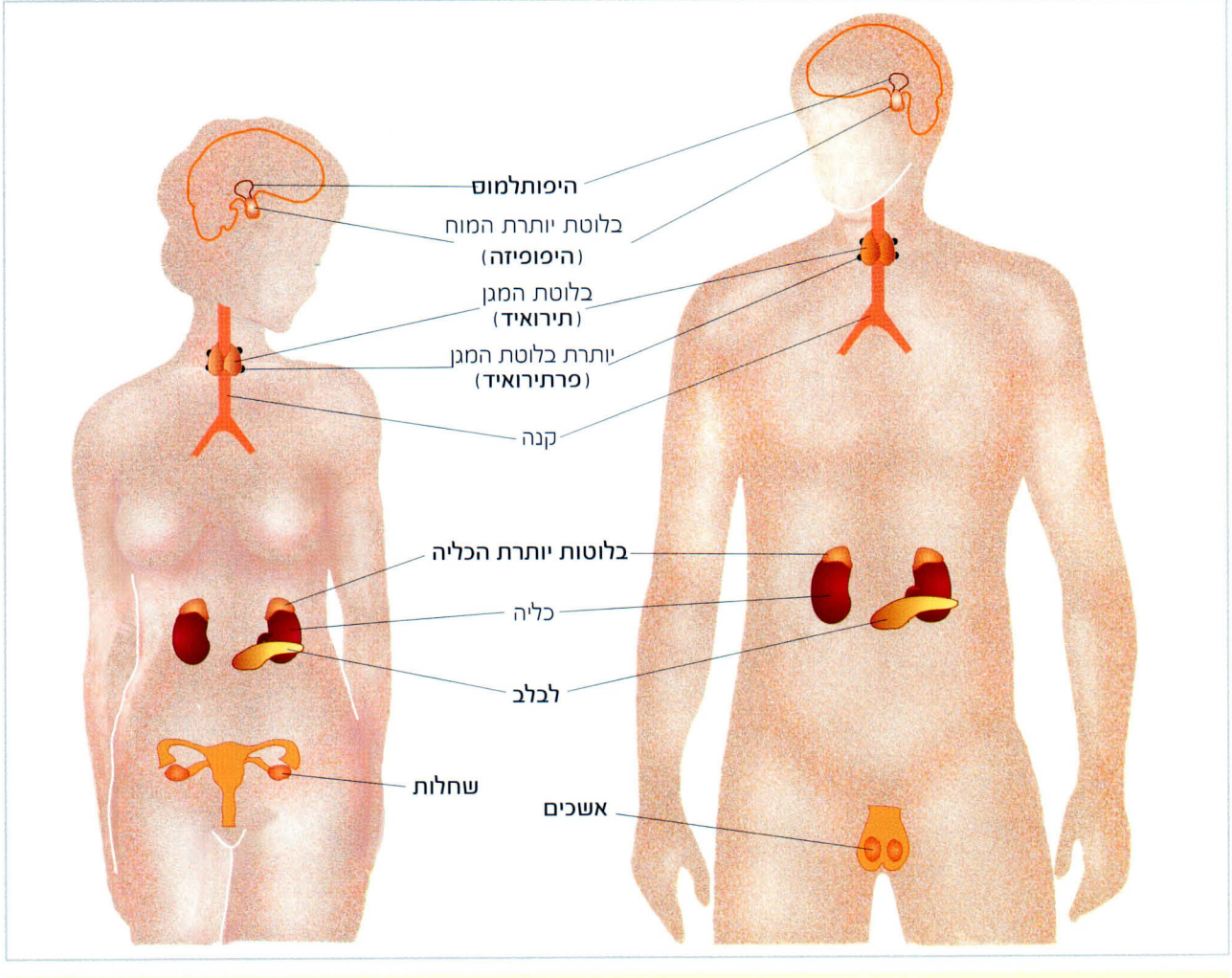
במרוצת העשורים הראשונים של המאה ה- 20 התגלו בלוטות אנדוקריניות רבות נוספות, ולמעשה נחשף מערך שלם של בלוטות כאלה המפוזרות בכל הגוף.

באיור 6.3 תוכלו לראות את מיקומן של הבלוטות האנדוקריניות העיקריות בגוף. בהמשך תתואר הפעילות של מקצת ההורמונים המופרשים מהן.

גילוי הבלוטות האנדוקריניות וחקירת הפעילות שלהן בגוף נעשו ברוב המקרים באותו אופן:

החוקרים בדקו אנשים שהתגלה אצלם פגם בבלוטה מהסוג הזה, והשוו את מצבם למצבם של אנשים בריאים, שלא סבלו מפגיעה באותה בלוטה. במקביל בדקו החוקרים אילו תופעות שליליות מתפתחות בחיות ניסוי בעקבות ניתוחים בהם הוסרה בלוטה מסוימת. הם השוו את הממצאים למצבן של חיות ניסוי שלא עברו ניתוח דומה. בדרך זו חשפו החוקרים את התפקודים של כמה בלוטות אנדוקריניות חשובות.

כך נמצא, למשל, כי גדילת הגוף מווסתת על-ידי **הורמון הגדילה**, המופרש מבלוטה הנמצאת בראש. התברר, כי מחסור בהורמון זה יכול לגרום להפרעה קשה בגדילה, וכך הוסברו מקרים רבים של ננסות; ולחילופין, עודף גדול בהורמון הזה גורם לגדילת יתר - לענקות.



איור 6.3
מערכת הבלוטות להפרשה פנימית בגוף האדם

גילוי נוסף, שנבע מחקר ליקויים גופניים, נעשה בתחילת המאה ה-20: החוקרים עמדו על כך שבאזורים מסוימים במרכז אירופה נפוצה במיוחד מחלה המאופיינת בפיגור בגדילה ובפיגור שכלי. המחלה התגלתה בשכיחות גבוהה במקומות הרריים ומרוחקים מחוף הים, כמו בהרי האלפים בשוויץ ובאוסטריה. החולים סבלו ממכלול תופעות שכלל: עיכוב בולט בגדילה, קצב חילוף חומרים נמוך במיוחד, איטיות רבה בתגובות ופיגור שכלי בדרגות שונות. התברר, כי כל החולים במחלה סובלים מגידול מוגזם של בלוטה הנמצאת באזור הצוואר - **בלוטת המגן** (ובשמה הלועזי - תיראויד - Thyroid). החוקרים גילו, כי הפרשת ההורמונים מבלוטה זו נמוכה במיוחד בקרב החולים במחלה. במחקר כימי של הורמוני בלוטת המגן נמצא, כי הם מכילים אטומים של יוד. היוד נמצא באופן טבעי במי שתייה, אך ריכוזו נמוך במיוחד במי מעיינות באזורים הרחוקים מהים. המחסור ביוד מונע מהבלוטה לייצר כמויות מספיקות של הורמונים, והתוצאה היא המחלה האופיינית - תת-פעילות של בלוטת המגן. כאשר החלו להוסיף יוד למי השתייה - נמנעה הופעת המחלה.

השוואות כאלה, בין מצבם של אנשים הסובלים מפגיעה בבלוטה מסוימת למצבם של אלה שאינם סובלים מפגיעה דומה, סיפקו את הבסיס לזיהוי תפקודיהן של כל הבלוטות בגוף.

ההורמונים מווסתים תהליכים בתאים

כפי שראיתם, הורמון הוא חומר המופרש מבלוטה, או מתאי בלוטה להפרשה פנימית, ישירות לחומר החוץ-תאי ולדם, ומשפיע על תהליך או על כמה תהליכים המתרחשים בתאים. ההורמונים מופרשים בכמויות זעירות ביותר, הנמדדות במליוניות של גרמים.

כל הורמון משפיע בדרך אופיינית על תהליכים מסוימים המתרחשים בתאים בגוף. יש הורמונים המשפיעים באותו אופן על כל התאים בגוף, כמו האינסולין, למשל; אחרים משפיעים רק על תאים ברקמות מסוימות בגוף. יש הורמונים המשפיעים בצורה אחת על תאים מסוג מסוים, ובצורה אחרת על תאים אחרים. כך, **אדרנלין**, הורמון המופרש מבלוטת **יותרת הכליה** (ראו איור 6.3 וטבלה 1 שלהלן), גורם להרפיה של שרירים במעיים, אך מעורר את שריר הלב להתכווץ בעוצמה גדולה יותר.

שאלה 3

כאמור, כל ההורמונים מופרשים ומגיעים לדם. פירוש הדבר, שהם עוברים בין כל התאים בגוף. איך אפשר להסביר את העובדה שיש הורמונים המשפיעים רק על תאים מסוימים, ולא על אחרים?
נסו להסביר את התופעה.

בכל רגע נתון נמצאים בדם הורמונים שונים, וכל אחד מהם פועל את פעולתו, בין אם על כל תאי הגוף, ובין אם על קבוצות תאים מסוימות, או על איברים מסוימים בגוף. התאים הנתונים להשפעתו של הורמון מסוים נקראים **תאי המטרה** שלו. לעתים איבר שלם מהווה מטרה לפעולתו של הורמון, והוא ייקרא, בהתאמה איבר המטרה של ההורמון. יש הורמונים - האינסולין הוא אחד מהם - שכל תאי הגוף הם תאי המטרה שלהם.

העובדה שהורמון משפיע רק על תאי המטרה שלו נובעת מכך, שרק תאים אלה מצוידים באמצעי מתאים לקשירת אותו הורמון. אפשר לומר, כי בין ההורמון לבין תאי המטרה שלו מתקיים תהליך של זיהוי הדדי. בקרומי התאים נמצאים מבנים מיוחדים הנקראים **קולטנים**. כל הורמון נקשר על-ידי קולטנים מיוחדים לו, הנמצאים רק בקרומים של תאי המטרה שלו.

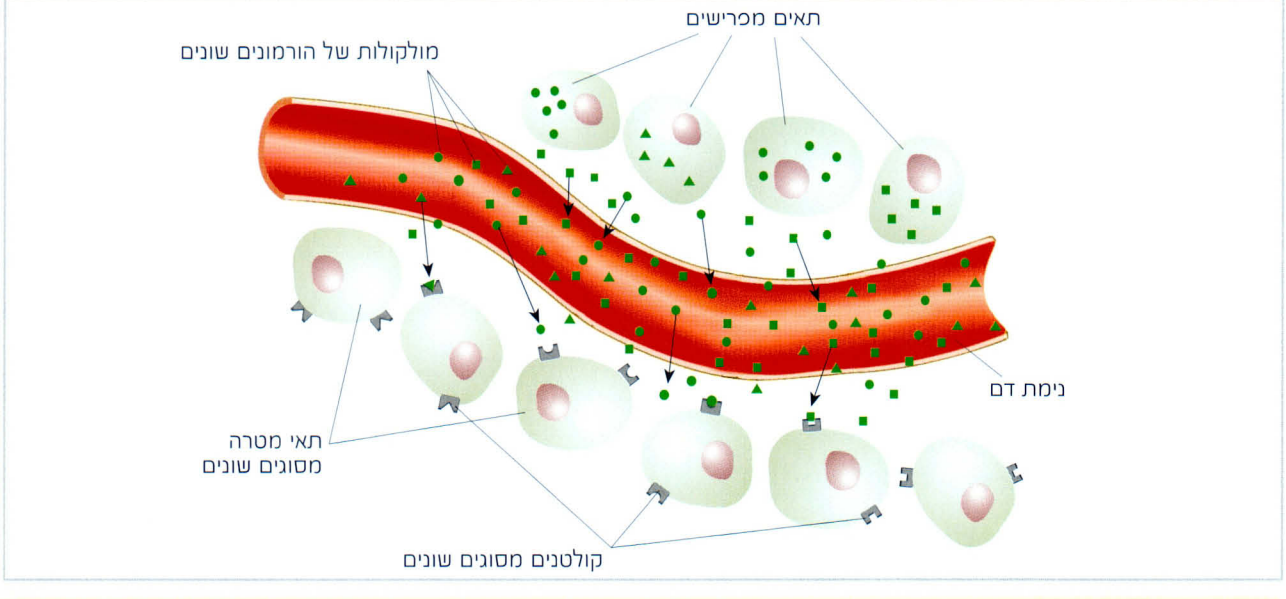
כדי להבהיר את הדברים, ניעזר בדוגמה.

ההורמון **אלדוסטרון** מופרש מבלוטת יותרת הכליה. תאי המטרה של הורמון זה הם התאים בדפנות של אבוביות הנפרונים בכליות.

ההורמון **גלוקָגוֹן** מופרש מהלבלב וגורם לתאים בכבד ובשרירים לפרק רב-סוכר בשם גליקוגן, הנמצא בתוכם כחומר תשמורת, לגלוקוז. תאי המטרה של הגלוקגון הם אפוא תאי הכבד והשרירים.

שני ההורמונים מגיעים לדם, ועימו לכל חלקי הגוף. אולם האלדוסטרון משפיע רק על תאי המטרה שלו בכליות, והגלוקגון משפיע רק על תאי המטרה שלו בכבד ובשרירים.

איור 6.4 מראה את המתרחש.



איור 6.4
הורמונים שונים ותאי מטרה שונים מזהים אלה את אלה באמצאות קולטנים בקרומי התאים (ממדי התאים, הקולטנים ונימת הדם אינם משקפים את יחסי הגודל האמיתיים ביניהם)

בטבלה 1 שלהלן מופיעים שמותיהן של הבלוטות העיקריות בגוף ושל כמה מההורמונים המופרשים מהן, וכן מצוינות השפעותיהם של ההורמונים הללו בגוף. ההורמונים המופיעים בטבלה מהווים רק חלק משורה ארוכה של הורמונים המופרשים מכל הבלוטות. היעזרו באיור 6.3 כדי לאתר את מיקומה של כל בלוטה הנזכרת בטבלה.

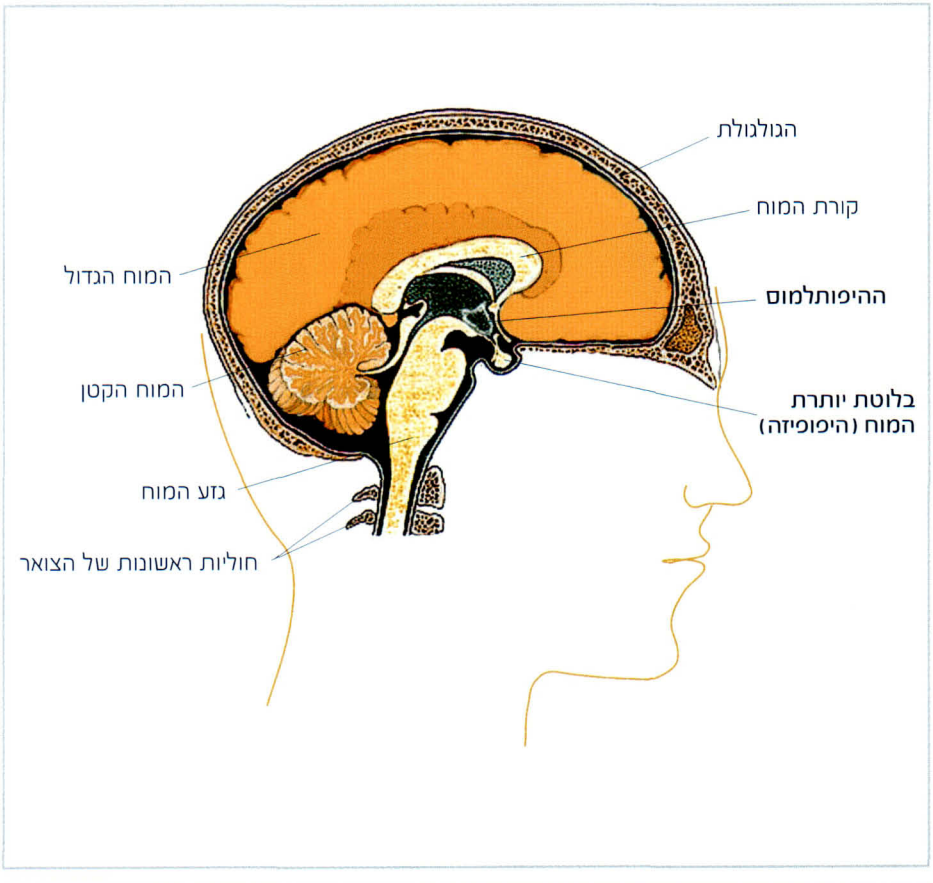
טבלה 1: בלוטות ותאים להפרשה פנימית והשפעותיהם של ההורמונים העיקריים המופרשים מהן

הבלוטה, או תאים מפרישי הורמונים	שם ההורמון	השפעותיו העיקריות
הלבלב: איי לנגרהנס	אינסולין (Insulin)	מזרז מעבר גלוקוז מהדם לתאים.
	גלוקַגון (Glucagon)	מזרז פירוק גליקוגן, האגור בשרירים ובכבד, לגלוקוז.
בלוטת המגן (תירואיד Thyroid)	תירוקסין (Thyroxin, T3), טְריודותירונין, (Triiodothyronin, T4)	משפיעים על תהליכי חילוף חומרים והפקת אנרגיה.
	קלציטונין (Calcitonin)	מווסת את רמת הסידן באמצעות זירוז הקליטה של סידן על ידי העצמות.
יותרת הכליה	אַלדוסטרון (Aldosterone)	מווסת את ריכוז יוני נתרן בסביבה הפנימית ובעקבות כך משפיע על כמות המים בשתן.
	קורטיזול (Cortisol)	מווסת מטבוליזם של חלבונים, פחמימות ושומנים.מקטין את עוצמת התגובה של מערכת החיסון.
	אַדרנלין (Adrenaline)	מזרז פירוק גליקוגן לגלוקוז, משפיע על תגובות למצבי לחץ ומאמץ: עליה בלחץ הדם, בקצב הלב וזרימת דם לשרירים.
תאים מפרישים בשחלות	אֶסטרוגן (Estrogen)	מעורר התפתחות של סימני מין משניים; מווסת את המחזור החודשי.
	פרוגסטרון (Progesterone)	מווסת (יחד עם האסטרוגן) את המחזור החודשי, תומך בהחזקת העובר ברחם; מעורר התפתחות בלוטות חלב.
תאים מפרישים באשכים	טסטוסטרון (Testosterone)	מאפשר התפתחות סימני מין משניים, התפתחות איברי מין זכריים ויצירת תאי זרע.
תאים מפרישים בקיבה	גַסטרין (Gastrin)	מווסת הפרשה של מיצי עיכול בקיבה ובמעי הדק; מעורר תנועת שרירים.
תאים מפרישים בתריסריון	סֶקרטין (Secretin)	מעורר הפרשה של מיצי עיכול לחלל המעי.
יותרת המוח (היפופיזה): היפופיזה קדמית	הורמון גדילה (GH)	מעודד גדילה וחילוף חומרים.
	הורמון מגרה בלוטת המגן (TSH)	מעורר את בלוטת המגן להפרשת הורמונים.
	הורמון מגרה יותרת הכליה (ACTH)	מעורר את יותרת הכליה להפרשת הורמונים.
	הורמונים המגרים פעילות של בלוטות באיברי הרבייה (FSH ,LH)	גורמים לשחלות ולאשכים להפריש הורמוני מין. גורמים להבשלת תאי ביצה וליצירת תאי זרע.
	פרולקטין (Prolactin)	מעורר הפרשת חלב
יותרת המוח: היפופיזה אחורית (ההורמונים מיוצרים בהיפותלמוס ומופרשים מההיפופיזה)	אוקסיטוצין (Oxytocin)	מעורר הפרשת חלב; מגביר את התכווצות שרירי הרחם בלידה
	הורמון אנטידיורטי (ADH)	מווסת את כמות המים בדם ובשתן; מווסת את לחץ הדם

6.3 ההיפופיזה מבקרת את פעולתן של בלוטות להפרשה פנימית

בלוטת **יותרת המוח**, או בלועזית **היפופיזה** (Hypophysis) - היא בלוטה בעלת חשיבות מרכזית במערכת כולה, משום שהיא משפיעה על פעילותן של בלוטות רבות אחרות. ראו את מיקומה בראש, באיור 6.3 ובאיור 6.5.

ההיפופיזה נמצאת במקום מרכזי ומוגן במיוחד, ממש באמצע הראש שלנו, במרכזו של קו דמיוני העובר בין שתי האוזניים. היא ממוקמת בתוך שקע בעצם הנמצא בבסיס הגולגולת. עצמות הגולגולת הנמצאות סביב האוזניים, הן עבות במיוחד, וכך ההיפופיזה, הנמצאת בין שני גושי עצם עבים, זוכה להגנה יעילה מפני פגיעות מכניות, מכות, זעזועים וכדומה.



איור 6.5
מיקומה של יותרת המוח (חלקי מוח נוספים הנראים באיור יידונו בפרק 7)

באיור אפשר לראות, כי החלק האחורי של ההיפופיזה מחובר לחלק המוח המכונה **היפותלמוס**. החיבור הזה משמעותי מאוד בכל הנוגע לתפקודן של שתי מערכות הוויסות והבקרה של גופנו.

אל ההיפותלמוס מגיע מידע על שינויים המתרחשים בגוף. המידע מגיע אליו דרך עצבים שונים (שתכירו בפרק 7) ודרך זרם הדם. בהיפותלמוס נעשה עיבוד של המידע, ובעקבות עיבוד המידע הוא מעביר מסרים להיפופיזה באמצעות הורמונים המופרשים ממנו. מכיוון שההיפופיזה משפיעה על פעילותן של בלוטות אחרות, אפשר לראות בקשר שבין ההיפותלמוס להיפופיזה ביטוי לפיקוח של המוח על מערכת הפרשת ההורמונים.

תיאום הפעילות בין מערכת ההורמונים למערכת העצבים ישוב ויעסיק אותנו בסיומה של יחידה זו.

כפי שרואים בטבלה 1, ההיפופיזה מורכבת משני חלקים, המהווים, למעשה, שתי בלוטות נפרדות: היפופיזה קדמית והיפופיזה אחורית. כל חלק מפריש הורמונים שיש להם פעילות ייחודית בגוף.

ההיפופיזה הקדמית מפרישה הורמונים המעוררים את פעילותן של בלוטות אחרות: בלוטת המגן, בלוטת יותרת הכליה וכן פעילות של תאים מפרישים ב**שחלות** אצל האשה וב**אשכים** אצל הגבר.

ציינו לעצמכם את מיקומן של כל הבלוטות האלה בגוף בסיוע איור 6.3.

בטבלה 1 מצוינות כמה מפעולותיהן העיקריות של הבלוטות הכפופות להורמוני ההיפופיזה הקדמית. הורמונים שההיפופיזה מפרישה גורמים לבלוטות אלו להפריש הורמונים משלהן. כך, ההיפופיזה גורמת לאשכים להפריש הורמונים הקשורים לפוריות הגבר; ולשחלות היא גורמת להפריש הורמונים הקשורים לפוריות האישה.

ראשית ההתבגרות המינית של הנערה והנער מוכתבת על-ידי הורמונים שמפרישה ההיפופיזה בתגובה לחומרים המופרשים מההיפותלמוס. הורמונים אלה מעוררים אצל בני שני המינים מכלול של שינויים בגוף, הקשורים במעבר מילדות לגיל הנעורים, שבו מתרחשת ההתבגרות המינית. נושא מעורבותם של ההורמונים בהתבגרות המינית ובתהליכי הרבייה יטופל בהרחבה בפרק 9, העוסק ברבייה.

נוסף לכך, ההיפופיזה הקדמית מפרישה הורמונים שאינם משפיעים על פעילות של בלוטות אחרות, לדוגמא, ה**פרולקטין** - הורמון המפקח על ייצור החלב לאחר לידה.

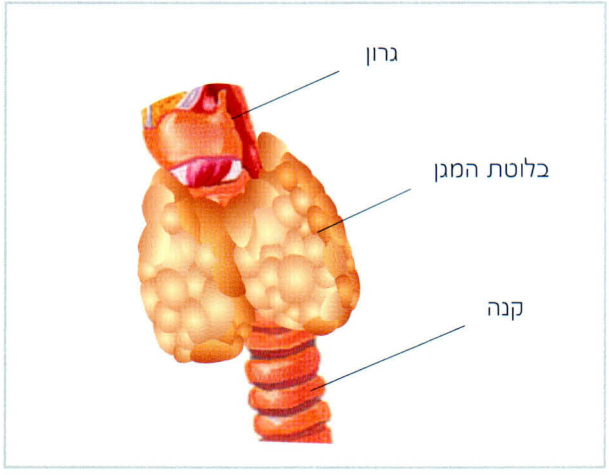
ההיפופיזה האחורית מפרישה הורמונים הקשורים לוויסות ריכוזי המלחים בדם, לשמירה על לחץ הדם, וכן להפרשת החלב אצל אישה מיניקה.

עתה נתמקד בשתיים מהבלוטות הכפופות להשפעת ההיפופיזה: בלוטת המגן ובלוטת יותרת הכליה.

שתי הבלוטות מפרישות הורמונים, שהשפעתם על המתרחש בגוף מתבטאת בכל רגע ורגע בחייו של האדם. אולם מבלוטת יותרת הכליה מופרשים גם הורמונים שהשפעתם ניכרת בעיקר במצבי מאמץ או לחץ רגשי. פעילות זו של בלוטת יותרת הכליה כפופה ישירות למערכת העצבים (ולא להיפופיזה), כפי שיתואר בהמשך.

בקרה באמצעות משוב שלילי - ההיפופיזה ובלוטת המגן

כדי להמחיש את הפיקוח שההיפופיזה מפעילה על בלוטות אחרות, נתמקד בבקרה שלה על פעולתה של בלוטת המגן. ראו את מיקומה בגוף באיור 6.6.



איור 6.6
בלוטת המגן - התירואיד. הבלוטה צמודה לקנה בצידו הקדמי.

כיום ידוע, כי ההורמונים המופרשים מבלוטת המגן מווסתים מכלול רחב של תהליכים הקשורים בחילוף החומרים בגופנו, והם ממלאים אפוא תפקיד מרכזי במנגנוני ההומאוסטאזיס.
ההורמונים של בלוטת המגן משפיעים על קצב פירוק הפחמימות בתאים בתהליך הנשימה התאית. משמעות הדבר, שהם מווסתים את קצב הפקת האנרגיה מהמזון בכל תאי הגוף (ראו פרק 3, עמוד 64). נוסף לכך, הורמוני התירואיד מווסתים את קצב הייצור והפירוק של החלבונים והשומנים בתאים. מכאן תבינו את חשיבותה של בלוטה זו בגופנו.

ההיפופיזה מפרישה הורמון הנקרא **הורמון מגרה תירואיד** (Thyroid Stimulating Hormone ובראשי תיבות TSH). בהשפעתו מייצרת בלוטת המגן את ההורמונים שלה. אולם, כאשר רמת ההורמונים של בלוטת המגן בדם מגיעה לסף מסוים, המידע על כך נקלט בהיפופיזה, והפרשתו של ההורמון TSH נפסקת. הירידה ברמת ההורמון מגרה התירואיד גורמת לירידה בפעילות התירואיד, ונוצרים פחות הורמוני תירואיד.

שאלה 4

נסו לשער, מה קורה כאשר יורדת רמת הורמוני התירואיד בדם?

כפי שאתם רואים, הפיקוח של ההיפופיזה על התירואיד נעשה באמצעות מעין ערוץ תקשורת מעגלי: ההיפופיזה מפרישה הורמון המגרה את התירואיד להפריש הורמונים, אך היא מפסיקה לעשות זאת כאשר היא קולטת את המידע: "יש עודף הורמוני תירואיד בדם". היא מחדשת את הפעילות הזו כאשר היא קולטת את המידע: "חלה ירידה ברמת הורמוני התירואיד בדם".
לצורה הזו של פיקוח קוראים **משוב שלילי**.

הרחבה

מנגנון משוב - תוצאת הפעולה משפיעה על תחילת הפעולה

המונח "משוב" מתאר מנגנון בקרה, שבו התוצאה הסופית של שרשרת תהליכים, משפיעה על תחילתה של השרשרת. המילה "משוב" נגזרת מהמילה "להשיב" ("להחזיר") ופירושה הוא: התוצאה הסופית של שרשרת תהליכים מוזנת למרכז הבקרה האחראי על מהלכם. מרכז הבקרה יכול לגרום לשינויים בתחילת שרשרת התהליכים, והתוצאה שתתקבל תהיה אחרת. גם תוצאה זו מוזנת למרכז הבקרה, המגיב בהתאם והמשוב ממשיך לפעול. משוב מתמיד גורם לכך שתמיד תהיה בקרה על התוצאה. מנגנוני משוב מעשה ידי אדם נמצאים באין-ספור מכשירים ומתקנים. מקרר הוא דוגמה פשוטה - הטמפרטורה הרצויה במקרר היא 4° צלזיוס. המנוע מצנן את המקרר. כאשר הטמפרטורה יורדת מתחת ל-4 מעלות, חיישן רגיש לטמפרטורה גורם להפסקת פעולת המנוע. כאשר הטמפרטורה עולה מעל 4 מעלות, החיישן מעביר מידע למנוע וגורם לחידוש עבודתו.
ביצורים חיים פועלים מנגנוני משוב רבים. בקרת ההיפופיזה על פעולת התירואיד היא דוגמה אחת מני רבות.

שאלה 5

בפרק 3 הכרתם מנגנון משוב של בקרת קצב הנשימה. איזו תוצאה של תהליכי הנשימה מוּזֶנֶת למרכז הבקרה, ואיך היא משפיעה עליו?

משוב שלילי פועל ברוב מנגנוני הבקרה והוויסות של תהליכים בגוף. העיקרון שבבסיס המשוב השלילי הוא זה: עלייה בכמות התוצר של תהליך כלשהו מעל לסף מסוים גורמת לעיכוב התהליך, המוביל להיווצרות אותו תוצר, או להפסקתו. מנגנוני משוב בגופם של אורגניזמים מונעים סטיות חדות מערכים תקינים של מדדי הסביבה הפנימית.

משימה 1

מתארים משוב שלילי

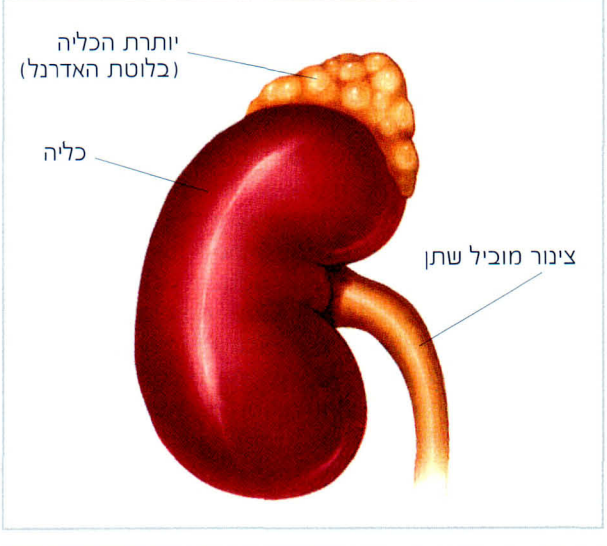
א. ציירו תרשים המתאר את הקשר וההשפעה ההדדית בין ההיפופיזה לתירואיד.
ב. מה היה קורה אילו לא היה משוב שלילי בין הורמוני התירואיד להיפופיזה?
ג. נסו להסביר במילים שלכם מהו משוב שלילי.
ד. מזגן ודוד לחימום מים פועלים באמצעות משוב שלילי. בחרו אחד מהם והסבירו במה מתבטאת פעולת המשוב.

יש בגוף גם מנגנוני בקרה המבוססים על **משוב חיובי**. במשוב חיובי, ככל שתהליך כלשהו מתקדם, כך מתגבר גם קצב התקדמותו. נתקלתם כבר בשתי דוגמאות למשוב חיובי בגוף: קרישת הדם (פרק 4) ושחרור שתן משלפוחית השתן (פרק 5). כשלמדתם על קרישת הדם, ראיתם כי ברגע שתהליך קרישה מתחיל, הוא מתגבר במהירות ומוביל ליצירת קריש דם ההולך וגדל. תהליך הקרישה נפסק הודות לקיומם של חומרים המפרקים את חומרי הקרישה. תיאורטית, בהיעדרם של חומרים מפרקים כאלה, כל התחלה של קרישת דם בכלי דם קטן יכולה להוביל

לקרישת כל הדם בגוף.
כשלמדתם על התהליך של שחרור שתן משלפוחית השתן, נוכחתם לדעת, כי יציאת הטיפות הראשונות של השתן גורמת לירידה קלה בלחץ על דפנות השלפוחית. ירידה זו גורמת להתכווצות השרירים בדפנות ולהגברת זרימת השתן - כלומר, ככל שזרימת השתן מתקדמת, כך גובר קצב הזרימה. בפרק 9 תכירו תהליך נוסף המבוקר במשוב חיובי - הלידה. שכיחותם של מנגנוני משוב חיובי בגוף נמוכה יותר, והם נמצאים בעיקר בתהליכים לא מעגליים, שיש להם נקודת סיום ברורה (כגון התרוקנות השלפוחית, יציאת היילוד לאוויר העולם).
תהליכים המובילים ליצירת חומרים חדשים (כגון, הורמונים בבלוטה כלשהי) מבוקרים בדרך-כלל על-ידי מנגנוני משוב שלילי.

בלוטת יותרת הכליה כפופה להיפופיזה וגם למוח

באיור 6.7 רואים את מיקומה של בלוטת יותרת הכליה מעל לכליה. בלוטות אלה (הצמודות לשתי הכליות) מפרישות כמה הורמונים שונים. בדומה לפעילותה של בלוטת המגן, חלק מפעילות ההפרשה של בלוטות יותרת הכליה כפוף לבקרת ההיפופיזה ומעורב בוויסות של תהליכי חילוף חומרים. אולם חלק אחר של פעילותה כפוף במישרין לבקרה של מערכת העצבים. נראה איך שתי צורות הבקרה מעורבות בוויסות תהליכים ובשמירה על יציבות הסביבה הפנימית, למשל, בעת מאמץ.
במאמץ מתמשך, כשהגוף מתחמם ומזיע, מגיע להיפותלמוס במוח מידע על איבוד מים ומלחים מהדם. מידע זה עובר להיפופיזה. מההיפופיזה מופרש הורמון המגרה את יותרת הכליה להפריש הורמון בשם אלדוסטרון, המשפיע על פעולת הכליות וגורם לתיקון של ריכוז המלחים בסביבה הפנימית. הפרשת האלדוסטרון נתונה לבקרה של מנגנון משוב שלילי. כאשר ריכוז המלחים בסביבה הפנימית חוזר לרמתו התקינה, מצטמצמת הפרשת ההורמון המגרה מההיפופיזה, ורמת האלדוסטרון שבה ויורדת.



איור 6.7
הכליה ובלוטת יותרת הכליה

הורמון נוסף המופרש מיותרת הכליה הוא האדרנלין, שהפרשתו כפופה במישרין לבקרה של מערכת העצבים. האדרנלין מופרש בעת התרגשות קיצונית, במצבי מתח ובעת מאמץ גופני והוא משפיע על תפוקת הלב (ראו גם פרק 4).

שאלה 6

כתבו איך משתנה פעולתו של שריר הלב כאשר הגוף נתון במאמץ (ראו פרק 4).

השינוי בפעילות של מערכות הגוף בעת מאמץ מתחיל בשרירים. למשל: בזמן ריצה, שרירי הרגליים מתכווצים בעוצמה ובקצב גדולים בהרבה בהשוואה למצבם בעת מנוחה.
תאי השרירים המתאמצים מסוגלים לעמוד במאמץ בתנאי שיקבלו אספקה מוגברת של חמצן ושל גלוקוז, שיאפשרו להם להגביר את הפקת האנרגיה בתוכם. פירוש הדבר, שנדרשת הזרמה מוגברת של דם אליהם.

שאלה 7

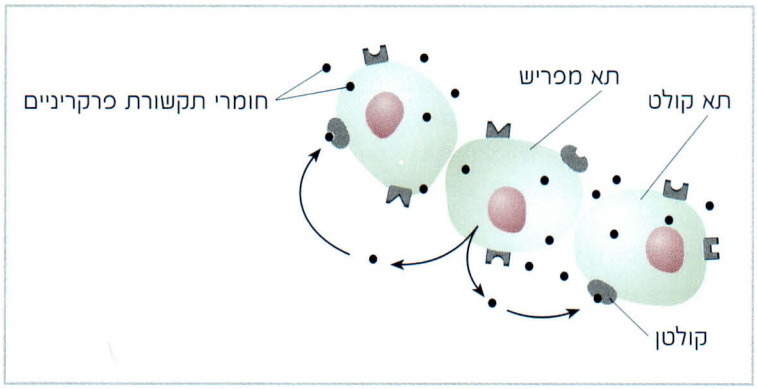
א. איזה גז נפלט מתאי השרירים בכמות מוגדלת בזמן שהם מגבירים את ההתכווצויות שלהם?
(ניתן למצוא את התשובה בפרקים 3 ו-4)
ב. איזה תהליך גובר בהשפעת הגז הנפלט מהתאים?

המידע על השינויים ברמות גזי הנשימה בכלי הדם מגיע אל מרכזים במערכת העצבים. ממרכזים אלה יוצאות הוראות לכמה כיוונים: לשריר הלב, לשרירי בית החזה וגם לבלוטות יותרת הכליה.
בלוטות יותרת הכליה מגבירות את הפרשת ההורמון אדרנלין בהשפעת ההוראות ממערכת העצבים. איברי המטרה של האדרנלין הם שריר הלב, השרירים בדפנות כלי הדם, תאי הכבד ותאי רקמות שומן.
לאדרנלין יש השפעות מנוגדות על איברי המטרה שלו. האדרנלין גורם לשריר הלב להגביר את עוצמת פעימותיו ואת תדירותן - כלומר, הוא גורם להגברה של תפוקת הלב. כמו כן הוא גורם לשרירי בית החזה להתכווץ בעוצמה גדולה יותר ולהגביר את האוורור בגוף. נוסף לכך, האדרנלין מגדיל גם את לחץ הדם בעורקים.
אולם בו-בזמן, האדרנלין משפיע בצורה הפוכה על השרירים שבדפנות המעיים וגורם להם להתרפות. הרפייתם גורמת להאטה בולטת בתנועה הפריסטלטית של המעיים ולעיכוב פעולות העיכול. התוצאה הכוללת של פעולת האדרנלין היא זו: דם רב מוזרם ללב, לשרירי בית החזה ולשרירים ברגליים, בעוד מערכת העיכול מקבלת כמות פחותה של דם. נוסף לכך, האדרנלין מזרז פירוק שומנים ברקמות שומן, והפיכת גליקוגן לגלוקוז בכבד, ובכך הוא מגדיל את מקורות האנרגיה הזמינים לתאי השרירים.
השפעתו של האדרנלין ניכרת דקות מעטות לאחר שהופרש מבלוטות יותרת הכליה. אולם היא נמשכת גם לאחר שההפרשה נפסקת, עד שהאדרנלין כולו מסולק מהדם. תהליך זה עשוי לארוך חצי שעה ואפילו יותר.
ואכן, אם תנסו לשחזר מניסיונכם מצבים של מאמץ מרוכז, או חוויה רגשית קיצונית שחוויתם - כגון פחד פתאומי, או התרגשות חזקה במיוחד - תיזכרו מן הסתם, כי התקשיתם לחזור מייד לתפקוד רגיל. אנחנו ממשיכים להרגיש נסערים ומרוגשים עוד זמן-מה לאחר ש"הכול הסתיים", משום שהאדרנלין עדיין נמצא בדם.
השפעתו ארוכת הטווח של האדרנלין מאפשרת לגוף להתמיד, לפחות לזמן-מה, במאמץ, או במצב של ריגוש גבוה. כשמתחרים במירוץ של 100 מטרים, השפעת האדרנלין זניחה, שכן עד שהיא מתבטאת, המירוץ מסתיים. אולם אם צריך להתמיד בריצה לאורך כמה קילומטרים, או בטיפוס על הר גבוה, האדרנלין מאפשר לגוף להתמיד במאמץ במשך הזמן הנדרש (זאת, כמובן, בהנחה שהאדם נמצא בכושר, המאפשר לו לבצע את המאמץ).

6.4 תקשורת כימית בין תאים היא תנאי לקיום היצור הרב-תאי

כאמור, באמצעות מערכת ההפרשה הפנימית מתקיימת תקשורת כימית מורכבת בין כל חלקי הגוף. הבלוטות הן מעין זרועות ביצוע המופעלות על-ידי מרכזי בקרה ראשיים - מערכת העצבים ובלוטת יותרת המוח - ומאפשרות פעילות מתואמת ומווסתת של מערכות הגוף השונות.

למעשה, תקשורת כימית בין תאים חיים היא תופעה עתיקת יומין בעולם החי. המחקר הביולוגי גילה תחילה את קיומם של ההורמונים - חומרי תקשורת המופרשים מבלוטות מיוחדות ומווסתים תהליכים באיברי מטרה, המרוחקים ממקום ההפרשה. ההורמונים התגלו, כזכור, כבר בתחילת המאה ה-20. רק לאחר אמצע המאה ה-20 התברר, כי כל תאי הגוף מפרישים "חומרי תקשורת", המשמשים ל"תקשורת מקומית" - כלומר, חומרים המאפשרים מעבר מידע רצוף בין תאים שכנים בתוך רקמה.



איור 6.8
תקשורת פרקרינית: תאים מפרישים חומרי תקשורת הנקלטים בתאים סמוכים אליהם.

המדע של חקר המאובנים מלמד אותנו, כי החיים על כדור-הארץ החלו לפני שלושה וחצי מיליארד שנים, בקירוב. אולם במשך שניים וחצי מיליארד השנים הראשונות לקיומם של החיים, כל היצורים החיים היו חד-תאיים בלבד. רק לאחר מכן הופיעו לראשונה יצורים שהיו בנויים מכמה תאים שפעלו יחד כיחידה אורגנית אחת.

תנאי ראשון לקיומו ולהישרדותו של יצור רב-תאי הוא, כמובן, יכולתם של התאים המרכיבים אותו לפעול בתיאום ולהעביר ביניהם מידע ברציפות ובדייקנות.

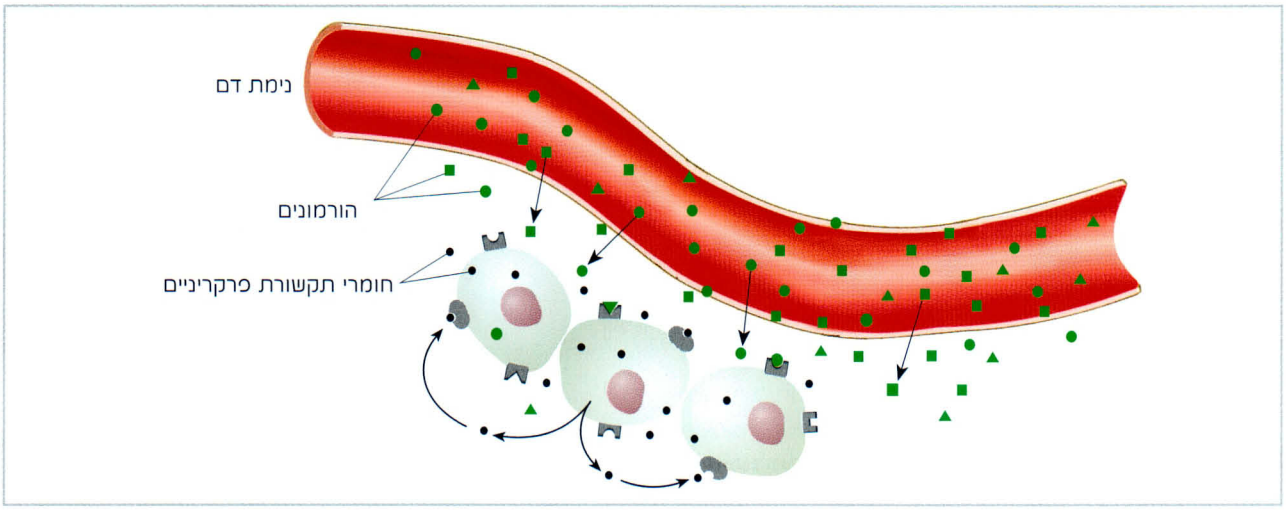
בפרק 1 למדתם, כי התאים בגוף מאורגנים ומסודרים ברקמות, וכי סידור הרקמות נשמר בצורה מדויקת וקפדנית מאוד. מכאן תבינו, כי חייבת להתקיים תקשורת מתמדת בין התאים, כדי לשמר את ההיערכות המיוחדת האופיינית לכל רקמה. האם שאלתם את עצמכם, למשל, איך קורה שהעור נשאר תמיד באותו עובי בדיוק, למרות שהוא מתחדש בלי הרף? מה מונע משכבות התאים להתרבות כך שתופיע שכבה שלמה נוספת, ועליה עוד שכבה ועוד שכבה?

התשובה לשאלות האלה טמונה בצירוף המילים "תקשורת בין תאים שכנים", או במינוחו המדעי: **תקשורת פרקרינית** (para = קרוב ביוונית עתיקה). משערים, כי בשלב מוקדם באבולוציה של יצורים רב-תאיים הופיעו חומרים, שעברו במהירות בין תאים סמוכים, ושידרו אותות מתא לתא.

חומרים אלה, מיוצרים כל הזמן על-ידי התאים בגופנו. כל תא קולט ברציפות חומרים מאותתים, המגיעים מהתאים הסמוכים אליו. ככלל, רוב האותות מדווחים לתא על הצפיפות של אוכלוסיית התאים הסמוכה אליו; על סוג הקשרים שלו עם תאים שכנים ועל מידת ריחוקו או קרבתו לשכבה היוצרת את גבול הרקמה. מכיוון שתחילה זוהו אותות הקשורים בגדילה ובהתרבות של התא, הם כונו בשם כולל **גורמי גדילה**. במרוצת הזמן הסתבר שחומרים אלה משפיעים גם על תנועת תאים, התמיינות, ייצור חומרים המופרשים אל מחוץ לתאים ופעילויות רבות נוספות.

החומרים מופרשים מהתאים לחומר החוץ-תאי ונקשרים לקולטנים של תאים שכנים. בדרך זו הם מאפשרים מעבר רצוף של מידע בין התאים. (ראו איור 6.8)

באיור 6.9 תוכלו לראות תאים ביצור הרב-תאי החשופים למידע המגיע מרחוק באמצעות תקשורת אנדוקרינית, ולמידע המגיע משכניהם באמצעות תקשורת פרקרינית.



איור 6.9
תקשורת אנדוקרינית ותקשורת פרקרינית: כל תא מקבל אותות "מרחוק" - מבלוטות אנדוקריניות, ואותות "מקרוב" - אותות פרקריניים מתאים סמוכים אליו.

כל תא "מופגז" בכל רגע במידע רב, המגיע אליו הן מתאים קרובים והן מתאים רחוקים יותר.
המידע הנקלט בתא משפיע על הכרעות מרכזיות בחייו, הכוללות פעולות כגון: המשך גדילתו של התא, חלוקתו (האם תתרחש חלוקה, או לא), מועד החלוקה, כיוון התמיינותו ואף מות התא. עדיין לא ידוע כיצד התא משקלל את כל האותות המגיעים אליו וכיצד נקבע איזו פעולה תתבצע.

הורמונים מחוללים שינויים מבוקרים בסביבה הפנימית

הגוף החי חשוף בכל רגע של קיומו לתנודות ולשינויים המתרחשים בו. כך, למשל, ריכוזי החומרים השונים הנמצאים בגוף נתונים לתנודות בלתי פוסקות, העלולות לשבש את יציבות הסביבה הפנימית.
כפי שראיתם, המידע אודות תנודות בריכוזים של חומרים מגיע תחילה למרכזים עצביים. לאחר שמרכזים אלו מעבדים את המידע, הם מעבירים פקודות לתאי הבלוטות של מערכת ההפרשה הפנימית.

אלה 8

הכינו רשימה של תנודות ושינויים אפשריים בסביבה הפנימית, וציינו את ההורמונים האחראים לתיקון התנודות האלה. היעזרו לשם כך בטבלה 1.

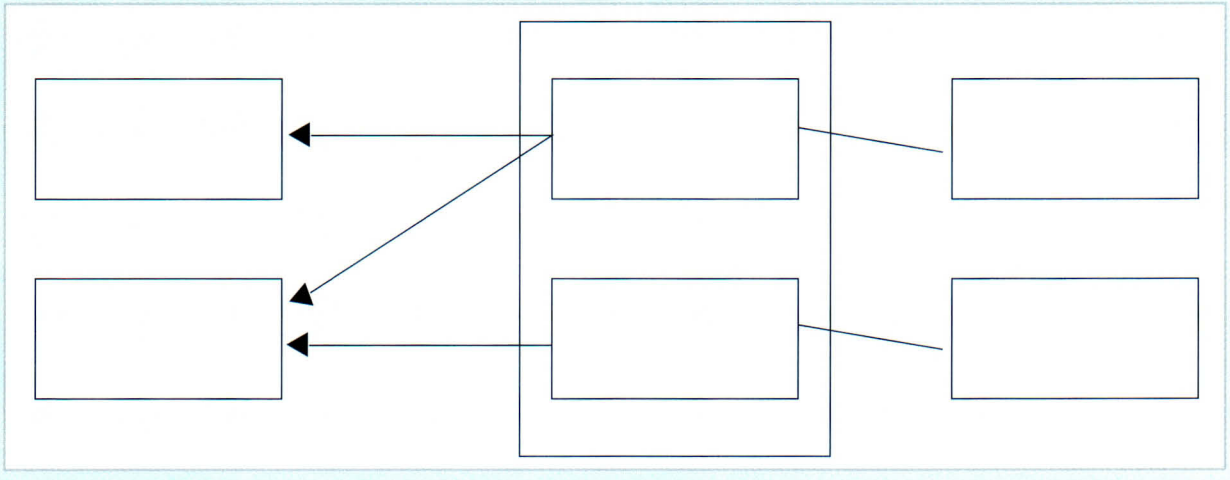
אולם לא כל ההורמונים משתתפים בשמירה מתמדת על יציבותה של הסביבה הפנימית. יש הורמונים שהשפעתם מתבטאת דווקא בכך שהם מווסתים תהליכי שינוי המתרחשים בגוף. כאלה הם, למשל, ההורמונים האחראים לגדילה של גוף האדם טרם התבגרותו. ודאי ברור לכם, שכמות החומר הבונה את העצמות משתנה במשך הזמן; אילו נותרה קבועה, הילד לא היה גדל. הורמון הגדילה מאפשר תוספת של חומר לעצמות במשך כל תקופת הגדילה, אולם הוא גורם לכך שתוספת החומר תהיה מאוזנת ומדורגת ולא "פרועה". הורמונים אחרים, הקשורים לתהליכי ההתבגרות הגופנית, גורמים גם הם לשינויים בולטים במבנה של איברים שונים בגוף הנערה ובגופו של הנער - ושינויים אלה כפופים, כמובן, לבקרה ולוויסות.
הורמונים מווסתים אפוא בדייקנות תהליכי שינוי, המתחילים במצב יציב כלשהו ומתקדמים לעבר מצב יציב חדש - כמו גודל העצמות בגמר הגדילה.

6.5 סיכום

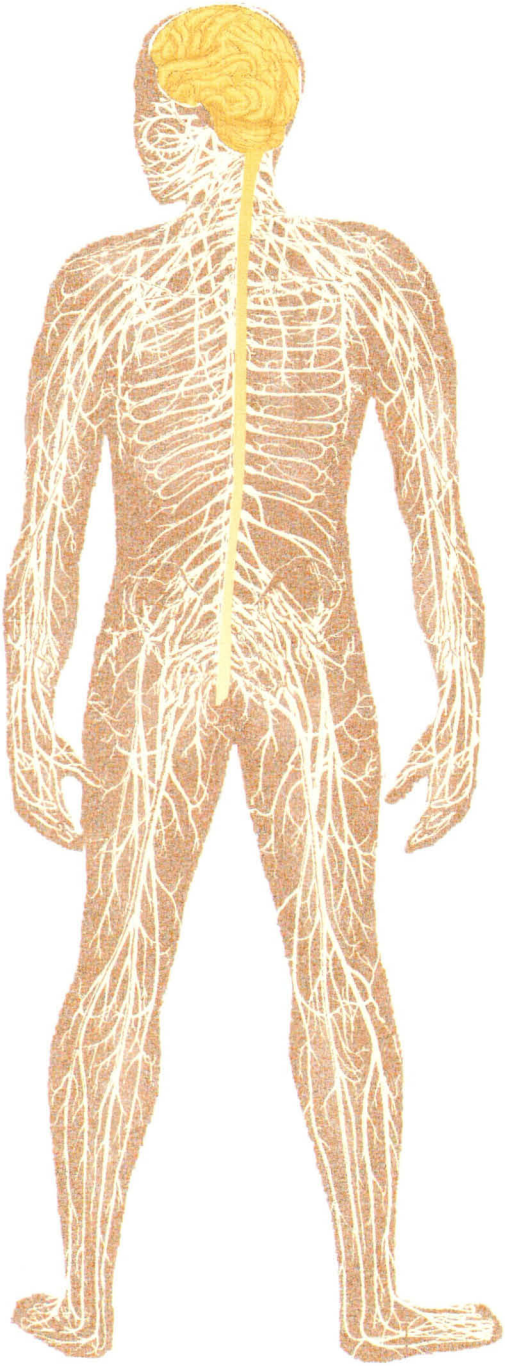
האינסולין היה ההורמון הראשון שבודד ומבנהו המולקולרי נקבע.
בלוטות להפרשה פנימית - בלוטות אנדוקריניות - הן בלוטות שתאיהן מתמחים בייצור של חומרים - הורמונים - המופרשים לדם ומווסתים תהליכים בגוף.
ההורמונים מווסתים תהליכים המתרחשים בגוף ומאפשרים תיאום בין הפעולות השונות של מערכות הגוף ושמירה על ההומאוסטאזיס.
כל הורמון משפיע על תאים או על איברים בגוף. תאים ואיברים אלו הם תאי המטרה או איברי המטרה של ההורמון. ההורמון נקשר לתאי מטרה הודות לקיומם של קולטנים מתאימים בקרומי התאים.
בלוטת יותרת המוח - ההיפופיזה, היא הבלוטה המרכזית במערכה האנדוקרינית. היא מייצרת ומפרישה הורמונים, המעוררים בלוטות אחרות בגוף לייצר ולהפריש את ההורמונים שלהן. היא עצמה כפופה לפיקוח של מערכת העצבים, הנעשה על-ידי חלק של המוח הנקרא היפותלמוס. ההיפופיזה מפרישה גם הורמונים שאינם מגרים בלוטות, אלא פועלים ישירות על תאי מטרה בגוף, כגון: הורמון גדילה, המווסת תהליכי גדילה, וההורמון אוקסיטוצין המווסת את פעילותם של שרירי הרחם בלידה.
בלוטת המגן מפרישה הורמונים המווסתים את הקצב הכללי של חילוף החומרים בגוף. פעילותם העיקרית כוללת מעורבות בתהליכים המאפשרים הפקת אנרגיה בתאים.
בלוטות יותרת הכליה מייצרות ומפרישות הורמונים שונים, שאחד מהם, האדרנלין, מעורב בתהליכים המאפשרים לגוף לעמוד במאמצים ובמצבי מתח.
הפיקוח של ההיפופיזה על בלוטת המגן ועל בלוטות אחרות בגוף נעשה באמצעות מנגנון של משוב שלילי.
תקשורת כימית היא תנאי לקיומו של יצור רב-תאי, וראשיתה בתקשורת בין תאים שכנים, המעבירים ביניהם אותות בצורת חומרים שונים. חומרים המשמשים בתקשורת פרקרינית - כגון גורמי גדילה, הקובעים את קצב התחדשותם של תאים ברקמות ואת צורת ההתחדשות שלהם - קדמו באבולוציה להורמונים, המאפשרים תקשורת ברמת הגוף השלם.
הורמונים תורמים ליציבות הסביבה הפנימית גם בכך שהם מאפשרים לגוף להשתנות בצורה מבוקרת.

שאלות סיכום וחזרה

1. בסיפור המחקר שהוביל לגילוי האינסולין, מודגם כיצד שילוב של מידע ממקורות ומסוגים שונים יכול לסייע בפריצת דרך במחקר. סכמו את הסיפור מנקודת מבט זו.
2. כיצד חוקרים את פעילותן של בלוטות להפרשה פנימית? ענו בעזרת דוגמה.
3. שבצו בתרשים שלהלן מושגים מתוך הרשימה הבאה: תא מטרה, תא בלוטה, הורמון, מחזור הדם.



4. אם כל ההורמונים מופרשים למחזור הדם, כיצד קורה שכל הורמון משפיע רק על תאי המטרה שלו?
5. מהו היתרון בכך שאותו הורמון (האדרנלין) גם מגביר את פעולת שריר הלב ושרירי הנשימה וגם מדכא את פעולת השרירים במערכת העיכול?
6. בפרק 4 עמ' 90 תואר המנגנון לשמירה על טמפרטורת גוף קבועה. הסבירו את השמירה על טמפרטורת הגוף בתוך טווח צר של שינויים על פי העקרון של משוב שלילי.
7. א. הסבירו את ההבדל בין תקשורת פרקרינית לבין תקשורת אנדוקרינית.
   ב. איזו צורת תקשורת התפתחה מוקדם יותר באבולוציה?
8. האם נכון לומר שהורמונים המווסתים תהליכי גדילה והתבגרות אינם מעורבים כלל בשמירה על סביבה פנימית יציבה? הסבירו.



פרק 7

מערכת העצבים ואיברי החושים

פרק 7

תוכן העניינים

7.1 מערכת העצבים קולטת מידע ומגיבה עליו 129
• מערכת העצבים בנויה ממערכת מרכזית וממערכת היקפית 130

7.2 תאי העצב הם יחידות הפעולה של המערכת 131
• תא עצב הוא תא העוסק בתקשורת 131
• תאים מסוגים שונים משתפים פעולה במערכת העצבים 132
• לתאי העצב שני אמצעי תקשורת - חשמלי וכימי 132
• סמים משבשים את פעולת הסינפסות 135
ומה עושה האלכוהול? 137

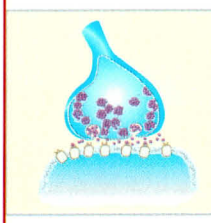
7.3 מערכת העצבים המרכזית מתאמת את פעילות כל תאי העצב 138
• מוח הגולגולת מורכב למעשה מכמה מוחות 138
• המוח הגדול אחראי ליכולתנו לחשוב, להרגיש, לחייך 139
התאים אינם מתרבים, אך המוח ממשיך להתפתח 141
ריבוי פעילות מרבה סינפסות 142
• מוחות נוספים אחראים על התיאום בין תפקודי הגוף 142
מוח הביניים מגשר בין הסביבה למוח הגדול 142
המוח הקטן וגזע המוח שומרים על יציבות הסביבה הפנימית 143
• מוח השדרה מגשר בין מוח הגולגולת למערכת ההיקפית 143

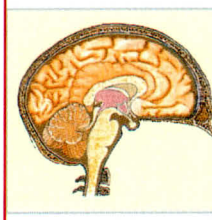
7.4 מערכת העצבים ההיקפית מורכבת ממערכות משנה 144
• תת-המערכת האוטונומית אחראית לבקרת ההומאוסטאזיס 145

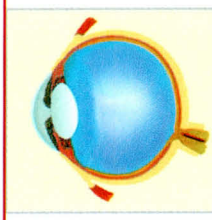
7.5 החושים קולטים מידע אודות הסביבה החיצונית 146
• העין וחוש הראייה 146
רואים מקרוב, רואים מרחוק 147
קוצר ראייה ורוחק ראייה תלויים במבנה העין 147
מהעין עובר המידע למוח באמצעות עצב הראייה 148
• האוזן וחוש השמיעה 148
כישורי השמיעה שלנו ומה עלול לפגוע בהם 149
• דייר משנה באוזן הפנימית - חוש שיווי המשקל 151
• חושי הטעם והריח מופעלים ע"י חומרים 151
• חוש המישוש מאפשר מגע ישיר עם העולם 153

7.6 סיכום 154

שאלות סיכום וחזרה 154







7.1 מערכת העצבים קולטת מידע ומגיבה עליו

לא תוכלו לקרוא את הכתוב כאן בלי מערכת העצבים שלכם. אנחנו קוראים כדבר מובן מאליו, אבל עדיין איננו יודעים איך מתרחשת פעולת הקריאה במוח שלנו, ואיך אנו מבינים את מה שקראנו. יש כאן סתירה לכאורה: המוח מסוגל לפעולות מסובכות ביותר, ואנו מסוגלים להסביר באמצעותו נושאים מורכבים כמו פעולת הלב, או הכליות. אולם המוח מתקשה מאוד להבין את דרך הפעולה שלו-עצמו.

מכיוון שכך, נפתח במשהו פשוט יותר. אם תגעו בטעות בקצה האצבע בסיר לוהט, אין ספק שתירתעו מייד ותרחיקו את ידכם ממנו (איור 7.1). הפעולה הזו נקראת **תגובת רֶפלֶקס** (Reflex - מילה שמקורה בלטינית ופירושה "החזרה"), והיא מתרחשת במהירות בעקבות גירוי שנקלט בקצה האצבע שלכם.
הטמפרטורה הגבוהה נקלטת בתאי חישה מיוחדים, הנמצאים בין תאי העור. תאי חישה אלה מעבירים מידע על החום למערכת העצבים, ומשם עוברות הוראות אל שרירים בזרוע. הוראה המגיעה מתא עצב אל שריר, גורמת לו להתכווץ, וכך הזרוע נרתעת ומתרחקת מהסיר. כל תגובת הרפלקס נמשכת שבריר של שנייה.
תגובת הרפלקס היא צורת הפעולה הפשוטה ביותר של מערכת העצבים. רוב הפעילות של מערכת העצבים נעשית במסלולים

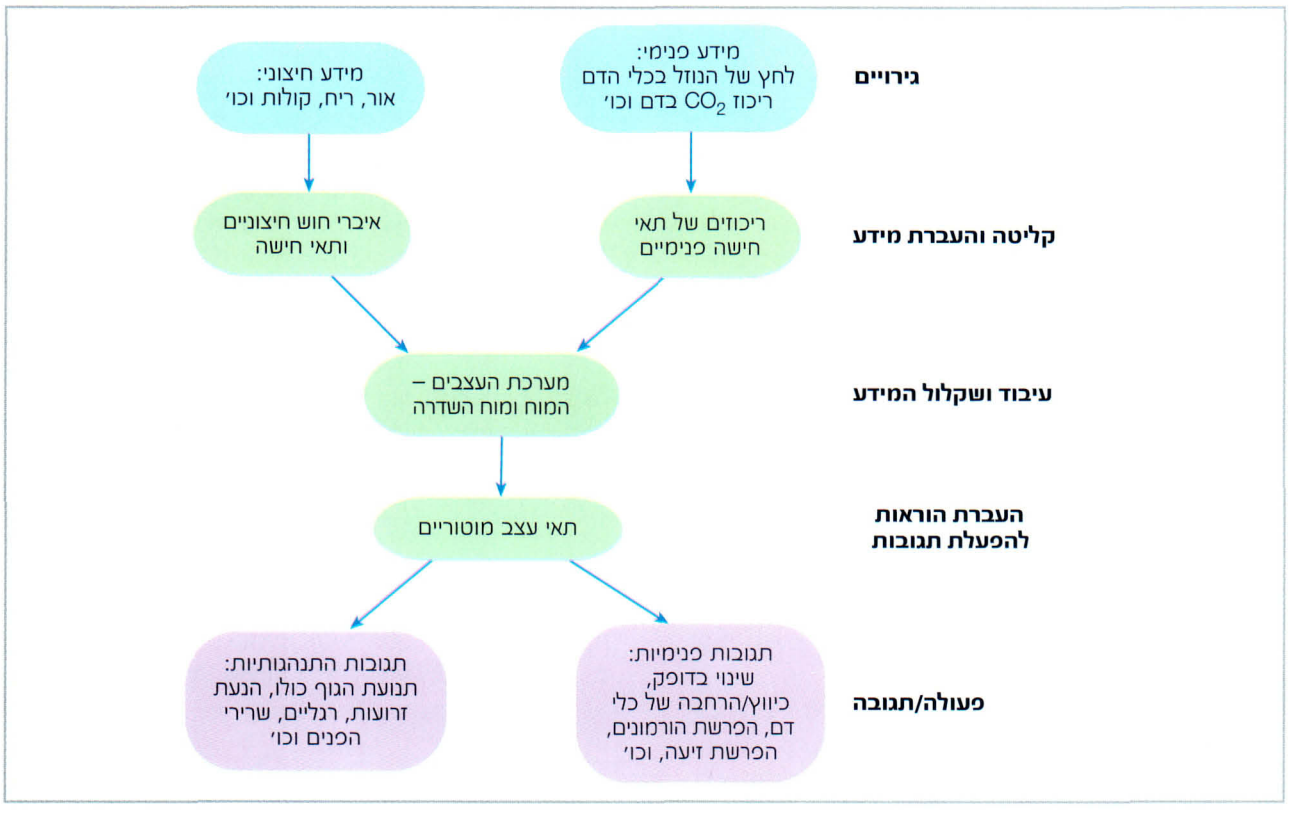
איור 7.1
תגובת רפלקס

מורכבים יותר; למיעוטם אנו מודעים, אך את רוב-רובם איננו מרגישים כלל. אל מערכת העצבים מגיע מידע מגוון ממקורות שונים. מגע, חום, אור, ריח, קול, טעם, צבע ולחץ - כל אלה הם גירויים חיצוניים, הנקלטים בתאים הרגישים להם (על האיברים הקולטים גירויים אלה מהסביבה תלמדו בתת-פרק 7.5). לעומת זאת, כפי שלמדתם בפרקים הקודמים, נוכחותם של גזים או של חומרים אחרים המומסים בדם, טמפרטורת הדם, לחץ הדם על דפנות כלי הדם - כל אלה ועוד הם גירויים פנימיים הנקלטים בתאים המתאימים לכך. מידע מגוון זה של גירויים חיצוניים ופנימיים מועבר על-ידי התאים למערכת העצבים.

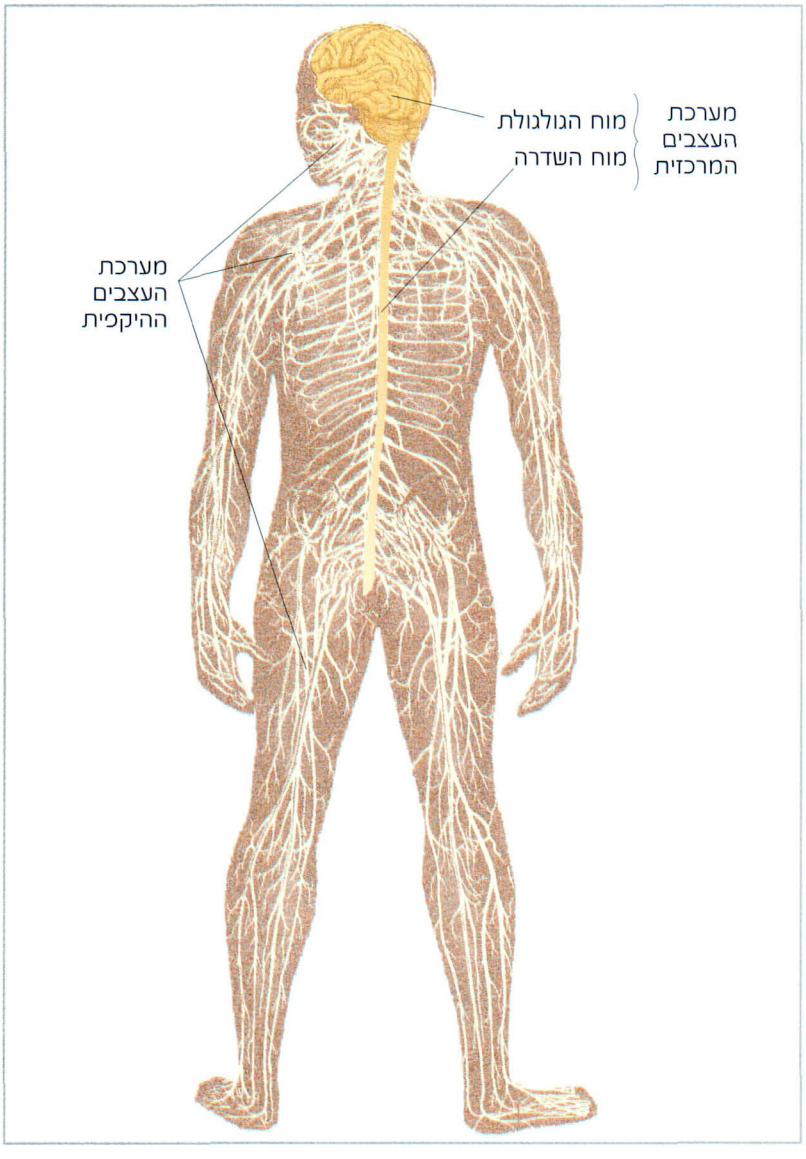
בתאים תחושתיים מיוחדים המצויים באוזניים, נקלט גירוי נוסף שבדרך-כלל איננו מודעים לו: כיוון כוח המשיכה. תאים אלה רגישים למצב הגוף על חלקיו השונים ביחס לכוח המשיכה של כדור הארץ, והודות להם אנו מרגישים האם הגוף שלנו ניצב, כפוף, נוטה בזווית כלשהי כלפי הקרקע, או מקביל לקרקע.

איברי חוש ותאי חישה הנמצאים בגופנו קולטים אפוא מהסביבה החיצונית ומהסביבה הפנימית מגוון רחב של גירויים, הנושאים מידע אודות המתרחש בסביבות אלה. המידע עובר למרכזים במערכת העצבים, והמערכת מוציאה הוראות הגורמות לשרירים או לבלוטות לבצע פעולות שונות בתגובה למידע שנקלט.
בתגובה למידע הנקלט, מערכת העצבים גורמת לשינוי בהתנהגות הגוף כלפי סביבתו החיצונית, או מחוללת תיקונים ואיזונים בסביבתו הפנימית. כך, למשל, שינוי בסביבה החיצונית עשוי להתבטא במשב פתאומי של רוח קרה; בתגובה, אנחנו מחפשים מחסה או לובשים בגד חם. איזון הסביבה הפנימית על-ידי מערכת העצבים מודגם היטב גם בדוגמה הבאה: למערכת העצבים מגיע מידע על עלייה בריכוז פחמן דו-חמצני בדם; מידע זה גורם למערכת העצבים להגביר את האוורור, וכתוצאה מכך אנו מתנשמים עמוק יותר ומהר יותר. בדרך זו, של תיקונים מתמידים ושינויי התנהגות, מקיימת מערכת העצבים את יציבות הסביבה הפנימית - את ה**הומאוסטאזיס**.

קליטת מידע מהסביבה - החיצונית והפנימית - היא אפוא תנאי הכרחי לעצם קיומם של החיים, ומערכת העצבים היא האמצעי המאפשר לגוף לקלוט את המידע, לעבד אותו ולהגיב עליו בדרכים מתאימות.
איור 7.2 מסכם זאת.



איור 7.2
הקשר בין קליטת מידע מהסביבה החיצונית והפנימית לבין התגובות למידע



איור 7.3
מערכת העצבים בגוף האדם

במקרה של תגובת הרפלקס שתיארנו, תאי חישה באצבע הרגישים לחום, מעבירים לתאים במערכת העצבים מידע על המגע עם הסיר הלוהט. אלו מפענחים את המידע ומעבירים הוראות פעולה מיידיות לשרירי הזרוע, המפעילים את תנועת הרתיעה המיידית.

חשוב לציין, כי התגובות לגירויים מהסביבה החיצונית ומזו הפנימית אינן נפרדות בהכרח. גירוי חיצוני יכול בהחלט להוביל לתגובות משני הסוגים: תגובה התנהגותית המלווה בשינויים פנימיים. כך, למשל, בתגובה לרעש פתאומי, אדם עשוי להסתובב לאחור, ובה-בעת, יחולו שינויים בקצב פעימות הלב שלו, ושינויים בזרימת הדם, שיגרמו לעור פניו להחוויר.

מערכת העצבים בנויה ממערכת מרכזית וממערכת היקפית

התבוננו באיור 7.3, המתאר את פריסת מערכת העצבים בגוף.

המרכזים הראשיים של מערכת העצבים, המנהלים את פעילות המערכת כולה, נמצאים בתוך הגולגולת ובעמוד השדרה. המרכז הנמצא בראש נקרא **מוח הגולגולת,** וזה העובר לאורך חוליות

עמוד השדרה נקרא **מוח השדרה** (ומוכר לכם בכינוי העממי "חוט השדרה").

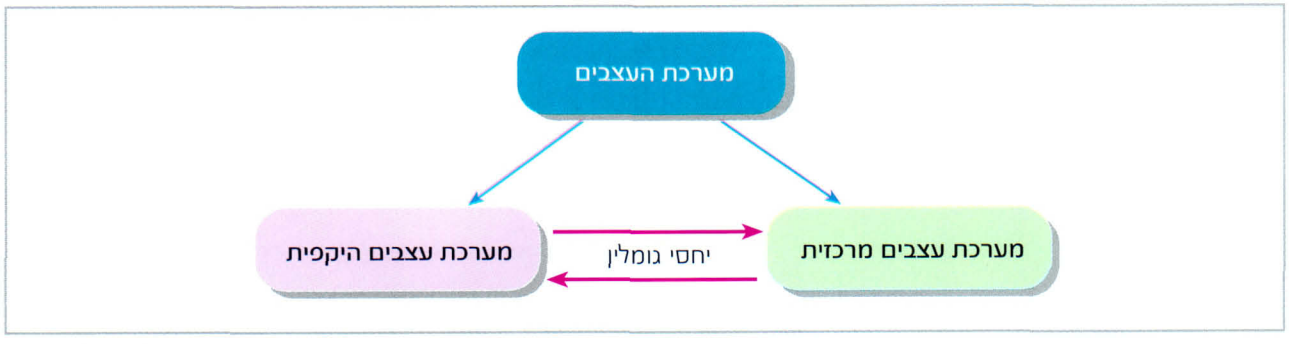
מוח הגולגולת ומוח השדרה נקראים יחד **מערכת העצבים המרכזית**.

המידע, המגיע בצורת גירויים (כמתואר באיור 7.2), נקלט במרכזים שונים במוח הגולגולת או במוח השדרה. במרכזים אלה נעשה פענוח ועיבוד של המידע. כך, גירוי של קרינת אור הופך לתמונה, וגירוי של מגע הופך לתחושה, כגון "מחוספס" או "חלק".

לאחר עיבוד המידע יוצאות ממרכזים אלה ההוראות לתגובה.

ריכוזים של תאי עצב בגוף ושלוחות של תאי עצב, המגיעים לגוף ממוח הגולגולת וממוח השדרה, נקראים **מערכת העצבים ההיקפית**. בין שתי המערכות *מתקיימים יחסי גומלין*:

המערכת ההיקפית היא זו המספקת למערכת המרכזית מידע בצורת גירויים, ומוציאה לפועל את ההוראות שנתקבלו ממנה (איור 7.4).



איור 7.4
ארגון כללי של מערכת העצבים

מי שעושה את המלאכה בשתי המערכות הם תאי העצב.
נכיר אותם תחילה.

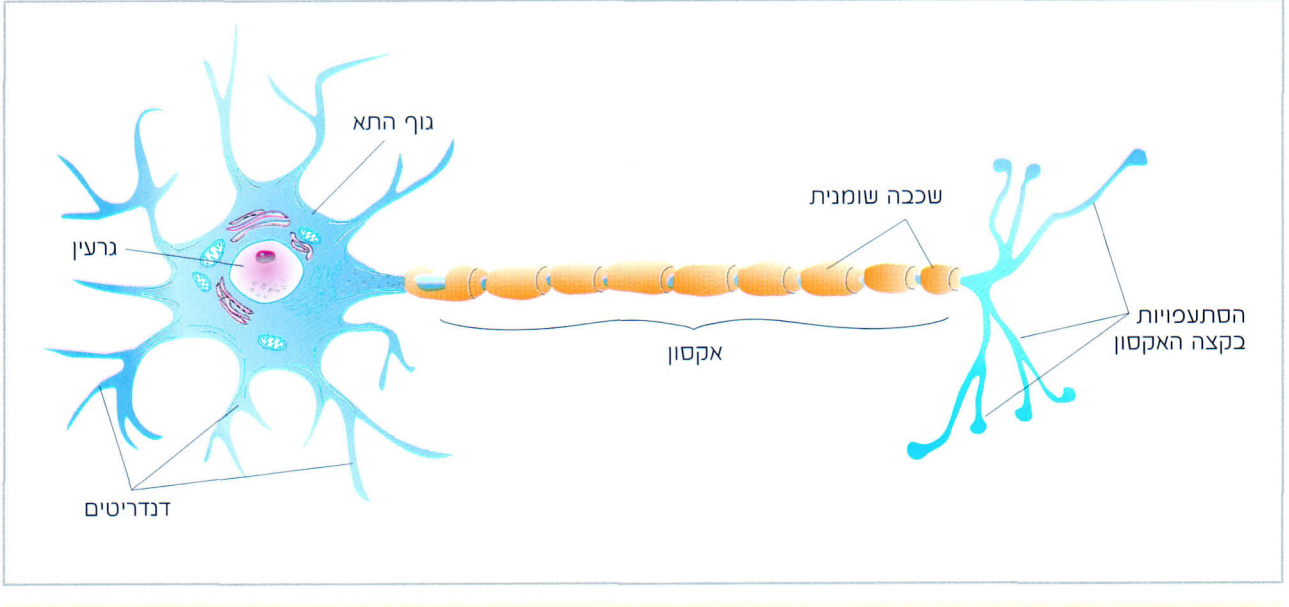
7.2 תאי העצב הם יחידות הפעולה של המערכת

העברת מידע במערכת העצבים נעשית על-ידי תאים, שהמבנה שלהם מותאם לקליטה ולהעברה מהירה במיוחד של מידע - תאי עצב. **תא עצב** נקרא בלועזית **נוירון** (Neuron). מספרם הכולל של הנוירונים בגוף הוא עצום, ורובם המכריע, כ-10^{11} (כמאה מיליארד), מרוכז במוח (מספרם של תאי העצב במוח גדול בערך פי 20 ממספר בני-האדם על כדור הארץ). יתר תאי העצב נמצאים במוח השדרה ובשאר חלקי הגוף.

תא עצב הוא תא העוסק בתקשורת

לכל תאי העצב יש מבנה בסיסי משותף. באיור 7.5 מופיע מבנה סכמתי בסיסי של תא עצב.

לא כל תאי העצב בגוף נראים בדיוק כמו התא הזה. אולם המבנה הבסיסי הנראה באיור משותף לכולם: לכל תא עצב יש **גוף תא**, ובו גרעין ואברונים (כמו בכל תא אחר); מגוף התא יוצאות



איור 7.5
מבנה של תא עצב - נוירון

שלוחות רבות, הקולטות מידע מהסביבה ומעבירות אותו אל גוף התא, ושלוחה אחת מעבירה מידע מגוף התא ל**תאי מטרה**. השלוחות המעבירות מידע מהסביבה אל התא נקראות **דֶנדְריטים** (ביחיד - דנדְריט Dendrite - נגזר מהמלה "ענף" ביוונית). השלוחה המעבירה מידע מהתא לתאי מטרה נקראת אַקְסון (Axon). לכל תא עצב יש אקסון אחד. ה**אַקְסון** מסתעף בקצהו למספר סעיפים, ומהם מועבר המידע לתאי המטרה. תאי המטרה עשויים להיות תאי עצב אחרים, או תאים מבצעים - תאי שריר או תאי בלוטה.

תופעה ביולוגית מרכזית : התאמת מבנה לתפקוד
במבנה של תאי עצב באה לידי ביטוי תופעה ביולוגית חשובה, שכבר עמדנו עליה. המבנה המיוחד של התאים, על שלוחותיהם, מותאם בצורה בולטת לפעילות של העברת מידע אל התא וממנו. זוהי אפוא דוגמה מובהקת של התאמת המבנה לתפקוד.

פעולותיהם של החלקים השונים של תא העצב מתוארות בטבלה 1 שלהלן.

טבלה 1: חלקיו השונים של תא העצב ותפקודיהם

חלק התא	הפעולה
דנדריטים	קולטים מידע מהסביבה. המידע הוא גירוי הנקלט בתאי חישה כלשהם, או מידע המגיע מתא עצב אחר.
גוף התא	המידע עובר בו לקראת המשך דרכו לתא אחר. מלבד זאת, מתקיימות בו כל פעולות החיים, כמו בכל תא.
אקסון	מעביר מידע מגוף התא לתאי מטרה כלשהם: תא עצב אחר, תא שריר, או תא בלוטה.

תאים מסוגים שונים משתפים פעולה במערכת העצבים

במערכת העצבים פועלים שלושה סוגים של תאי עצב, וכן תאים הנלווים אליהם ומשתפים פעולה עמם - **תאי גְלִיה**. נכיר תחילה את תאי העצב. שלושה טיפוסים של תאי עצב - נוירונים - משתתפים בתהליכי העברת המידע במערכת העצבים, ואלה הם:

- **נוירונים תחושתיים** - תאים הקולטים מידע מתאי חישה;
- **נוירונים מוטוריים (תנועתיים)** - תאים המעבירים הוראות פעולה לשרירים ולבלוטות;
- **נוירונים מקשרים** ("תאי ביניים") - תאים המקשרים בין הנוירונים התחושתיים לנוירונים המוטוריים.

בנוירונים המקשרים נעשה עיבוד של המידע המגיע אליהם מנוירונים אחרים. על-פי תוצאות העיבוד הם עשויים להעביר הוראות לפעולה או לתגובה מתאימה.

כאמור, במערכת העצבים נמצאים גם תאים המכונים תאי גְלִיה (Glia). תאי גליה מסוג מסוים עוטפים בשכבה שומנית את האקסונים של רבים מתאי העצב (רק תאי עצב מעטים חסרים מעטפת כזו), ובכך הם מאפשרים מעבר מידע מהיר באותם אקסונים. תאי גליה אלה חיוניים למעבר המידע ברוב תאי העצב בגוף. תא העצב, הנראה באיור 7.5, הוא תא שהאקסון שלו עטוף בשכבה שומנית הנוצרת על-ידי תא הגליה הצמוד אליו (תא הגליה עצמו לא נראה באיור). לתאי הגליה תפקידים נוספים חשובים ביותר לפעילות מערכת העצבים.

לתאי העצב שני אמצעי תקשורת - חשמלי וכימי

הפעילות המתואמת של מערכות הגוף תלויה, כאמור, במעבר מידע רצוף ומהיר מהסביבה הפנימית והחיצונית אל מרכזי מערכת העצבים, ובמעבר מהיר (אלפיות השנייה) של הוראות התגובה היוצאות ממרכזים אלה. תגובת הרפלקס, שתיארנו בתחילת הפרק, היא דוגמה פשוטה לתקשורת בין נוירונים.

כיצד עובר הגירוי שנקלט בדֶנדריטים? הגירוי מתורגם ל**דחפים עצביים** (nerve impulses).

העמקה

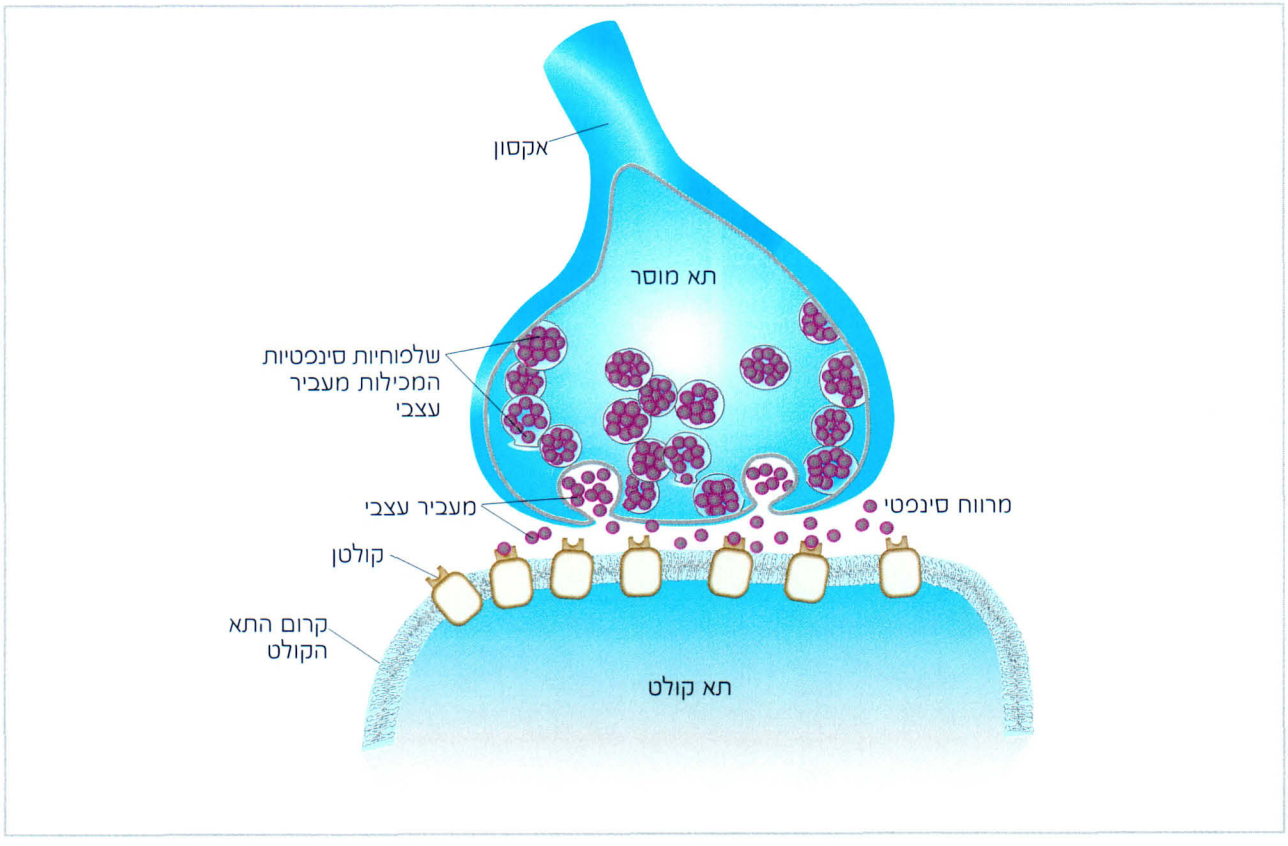
מהו דחף עצבי?
דחף עצבי הוא מעין זרם חשמלי העובר במהירות רבה לאורך תא העצב. הזרם החשמלי נוצר בעקבות גירוי המשנה את המתח החשמלי משני צדדיו של קרום התא. השינוי הזה "מתקדם" לאורך האקסון ויכול לעבור מרחקים ארוכים. העברת הדחף העצבי היא צורה של העברת מידע.

הדחפים העצביים עוברים בדנדריטים, מגיעים אל גוף תא העצב וממנו הם עוברים לאקסון, והלאה, לאורך האקסון, עד לקצהו.

עוד על...

באיזו מהירות עובר המידע באקסונים?
מהירויות התנועה של דחפים עצביים ברוב האקסונים נמצאות בטווח שבין שני מטרים בשנייה ל-25 מטרים בשנייה, אך יש אקסונים שהדחפים נעים בהם במהירות של 120 מטר בשנייה. ככלל, ככל שהאקסון עבה יותר, הדחפים החשמליים נעים בו במהירות גבוהה יותר.
המהירויות הנמוכות אופייניות לאקסונים קצרים. במוח, למשל, התאים כה צפופים, עד כי המרחק מתא לתא נמדד בחלקיקי מילימטרים. חַשבו למשל: אם אורך של אקסון הוא 0.02מ"מ, כמה זמן יידרש לדחף "איטי", שמהירותו שני מטרים בשנייה, לעבור לאורך האקסון?
האקסונים הארוכים ביותר נמצאים ברגליים של יונקים. כך לדוגמה, אורך אקסון של תא עצב, המפעיל את אחד משרירי הרגל של אדם, הוא מטר אחד, ומהירות הדחפים בו היא 120 מטר לשנייה. חַשבו: בתוך כמה זמן יגיע הדחף מגוף התא לקצה האקסון?

כאשר דחף עצבי מגיע לקצה האקסון, המידע עובר לתא המטרה - כלומר, לתא עצב אחר, לתא שריר, או לתא בלוטה - אולם לא בצורת דחף עצבי, אלא באמצעים כימיים. הצומת שעובר בו מידע מתא עצב לתא עצב, או לתא מטרה אחר נקרא **סינַפְּסה**.



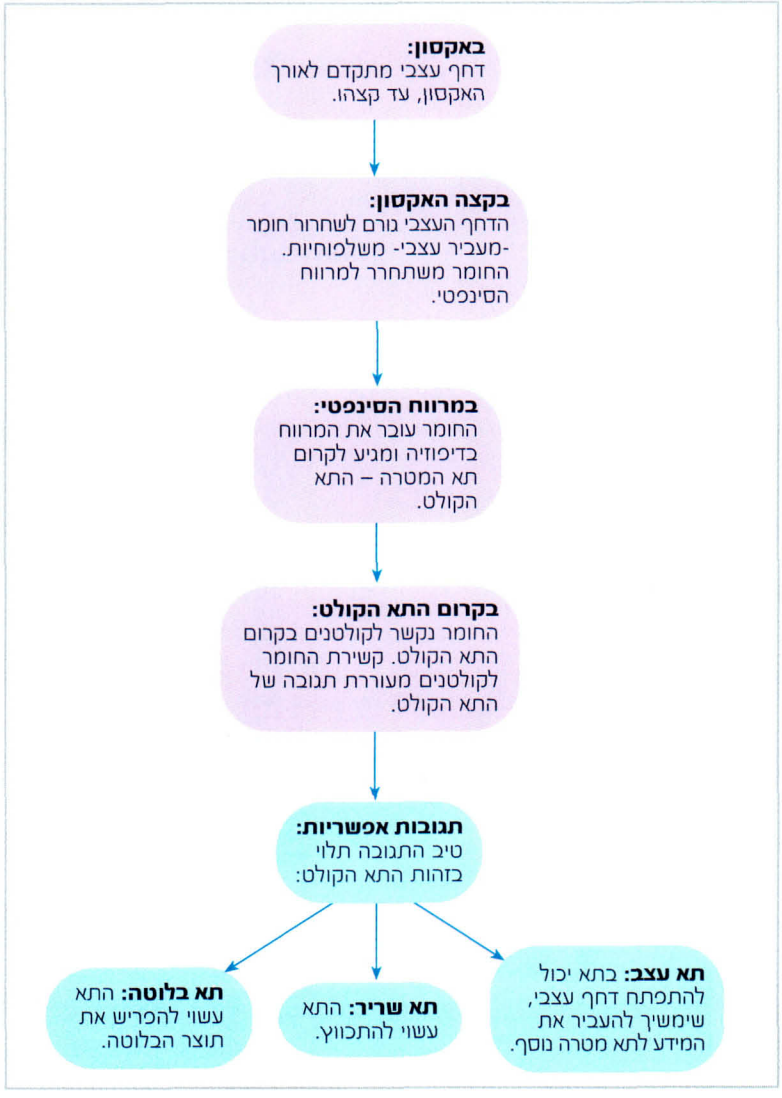
איור 7.6
סינפסה בין תאי עצב המוסר מידע לבין תא עצב הקולט ממנו מידע

באיור 7.6 רואים סינפסה בין שני תאי עצב (כלומר, מצב שבו תא המטרה גם הוא תא עצב), והדגמה של מעבר המידע מתא עצב אחד לזה שאחריו. תנו דעתכם לכך שאין מגע ישיר בין קצה התא המוסר לבין התא הקולט.

כאשר הדחף העצבי מגיע לקצה האקסון, הוא גורם לשחרור חומר מיוחד משלפוחיות זעירות בקצה האקסון (ראו איור 7.6). חומר זה מכונה **מעביר עצבי** או **נוירוטרנסמיטר** (Neurotransmitter). הנוירוטרנסמיטר מופרש מקצה האקסון למרווח שבין שני תאי העצב, המכונה **מרווח סינפטי**. הוא עובר את המרווח הסינפטי בדיפוזיה ומגיע אל קרום תא העצב הסמוך - התא הקולט.

בקרום תא העצב הקולט את המידע נמצאים **קולטנים**. הקולטנים מזהים את המעביר העצבי, שהופרש מקצות האקסון של תא העצב הקודם, וקושרים אותו. קשירתו של המעביר העצבי לקולטנים בקרום התא הקולט, יכולה לעורר דחף עצבי בתא הקולט, וכך יתרחש מעבר מידע בין שני התאים.

אם תא המטרה אינו תא עצב, אלא תא שריר או תא בלוטה, קשירת המעביר העצבי יכולה לעורר תגובה בתא המטרה. התגובה עשויה להיות: התכווצות של תא שריר, או הפרשה של תוצר מתא הבלוטה. מעבר המידע בסינפסה מסוכם באיור 7.7.

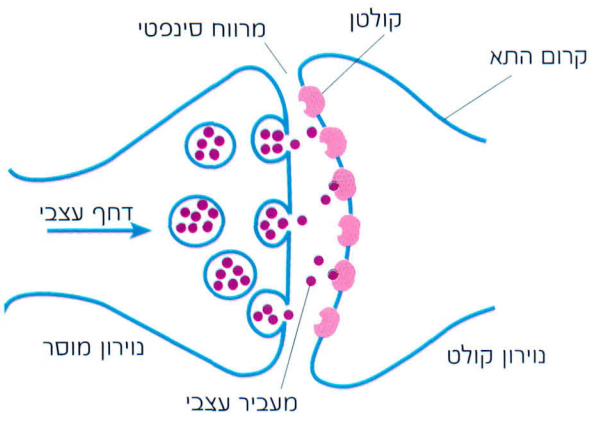


איור 7.7
סיכום מעבר המידע בסינפסה

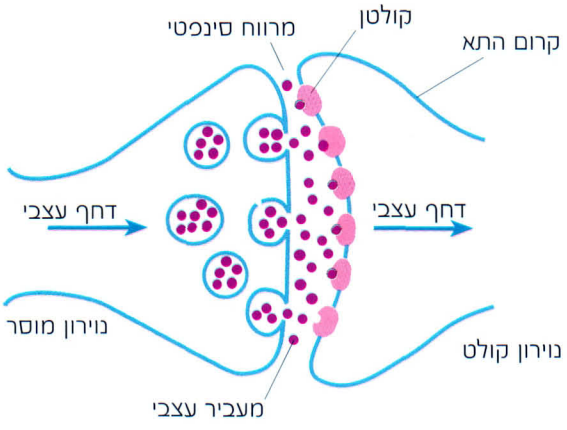
אם קולטנים רבים של תא העצב הקולט קושרים מעביר עצבי, מתעורר בתא דחף בעוצמה מספקת, והדחף יכול להתקדם אל גוף התא, ומגוף התא לאקסון. כאשר קולטנים מעטים בלבד בתא הקולט קושרים מעביר עצבי, לא מתעורר בו דחף עצבי, ומעבר המידע נבלם.
איור 7.8 מבהיר תופעה זו.

למעשה, מה שמתרחש בקצה האקסון הוא תרגום של דחף עצבי לאות כימי. האות הכימי עובר את מרווח הסינפסה, ועם קשירתו לקרום התא הקולט, הוא מתורגם שוב לדחף עצבי.

נסכם: מעבר המידע בתוך תא עצב נעשה בדחפים עצביים, ואילו המעבר בסינפסה מתא עצב לתא עצב שכן, או לכל תא מטרה, נעשה לרוב באמצעות אותות כימיים.



א קולטנים מעטים בתא הקולט קשרו מעביר עצבי. בתא הקולט לא יתעורר דחף עצבי.



ב קולטנים רבים קשרו מעביר עצבי. בתא הקולט יתעורר דחף עצבי.

איור 7.8
מעבר המידע בסינפסה תלוי בכמות הנוירוטרנסמיטר (המעביר העצבי) שנקשר לקולטנים

העמקה

פירוש המידע תלוי בכתובת השולח

כאמור, תאי חישה מדווחים על גירוי כלשהו באמצעות דחפים עצביים. הדחפים העצביים מגיעים למרכזי קליטת מידע במוח מתאי חישה שונים. כך, גירויים שמקורם בעיניים מגיעים למרכז ראייה, הנמצא במקום מסוים במוח, וגירויים שמקורם באף מגיעים למרכז הנמצא במקום אחר במוח.
השאלה היא, איך מבחינים המרכזים במוח בין גירויים שונים, אם הדיווח על כולם מגיע בצורה של דחפים עצביים, שכולם דומים? נתבונן, למשל, במרכז מוחי הקולט מידע מהאוזניים: איך אנו מבחינים, למשל, בין ציוץ של ציפור לבין צליל של גיטרה?
פענוח הגירויים הקוליים במוח נעשה באמצעות שני אמצעי זיהוי: ראשית, כאמור, המוח מזהה מידע על-פי ה"כתובת" שהוא מגיע ממנה - כלומר, על-פי סוג תאי החישה שהמידע מגיע מהם. מידע המגיע מתאי חישה באוזן מזוהה כמידע קולי; שנית, המיקום המדויק בתוך האוזן של תאי החישה המסוימים ששלחו את הדחפים, קובע חלק חשוב בפענוח הצלילים. יש תאים הקולטים רק גלי קול היוצרים צלילים נמוכים (בסים), ויש תאי חישה אחרים הקולטים רק צלילים גבוהים. כך, "כתובת השולח" והמיקום המדויק של תאי החישה שהעבירו את הדחפים - מאפשרת למרכז השמיעה במוח לפענח מגוון רחב של גובהי צלילים. לסיום עניין זה, נוסיף עוד דוגמה *הממחישה את חשיבות "כתובת השולח"* בפענוח מידע חושי. אם המידע מגיע מתאים הרגישים לאור, הוא יפוענח כמידע חזותי. עובדה זו מסבירה תופעה שאולי נתקלתם בה. אם מקבלים מכה חזקה בראש, או אם לוחצים באצבעות על זוויות העין, "רואים כוכבים". הגירוי הוא אמנם גירוי של לחץ, אבל מכיוון שהגירוי מגיע מתאים בעין, הוא מתפרש במוח כגירוי חזותי.

שאלה 1

בפרק 6, העוסק בהורמונים, תיארנו שתי צורות של תקשורת כימית המתקיימות בגוף (ראו עמ' 124).
איזו משתי צורות התקשורת, קרובה ביותר לתיאור של התקשורת הכימית המתרחשת בין תא עצב לתא מטרה באמצעות הנוירוטרנסמיטר.

שאלה 2

אם הנוירוטרנסמיטרים בסינפסה יישארו קשורים לקולטנים, יוכל כל תא לקבל מידע רק פעם אחת, ואחר כך יהיה חסום למעבר מידע נוסף המגיע מהתא המוסר. מה צריך לקרות, לדעתכם, כדי שתא עצב יוכל לקבל מידע נוסף, אחרי שכבר נקשרו לקולטנים שלו מולקולות של נוירוטרנסמיטרים?

כל עוד הקולטנים של התא הקולט תפוסים על-ידי מולקולות של נוירוטרנסמיטרים, התא אינו יכול לקלוט מידע חדש. פינוי מולקולות הנוירוטרנסמיטרים מהקולטנים הוא אפוא תהליך קריטי לפעילותה המתמשכת של הסינפסה. חסימה של קולטנים ל"אורך זמן" (כלומר, למשך יותר מכמה אלפיות שנייה!) פירושה שיתוק של מעבר המידע בין תאי עצב ובינם לבין שרירים או בלוטות המופעלים על-ידם. בסינפסות שונות פועלים אמצעים שונים המונעים חסימה מתמדת כזו. בחלק מהסינפסות פועלים אנזימים המפרקים במהירות מולקולות של נוירוטרנסמיטרים. כך מתפנים הקולטנים, וכל תא יכול לקבל מידע חדש זמן קצר מאוד לאחר שקיבל את "מנת המידע" הקודמת. בסינפסות אחרות, חלבונים מיוחדים בקרום התא המוסר קולטים בחזרה את הנוירוטרנסמיטרים שנקשרו בקולטני התא הקולט, וכך מתפנים קולטנים אלה לקלוט מידע חדש.

סמים משבשים את פעולת הסינפסות

התהליכים המתרחשים בסינפסות עלולים להשתבש כתוצאה מהשפעתם של חומרים שונים. נניח שבמרווח הסינפטי של סינפסה מסוימת פועל אנזים המפרק נוירוטרנסמיטר, חומר המעכב את פעולת האנזים יגרום לכך שהנוירוטרנסמיטר לא יתפרק. לכן, הקולטנים בתא הקולט יופעלו שוב ושוב ולמשך זמן ממושך יותר. בסופו של דבר, הפעולה של הנוירוטרנסמיטר תיפסק על ידי הדיפוזיה שלו אל מחוץ למרווח הסינפטי. בסינפסות בהן הירידה בריכוז הנוירוטרנסמיטר במרווח הסינפטי נעשית על ידי קליטתו בחזרה לתוך התא המוסר, חומר החוסם את קליטתו של הנוירוטרנסמיטר יגרום לריכוז גבוה יותר שלו במרווח הסינפטי ולגירוי מתמשך בתא הקולט. ראו איור 7.9.

נהוג לחלק את הסמים לארבע קבוצות, לפי דרכי השפעתם:

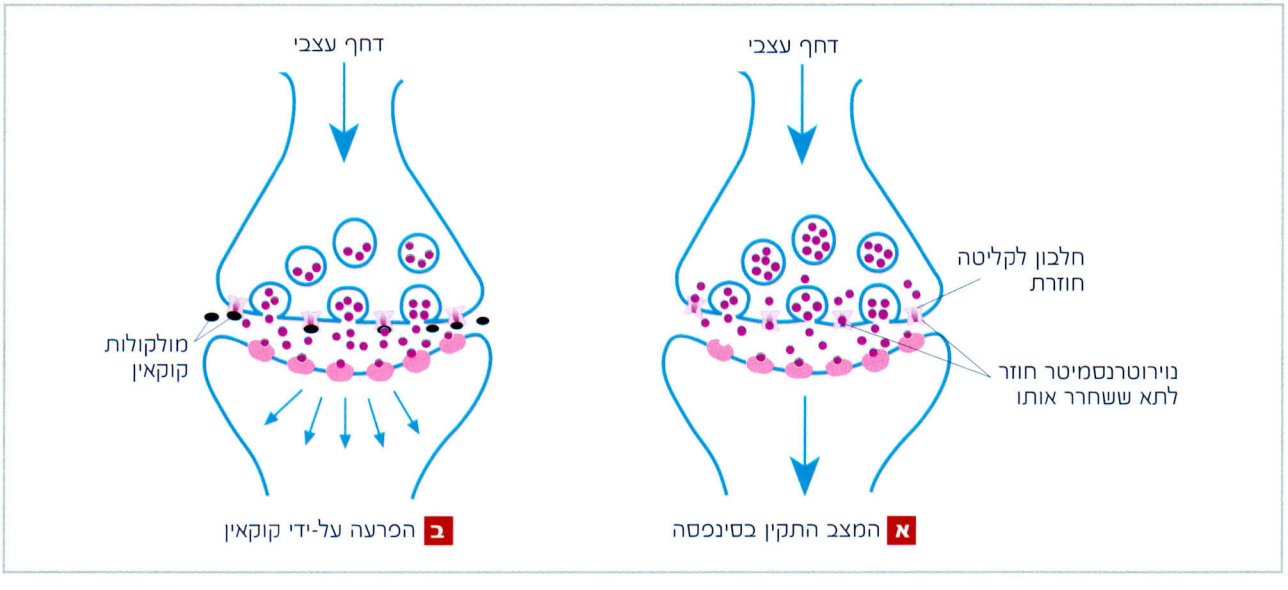
סמים מעוררים מגרים תאים במוח, המגבירים את תחושת הערות והמרץ. עם הסמים המעוררים נמנים קוקאין, אמפתמינים (הכלולים בגלולות מרץ), קפאין וניקוטין.

סמים מרגיעים מאיטים מעבר גירויים בסינפסות, ובכך הם מקהים את התחושות, ממתנים את התגובות לגירויים, ויוצרים תחושה של רוגע ונינוחות.

סמים גורמי הזיות מגרים תאים במרכזי הראייה או השמיעה במוח, וגורמים לאדם לראות מראות או לשמוע קולות, למרות שהחושים שלו לא קולטים גירויים כאלה מהסביבה.

סמים משککי כאבים חוסמים מעבר דחפים שמקורם בתאי חישה מיוחדים הרגישים לכאב.

אם כך, אפשר לשאול, מה המקור לחשש מפני השימוש בסמים? כדי לברר שאלה זו, נבחן לדוגמה מה המשמעות של שימוש בסם מעורר. כידוע לכם, אדם יכול להרגיש ערני ומלא מרץ בעקבות אכילת מזון עתיר סוכר, לאחר מנוחה טובה, או כשהוא חווה חוויה רגשית מעוררת (למשל, צופה במשחק כדורגל, משתתף במסיבת ריקודים). במצבים האלה, הגוף מנצל מקורות אנרגיה הנמצאים בו ומאפשרים את תחושת הערנות המוגברת. לעומת זאת, סם מעורר גורם לתחושת ערנות בלי קשר למצבו הגופני, התזונתי, או הרגשי של האדם. הסם מגרה במישרין תאים במוח הרגישים לפעולתו, ואלה מעוררים את תחושת הערנות, גם אם האדם סובל ממחסור במזון או בשינה. דבר זה כשלעצמו סכנתו מעטה. השימוש החד-פעמי בסם מעורר עלול, לכל היותר, להתיש מאוד את האדם (לאחר שהשפעת הסם פגה). אולם הסיכון טמון בכך שתחושת הערנות יוצרת פיתוי לחזור ולהשתמש בסם. כך, אדם



איור 7.9
מולקולות של הסם קוקאין מונעות את חזרתו של הנוירוטרנסמיטר לקצה האקסון ששחרר אותו. הנוירוטרנסמיטר נותר במרווח הסינפטי, וגורם לגירויו המתמשך של התא הקולט.

לעומת זאת, יש גם חומרים המזרזים את מעבר המידע בסינפסות בדרכים שונות.

ההבנה של התהליכים המתרחשים בסינפסות סיפקה בסיס לפיתוח תרופות שונות, המשפיעות על מערכת העצבים. תרופות המעכבות מעבר של נוירוטרנסמיטרים בסינפסות יכולות לגרום לערפול חושים מכוון, או למנוע התכווצות של שרירים כאמצעי הרגעה (למשל, לפני ניתוח).

שיבוש פעולתן של סינפסות נמצא גם ביסוד פעולתם של אלכוהול, של כל הסמים וכן של חומרים המשמשים בלוחמה כימית.

משתמש בגלולת מרץ פעם אחת כדי ללמוד לבחינה, מגלה שהעניין פועל, ולוקח גלולה נוספת; לאחר עוד התנסות הוא מגלה שכבר אין ביכולתו לשחזר בדיוק את תחושת הערנות שחווה, אלא רק בעזרת הסם. כך נוצרת בעיית ה**התמכרות**, המשלבת בתוכה שתי תופעות: **התרגלות** ותלות גופנית.

תופעת ההתרגלות נובעת מכך שתאי עצב הם בעלי כושר הסתגלות, והם מתרגלים בתוך זמן קצר לגירויים חוזרים ונשנים, לרבות לגירוי שיוצר הסם. ההתרגלות של תאי העצב גורמת לכך שהסם אינו מצליח לעורר שוב את התחושה הראשונית, וכדי

לחזור ולחוות אותה, יש לצרוך כמות גדולה יותר של הסם. נוצרת בעיה כפולה: התאים המתרגלים לגירוי היתר, מתקשים להגיב לגירויים רגילים (להתרגש ממשחק כדורגל, ליהנות משמיעת מוזיקה אהובה וכדומה) - כלומר, האדם כבר לא מצליח ליהנות מדברים שגרמו לו הנאה בעבר; בתוך כך, האדם המשתוקק לשחזר את החוויה הראשונית, נאלץ להוסיף ולהגדיל את כמות הסם, אך ככל שהוא מרבה להשתמש בסם, הסם משפיע פחות ופחות.

תופעת **התלות הגופנית** מתבטאת בכך שהגוף נעשה תלוי בסם בתפקודיו היומיומיים. עדיין לא ברור איך נוצרת התלות הזו. היא מתבטאת בכך שכאשר האדם מפסיק לצרוך את הסם, הוא סובל מתופעות גופניות קשות, הכוללות כאבים עזים, בחילות, הפרעות בקואורדינציה (כלומר, בתיאום התנועות של איברי הגוף) והפרעות רבות אחרות.

תיארנו את הסיכון הכרוך בשימוש בסם מעורר, אך סיכונים טמונים גם בשימוש בסמים מהקבוצות האחרות. כך, בתוך קבוצת משככי הכאבים מצויים האופיום, ההרואין והמורפיום, שהם חומרים ממכרים חזקים במיוחד. עם קבוצת הסמים מעוררי ההזיות נמנים, בין היתר, האל.אס.די., חומר המצוי ב"פטריית השיגעון" הצומחת במזרח הרחוק, וגם חשיש ומריחואנה. ידוע, כי ה-אל.אס.די. ו"פטריית השיגעון" גורמים להרס תאים במוח. אנשים שצרכו אל.אס. די. סובלים מהזיות-סיוט חוזרות ומהתקפים פסיכוטיים[1] שנים לאחר שהשתמשו בסם; תופעות דומות פוקדות את מי שצרכו את "פטריית השיגעון".

לעומת זאת, בשנים האחרונות רווחת הטענה, כי חשיש ומריחואנה, המופקים בצורות שונות מאותו צמח, אינם סמים מסוכנים. ואכן, השפעתם מתונה בהרבה מזו של ה-אל. אס. די. יתר על כן, הניסיון מראה, כי חומרים אלה יכולים להקל על חולי סרטן הסובלים מכאבים קשים, מבחילות ומדיכאון. כמו כן, חשיש ומריחואנה אינם גורמים לתלות גופנית קשה כמו זו הנגרמת על-ידי אלכוהול (הנמנה עם הסמים המרגיעים) או על-ידי הרואין. אולם המחקרים מראים כי גם החשיש והמריחואנה מחוללים שינויים בפעילות הסינפסות. ניסויים הראו, כי חומרים אלה מקהים את כושר השיפוט ומאיטים את התגובות לגירויים שונים. נוסף לכך, במקרים רבים של שימוש לאורך זמן, הם גם ממכרים, אף כי צורת ההתמכרות אליהם שונה מההתמכרות לאלכוהול ולהרואין. התלות של האדם בחומרים אלה היא ככל הנראה בעיקר נפשית - כלומר, המשתמש מתקשה לוותר על הסם כחלק קבוע מהרגלי היומיום שלו, אף אם גופו אינו זקוק לסם. עם זאת חשוב לציין, כי אין עדיין הוכחות לכך שהחשיש והמריחואנה לא יוצרים תלות גופנית במידה זו או אחרת.

העמקה

הקוקאין "מייבש" את מקור ההנאה שלנו

פעולתם של הסם קוקאין (הנמנה עם הסמים המעוררים) והסם קראק הנגזר ממנו, נחקרה ביסודיות, וידוע איך הם משפיעים על פעולתן של סינפסות במוח.

ההיפותלמוס הוא חלק מהמוח, האחראי על קליטתן ועל עיבודן של רוב התחושות שלנו: רעב, צמא, משיכה מינית ועוד. בין השאר נמצא בו ריכוז תאי עצב, המכונה מרכז ההנאה: גירוי של תאי העצב בו מעורר תחושת הנאה. הגורם המגרה את התאים במרכז ההנאה הוא נוירוטרנסמיטר בשם דופָמין. כשהדופמין נקשר לקולטני תאים במרכז ההנאה, הוא גורם להם לעורר בנו תחושת הנאה. הדופמין, ככל נוירוטרנסמיטר הפועל בצורה תקינה, אינו נשאר קשור לקולטנים, אלא נקלט בחזרה לתאים המפרישים אותו. חלבונים מיוחדים בקרומי התאים האלה קולטים אותו בחזרה מהמרווח הסינפטי, וכך מתפנים הקולטנים לגירוי חדש - (איור 7.9). כשאדם משתמש בקוקאין, הקוקאין נקשר לחלבונים הקולטים-מחדש את הדופמין וסותם אותם. הדופמין נותר "תקוע" במרווח הסינפטי וממשיך לגרות בהתמדה את התאים הרגישים לו. התגובה המיידית היא תחושת הנאה עזה ביותר, תחושת ה- high הידועה. אולם לאחר כמה דקות, הדופמין, שנתקע במרווח הסינפטי, מתפרק על-ידי אנזימים ומסולק. כשהאדם ממשיך לצרוך קוקאין, התאים מייצרי הדופמין נאלצים לייצר עוד ועוד דופמין, שכן הם לא יכולים לקלוט אותו בחזרה מהמרווח הסינפטי, כי דרכי הקליטה-מחדש חסומות על-ידי הסם! קצב הייצור של דופמין חדש נמוך בהרבה מהנדרש כדי לגרות את התאים הרגישים במרכז ההנאה. יתר על כן, בתגובה למחסור בדופמין מייצרים תאי מרכז ההנאה קולטנים נוספים.[2] במילים אחרות, ככל שהמחסור בדופמין גובר, רגישות התאים לנוכחותו (המתבטאת בריבוי הקולטנים) דווקא עולה.

התאים המייצרים דופמין מאבדים בהדרגה את כושר הייצור, ולאחר זמן קצר האדם לא יכול לחוש הנאה כלל, אלא רק אם יצרוך עוד קוקאין. כך נוצרת ההתמכרות הפיזיולוגית - כלומר, הגופנית, לסם (כשמשתמשים בקראק, מצב זה יכול להתפתח אפילו לאחר שתי התנסויות בלבד).

לאחר זמן-מה אוזל לחלוטין הדופמין במרכז ההנאה, ואפשר לומר שהכושר הטבעי לחוש הנאה פשוט "מתייבש" ואובד. הצורך בקוקאין גובר כל הזמן, ואילו היכולת לחוש הנאה ממנו הולכת ויורדת.

יש כאן נקודה חשובה: **מה שמגרה את מרכז ההנאה אינו הקוקאין, אלא הנוירוטרנסמיטר הטבעי - הדופמין!** הקוקאין רק גורם לכך שהגירוי שיוצר הדופמין חזק וממושך מהרגיל. אולם אם תאי עצב לא יכולים לייצר די דופמין, תוספת של קוקאין לא תיצור תחושת הנאה. אנשים המכורים לקוקאין מאבדים את התיאבון, מתקשים לישון וסובלים מדיכאונות מתמשכים. דרך פעולתו של הקוקאין מסבירה גם את הקושי העצום להיגמל מההתמכרות לו. כדי להיגמל צריך להתאושש הייצור התקין של דופמין בתאים המפרישים אותו. תאי מרכז ההנאה צריכים לעבור תהליך החלמה, המתבטא בחזרה לרמת קולטנים תקינה ולרגישות תקינה לדופמין. כל התהליך עשוי להימשך שבועיים-שלושה. במשך כל אותו זמן, האדם המכור לא מסוגל לחוש שום גירוי המעורר הנאה, וזהו מצב בלתי נסבל למי שהרגיל את מוחו לגירוי החזק המתלווה לקוקאין. לכן כל-כך קשה למכורים, המצטרפים לתכניות גמילה, להחזיק מעמד ולהשלים את הטיפול.

ככלל, אפשר לומר, כי הסמים השונים מקצינים מאוד את הגירויים המעוררים בנו תחושות שונות (כגון מרץ, עליזות, רוגע), הרבה

[1] התקף פסיכוטי - מצב שבו האדם מתקשה לשפוט ולהעריך את המתרחש סביבו בצורה מאוזנת, אינו שולט בהתנהגותו ובתגובותיו ומגיב בתגובות חריגות שאינן מותאמות למתרחש במציאות סביבו.

מעבר לנדרש כדי לגרות את תאי העצבים שלנו. בהשפעתם נשחקת היכולת של תאי העצב שלנו להגיב לגירויים בעוצמות רגילות, ובעצם, נשחקת יכולתנו לחוש תחושות בלי תיווכם של הסמים. כאשר אדם מנסה בתום לב לחוש פעם או פעמיים גירוי חזק במיוחד, לחוש high, הוא הופך להיות אסיר של התחושה הזו; היא דוחקת הצדה כל עניין אחר, והופכת להיות התכלית היחידה של החיים.

ומה עושה האלכוהול?

האלכוהול נמנה עם קבוצת הסמים המרגיעים. שתייה בכמויות מתונות - כוס או שתי כוסות יין, פחית בירה, או כוסית וויסקי - מעוררת תחושות של נעימות, התרגעות ושחרור ממתחים נפשיים. ההשערה היא, שהאלכוהול גורם לתחושות אלה משום שהוא מדכא פעולה של מרכזי בקרה במוח, הכרוכים בשליטה על ההתנהגות: בהשפעתו נחלש כושר השיפוט, ונעלמים מחסומים התנהגותיים. אולם שתיית אלכוהול בכמויות העולות רק במעט על אלה שצוינו לעיל, מדכאת תפקודים חשובים של המוח.

האלכוהול מתערב בייצור נוירוטרנסמיטרים מסוימים ובמעברם בסינפסות. הוא משבש את קליטת המידע והעברתו בין העצבים, ופוגע בכושר להגיב על גירויים ולשלוט בפעולות השרירים. הוא משבש בעיקר את פעולתם של המרכזים האחראים על תיאום תנועות הגוף ועל ההתמצאות במרחב. הוא מפריע לקליטה אמינה של גירויים מהסביבה ("רואים כפול", "רואים מטושטש"), להערכה של מרחקים ומהירויות, פוגע בזיכרון ומשבש את הבנת ההתרחשויות בסביבה.

האלכוהול גורם גם להתמכרות, על שני מרכיביה: התרגלות ותלות גופנית. בדרך-כלל, התמכרות לאלכוהול מתפתחת בהדרגה, כאשר אנשים הופכים שתייה של משקה אלכוהולי למנהג יומיומי. יש הבדלים אישיים בין אנשים במידת נטייתם לפתח התמכרות לאלכוהול, אך כל אדם עלול להתמכר, אם ייתפס למנהג של שתיית משקה חריף[3] מדי יום. שתיית יין או בירה בכמויות מתונות מדי פעם, לא מובילה להתמכרות; אולם אם הופכים את שתייתם למנהג של קבע, וצורכים כמה כוסות מדי יום, אפשר בהחלט להתמכר גם להם.

האלכוהול גורם לנזקים רבים במערכות הגוף ובאיבריו. הוא גורם לנזק מצטבר בכבד, העלול אף להוביל למחלת כבד קשה. אחת התופעות הקשות הנלוות להתמכרות לאלכוהול היא תת-תזונה חריפה. מאחר שהאלכוהול הוא פחמימה, הגוף מסוגל לנצלו כמקור לאנרגיה, ולהשתמש בו כחומר גלם לנשימת התאים. מכיוון שכך, המשתמשים בו אינם חשים רעב וסובלים מתופעות שונות של תת-תזונה, הנובעות ממחסור בצריכת חומרים חיוניים, כגון חלבונים, שומנים וויטמינים. יתר על כן, עודף האלכוהול שאינו מנוצל כמקור לאנרגיה, גורם לאנשים אלה להשמין (ראו פרק 2, עמוד 36), וכך נוצר אבסורד: אדם שמן שגופו סובל מחסרים תזונתיים.

האלכוהול פוגע גם באופן ישיר בתאי עצב ומגדיל את שיעור התמותה היומית שלהם. משום כך, אנשים המכורים לאלכוהול במשך שנים עלולים לסבול עם הזמן מתופעות של התנוונות או ירידה בכישורים השכליים שלהם.

השפעתו של האלכוהול נמדדת במנות. מנה אחת של אלכוהול היא כמות האלכוהול הנמצאת ב:

330 מיליליטר בירה - כמות המשקה שיש בפחית אחת, בערך;

140 מיליליטר יין - כשלושה רבעים של כוס רגילה;

42 מיליליטר משקה חריף כגון וודקה, ג'ין, טקילה או וויסקי - בערך כוסית וחצי.

חמש דקות לאחר ששותים מנה אחת של אלכוהול, הוא מגיע לדם, ונדרשת שעה לסילוק הכמות הזו מהדם. לאחר שתיית מנה אחת, ההרגשה העיקרית היא של מצב רוח טוב ורגוע. לאחר שתיית שתי מנות כבר מורגשת פגיעה מסוימת בשליטה בשרירים, ואיטיות בתגובות.

השפעת האלכוהול תלויה לא רק בכמות שנצרכה, אלא גם בגודל גופו של האדם. אדם גבוה וכבד יותר, יכול לשתות מעט יותר אלכוהול מאדם נמוך וקל משקל, כדי להשיג אותה השפעה של המשקה. אולם ההבדלים אינם גדולים: שלוש מנות של אלכוהול ישפיעו על אדם כבד-גוף כפי ששתי מנות ישפיעו על אדם קל-משקל.

כבר לאחר שתיית שתי מנות אלכוהול, יש ירידה מסוימת בכישורים הקשורים לנהיגה אצל רוב האנשים בעלי משקל גוף ממוצע.

כל אדם בעל משקל גוף ממוצע, ששתה שלוש מנות אלכוהול, אינו כשיר לנהוג. תנועותיו אינן מתואמות, כושר השיפוט שלו לקוי וכושר ההתמצאות שלו במרחב נמוך מהנדרש לצורך נהיגה. הסיכון טמון בכך, שהאדם עצמו לא יכול לחוש בשינוי במצבו, והוא אינו מודע לירידה בכישוריו. מכיוון שהאלכוהול גורם למצב רוח טוב ומגביר את הביטחון העצמי, קשה למי שנהנה מבילוי להכיר בכך שמצבו לא מאפשר לו לנהוג. למעשה, כדי להפיג את ההשפעה של שלוש מנות אלכוהול, עליו לחכות לכל הפחות שעתיים, לפני שיוכל לנהוג בבטחה (או להיעזר במישהו שלא שתה).

---

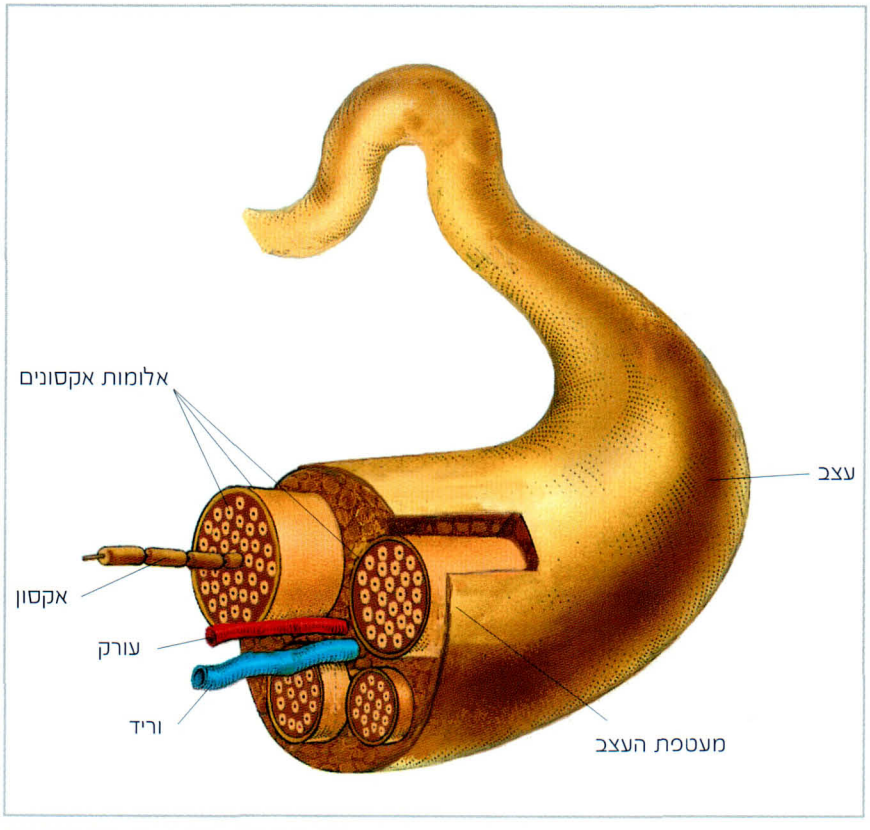
[2] מתוארת כאן תופעה שנתקלתם בה בהקשר אחר. במקומות גבוהים, שלחצו החלקי של החמצן נמוך בהם, מוח העצם מגביר את קצב ייצור תאי הדם האדומים. מחסור בחומר הנקשר לתאים מהווה גירוי לייצור תאים נוספים המסוגלים לקשרו. עיקרון דומה פועל כאן: מחסור בנוירוטרנסמיטר מהווה גירוי לייצור קולטנים רבים יותר.

[3] המונח "משקה חריף" מציין משקאות המכילים עשרות אחוזים של אלכוהול. עם המשקאות החריפים נמנים וודקה, ג'ין, וויסקי, טקילה, ברנדי, קוניאק, רום ודומיהם, המכילים אחוז גבוה של אלכוהול (כ- 40%). יין ובירה, אף שהם משקאות אלכוהוליים, אינם מוגדרים "משקאות חריפים", שכן יינות מכילים 14% אלכוהול לכל היותר, ובירה 6% אלכוהול לכל היותר.

7.3 מערכת העצבים המרכזית מתאמת את פעילות כל תאי העצב

מערכת העצבים המרכזית, הכוללת את מוח הגולגולת ומוח השדרה, היא זו המבקרת ומתאמת את פעילותם של כל תאי העצב בגוף. משני המוחות יוצאות אלומות גדולות של אקסונים לכל חלקי הגוף. כל "אלומה" כזו של אקסונים נקראת **עצב** (Nerve), (ראו איור 7.10).

בעצבים היוצאים ממוח הגולגולת עוברות פקודות עצביות שמקורן במרכזי הבקרה השונים הנמצאים במוח, והן מגיעות לתאי עצב בכל חלקי הגוף. קשה לדמיין את מורכבותה של מערכת הבקרה הזו. תארו לעצמכם, כי בכל פעם שאתם מזיזים את קצה הבוהן בכף רגלכם, הדבר נעשה על-פי פקודה שיצאה ממוח הגולגולת ועברה דרך מוח השדרה. כמובן, הזזת בהונות היא רק פעילות שולית למדי של המוח. בעמודים הבאים תכירו מעט-מזעיר מהמורכבות של המוח, ומהדרך שבה הוא מתאם את כל המתרחש בגופנו.

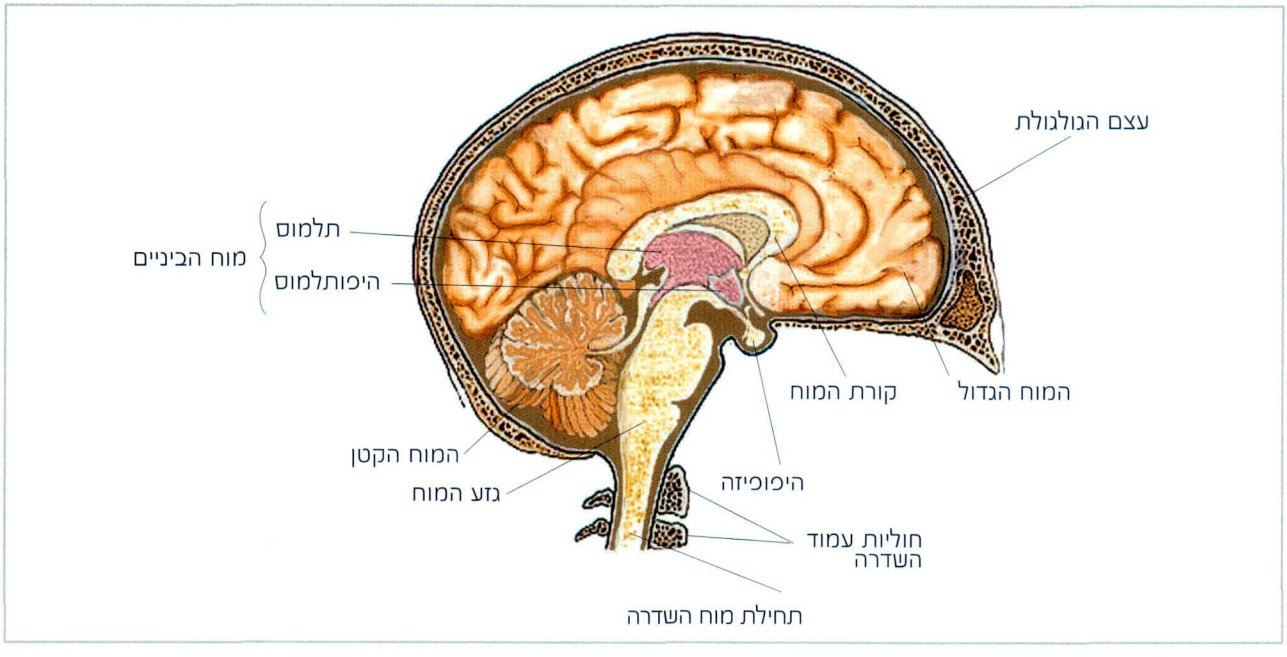


איור 7.10
עצב - אלומות של אקסונים רבים עטופות במעטפת משותפת

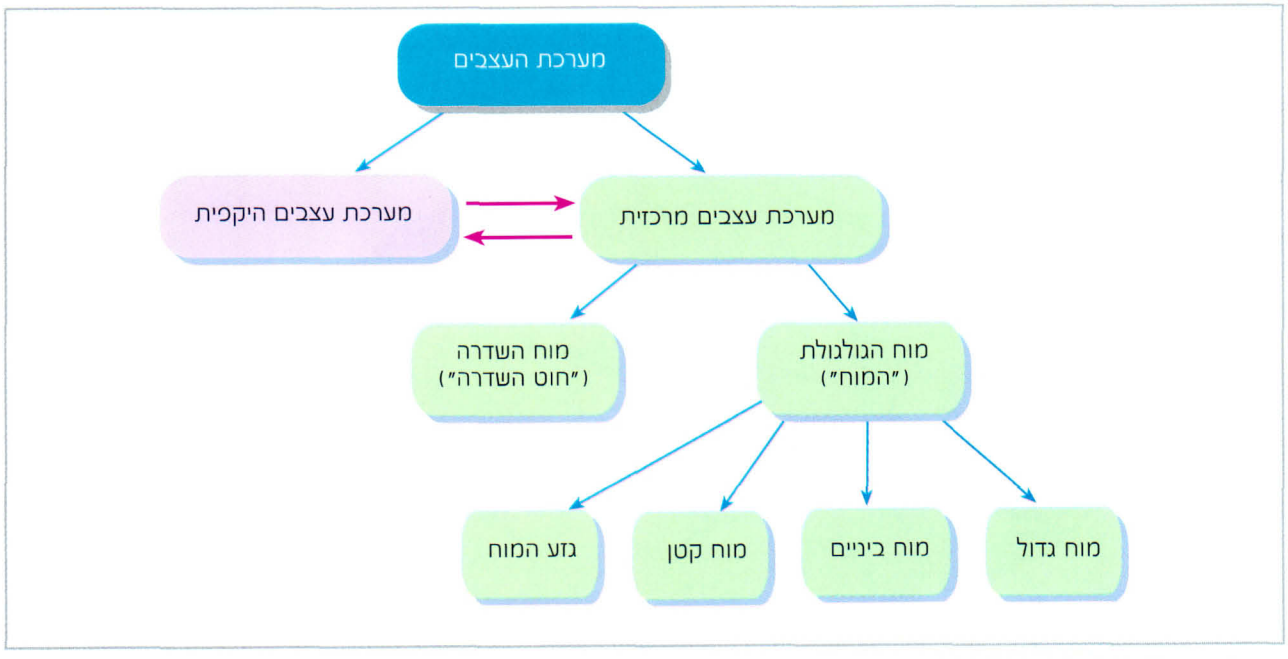
מוח הגולגולת מורכב למעשה מכמה מוחות

נפתח את היכרותנו עם מערכת העצבים המרכזית בהכרת **מוח הגולגולת**.
התבוננו באיור 7.11 המראה את מבנה המוח.

באיור 7.11 רואים, כי האיבר שאנו רגילים לקרוא לו "מוח" מורכב מכמה חלקים: המוח הגדול, מוח הביניים, המוח הקטן וגזע המוח.
המוח מוגן מפגיעה על-ידי עצמות הגולגולת. מתחת לעצמות נמצא קרום מגן קשה, ופנימה לו שני קרומים נוספים רכים יותר, שהפנימי מביניהם צמוד למוח. בין שני הקרומים הרכים נמצא נוזל. בין חלקי המוח נמצאים ארבעה חללים מלאים אף הם בנוזל. חללים אלו מכונים "חדרים".
משקל מוחו של אדם בוגר הוא בין 1450 ל-1600 גרם.



איור 7.11
מבנה מוח הגולגולת



איור 7.12
ארגון כללי של מערכת העצבים (המשך איור 7.4)

איור 7.12 מסכם את הארגון הכולל של מערכת העצבים כפי שהכרתם אותה עד עתה.
כל אחד מחלקי המוח אחראי על תחומים שונים של תפקוד הגוף השלם.

המוח הגדול:

- אחראי לתנועות הגוף כולו על איבריו השונים;
- מעבד מידע המגיע מאיברי החושים ומתאי חישה בגוף, והופך אותו לתחושות המגיעות לתודעה (הופך דחפים חשמליים מהעיניים לתמונה, דחפים המגיעים מהאוזניים לצליל ועוד);
- מקיים את הפעולות השכליות - חשיבה, זכירה, למידה ויצירה.

מוח הביניים:

- קולט מידע אודות גירויים המגיעים מאיברי החושים ומתאי חישה הנמצאים בגוף;
- מעביר חלק מהמידע החושי אל מרכזי עיבוד במוח הגדול;
- מעבד תחושות פנימיות (כגון, רעב והנאה) ורגשות (כגון פחד, כעס ומשיכה);
- מפקח על מרכזי בקרה של תפקודים חיוניים בגוף (כגון פעולת הלב ומערכת הנשימה).

המוח הקטן:

- קולט גירויים ומעבד מידע לגבי מיקום הגוף ביחס למרחב ולגבי תנוחות הגוף ויציבתו. מאפשר תנועות מתואמות ושמירה על שיווי המשקל

גזע המוח:

- כולל מרכזי בקרה, כגון מרכז בקרת הנשימה ומרכז בקרת הלב, הכפופים למוח הביניים ומפקחים במישרין על התפקודים החיוניים של הגוף.

המוח הגדול אחראי ליכולתנו לחשוב, להרגיש, לחייך

המוח הגדול בנוי משני חצאי כדור, המוכרים גם בשמם הלועזי: הֶמִיספֶרות (ביוונית: hemisphere, hemi - חצי; sphere - כדור) - המיספרה שמאלית והמיספרה ימנית. ההמיספרות מופרדות על-ידי חריץ גדול. כל המיספרה מחולקת לאונות (ראו איור 7.13א).

פני השטח החיצוניים של ההמיספרות נקראים גם "קליפת המוח הגדול" (או קורטקס, Cortex = קליפה).
בקליפת המוח הגדול יש מספר גדול של קפלים, המגדילים מאוד את שטח הפנים הכולל שלה ולכן גם את מספר התאים המצויים בה. ואכן, כל שטח הקליפה מכיל מספר עצום של גופים של תאי עצב שצבעם אפור (מכאן הביטוי "התאים האפורים") - מספר גדול לאין שיעור ממספר התאים שהיו באותו נפח של מוח, אילו הייתה הקליפה חסרת קפלים. מתחת לקליפה, המכונה גם "החומר האפור", מרוכזים האקסונים של כל אותם תאי עצב. האקסונים עטופים בשכבה שומנית שצבעה לבנבן, לכן השכבה שמתחת לקליפת המוח נקראת "החומר הלבן".

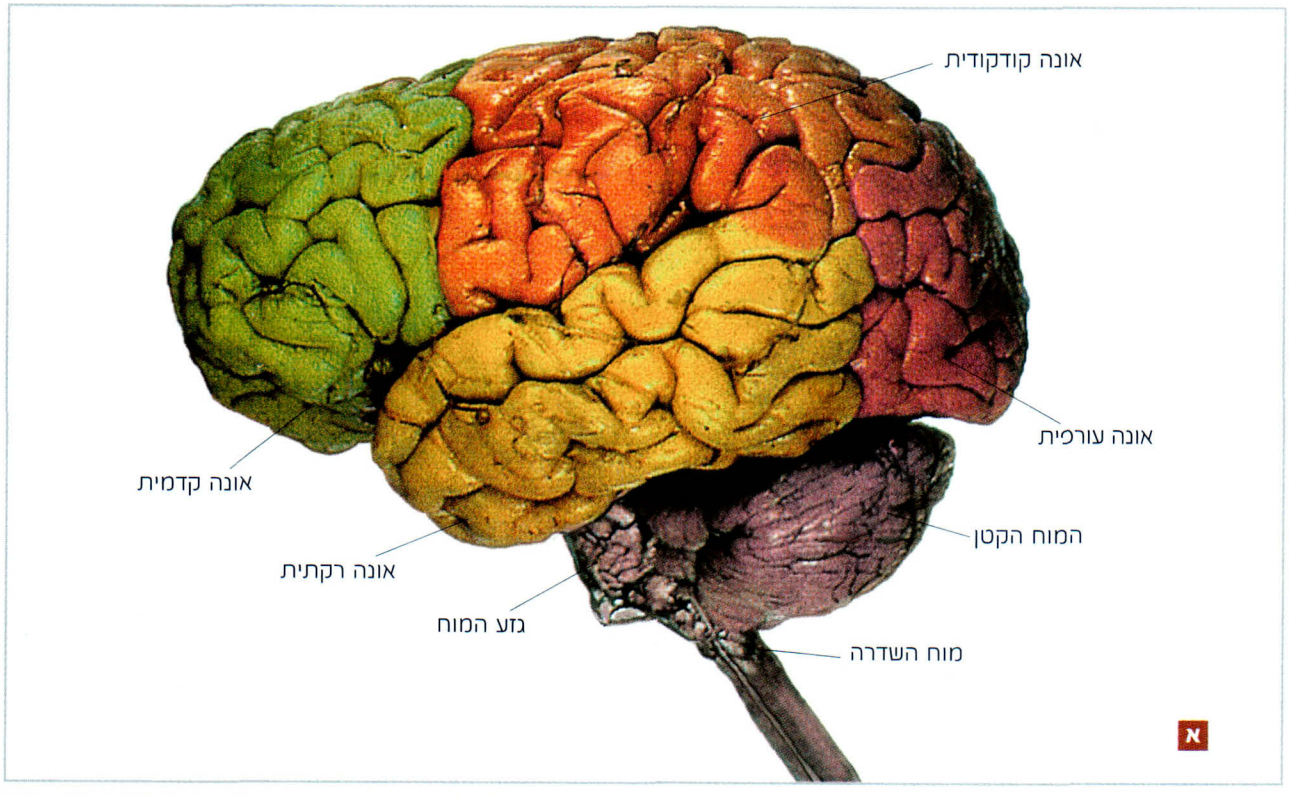
שאלה 3

היכן עוד בגוף האדם מתקיימת תופעה של הגדלת שטח הפנים על-ידי ריבוי של קפלים?

לכל אחד מתאי העצב במוח הגדול יש מספר עצום של סינפסות עם תאי עצב אחרים - עד 10,000 סינפסות לתא. כלומר, יש תאי עצב המקבלים מידע מ-10,000 תאים אחרים, ומעבירים מידע לאלפי תאים. יכולת עיבוד המידע של מערכת תקשורת זו עולה פי כמה על יכולתו של כל מחשב שנבנה עד היום, משוכלל ככל שיהיה. רשת התקשורת הזאת, המסועפת-להדהים, היא האחראית לכישוריו המופלאים של מוח האדם - יוצר מוזיקה, מחבר סיפורים, צופה בכוכבים, מחליף מסתמים בלב ועוד. אולם מעט מאוד ידוע לנו על התהליכים המאפשרים לאדם לבצע את כל אלה. קליפת המוח הגדול היא האחראית אפוא לכל התהליכים ההכרתיים שלנו - חשיבה, למידה, זיכרון, שימוש בשפה, יכולת יצירה. נוסף לכך, בקליפת המוח הגדול נמצאים מרכזים המעבדים את המידע המגיע מאיברי החושים ומרכזים המבקרים את פעולותיהם של השרירים.

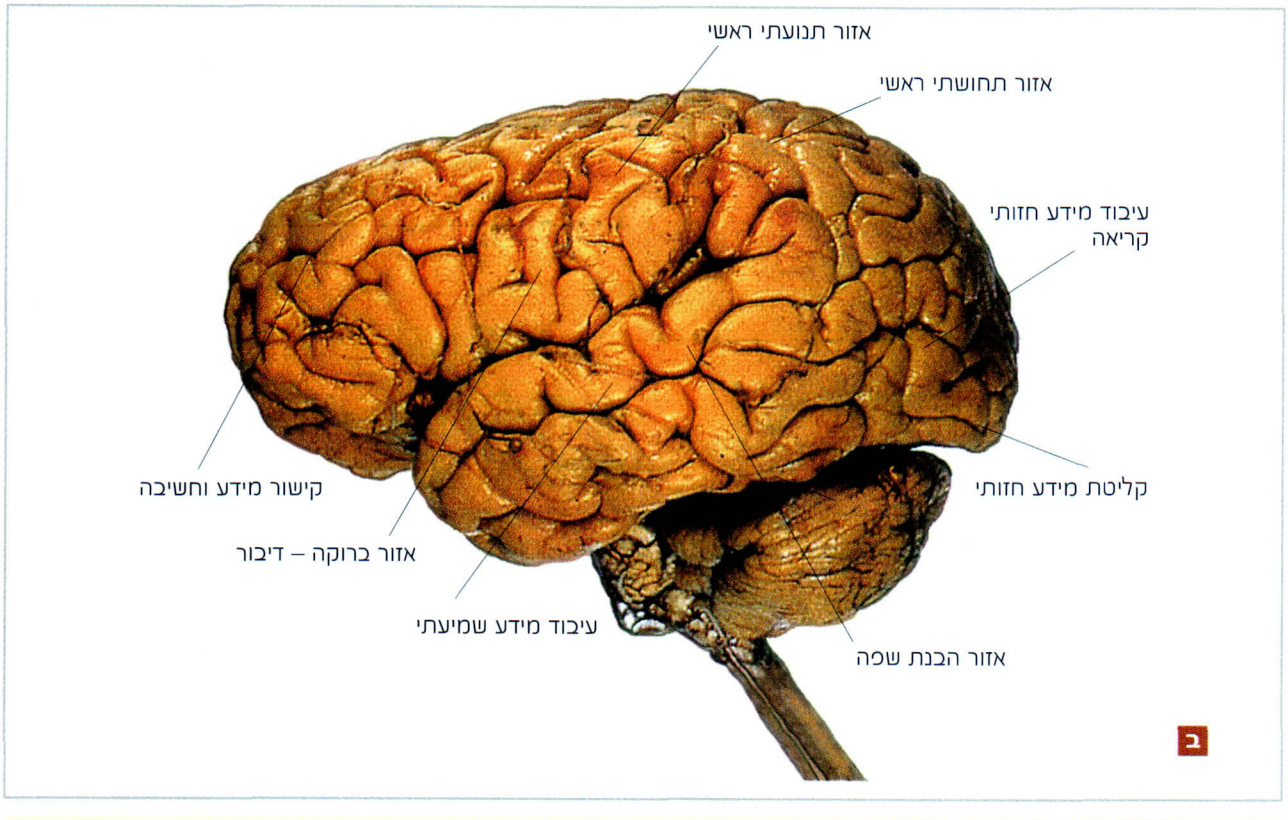
כל המרכזים הללו הם, למעשה, ריכוזי ענק של נוירונים מקשרים. הנוירונים המקשרים הם האחראים להפיכת הדחפים העצביים לשפה שאנו מזהים אותה כתחושות, כמחשבות, או כרגשות - תהליך שהחוקרים עדיין רחוקים מפענוחו.

באיור 7.13ב רואים את מבנה המוח הגדול ומרכזי בקרה שונים הנמצאים בו. מרכזים אלה אחראים לפעילויות התנועתיות, התחושתיות והשכליות שלנו.



איור 7.13 א

המוח הגדול: אונות המוח



איור 7.13 ב

המוח הגדול: מרכזי בקרה של תפקודים במוח הגדול

שאלה 4

נגן בלהקה מנגן בקלידים לפי תווים.

א. כתבו את כל התחושות שקולט הנגן ואת כל התנועות שהוא עושה, למיטב ידיעתכם, הקשורות לנגינה עם הלהקה.

ב. במה שונה לדעתכם, פעולת הנגינה מתגובת רפלקס.

עוד על...

איך מגלים תפקוד של אזור במוח?

איך מגלים, לדעתכם, כי אזור מסוים במוח אחראי, למשל, ליכולת להזיז את יד ימין? או את זה האחראי ליכולת לחייך? הרופא והחוקר הצרפתי **פול ברוקה** (Paul Broca, 1824-1880) היה הראשון שגילה קשר ברור בין אזור מסוים במוח לבין פעילות מוחית. ברוקה מצא, כי אצל אדם שסבל מפגיעה ביכולת הדיבור, היו סימנים לפגיעה ברקמת המוח באזור הנמצא בצדה השמאלי של האונה הקדמית בקליפת המוח הגדול. התברר, כי אכן התאים האפורים באזור זה אחראים ליכולתו של האדם לבטא מילים בקול. מי שנפגע באזור זה לא מאבד את הזיכרון, וגם לא את היכולת להבין מילים, אך הוא אינו מסוגל לומר אותן. המחקר של ברוקה התווה את הדרך לחקר מרכזי בקרה במוח, והאזור שגילה נקרא על שמו: "אזור ברוקה". בעקבות מחקרים נוספים, שבדקו השפעה של פגיעות מוחיות, זוהו במרוצת השנים אזורים רבים במוח. באיור 7.13ב מסומנים אלה מביניהם שנחקרו היטב.

המוח הגדול בנוי, כאמור, משני "חצאי כדור" - שתי הֶמִיסְפֵרוֹת. כל המיספרה שולטת בצד הנגדי של הגוף - כלומר, השמאלית שולטת בצד הימני של הגוף, והימנית - בצדו השמאלי. שתי ההמיספרות מחוברות בצדן התחתון באמצעות מבנה המכונה "קורת המוח" (ראו איור 7.11), שהוא ריכוז גדול מאוד של אקסונים. הקורה מאפשרת מעבר מידע בין ההמיספרות, והודות לה פועל המוח כולו כיחידה הרמונית אחת. פגיעה בקורת המוח עלולה לגרום לחוסר תיאום בין ההמיספרות, ובעקבות זאת, להתנהגות לא מתואמת של האדם.

עוד על...

מה קורה כשההמיספרות לא מחוברות?

הנוירולוג קורט גולדשטיין תיעד ב-1908 מקרה של חוסר קשר בין ההמיספרות. הוא טיפל באישה שטענה, כי היד השמאלית שלה "רעה" ואינה נשמעת לה. היד השמאלית עשתה תנועות בלתי נשלטות. האישה נאלצה להשתלט על היד השמאלית בעזרת היד הימנית. בניתוח שלאחר המוות נמצא כי קורת המוח של האישה נפגעה במידה כזו, שהיה נתק בין ההמיספרות שלה, ולמעשה היא לא שלטה שליטה מלאה בתנועות השרירים בצד שמאל של גופה.

כאשר האדם נולד, מוחו מכיל את רוב-רובם של תאי העצב שיהיו לו במשך חייו, (כזכור, מספרם מגיע למאה מיליארד, בקירוב). מייד לאחר הלידה מתחילה תמותה של תאי עצב, והיא גוברת לאחר גיל ההתבגרות. קצב תמותת התאים אינו זהה אצל כל בני האדם, אך הוא עומד על אלפי תאים בממוצע, מדי יום ביומו. פירוש הדבר, שכל אדם מאבד במשך שנה מיליוני תאים ממוחו. אדם החי עד גיל 80, מאבד במהלך השנים כ-400 מיליון תאי מוח. מספר זה, הנראה ענק ומפחיד, בעצם אינו אלא כ-4 אחוזים מכלל התאים במוח! אך מספר התאים המתים אינו זה הקובע את יכולתו השכלית הכללית של האדם. מה שקובע את כשריו השכליים של אדם הוא כמות הסינפסות שבין תאי העצב במוחו, ולא מספרם המוחלט של התאים. ככל שהקשרים בין התאים רבים יותר ומאפשרים עיבוד מידע מהיר ומורכב יותר, כך גדל כושרו לבצע פעולות שכליות.

התאים אינם מתרבים, אך המוח ממשיך להתפתח

תאי העצב שונים מרוב התאים בגוף בכך שהחל מהשנה השנייה לחיי התינוק הם אינם מתרבים עוד. כאמור, בעת הלידה מכיל מוחו של התינוק את רוב-רובם של תאי העצב, ובמשך חייו הם רק ילכו ויתמעטו. אולם אין פירוש הדבר, כי המוח כולו נותר בדיוק באותו גודל במשך כל החיים. אף שמספר התאים במוח הבוגר הולך וקטן, כמות הסינפסות הכוללת במוח דווקא גדלה לאורך כל שנות חייו, וזו משמעותה של התפתחות המוח.

תאי עצב מצמיחים דנדריטים חדשים ויוצרים סינפסות חדשות בתגובה לגירויים שונים. מחקרים הראו, כי ככל שתינוקות וילדים חשופים יותר לגירויים שונים מהסביבה החיצונית, כך גדול יותר המספר הכולל של סינפסות הנוצרות בין תאי העצב שלהם. נוסף לכך, האקסונים היוצאים מהתאים מתארכים. חלקם גם מסתעפים בקצותיהם, וסינפסות חדשות נוצרות כל העת במוחם של התינוק, הילד הגדל והמבוגר. עם ההזדקנות חלה ירידה מסוימת במספר התאים במוח.

מחלות ניווניות מסוימות של המוח גורמות לירידה משמעותית יותר בכמות הכוללת של התאים במוח.

בשנים האחרונות החלו להצטבר עדויות שהראו, כי במוח האדם יש מספר קטן של תאים המסוגלים להתרבות. תאים אלה מכונים תאי גזע עוברים (Stem cells) - כלומר, תאים הדומים לתאים של עוברים בראשית התפתחותם. תאים אלה לא התמחו ולא הפכו עדיין לתאי עצב, ויש להם כושר להתחלק ולהתרבות. נוכחותם של תאים כאלה במוח מעוררת תקווה שאפשר יהיה לנצלם לטיפול במחלות המתאפיינות בתמותה מוגברת של תאים במוח. המגמה היא לעודד התרבות של תאי גזע שיהפכו לתאי עצב, כדי שאלה יוכלו למלא את מקומם של התאים שמתו.

הרחבה

מרכזים במוח הגדול מסוגלים ללמוד תפקידים חדשים

פגיעה בכלי דם במוח מכונה "שבץ מוחי". הנפגעים העיקריים משבץ מוחי הם, בדרך-כלל, קשישים. תאי העצב באזור הפגוע אינם מקבלים חמצן, לכן הם מתים. אם נפגע, למשל, המרכז התנועתי בצדה הימני של קליפת המוח הגדול, האדם עלול לסבול משיתוק בצד השמאלי של גופו. היקף השיתוק תלוי בגודלו של האזור שנפגע בשבץ. (ראו פרק 4, עמוד 86). לעתים נפגע משבץ מוחי האזור האחראי לכושר הדיבור, ופגיעה זו גורמת לפגיעה בכושר הדיבור, או אף לאיבודו. אולם לעתים אפשר להחזיר את הפעילות לאדם הפגוע.

תאי המוח שלנו - כמונו - יכולים ללמוד דברים חדשים. יכולת זו מכונה הפלסטיות של המוח. פלסטיות פירושה, היכולת להשתנות, ולרכוש דפוסי פעולה חדשים.

הודות לפלסטיות הזו ניתן לפעמים לשקם את אזורי הפגיעה. התאים שמתו אמנם לא ישובו לתפקד, אך תאים אחרים במוח יוכלו, במקרים מסוימים, למלא את מקום התאים שמתו. יש מקרים שבהם נפגעי השבץ המוחי לומדים בהדרגה, בעזרת אנשי מקצוע, לבצע את הפעולות שהיכולת לבצען אבדה להם בעקבות הפגיעה. תרגול מתאים - פיזיותרפיה, ריפוי בדיבור, ריפוי בעיסוק - מגרה נוירונים בריאים ומעורר אותם להתחיל לשלוט בפעולות שלא היו בתחום שליטתם. התרגול מסייע להחזרה חלקית או מלאה של כושר התנועה, או כושר הדיבור. כמובן, לא כל נפגעי השבץ המוחי יכולים להשתקם בדרך זו. הדבר תלוי בעיקר בגודלו של האזור שנפגע מהשבץ.

ריבוי פעילות מרבה סינפסות

אפשר לומר כי המוח - בדומה ללב - ככל שהוא עובד יותר, כך הוא עובד טוב יותר (כלומר, לא צריך לחשוש שהוא יסבול משחיקה!). פעילות מוחית מעודדת צמיחת דנדריטים, הסתעפות קצוות של אקסונים ויצירת סינפסות חדשות. תהליך זה אינו פוסק מן הלידה ועד למוות, אם כי אצל המבוגר הוא איטי הרבה יותר מאשר אצל התינוק.

עד לפני שנים מעטות הייתה מקובלת תפיסה פשטנית, לפיה עם העלייה בגיל חלה ירידה בלתי נמנעת בכישורים השכליים. למעשה, הדברים מורכבים יותר. ראשית, כפי שציינו, יש הרבה עדויות לכך שגם תאי עצב במוחו של אדם מבוגר, ואפילו זקן, יכולים ללמוד דברים חדשים. שנית, היכולת של אדם ללמוד או לזכור תלויה באורח חייו, בהרגליו ובעיקר במידת הפעילות השכלית שלו לאורך שנים. אמנם יש מחלות מוגדרות, המלוות בירידה מעטה או ניכרת בכשרים השכליים, ופוגעות בשכיחות גבוהה בעיקר בקשישים; אולם אדם בריא, גם אם הוא זקן, לא חייב לסבול מתופעות כאלה. במקרים רבים, בעייתו של הקשיש אינה פגיעה במוח, אלא השלמה עם דעות קדומות. צעירים נוטים לייחס לזקן יכולת מוגבלת, וזקנים רבים משלימים עם התדמית הזו. אולם, כפי שקורה בתחומים אחרים, גם כאן התדמית אינה משקפת את יכולתם האמיתית של הזקנים. ככלל, מי שהיה אדם ערני וחושב כל ימיו, ממשיך להיות כזה גם בהגיעו לגיל מבוגר יותר. הבעיה האמיתית היא, כמו בהרבה מקרים אחרים, בעיה של סטריאוטיפים.

מוחות נוספים אחראים על התיאום בין תפקודי הגוף

במוח הגדול, שהוא החלק הבולט ביותר של המוח, שוכן מה שאנו נוטים לקשר יותר מכל עם המושג "מוח" - כלומר, מה שקשור ליכולתנו לחשוב, ליצור, ללמוד. רוב האנשים גם נוטים לחשוב, כי פעולות אלה של המוח הן העושות את האדם ליצור מיוחד, השונה משאר בעלי החיים. השאלה עד כמה שונה האדם משאר בעלי-החיים היא שאלה סבוכה, ובוודאי לא נעסוק בה כאן. אולם חשוב לציין, כי המוח הגדול הוא אכן מיוחד לאדם, הן מבחינת גודלו ביחס לגודל גופו של האדם, והן מבחינת ריבוי הקפלים וריבוי תאי העצב הנמצאים בו. אולם חלקי מוח אחרים דווקא מצביעים על הדמיון של האדם ליונקים האחרים ועל מוצאם האבולוציוני המשותף. מוחות אלה קולטים מידע חושי, המגיע מתוך הגוף ומהסביבה, ונעשית בהם הבקרה על קליטת מידע זה ופענוחו. הם אחראים על בקרת התפקודים היומיומיים של הגוף, ונוסף לכך הם מגשרים בין התודעה שלנו לבין המתרחש בסביבתנו.

מוח הביניים מגשר בין הסביבה למוח הגדול

מתחת למוח הגדול נמצא מוח הביניים, הקטן ממנו בהרבה (ראו איור 7.11). שני האזורים הבולטים במוח הביניים הם התלמוס וההיפותלמוס. בתלמוס לא נעסוק בספר זה. ה**היפותלמוס** אחראי על בקרתם של כל התהליכים הבסיסיים של קיום הגוף - פעולת הלב, פעולת מערכות הנשימה, העיכול, ההפרשה ועוד. הוא מפקח על מרכזים הנמצאים בגזע המוח ומווסתים את רמת פעילותן של מערכות חיוניות אלו, בהתאם לשינויים בסביבה הפנימית. אולם בהיפותלמוס מתרחשים עוד תהליכים חשובים.

בדיון על פעולתו של הקוקאין הזכרנו, כי ההיפותלמוס אחראי על יכולתנו לחוש הנאה. למעשה, כל התחושות והרגשות שלנו נתונים לבקרה של מוח הביניים. נמצאים בו מרכזים המעבדים מידע המגיע מהחושים ומידע אודות הסביבה הפנימית - כגון רעב, שובע, הנאה, או צמא - המגיע מתאי חישה בגוף.

גירויים מהסביבה הפנימית, המעוררים את התחושות האלה, נקלטים ומפוענחים בהיפותלמוס ומועברים ממנו למרכזים במוח הגדול. כך, למשל, עלייה חריגה בריכוז מלחים בסביבה הפנימית נקלטת כגירוי בהיפותלמוס ומתורגמת שם לתחושה של צמא; התחושה מועברת למרכזים מקשרים במוח הגדול, המעבדים את המידע ומאפשרים למרכזים התנועתיים להגיב עליו. המרכזים המקשרים והתנועתיים הם אלה האחראים לכך שאנו מוזגים לעצמנו כוס משקה ושותים אותו.

ההיפותלמוס מגשר אפוא בין מידע המגיע למערכת העצבים ממרכזי חישה שונים, לבין מרכזי הבקרה במוח הגדול. במרכזים אלה נעשה התיווך בין המידע החושי לתודעה, וכך אנו חשים בתחושות השונות הפוקדות אותנו ויכולים להגיב עליהן. כדאי לזכור, כי כל תחושה שאנו חשים נוצרת במוח הגדול, ולא בתאי החישה הקולטים את הגירויים!

בפרק 6 הסברנו, כי ההיפותלמוס מחובר לצדה האחורי של ההיפופיזה (ראו שם, עמ' 121). בין ההיפותלמוס להיפופיזה מקשרים כלי דם. תאי עצב בהיפותלמוס מפרישים חומרים, המגיעים במהירות להיפופיזה דרך הדם ומגרים אותה להפריש מתוכה הורמונים. ההיפותלמוס הוא אפוא חלק המוח המפעיל את הבקרה המוחית על פעילות המערכת להפרשה פנימית.

ש אלה 5

קראו בפרק 6, והביאו לפחות שתי דוגמאות להשפעתה של ההיפופיזה על פעילות הבלוטות להפרשה פנימית.

המוח הקטן וגזע המוח שומרים על יציבות הסביבה הפנימית

מאחורי המוח הגדול נמצאים שני חלקי מוח - *המוח הקטן וגזע המוח* - הנקראים בשם כולל מוח אחורי. תוכלו לראותם באיורים 7.11 ו-7.13א המראים את כל חלקי מוח הגולגולת.

המוח הקטן מזכיר בצורתו את המוח הגדול; גם הוא בנוי משתי המיספרות, שבקליפתן קפלים רבים. המוח הקטן מעבד מידע המגיע מהעיניים ומאיבר חוש שיווי המשקל, המצוי באוזניים וקשור למיקום הגוף במרחב וליציבות הגוף.

בגזע המוח נמצאים מרכזים המבקרים במישרין את פעולתם של האיברים הפנימיים, כגון הלב והריאות, וכפופים לבקרת-על של ההיפותלמוס. פגיעה בגזע המוח משתקת את פעולתם של מרכזי הבקרה האלה. כאשר תאי גזע המוח מתים, אין מה שיפעיל את הלב ואת מערכת הנשימה, ומצב זה מוגדר כמוות (כפי שכבר ראיתם, תאי עצב שמתו אינם מתחדשים, ולמרכז בקרה שנהרס לחלוטין, אין תחליף).

רצף של תאי עצב ועצבים נמשך מגזע המוח לתוך החוליות של עמוד השדרה, ויוצר את מוח השדרה.

מוח השדרה מגשר בין מוח הגולגולת למערכת ההיקפית

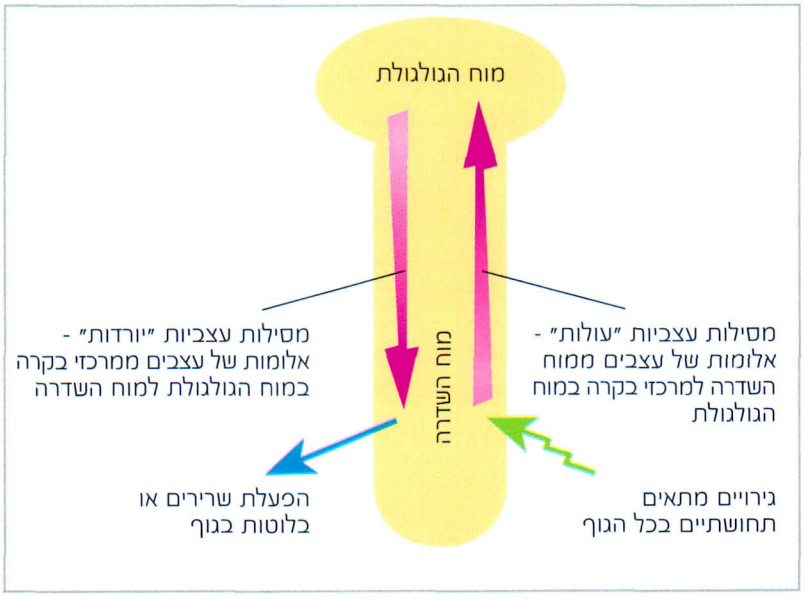
מוח השדרה מהווה המשך ישיר של מוח הגולגולת. ראשיתו בחלק התחתון של *גזע המוח*, והוא עובר לאורך *תעלת השדרה*. תעלה זו נוצרת מרצף החללים המצויים במרכזן של החוליות הבונות את עמוד השדרה. בדרך זו, מוח השדרה מוגן היטב על-ידי החוליות של עמוד השדרה. נוסף לכך, הוא מוקף נוזל המגן עליו מזעזועים.

תאי מוח השדרה יוצרים צינור דק וחלול במרכזו, לכל אורכו. בתוך הצינור נמצא נוזל, שהוא אותו נוזל הממלא את חדרי מוח הגולגולת.

מוח השדרה מקשר בין מערכת העצבים ההיקפית לבין מוח הגולגולת. מידע המגיע מתאי עצב בגוף מגיע תחילה אליו, ועובר דרכו למוח הגולגולת; ומידע המועבר ממוח הגולגולת, עובר דרכו אל איברי הגוף. העצבים המובילים מידע ממוח השדרה אל מוח הגולגולת מכונים **מסילות עולות**, ואלה המעבירים הוראות ממוח הגולגולת אל מוח השדרה מכונים **מסילות יורדות**.

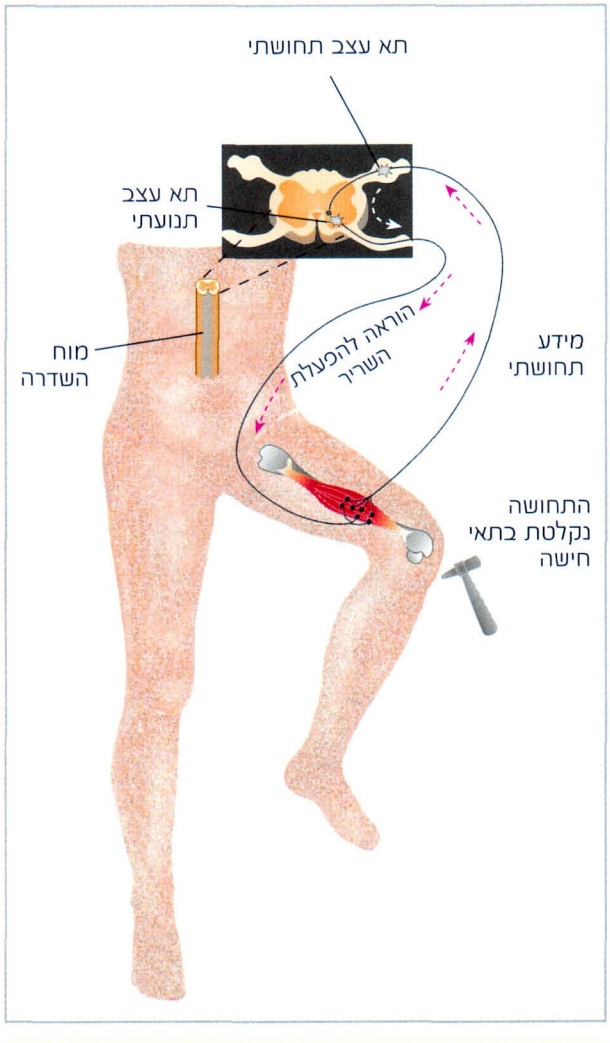
הקשר בין מערכות הגוף, מוח השדרה ומוח הגולגולת מתואר באיור 7.14.

סמוך למוח השדרה נמצאים ריכוזים של תאי עצב תחושתיים, המכונים גנגליונים. הם מפקחים, בין השאר, על תגובות הרפלקס שלנו, כגון רפלקס הרתיעה מגוף לוהט שתיארנו בתחילת הפרק. תגובת הרפלקס, כפי שכבר ציינו, היא צורת התגובה הפשוטה ביותר במערכת העצבים. כשרופא מקיש בפטיש מיוחד בנקודה מסוימת מתחת לברך, הרגל מגיבה בתזוזה קצרה ומהירה. לרפלקס הזה קוראים **רפלקס זיע הברך**. בתגובת רפלקס משתתפים בדרך כלל רק שניים או שלושה תאי עצב.



איור 7.14
מערך הקשרים בין הגוף, מוח השדרה ומוח הגולגולת

באיור 7.15 מתואר מעבר המידע העצבי היוצר את רפלקס זיע הברך.



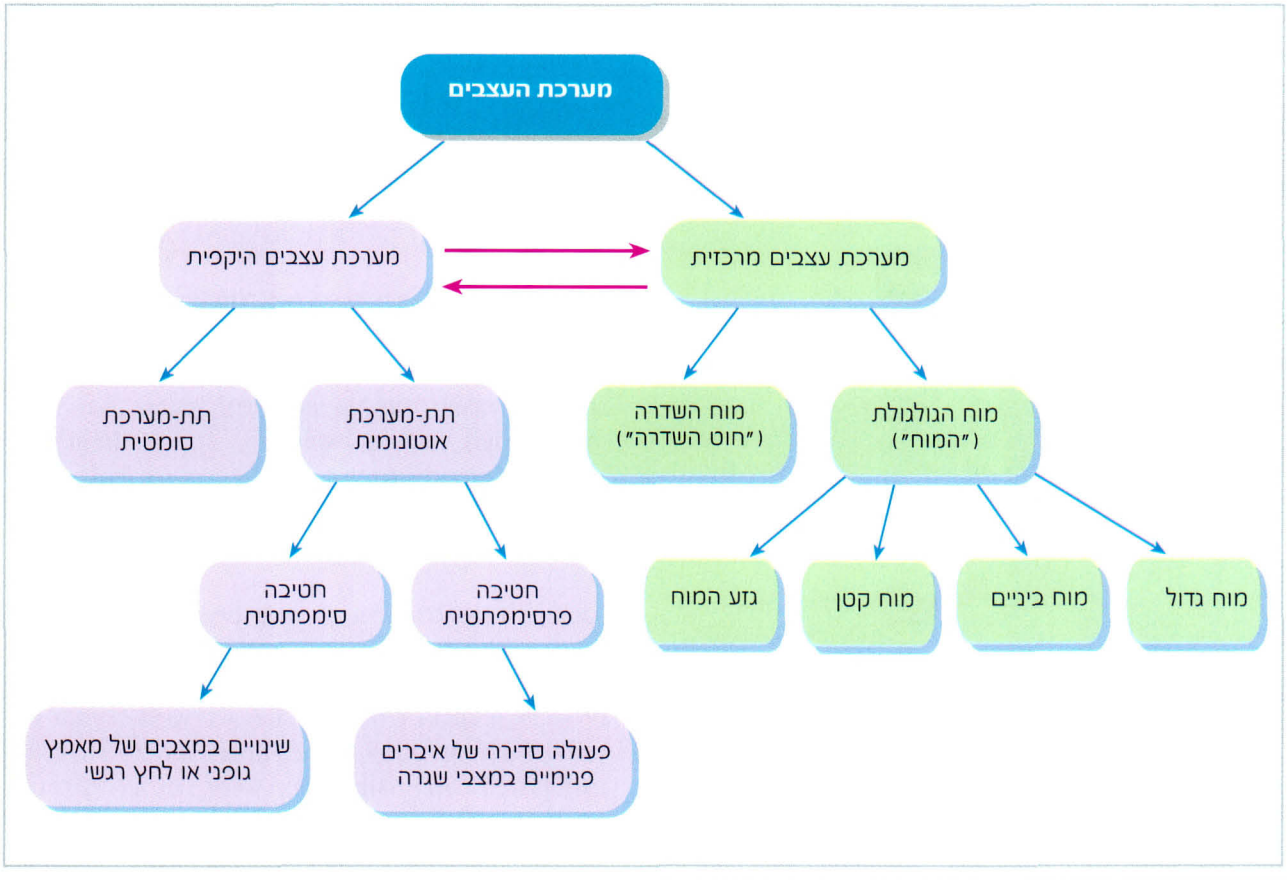
איור 7.15
קשת הרפלקס של זיע הברך

למסלול של מעבר הגירוי והתגובה לו קוראים **קשת רפלקס**.
יש קשתות רפלקס שהמידע על הגירוי עובר בהן לנוירון מקשר וממנו יוצאות הוראות לנוירון תנועתי. לנוירון המקשר יכולה להיות סינפסה המקשרת אותו לעצב השייך למסילה עולה. במקרה כזה, המידע על תגובת הרפלקס מגיע גם למוח הגדול. מצב כזה קיים ברפלקס הרתיעה מחפץ לוהט. אנו מודעים לגירוי - הנגיעה בסיר - בגלל הקשר למוח הגדול. הפקודה להזיז את היד אמנם יוצאת ישירות ממוח השדרה, אך במקרים מסוימים, הקשר למוח הגדול יכול להיות משמעותי. אם ניקח, למשל, בטעות כוס מלאה מים רותחים, נוכל במאמץ מסוים להשתלט על הרפלקס, ולהניח אותה על השולחן בלי לשבור אותה.
מכיוון שמידע מהגוף אל מוח הגולגולת עובר במוח השדרה, ניתוק של מוח השדרה במקום מסוים גורם לנתק מוחלט של מעבר המידע בשני הכיוונים: אין מעבר של תחושות מחלקי הגוף הנמצאים מתחת לאזור המנותק, ואי-אפשר להעביר פקודות לשרירים ולבלוטות באותם חלקי גוף. משום כך, ניתוק של מוח השדרה גורם לשיתוק.

גזע המוח וריכוזי תאים במוח השדרה מהווים מרכזי בקרה ופיקוח על כל הפעולות שאינן מגיעות לתודעתנו, הקשורות לשמירה על יציבות הסביבה הפנימית של גופנו.
אותם חלקים של מערכת העצבים, האחראים על הפעולות האלה, נקראים ה**מערכת האוטונומית**. ההיפותלמוס מבקר את פעולת המרכזים בגזע המוח, והוא משמש אפוא מרכז הבקרה העליון של המערכת האוטונומית.

7.4 מערכת העצבים ההיקפית מורכבת ממערכות משנה

עיינו בתרשים באיור 7.16. התרשים מוסיף על התרשימים הקודמים ומסכם את הארגון הפנימי של מערכת העצבים. עתה תכירו את יחידות הארגון של מערכת העצבים ההיקפית הנזכרות בו.



איור 7.16
ארגון מערכת העצבים (המשך איור 7.12)

כפי שאתם רואים בתרשים, מערכת העצבים ההיקפית מתחלקת לשתי תת-מערכות: סומטית ואוטונומית. כל אחת מהן מבקרת את פעולתם של שרירים או בלוטות שונות.
תת-המערכת הסומטית כפופה למרכזים הנמצאים בקליפת המוח הגדול וקשורה לפעולתם של כל השרירים המכונים "שרירים רצוניים". אלה הם השרירים המחוברים לעצמות השלד ומניעים את הגוף והגפיים. אנו יכולים להיות מודעים לפעולתם של שרירים אלה, לכן הם נקראים "רצוניים", אך אין פירוש הדבר שאנו מניעים אותם רק כשמתחשק לנו (בתגובת רפלקס, למשל, הם נעים בלי קשר לרצוננו). תת-המערכת הסומטית מבקרת את תנועות הידיים והרגליים, את תנועות הפנים (כגון חיוך, לעיסה, עיקום אף) וגם את תנועות הנשימה שעושים שרירי בית החזה, שאינן תלויות ברצוננו (אך אם אומרים לנו לנשום עמוק, אנו מסוגלים לשנות אותן).

תת-המערכת האוטונומית אחראית לבקרת ההומאוסטאזיס

תת המערכת האוטונומית מפקחת כמעט על כל הפעולות הקשורות לקיום ההומאוסטאזיס בגוף. היא מבקרת ומווסתת את פעילות הלב וכלי הדם, מערכת הנשימה, מערכת העיכול ומערכת ההפרשה. המערכת מפקחת על פעילותם של תאים המפרישים אנזימי עיכול, על בלוטות הרוק, על בלוטות הזיעה, על בלוטות החלב, וגם על חלק נכבד מפעילות הבלוטות להפרשה פנימית. המערכת האוטונומית מבקרת את פעולתם של שרירים, שתנועותיהם אינן מגיעות לתודעה שלנו, כגון השרירים המניעים את הקיבה ואת המעיים, או השרירים בדפנות כלי הדם הגורמים להרחבה או הצרה שלהם.

הכינוי "אוטונומית" נובע מכך, שפעילות המערכת הזו אינה כפופה לבקרה של אותם מרכזים במוח הגדול הקשורים להכרה ולתודעה שלנו. למעשה, כל עוד אנו בריאים וכל מערכות גופנו מתפקדות כהלכה, כלל איננו מודעים למכלול פעולות הבקרה והוויסות המופעלות על-ידי המערכה האוטונומית.

כפי שרואים באיור 7.16, גם המערכת האוטונומית מחולקת לשתיים: חטיבה פרסימפתטית וחטיבה סימפתטית.

לשתי חטיבות אלה יש השפעות מנוגדות על מערכות הגוף.

החטיבה הפרסימפתטית מבקרת ומווסתת את פעולתם הסדירה של האיברים הפנימיים במצבי שגרה - כלומר, כאשר הגוף אינו נתון במאמץ מיוחד, או בלחץ רגשי. חטיבה זו אחראית להפרשת אנזימי עיכול מתאים במערכת העיכול כאשר מגיע מזון לקיבה, ולהגברת התנועה הפריסטלטית של השרירים בדפנות הקיבה והמעיים (ראו פרק 2, העוסק בעיכול). תאי עצב פרסימפתטיים גורמים להאטת קצב הלב ולהרחבה של כלי דם, בעיקר של אלה המובילים דם אל איברי מערכת העיכול ואל איברי מערכת ההפרשה.

החטיבה הסימפתטית מבקרת ומווסתת שינויים החלים בגוף במצבים של מאמץ גופני או של לחץ רגשי חזק. תאי העצב של חטיבה זו גורמים להאצת קצב הלב, להעלאת לחץ הדם ולהגברת קצב הנשימה. במקביל הם גורמים להצרת כלי הדם המובילים דם אל מערכות העיכול וההפרשה, ובכך הם גורמים להאטת פעילות המעיים ופעילות ייצור השתן בכליות. תאי עצב סימפתטיים מגרים את בלוטת יותרת הכליה להפרשה מוגברת של אדרנלין וגורמים לבלוטות הזיעה להפריש זיעה.

הרחבה

האדם מסוגל להגיב למצבי לחץ בדרכים שונות

התגובות המופעלות על-ידי החטיבה הסימפתטית מאפשרות לגוף להתמודד עם מצבים מסוכנים. מקובל לקרוא למכלול התגובות הזה "תגובת מאבק או מנוסה". כאשר בעל-חיים נתקל במצב מאיים, הגברת הדופק, עלייה בלחץ הדם והאצת קצב הנשימה מאפשרים לו להגיב במהירות ובעוצמה, בין אם הוא נאבק ובין אם הוא בורח. אולם אצל האדם הדברים שונים במקצת. למשל, אדם השומע רעש פתאומי בשעת לילה, אפשר שיקפא במקומו מפחד ולא יעשה כלום, ואפשר שיטלפן למשטרה. החטיבה הסימפתטית שלו מגיבה אמנם באותו אופן: הוא מזיע, קצב הדופק שלו מואץ, לחץ הדם שלו עולה ויותרת הכליה מפרישה אדרנלין בעודך; אך הוא לא חייב לבחור דווקא בבריחה או במאבק. דפוסי הפעולה של המערכת האוטונומית ממשיכים לפעול בגופנו, כפי שפעלו מאז שהתפתחו לפני מיליוני שנים. ושרדו לאורך האבולוציה. סביר, כי מערכת המגיבה במהירות למצבים שיש בהם איום או סיכון כלשהו, תשרוד לאורך זמן. אולם הודות להתפתחותם של המרכזים במוח הגדול, איננו כבולים עוד לדפוסי הפעולה של המערכת האוטונומית, המכתיבים לנו להילחם או לברוח. לאדם, שלא כמו לשאר בעלי-החיים, יש תמיד אופציות נוספות לתגובה.

שאלה 6

היעזרו בפרקים 4 ו-6 וכתבו כיצד משפיע האדרנלין על פעולת הלב.

שאלה 7

אדם משתתף בתחרות ריצה למאה מטר. במהלך הריצה עולה תפוקת לבו במידה ניכרת. בו-בזמן מתקבל במערכת העצבים המרכזית שלו מידע על עלייה ניכרת בלחץ הדם. היעזרו גם בפרק 4 שבו הכרתם את המושג "תפוקת הלב", וכתבו:

א. איזו משתי החטיבות של תת-המערכת האוטונומית מגבירה את תפוקת הלב, ואיזו מהן מקטינה אותן?

ב. אילו שינויים בפעילות הלב יוצרים את השינוי בתפוקתו?

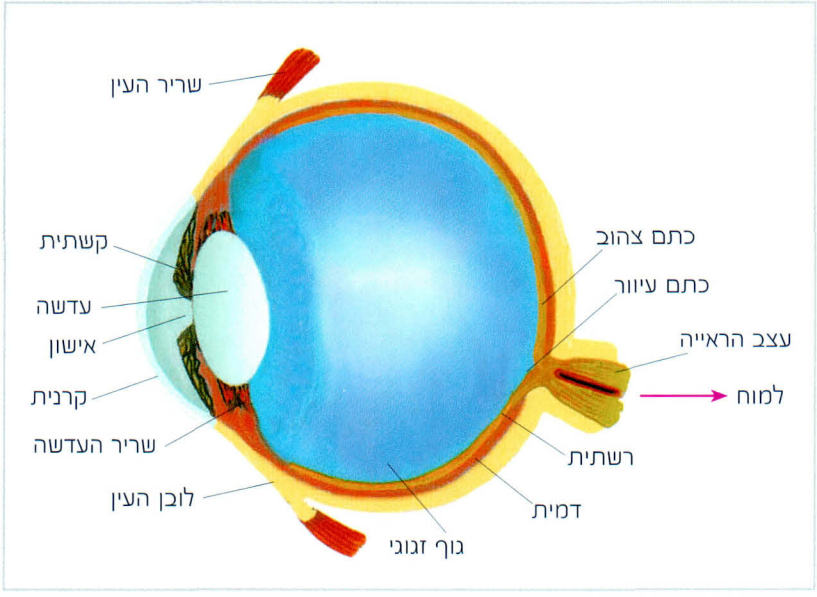
ג. איזה שינוי בכלי הדם יכול להוריד את לחץ הדם?

ד. איזו משתי החטיבות של תת המערכת האוטונומית תגרום לשינוי הזה?

לסיכום, החטיבה הסימפתטית מאפשרת לגוף להתמודד עם מצבי לחץ ומאמץ. היא גורמת להגברה של כל הפעולות הכרוכות בהפקת אנרגיה בתאי השרירים (פעולות שהכרתם בפרק 3 ובפרק 4), ובו-בזמן היא מדכאת פעולות שאינן חיוניות במצבי לחץ או מאמץ גדול, כגון עיכול והפרשה.

7.5 החושים קולטים מידע אודות הסביבה החיצונית

ראיתם כבר, כי בגוף האדם נמצאים תאים רגישים למגוון גדול של גירויים, המגיעים מחוץ לגוף ומתוכו. אולם את עיקר המידע אודות הסביבה החיצונית מקבל הגוף מתאי חישה הנמצאים באיברי החושים שלנו. יש לנו שישה חושים, לשישה סוגי גירויים. חמישה חושים מוכרים היטב: ראייה, שמיעה, טעם, ריח ומישוש. החוש השישי - חוש שיווי המשקל - מוסווה בתוך איבר חוש אחר - האוזן. נכיר את איברי החושים שלנו, ולסיום נציין עוד כמה איברי חוש ותאים הרגישים לגירויים חיצוניים, שיש לבעלי-חיים שונים, אך אין לאדם.



איור 7.17
כדור העין של האדם בחתך אורך

העין וחוש הראייה

באיור 7.17 תוכלו לראות את מבנה העין.
באיור רואים את חלקי העין השונים:
הקרנית השקופה מגנה על גלגל העין ומשתתפת בהטיית קרני האור;
שכבת לובן העין מגינה על חלקי העין הפנימיים;
הקשתית מקנה לעין את צבעה;
האישון - פתח במרכז הקשתית, שדרכו חודר האור לעין;
העדשה מרכזת את הקרניים;
שרירי העדשה משנים את צורת העדשה ומאפשרים לה למקד את הראייה;
הגוף הזגוגי מסייע בשמירה על צורת העין;
הדָמִית עשירה בכלי דם המזינים את העין;
ברשתית נמצאים תאי חישה רגישים לקרינת אור, והיא הקולטת את המידע החזותי. אקסונים היוצאים מהרשתית מתלכדים ויוצרים את **עצב הראייה**.

נבדוק מה קורה בעין כשאתם רואים את הכתוב כאן. כאשר אתם מסתכלים על נקודה מסוימת בספר, קרני אור המאירות את הנקודה מוחזרות ממנה. הקרניים המוחזרות מתפזרות, וחלקן נכנסות לעין. הן עוברות דרך הקרנית, האישון, העדשה והגוף הזגוגי - ראו אותם באיור 7.17. חלקים אלה של העין (פרט לאישון) מהווים סדרה של עדשות. קרני האור הפוגעות בהן מתרכזות בחלקו האחורי של כדור העין, שם הן פוגעות בשכבת תאי ה**רשתית**. המקום הרגיש ביותר לקרינה נמצא בדיוק באמצע הרשתית, ונקרא ה**כתם הצהוב**. אנחנו רואים בצורה הברורה ביותר עצמים שהקרניים המוחזרות מהם פגעו בכתם הצהוב.

ברשתית נמצאים שני סוגים של תאי חישה: במרכזה נמצאים בעיקר תאים הקולטים את העצמים בחדות ובצבעים. תאים אלה נקראים **מדוכים**. בהיקף הרשתית נמצאים בעיקר תאי חישה שאינם רגישים לצבע, הקולטים את העצמים בצורה מטושטשת. שמם של תאים אלה **קנים**. אפשר לחוש בקיומם של שני סוגי התאים, כאשר מסתכלים בעצם כלשהו בשתי דרכים.

שימה 1

מסתכלים ישר ומהצד

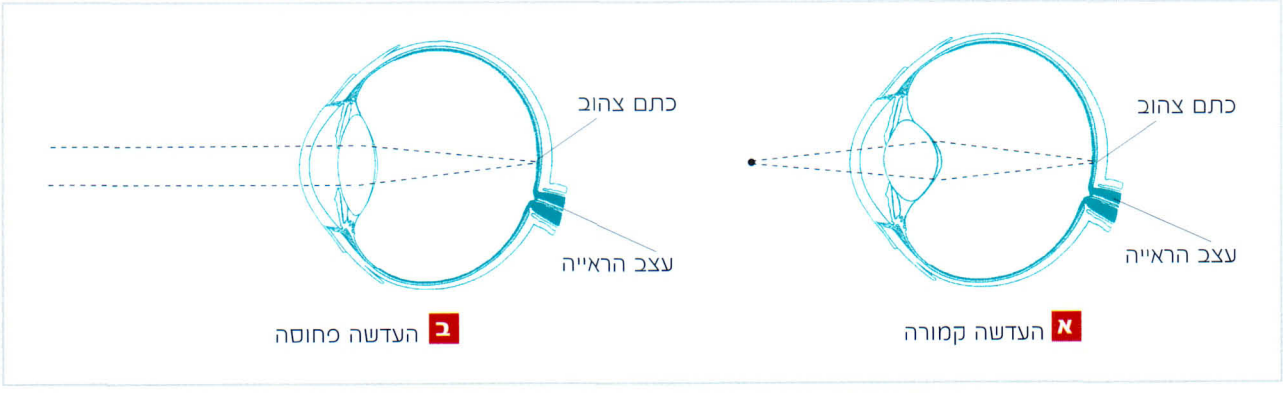
היישירו מבט לעבר חפץ מסוים, אחר כך נסו להתבונן באותו חפץ מזווית העין. ציינו לעצמכם באיזה מצב רואים את העצם בצורה ברורה יותר.

הקנים הם המאפשרים לראות באור חלש. הם רגישים יותר ומגיבים לקרינה מועטה, שעוצמתה נמוכה. המדוכים, לעומתם, מגיבים רק לקרינה רבה ובעוצמה גדולה. עובדה זו מסבירה את מה שקורה לנו כשאנו יוצאים מחדר מואר היטב ונכנסים לחדר חשוך. בזמן שהעיניים חשופות לאור חזק, הקנים מאבדים מרגישותם; לכן במעבר לחושך, הם אינם קולטים ברגע הראשון את מעט הקרינה המגיעה אליהם, ואיננו רואים דבר. אולם עם השהייה באפלולית חוזרת אליהם רגישותם, והם מתחילים להגיב לגירויי האור החלשים.
גורם נוסף המתאים את ראייתנו למידת התאורה הוא **האישון**. האישון הוא פתח בקשתית. באור חזק האישון מתכווץ ומאפשר רק לכמות קטנה של קרינה לעבור, ואילו באור חלש הוא מתרחב ומאפשר ליותר קרניים לחדור לעין.

עוד על...

איך נראה היטב בחושך - ומייד

אפשר למנוע את ה"עיוורון" הרגעי במעבר מאור לחושך בדרך פשוטה: אם אתם יודעים מראש שאתם עומדים לעבור ממקום מואר היטב למקום אפלולי, עצמו את עיניכם ל-30 שניות לפני שאתם יוצאים מהמקום המואר. בדרך זו אתם מחזירים את הרגישות לקנים לפני המעבר לחשיכה, וכך תוכלו לראות כבר מהרגע הראשון.
יכולתם של קנים להגיב לקרינה מעטה וחלשה תלויה בנוכחותו של חומר רגיש לאור, המכונה רטינול (ויטמין A), בתאי הרשתית. לשם ייצור הרטינול דרוש חומר הנמצא בריכוז גבוה בירקות ובפירות אדומים-כתומים, כגון גזר, עגבניות, פלפל אדום ודלעת. בגלל שכיחותו הגבוהה בגזר נקרא חומר זה על-שמו - קרוטן (מהמילה Carrot - גזר באנגלית).



איור 7.18

א. העדשה קמורה - מותאמת לראייה מקרוב **ב.** העדשה פחוסה - מותאמת לראייה מרחוק

רואים מקרוב, רואים מרחוק

שני ילדים משחקים במטקות על שפת-הים. המשחק מחייב אותם לראות את הכדור שהם חובטים בו מתרחק מהם למרחק רב, ולראותו כשהוא חוזר ומתקרב אליהם. איך הם מצליחים לראות את הכדור באותה מידה של חדות במשך כל הזמן?

העדשה מאפשרת למקד את הראייה בהתאם למרחק. היא מוקפת בשריר המסוגל לשנות את צורתה, לגרום לה להיות קמורה יותר או פחוסה יותר. אפשר לראות זאת באיור 7.18.

כאשר הקרניים מגיעות לעין ממרחק, הן למעשה מקבילות (7.18ב). במצב זה, השריר המקיף את העדשה רפוי. העדשה הפחוסה גורמת להטיה של הקרניים ממסלולן המקביל, כך שהן יתלכדו בדיוק בכתם הצהוב.

כאשר הקרניים מגיעות מקרוב, השריר מתכווץ ומקמר את העדשה. העדשה הקמורה יותר (7.18א) גורמת להטיה חדה יותר של הקרניים, וכך הן מתלכדות בכתם הצהוב. מבנה העדשה והשרירים המקיפים אותה מאפשרים אפוא התאמה של חדות הראייה למרחק.

תוכלו לשאול, למה בכל זאת אנשים רבים נזקקים למשקפים? התשובה טמונה במבנה העין.

קוצר ראייה ורוחק ראייה תלויים במבנה העין

אדם קצר רואי הוא אדם הרואה היטב מקרוב, ומתקשה לראות עצמים רחוקים. ההסבר לתופעה יכול להיות טמון במבנה העין כולה, או במבנה העדשה.

הקרניים המגיעות לעיניהם של אנשים קצרי ראייה נשברות בזווית גדולה מדי ומתלכדות לפני הגיען לכתם הצהוב. פעולת שריר העדשה לא מצליחה למקד את הראייה. שתי הסיבות האפשריות לכך הן:

א. העדשה קמורה מדי מלכתחילה, והתרופפות השריר לא מצליחה לגרום לעדשה להיות פחוסה ולאפשר התלכדות הקרניים בכתם הצהוב;

ב. קוטר כדור העין כולו ארוך מדי, ושינוי צורת העדשה לא מספיק כדי להרחיק את מקום התלכדות הקרניים עד לכתם הצהוב.

לקצרי ראייה מתאימים משקפיים בעלות עדשות קעורות, המרחיקות את נקודת השבירה של הקרניים עד לכתם הצהוב. המחשה של המצב תראו באיור 7.19.

איור 7.19

תיקון קוצר ראיה בעזרת משקפיים

אצל אנשים רחוקי ראיה, הרואים היטב מרחוק, אך לא רואים ברור מקרוב, המצב כמובן הפוך: עדשת העין פחוסה במידה גדולה מדי, או קוטר כדור העין כולו קצר מדי.

משימה 2

מתקנים רוחק ראייה

א. ציירו את כדור העין של אדם רחוק ראייה, על בסיס איור 7.19;

ב. כתבו מהו התיקון הנדרש כדי לשפר את ראייתו של אדם זה, והמחישו אותו בציור.

לפעמים קשה לתקן את ליקוי הראייה, משום שהצורה הגיאומטרית של העדשה אינה אליפסה מדויקת.

עוד על...

קרני לייזר בשירות הראייה

קרני לייזר הן קרניים בעלות עוצמה גדולה מאוד, וניתן למקד אותן בדייקנות של מאיות מילימטרים, ואף פחות מזה. הודות לכך אפשר להשתמש בהן לביצוע פעולות עדינות ביותר, בלי לגרום כאב למטופל.

הטיפול הראשון שנעשה במכשירי לייזר, הוא טיפול מיוחד לתיקון פגם ברשתית העין. פגם זה נגרם כתוצאה מנקב זעיר הנוצר לעתים ברשתית. נוזל מהגוף הזגוגי (ראו איור 7.17) עלול לעבור דרך הנקב, להיכנס בין הרשתית לבין הרקמות התומכות בה ולהפריד בינן לבין הרשתית. כדי למנוע את הפרדת הרשתית, הרופא מכוון קרן לייזר אל הרשתית של המטופל. הקרן כה דקה, שהיא פוגעת במספר קטן מאוד של תאים ברשתית. הרופא "יורה" מטחי קרינה קצרים מאוד - כל אחד מהם נמשך עשירית שנייה - במעגל סביב הנקב. כל "מטח" קרינה פוגע בנקודה זעירה ברשתית ומדביק אותה למקומה. במספר מטחים כאלה הרופא מדביק את הרשתית סביב מקום הנקב. הנזק הנגרם לתאי חישה ברשתית הוא מזערי, ומניעת ההפרדה של הרשתית מצילה את האדם מעיוורון.

אולם לשימוש בלייזר יש עוד היבט שכדאי להתייחס אליו. בשנים האחרונות מתרבות מאוד פרסומות הקוראות לאנשים "להשתחרר לתמיד מהמשקפיים" על-ידי תיקון פגם הראייה שלהם בקרני לייזר. כדי להקנות לעדשה את הצורה הגיאומטרית ואת מידת הקימור הנדרשות לתיקון הראייה, רופאי עיניים חותכים ומסלקים "פרוסות" דקות מאוד ממנה באמצעות קרני לייזר. מהתיאור הזה תוכלו להבין, שלא ניתן לתקן בדרך זו כל סוג של ליקוי ראייה: אם העדשה פחוסה מאוד, סילוק של שכבה דקיקה ממנה לא יעזור, אלא להיפך - יחמיר את המצב. ואכן, הרופאים המטפלים מקפידים להסביר זאת לפונים אליהם. אך חשוב לציין עוד, כי רופאי עיניים רבים סבורים, שהטיפול הזה אינו רצוי בשום מקרה. לטענתם, אין עדיין די מידע על סיבוכים עתידיים העלולים להיות כרוכים בו. ועוד: במקרים שבהם הטיפול אינו מצליח - ובכל סוג של טיפול יש שיעור מסוים של כישלונות - העין עלולה להיוותר פגועה. המסר כאן הוא פשוט: לא רצוי להתפתות לטיפול רפואי על בסיס של פרסומת, או אופנה, אלא יש לבחון את הצורך בו מנקודת מבט רפואית בלבד.

מהעין עובר המידע למוח באמצעות עצב הראייה

המידע הנקלט בתאי הרשתית מתורגם בהם לדחפים עצביים. כל האקסונים של תאי העצב שברשתית מתלכדים לאלומה גדולה ויוצרים יחד את עצב הראייה (ראו איור 7.17). באזור ההתלכדות של האקסונים לא נמצאים תאי חישה, לכן נקרא המקום הזה ברשתית **הכתם העיוור**. גירויי אור הנופלים על הכתם העיוור אינם נקלטים, ולא נוצרת מהם תמונה.

עצבי הראייה משתי העיניים מגיעים לצדו התחתון של המוח הגדול, שם הם מצטלבים, וכל אחד מהם מגיע למרכז בקרת הראייה בצד הנגדי של המוח. מה שנקלט בעין ימין מגיע אפוא לצד שמאל של המוח, ומה שנקלט בעין שמאל מגיע לצדו הימני. זכרו: אל המוח לא מגיעים מראות, אלא רק דחפים עצביים. כל מה שאנו רואים נוצר במוח, במרכז הראייה!

שאלה 8

שני ילדים מסתכלים על חולצה.
הראשון אומר: "לחולצה צבע תכלת בהיר",
ואילו השני טוען: "לא, הצבע שלה הוא טורקיז".
ראיית הצבעים של שני הילדים תקינה לגמרי. הציעו הסבר לחילוקי הדעות בין הילדים.

הרחבה

לראייה תלת-ממדית דרושות שתי עיניים

כאשר אנו מסתכלים על כוס, אנו רואים אותה כבעלת נפח, או עומק, מפני שיש לנו ראייה תלת-ממדית. היכולת שלנו לראות בשלושה ממדים נובעת מכך שלשתי העיניים שלנו יש שדות ראייה שונים מעט. כל עין רואה את הכוס מזווית אחרת, ומבחינה בפרטים שונים מעט של הכוס. מרכז הראייה במוח מצרף את המידע, המגיע משתי העיניים, ויוצר משתי התמונות השונות במעט, תמונה תלת-ממדית אחת.

הראייה התלת-ממדית חשובה ביותר להתמצאות בסביבה. היא מאפשרת לנו לאמוד מרחקים ונותנת תחושת עומק מדויקת יותר של הסביבה המקיפה אותנו. הודות לראייה תלת-ממדית, אדם יכול לראות אם הכסא בחדר עומד לפני השולחן או מאחוריו; וכאשר הוא נוסע במכונית, הוא יכול להעריך עד כמה רחוקה ממנו המכונית שנוסעת לפניו.

תשאלו, ומה קורה לאנשים שאיבדו את הראייה בעין אחת (כתוצאה ממחלה או מפציעה)? מי שנפגע כך מסוגל לראות עצמים בראייה תלת-ממדית, בעיקר הודות לניסיון העבר שלו, המאפשר לו להעריך מרחקים בין עצמים בשדה הראייה. אולם יכולת זו היא חלקית. אדם הרואה בעין אחת יתקשה בראייה תלת-ממדית, בעיקר במצבים שלא התנסה בהם בעבר, או במקומות חדשים, והוא עלול גם להיתקל בקשיי נהיגה.

האוזן וחוש השמיעה

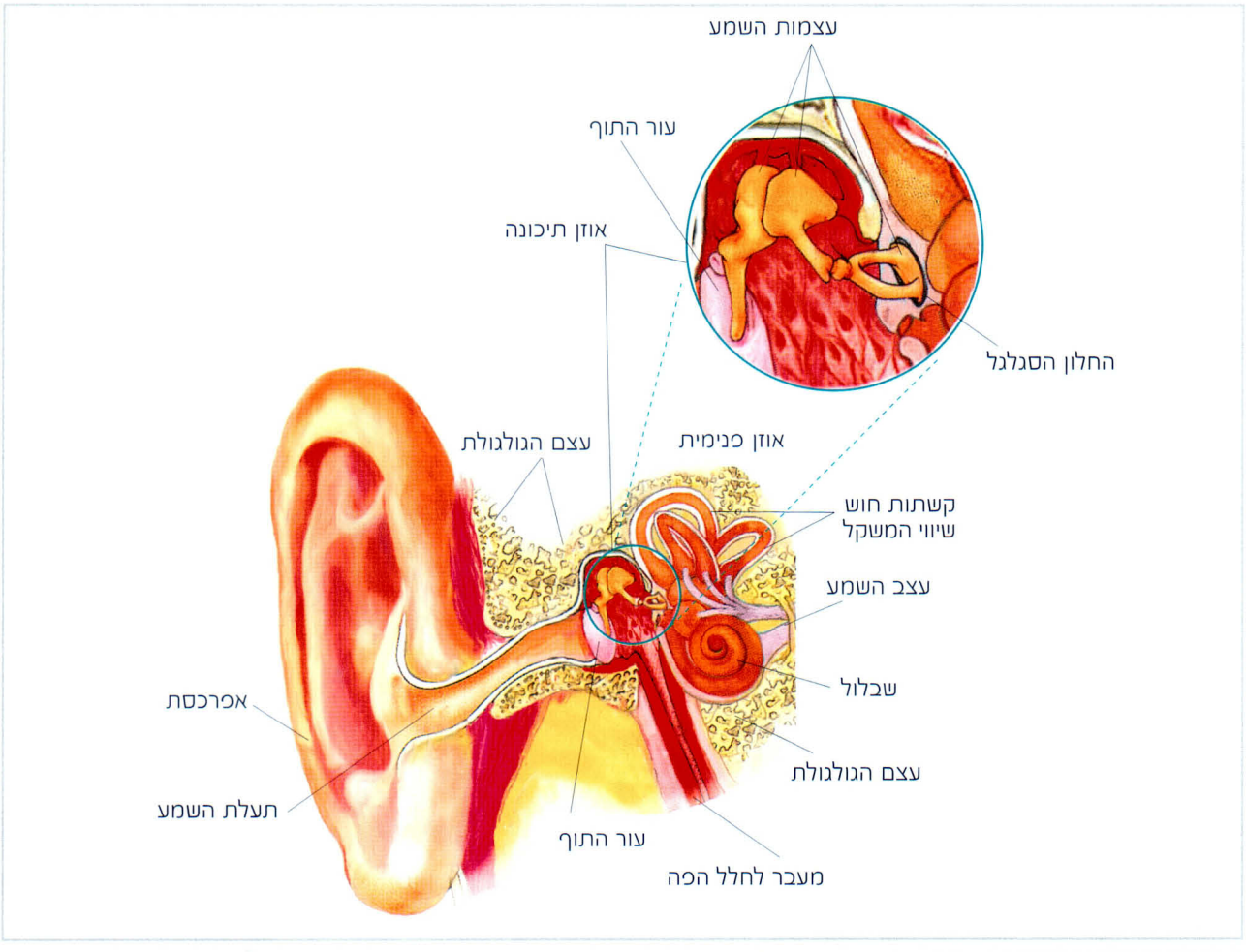
תאי חישה הרגישים לקולות וצלילים נמצאים באוזן. ראו את מבנה האוזן באיור 7.20.

האוזן בנויה משלושה חלקים: אוזן חיצונית, אוזן תיכונה ואוזן פנימית.

האוזן החיצונית מורכבת מאפרכסת ומתעלת השמע. תעלת השמע מסתיימת במחיצה קרומית דקה המכונה **עור התוף**.

האוזן התיכונה נמצאת בתוך עצם הגולגולת. היא מתחילה מעבר לעור התוף ונמצאות בה שלוש עצמות זעירות - **עצמות השמע**. הראשונה מבין העצמות נוגעת בקצה אחד שלה בעור התוף, בקצה השני היא נוגעת בעצם השנייה, וזו נוגעת בקצה העצם השלישית. העצם השלישית נוגעת בקרום דק המתוח על-פני חלון זעיר, שמאחוריו נמצאת האוזן הפנימית. לחלון יש צורת אליפסה, והוא מכונה ה**חלון הסגלגל** (המלה "סגלגל" בעברית נטבעה כתרגום לאליפטי). המגע הרצוף בין עור התוף לעצמות השמע ולחלון הסגלגל חיוני להעברת קולות, כפי שתראו בהמשך.

ב**אוזן הפנימית**, הנמצאת אף היא בתוך עצם הגולגולת, יש תעלה, שהחלון הסגלגל הוא הפתח שלה. התעלה מקופלת סביב



איור 7.20
מבנה האוזן

עצמה כשבלול, וזה המקור לשמה - **שבלול**. תעלת השבלול מלאה נוזל ובדפנותיה נמצאים תאי חישה. בתוך האוזן הפנימית נמצא גם איבר שיווי המשקל שאליו נגיע בהמשך.

נעקוב אחר תהליך קליטתו של גירוי קול. גלי הקול הם רעידות של האוויר הנקלטות באפרכסת, עוברות לאורך תעלת השמע, פוגעות בעור התוף וגורמות לו לרעוד. הרעידות של עור התוף מועברות לעצמות השמע בזו אחר זו. עצמות השמע באוזן התיכונה אינן רק אמצעי להעברה של רעידות, הן גם מגבירות אותן, שכן מעבר של רעידות בתווך מוצק הוא מהיר יותר מאשר באוויר, ועוצמת הרעידות אף היא גדולה יותר. זהו ההסבר לכך, שניתן לשמוע את רעשה של רכבת מתקרבת, כאשר מניחים את האוזן על מסילת הברזל, זמן רב לפני שרעש הרכבת נשמע באוויר.

העצמות מעבירות אפוא את הרעידות לקרום שעל החלון הסגלגל. הקרום יוצר תנודות בנוזל הנמצא בתעלת השבלול. תאי החישה בדפנות התעלה רגישים לתנודות הנוזל. מתברר אפוא, כי מה שנקלט באוזנינו הן רעידות של אוויר, שהומרו בתנודות של מוצק, ואחר כך בתנודות של נוזל, ואלה מגרות את תאי החישה באוזניים.

תאי החישה ממירים את תנודות הנוזל בדחפים עצביים, ואלה עוברים בעצבי השמע - מהאוזניים למרכז השמיעה במוח. בסעיף 7.2 הסברנו, כי המוח מזהה מידע המגיע אליו בראש וראשונה על-פי המקום שהמידע יצא ממנו (״כתובת השולח״, ראו עמ׳ 134). בשבלול יש אזור של תאי חישה הרגישים רק לתנודות שמייצרים טונים נמוכים מאוד (״בסים״), אזור אחר של תאים הרגישים רק לטונים בגובהי ביניים, ואזור שתאי החישה בו רגישים לטונים גבוהים מאוד. המרכז במוח מזהה מאיזה אזור בשבלול מגיעה כל קבוצת דחפים עצביים. גובה הטון, כפי שאנו שומעים אותו בסופו של דבר, נקבע במרכז השמיעה במוח, בהתאם לאזורים בשבלול שמהם הגיעו אליו הדחפים.

כישורי השמיעה שלנו ומה עלול לפגוע בהם

בפרק 3, כשלמדתם על המבנה של מערכת חילופי הגזים, הכרתם את מיתרי הקול. למדתם כיצד אדם מפיק צלילים, וכיצד משפיעה תדירות הרעידות של מיתרי הקול על גובה הצלילים. ראיתם, כי ככל שתדירות הרעידות גבוהה יותר, נשמע צליל גבוה יותר; וכי עוצמת הצלילים תלויה בעוצמת הרעידות. עתה תלמדו איך אנו שומעים צלילים.

תדירות של צליל מוגדרת כמספר הרעידות (של האוויר, המוצק או הנוזל בו עוברות הרעידות) בשנייה, והיא נמדדת ביחידות של הרץ. אדם ששמיעתו תקינה יכול לשמוע קולות בטווח תדירויות מ-20 הרץ (צלילים נמוכים מאוד) ועד 20,000 הרץ (הצלילים הגבוהים ביותר שהאוזן קולטת). בעלי-חיים, כגון כלבים וחתולים, מסוגלים לשמוע צלילים בתדירויות גבוהות יותר בעשרות אלפי הרץ; ועטלפים מסוגלים לקלוט תדירויות של מאה אלף הרץ.

בתוך טווח התדירויות שבני-אדם שומעים, אדם ממוצע מסוגל להבחין בין כ-2000 צלילים שונים. בעניין זה יש הבדלים ניכרים בין אנשים שונים, המתבטאים בהבדלים במה שמכונה ״שמיעה מוזיקלית״. מוזיקאים מקצועיים מסוגלים להבחין במספר גדול יותר של צלילים שונים.

ומה עלול לפגוע בכישורי השמיעה שלנו?
ראשית, צריך לתת את הדעת לעוצמות הצלילים שהאוזניים שלנו מסוגלות לקלוט. יחידת המידה לעוצמה של צליל נקראת "דֶציבֶל". הצליל החלש ביותר, הנקלט באוזנו של אדם ממוצע, מוגדר כסף השמיעה, ועוצמתו אפס דציבל. סולם העוצמות שאנו רגישים לו מתואר באיור 7.21.

באיור רואים, כי רעש שעוצמתו 120 דציבל מוגדר כסף הכאב. רעשים העולים בעוצמתם על 120 דציבל, גורמים להפרעות שונות וביניהן: כאבי ראש, הפרעות ריכוז ואף חירשות.
כיצד רעש יכול לגרום לחירשות? רעשים חזקים מחוללים רעידות חזקות. הרעידות המגיעות לאוזן הפנימית, יוצרות תנודות חזקות במיוחד של הנוזל בשבלול, ותנודות הנוזל האלה מכות כגלים בתאי החישה שבדפנות התעלה. כאשר תנודות חזקות כאלה חוזרות ונשנות, הן הורסות את התאים הרגישים לתדירות של אותן תנודות. מי שמאבד תאים הרגישים לצלילים מסוימים, נעשה חירש לאותם צלילים לצמיתות.
חירשות כזו פוגעת, למשל, באנשים המרבים להאזין למוזיקה בעוצמות גבוהות דרך אוזניות, או במקומות קטנים וסגורים. ואכן, זמרי פופ לא מעטים חירשים לצלילים מסוימים.

עוד על...

הפרעות בשמיעה ומצבי חירשות
צורות נוספות של הפרעות בשמיעה ושל חירשות, שאינן קשורות בהכרח לעוצמת הצלילים הן: הפרעות שמיעה באוזן החיצונית, חירשות באוזן התיכונה וחירשות באוזן הפנימית.

הפרעות שמיעה באוזן החיצונית
נגרמות מסיבות שונות. סיבה אחת היא הצטברות של שעווה בתעלת השמע. זוהי הפרעה זמנית, שקל יחסית לתקנה. בדרך-כלל, הרופא יכול לסלק את פקק השעווה על-ידי החדרת סילון של מי שטיפה לאוזן. סיבה נוספת היא "בום" פתאומי של רעש חזק מאוד, שיכול לגרום לניקוב עור התוף, דבר המוביל לחירשות חלקית או מלאה. גם כאן החירשות חולפת, בדרך-כלל, לאחר זמן מה, הודות ליכולת ההתחדשות של עור התוף.

חירשות באוזן התיכונה יכולה להיות בעייתית יותר. גורם אחד לחירשות מסוג זה עשוי להיות צמיחת יתר של רקמת העצם סביב העצם השלישית מבין עצמות השמע. עצם השמע כאילו "נתקעת" ולא מסוגלת להעביר את הרעידות לחלון הסגלגל, וממנו - לאוזן הפנימית. במצבים אלה נדרש, בדרך-כלל, ניתוח. לעתים נגרמת חירשות כתוצאה מדלקות אוזניים מרובות. דלקות חוזרות ונשנות גורמות להצטברות נוזלים באוזן התיכונה, המפריעים לתנועת עצמות השמע ולמעבר הרעידות. במרבית המקרים אפשר לתקן את ההפרעה על-ידי ניקוז הנוזלים מהאוזן באמצעים שונים.

חירשות באוזן הפנימית נגרמת, כאמור, מהרס של תאי חישה על-ידי רעשים, בצורה שתיארנו לעיל. אך גם פגעי הזמן עשויים לגרום לחירשות באוזן הפנימית. כך, אנשים קשישים עלולים לפתח חירשות חלקית, כנראה בגלל ירידה ברגישות של תאי החישה שלהם, וכן בשל תמותה של תאים אלה.

נמוך/שקט
(0-50)

רגיל
(50-60)

גבוה
(60-80)

גבוה מאוד
(80-120)

סף הכאב
(120-150)

גורם נזק
(מעל 150)

איור 7.21
עוצמות של צלילים בדציבלים ורגישותנו להם

דייר משנה באוזן הפנימית - חוש שיווי המשקל

גם כשאתם עוצמים עיניים, אתם יודעים אם אתם יושבים, שוכבים או עומדים. אם יובילו אתכם בעיניים עצומות למדרון תלול, תרגישו שגופכם נוטה באלכסון. איך אנחנו יודעים באיזה מצב נמצא גופנו ביחס למרחב?

באיור 7.20 אפשר לראות, כי באוזן הפנימית, נוסף לשבלול, נמצא מבנה של שלוש קשתות ניצבות זו לזו. כל קשת נמצאת במישור אחר במרחב. המשימה שלפניכם תאפשר לכם להבין את סידורן של הקשתות באוזן הפנימית.

משימה 3

שלוש קשתות במרחב

קחו שלושה דפים. ציירו על כל דף קשת גדולה, כך שתתפוס את כל הדף. גזרו את הקשתות מתוך הדפים, והניחו קשת אחת על השולחן. החזיקו קשת נוספת בדיוק בניצב לזו שעל השולחן, ואת השלישית החזיקו במאונך לשתי הקשתות האחרות. בדרך זו אתם מחקים את המיקום של שלוש הקשתות בתוך האוזן הפנימית, בתוך הראש.

הקשתות מסתעפות מתוך תעלת השבלול, וגם הן, כמוה, מלאות נוזל. בדפנותיה של כל קשת נמצאים תאים הרגישים לתנועת הנוזל באחד משלושת המישורים במרחב. כך, למשל, כאשר אדם נד בראשו מעלה-מטה בתנועת הנהון, תנודת ראשו נקלטת על-ידי התאים באחת מהקשתות. תנועה של הראש בקו ישר מימין לשמאל (בתנועת שלילה) נקלטת על-ידי התאים בקשת אחרת, ותנועה של הראש בזווית - למשל, כשמפנים את הראש באלכסון כדי להסתכל הצדה ולמעלה - נקלטת על-ידי תאי החישה בקשת השלישית. כמובן, רוב הזמן אנו עושים תנועות מורכבות, ואיברי גופנו נעים ברציפות בשלושת המישורים של המרחב. המרכז של בקרת שיווי המשקל, הנמצא במוח הקטן, קולט כל הזמן דחפים, המגיעים מהתאים בכל הקשתות. הוא מצרף ומעבד אותם ומזהה בכל רגע את תנועת הגוף, וכן את מצבו הכללי של הגוף - האם הוא יושב, עומד, שוכב, או נוטה באלכסון בכיוון כלשהו.

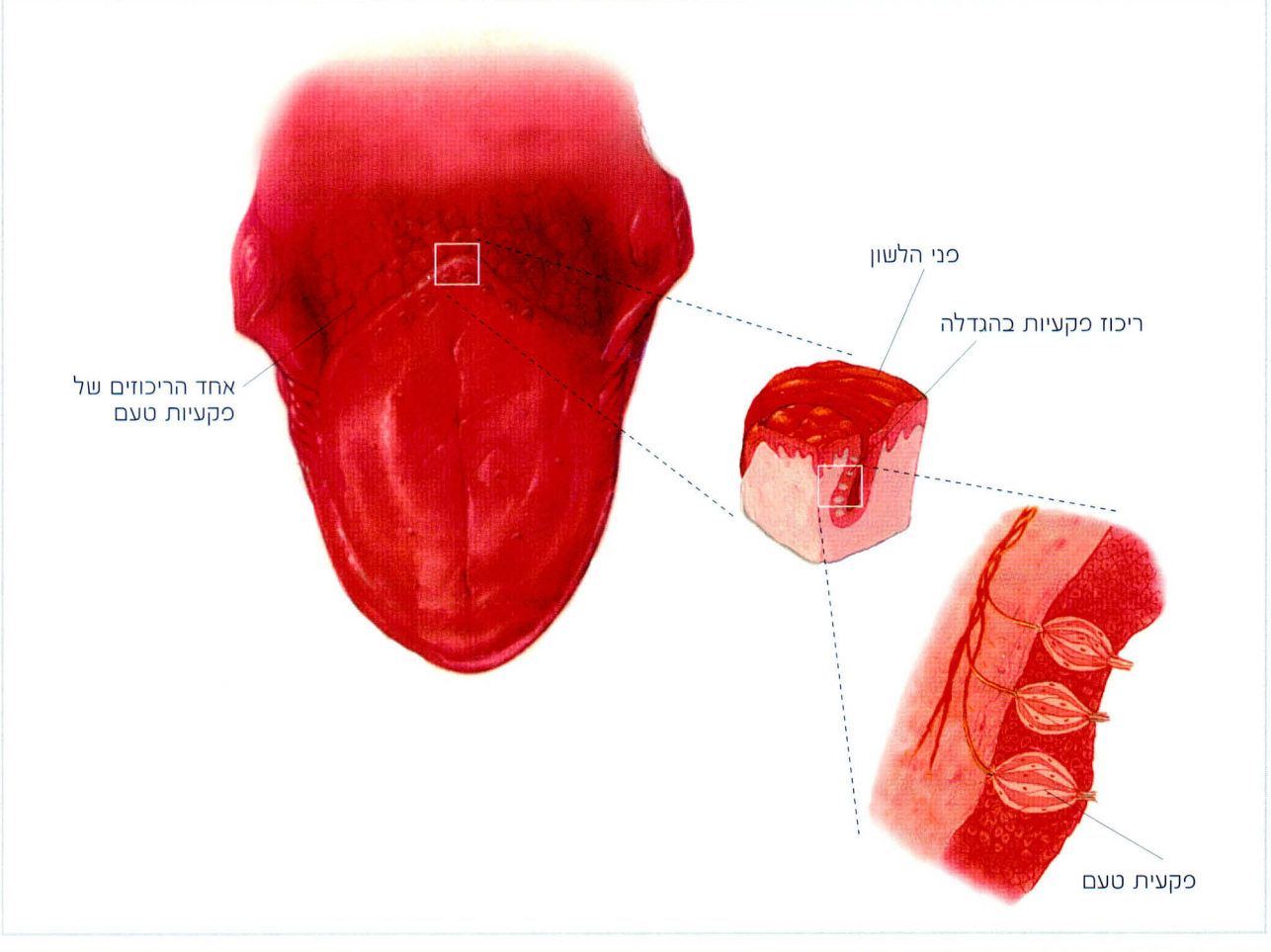
חוש שיווי המשקל מאפשר אפוא לאדם לחוש את מצבם של איברי גופו ביחס לסביבה.

שאלה 9

ההתמצאות שלנו במרחב אינה תלויה רק בפעולת חוש שיווי המשקל. איזה חוש נוסף עוזר לנו למקם את עצמנו במרחב? הסבירו.

חושי הטעם והריח מופעלים על-ידי חומרים

הגירוי של חוש הראייה הוא קרינת אור. חוש השמיעה מגורה על-ידי כוח מכני - תנודות של נוזל, וכך גם חוש שיווי המשקל. עתה נכיר שני חושים שהגירויים המפעילים אותם הם חומרים, ולכן הם נקראים גם חושים כימיים: חוש הטעם וחוש הריח. באיור 7.22 רואים את מיקומם של תאי חוש הטעם בלשון.



איור 7.22
הלשון ופקעיות הטעם

הבליטות הקטנטנות על הלשון, הנקראות **פקעיות טעם**, מכילות ריכוזים של תאי חישה. פירורי אוכל הנמצאים בפה מומסים ברוק, וכך מגיעים חומרים הנמצאים במזון לפקעיות הטעם. מולקולות של חומרי המזון נקשרות בתוך הפקעיות על-ידי קולטנים הנמצאים בקרומים של תאי החישה.

הדרך הטובה ביותר להכיר את חוש הטעם היא באמצעות ניסוי פשוט שאפשר לעשות בבית.

מ שימה 4

מכירים את חוש הטעם

באיור 7.23 מופיע שרטוט של הלשון וארבעה אזורים המסומנים במספרים 1-4.

הכינו ארבע תמיסות בארבע כוסות:

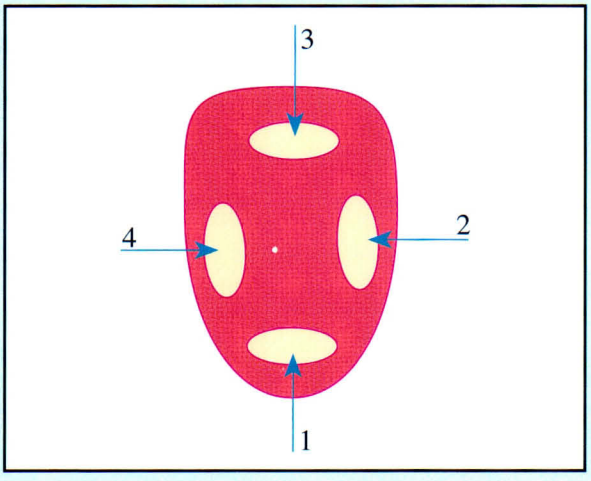
תמיסה מתוקה - כפית שטוחה של סוכר ברבע כוס מים;

תמיסה מלוחה - כפית שטוחה של מלח ברבע כוס מים;

תמיסה חמוצה - כפית של מיץ לימון טבעי, או של חומץ, בלא כל תוספת;

תמיסה מרה - רסק של חרצני פרי כלשהו (תפוח, תפוז, קלמנטינה וכדומה), שמעכתם היטב בכלי כבד (כגון פטיש שניצלים), מעורב בכף מים.

הכינו ארבעה קסמי שיניים נקיים. שרטטו טבלה לפי הדוגמה שבהמשך.



איור 7.23
אזורי הטעם בלשון

א. קחו קיסם אחד, טבלו אותו בתמיסה המתוקה, הוציאו את הלשון והניחו טיפה על אזור 1 בלשון.
סמנו בטבלה סימן + אם הרגשתם בטעם, וסימן - אם לא הרגשתם.

ב. באותו קיסם, הניחו טיפה מהתמיסה המתוקה על אזור 2 בלשון.

ג. חזרו על אותה בדיקה של התמיסה המתוקה באזורים 3 ו-4 בלשון. סמנו את התוצאות של כל בדיקה בטבלה.

ד. לאחר שסיימתם לבדוק את רגישות הלשון לתמיסה המתוקה, שטפו את הפה במים, קחו קיסם נקי ובצעו בדיקה זהה לתמיסה המלוחה: בכל פעם עליכם להניח טיפה אחת על אזור אחד בלשון, ולציין בטבלה האם חשתם בטעם.

ה. המשיכו ובדקו באותו אופן את רגישות הלשון לטעם המלוח ולטעם המר. זכרו לשטוף את הפה לאחר כל טעם.

התבוננו בטבלה שמילאתם, ובדקו האם כל אזור מארבעת האזורים שעל לשונכם חש בעיקר בטעם אחד.

אזור הלשון / טעם	מתוק	מלוח	חמוץ	מר
1				
2				
3				
4				

באזורים 1-4 בלשון נמצאים ריכוזים גדולים של פקעיות טעם, אך כפי שמצאתם בניסוי, בכל אזור מרוכזות פקעיות הרגישות לטעם יסודי אחד: מתוק, מלוח, חמוץ, מר. כל הטעמים האחרים נוצרים משילובים שונים של טעמי יסוד אלה. תחושת הטעם תלויה, במקרים רבים, גם בגירוי של חוש הריח, הנמצא באף. תוכלו להיווכח בכך, אם תסתמו את אפכם בשעה שאתם טועמים מאכל מתובל בתבלין כלשהו, או שותים תה מחליטת הצמחים החביבה עליכם. ומהו "טעם חריף?" "חריפות" אינה טעם, אלא תחושה של צריבה, הנוצרת מנוכחות חומצות מסוימות במאכל החריף. עוצמת החריפות נקבעת על-ידי ריכוז החומצות וטיבן, וכמובן, גם על-פי רגישותו של האדם האוכל.

ע וד על...

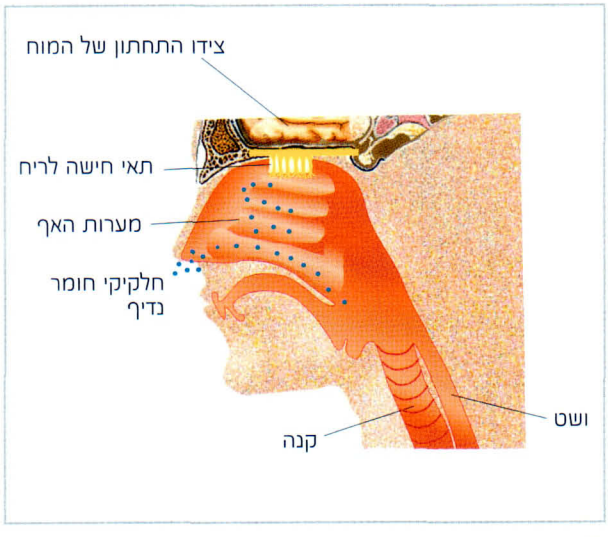
חריפות-יתר מקהה את חוש הטעם

החומצות היוצרות את תחושת החריפות עלולות לפגוע בחוש הטעם. יש ביניהן כאלה ההורסות חלק מפקעיות הטעם, ואנשים האוכלים מאכלים חריפים מאוד לאורך זמן רב, מאבדים את רגישותם לטעמים מגוונים. מכאן ניתן להבין מדוע המאכלים החריפים ביותר שכיחים בעיקר בארצות העניות ביותר בעולם: ארצות אפריקה, הודו, מכסיקו וארצות בדרום-אמריקה. בארצות אלה נאלצה רוב האוכלוסייה במשך דורות - ובחלק מהם עדיין נאלצת - להסתפק באוכל דל, חדגוני, או נחות מבחינה היגיינית. התיבול החריף מסייע לגוון את טעמו של האוכל החדגוני ולהסתיר ריחות לא נעימים, העולים ממזון מזוהם. במקרים רבים, מאכלים הנחשבים בעיני התייר אקזוטיים ומגוונים, אינם אלא תולדה של הכרח קיומי עבור בני המקום.

החוש הכימי השני הוא **חוש הריח**, הממוקם באף. הכרתם את מבנה האף בעת שלמדתם על מערכת חילופי הגזים בפרק 3. מבנה פנים האף ומיקומם של תאי חוש הריח באף מופיעים באיור 7.24.

בין תאי האפיתל של רקמת הרירית, המרפדת את חללו הפנימי של האף, נמצאים תאים הרגישים לנוכחות מולקולות של חומרים המתנדפים באוויר ומגיעים לאף. המולקולות האלה נקשרות לקולטנים, הנמצאים בקרומים של תאי החישה, ומגרות אותם. תאי החישה מעבירים דחפים עצביים למרכז הריח הנמצא במוח הביניים.

למרות אהבתם של רבים מאתנו לבשמים, ולמרות השימוש המרובה במוצרי קוסמטיקה ריחניים, האמת היא שחוש הריח של האדם חלש מאוד בהשוואה לחוש הריח של כל שאר עולם החי. כלב יכול להריח ריחות חלשים פי מיליון מאלה שהאדם חש בהם. למעשה, חוש הריח כמעט שאינו משמש אותנו לצורך הישרדות בסביבת חיינו (להוציא את האפשרות להריח ריחות של שריפה, גז דולף, או פח אשפה העולה על גדותיו).



איור 7.24
מיקומם של תאי חוש הריח בתקרת מערות האף

חוש המישוש מאפשר מגע ישיר עם העולם

אחרון חביב בין החושים הוא חוש המישוש שלנו, אשר בשונה מן האחרים אינו ממוקם באיבר יחיד. תאי חישה רגישים למגע נמצאים בריכוזים שונים על פני העור המכסה את גופנו, ובריכוזים גדולים במיוחד בקצה הלשון, בשפתיים ובקצות אצבעות הידיים. השפתיים הן האזור הרגיש ביותר למגע, ומשטח שאצבעותינו מדווחות עליו שהוא חלק, עשוי להתגלות במגע שפתיים כמחוספס קלות. חוש המישוש אחראי לכך שאנו חשים את סביבתנו החומרית באופן מתמיד, כמעט בלי מודעות לכך. תחושת הדריכה של כפות הרגליים, מגע הישבן על הכיסא, או מגע הגוף כולו על המיטה, תורמים לתפישת המרחב שלנו, ובכך משלימים, למעשה, את המידע המגיע מחוש שיווי המשקל ומחוש הראייה.

כאשר אדם נמצא בחללית המרחפת בחלל לא פועל עליו כוח המשיכה של כדור הארץ וחוש המישוש הוא התורם לתחושת מיקומו במרחב. אם האדם יעצום את עיניו בעת שהוא מרחף בתוך החללית, הוא לא יוכל לדעת אם גופו מאוזן או מאונך לרצפת החללית; אך אם הוא יגע בכף ידו בעצם כלשהו, חוש המישוש ידווח לו על מיקומו בחללית.

הרחבה

חושים שאין לאדם, ויש לבעלי-חיים אחרים

ישנם גירויים שונים שאיננו יכולים לקלוט, משום שחסרים לנו תאי חישה לקליטתם. אך בעלי-חיים אחרים החיים בסביבתנו מצוידים בתאי חישה או באיברי חישה הקולטים גירויים אלה, ואפילו היטב.

שדה מגנטי: דגים ועופות רגישים לכוח המגנטי שיוצר השדה המגנטי של כדור הארץ וחשים בנוכחותו. מידע זה מסייע ללהקות עופות וללהקות דגים לנווט בעת נדודיהם למרחקים עצומים באוויר או בים.

קרינת חום: אמנם יש לנו תאי חישה לחום, אך הם קולטים את הגירוי רק במגע ישיר עם גוף חם, לרבות מגע עם גוש אוויר חם (למשל, סביב מדורה). יתושות, לעומת זאת, מצוידות בתאי חישה הרגישים לקרינת חום במידה שלא נוכל לדמיין. הן חשות ממרחק של קילומטר בהבדלי הטמפרטורה בין קיר של בית לבין האוויר סביבו, וכך הן מוצאות את דרכן לחלון חדר השינה שלנו.

קרינה על-סגולה (אולטרה-סגולה): בעוד שברשתית עינו של האדם אין תאים המסוגלים לקלוט קרינה בעלת אורך גל קצר מאוד - אור על-סגול - דבורים וחרקים אחרים קולטים אותו בעיניהם. רגישות זו של עיניהם מסייעת להם לאתר צוף של פרחים.

תנודות של נוזל: חוש שיווי המשקל שלנו הוא שריד זעיר מחוש מדהים שיש לדגים. דגים חשים בכל גופם ובדיוק מפליא את תנודות המים סביבם. על-פי התנודות הם יודעים את הגודל, הצורה והמרחק של עצמים: אבן על קרקעית הים, דג, או יצור אחר, הנמצאים בסביבה.

ועכשיו חשבו: האם נראה לכם, כי האדם לוקה בחסר משום שאין לו חושים לקליטתם של גירויים אלה? האם הייתם רוצים לחוש בקווי הכוח המגנטיים של כדור הארץ כמו הדגים והעופות, למשל? כל אחד ישיב על שאלה זו כפי הבנתו. אך תנו דעתכם גם לכך: האדם אמנם לא ניחן ביכולת לקלוט את כל הגירויים הללו באופן ישיר, אך הוא ניחן ביכולת לפתח טכנולוגיות שיאפשרו את קליטתם. כך, פיתח האדם מכשירים לקליטת רדיו, לקליטת קרינה על-סגולה, למדידת טמפרטורות ולקליטת קווי הכוח המגנטי של כדור הארץ. הודות לטכנולוגיה, המרחיבה מאוד את הקליטה החושית, איננו מחמיצים את המידע שבעלי-חיים אחרים קולטים באמצעות חושיהם.

7.6 סיכום

מערכת העצבים היא מרכז הפיקוח הראשי ומרכז הבקרה על כל המתרחש בגוף. תאי עצב הם תאים שהמבנה שלהם מותאם להעברה מהירה מאוד של מידע. תאים הקשורים למערכת קולטים גירויים - מידע - מהסביבה החיצונית ומהסביבה הפנימית. קליטה של גירוי בתא עצב מעוררת דחף עצבי בתא. התקשורת בין תאי עצב לתאי עצב אחרים, לתאי שריר, או לתאי בלוטות נעשית בעיקר באמצעים כימיים, דרך סינפסות. התקשורת בסינפסות חשופה להשפעות של חומרים המסוגלים לחבל במעבר המידע במערכת העצבים.

כל המידע מגיע למערכת העצבים המרכזית. המערכת המרכזית מורכבת ממוח הגולגולת ומוח השדרה. מרכזים שונים במוח קולטים את המידע, המגיע מתאי עצב בכל הגוף, מעבדים אותו, ומוציאים הוראות לתגובה, לפי הצורך. בגולגולת נמצא המוח הגדול, האחראי לכל הפעולות הקשורות, בצורה זו או אחרת, בהכרה שלנו.

תת-המערכת האוטונומית של מערכת העצבים אחראית על כל הפעולות הלא-רצוניות, הכרוכות בהפעלת כל מערכות הגוף. מרכז הבקרה העליון של תת-מערכת זו הוא ההיפותלמוס. פעולותיו קשורות בשמירה על ההומאוסטאזיס בגופנו.

איברי חוש וריכוזים של תאי חישה מותאמים לקליטה יעילה של כמה סוגי גירויים מהסביבה החיצונית. כל חוש מגיב לסוג מסוים של גירויים - קרינת אור, לחץ מכני, נוכחות של חומרים מסוימים, תחושת מגע - ותאי החישה מעבירים מידע על הגירוי המגיע אל המרכז המתאים במוח. אף שכל איבר חוש, או ריכוז של תאי חישה, קולט גירויים מסוג אחד המיוחד לו, כל תאי החישה של כל החושים מעבירים את המידע על הגירויים באותו אופן: על-ידי שליחת דחפים עצביים למרכזים השונים במוח. התרגום והעיבוד של הדחפים העצביים המגיעים מתאי החישה, נעשים במרכזים אלה, ורק שם - כלומר, רק במוח - נוצרות התחושות השונות המגיעות לתודעתנו.

לעובדה זו יש חשיבות מכרעת בכל הנוגע לדרך שאנו חווים בה את העולם סביבנו. מרכזי הבקרה השונים במוח מקושרים ביניהם ברשת מסובכת של קשרים שמספרם עצום. לכן, התחושה שאנו חשים בעקבות קליטת גירוי מושפעת תמיד גם ממידע אחר, הנמצא במקומות אחרים במוח. זו הסיבה לכך, ששני אנשים לעולם לא יראו אותו מראה בדיוק, לא ישמעו אותם צלילים באופן זהה לחלוטין, לא יחושו באופן זהה את טעם המאכל שיאכלו במשותף. יש אמנם הרבה מן המשותף בדרך שאנו כולנו קולטים גירויים מהסביבה: די כדי לאפשר לנו לקיים תקשורת, לפעול במשותף במסגרת החברה ולהבין איש את רעהו במידה סבירה. אך בסופו של דבר, תחושת המציאות המלאה, על כל פרטיה, היא חוויה אישית של כל אדם, שקשה מאוד, ולעתים אף בלתי אפשרי, לשתף בה אחרים.

שאלות סיכום וחזרה

1. כל תא עצב בנוי מדנדריטים, גוף תא ואקסון. מהו תפקידו של כל אחד ממרכיבים אלו?
2. סדרו את סוגי התאים הבאים לפי סדר פעילותם במסלול מגירוי עד תגובה: נוירון מוטורי, נוירון תחושתי, תא חישה, נוירון מקשר, תא שריר.
3. לפניכם מסלול של מעבר מידע עצבי דרך שני תאי עצב, רשמו באילו קטעים המידע עובר בדחפים עצביים ובאילו קטעים באותות כימיים: דנדריט של תא א - ← גוף תא של תא א - ← אקסון של תא א - ← דנדריט של תא ב - ← גוף תא של תא ב - ← אקסון של תא ב.
4. הסבירו כיצד מתנהלת התקשורת הכימית בין תאי העצב, השתמשו במושגים: אקסון, דנדריט, סינפסה, מרווח סינפטי, נוירוטרנסמיטר, קולטנים.
5. איזו השפעה תהיה לסם שגורם לעלייה בריכוז נוירוטרנסמיטר במרווח הסינפטי, מבלי לפגוע בקולטנים בתא הקולט?
6. איזו השפעה תהיה לסם שחוסם את הקולטנים שאמורים לקלוט את הנוירוטרנסמיטר בתא הקולט שאחרי הסינפסה?
7. תארו את הקשר בין כמות האלכוהול שאדם שותה לבין עוצמת ההשפעה שלו.
8. מה ההבדל בין קשת רפלקס שבה יש קשר למוח הגדול לבין קשת רפלקס שבה קשר כזה אינו קיים?
9. כיצד משפיעה פעולתה של החטיבה הסימפטית של המערכת האוטונומית על הערכות הגוף למצב של חירום?
10. כיצד פועלים שרירי עדשת העין להתאמת חדות הראיה למרחקים שונים?
11. אילו שיבושים במבנה העין גורמים לקושי במיקוד הראיה מרחוק או מקרוב?
12. תארו את מעבר הגרויים של קולות מהאויר שבסביבת האוזן ועד למרכז השמיעה באוזן. ציינו באיזו צורה מועבר המידע בכל שלב.
13. אם אוכלים מזון יבש ולא לועסים אותו לא מרגישים בטעמו. הסבירו.
14. במה שונה אופיו של המידע הנקלט על ידי תאי החישה של חוש הטעם מהמידע הנקלט על ידי תאי החישה של חוש הריח?

מערכות ההגנה של הגוף

8. מערכות ההגנה והחיסון של הגוף

מערכות ההגנה של הגוף

מבוא ליחידה

אנו חיים בסביבה המאוכלסת בצפיפות ביצורים מיקרוסקופיים מאלפי סוגים. מכל צד מקיפים אותנו חיידקים, נגיפים, פטריות מיקרוסקופיות ויצורים חד-תאיים שונים, הנמצאים במספרים עצומים באוויר, במים, על האדמה ובתוכה, על כל דבר מזון, על הבגדים ואף על עורנו ובאותם אזורים שבתוך גופנו המהווים המשך של הסביבה החיצונית.

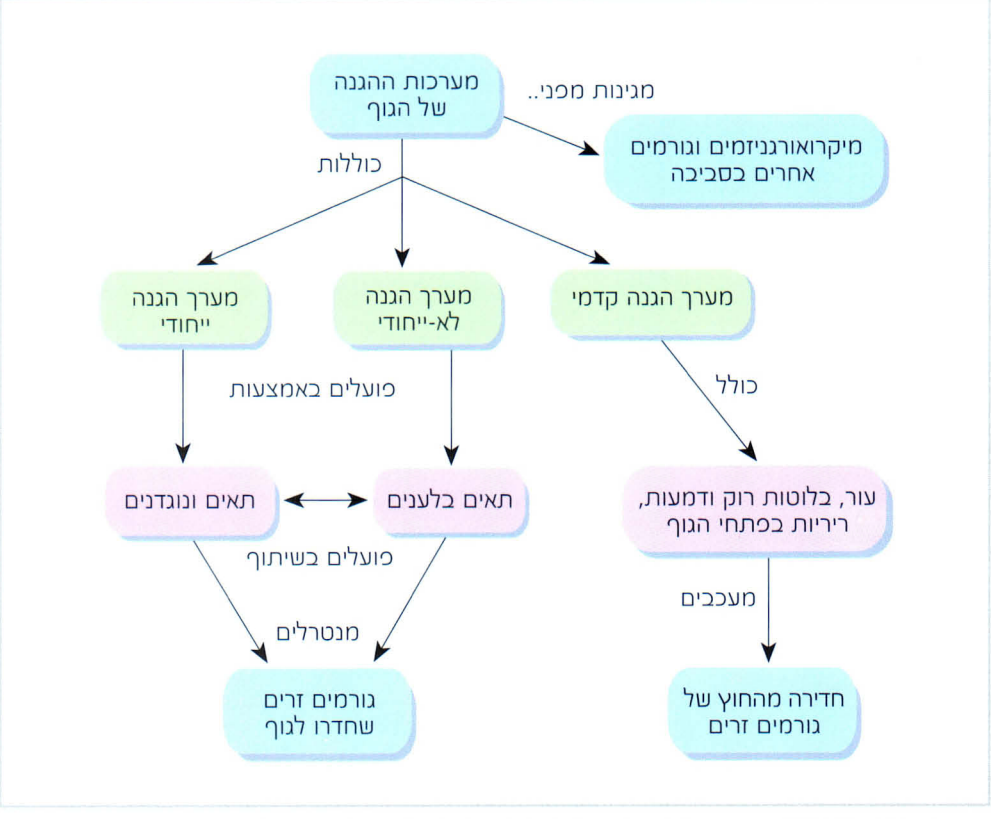
חומרי מזון נכנסים למערכת העיכול, ואוויר נכנס ברציפות למערכת הנשימה. המגע הרצוף הזה עם הסביבה, הכרוך בכניסה בלתי פוסקת של חומרים ושל יצורים לגוף, יכול להיות גם מקור לבעיות.

רוב הזמן איננו מודעים לכך שכל מה שמסביבנו, כל דבר שאנו נוגעים בו, שוקק חיים, גם אם זעירים ובלתי נראים לעינינו; ואם אנו מתקשים להבין זאת היום, כאשר הדברים ידועים היטב, על אחת כמה וכמה היה קשה להבין זאת בעבר, בתקופה שבה התגלתה לראשונה תפוצתם הנרחבת של המיקרואורגניזמים. רק לקראת סוף המאה ה-19 הצליחו שני מדענים דגולים, **לואי פסטר** (L. Pasteur) הצרפתי ו**רוברט קוך** (R. Koch) הגרמני, להראות בצורה שלא הותירה מקום לספק, כי החיידקים נמצאים בכל מקום, וכי המחלות שגרמו לתמותה הגדולה ביותר של בני-אדם ובעלי-חיים מאז ומתמיד, נגרמו בראש וראשונה על-ידי חיידקים. רק באמצע המאה ה-20, מעת שהחל השימוש הנרחב באנטיביוטיקה, התמעטה סכנתן של מחלות אלה. באותה תקופה גם התברר מקומם של הנגיפים כמחוללי מחלות.

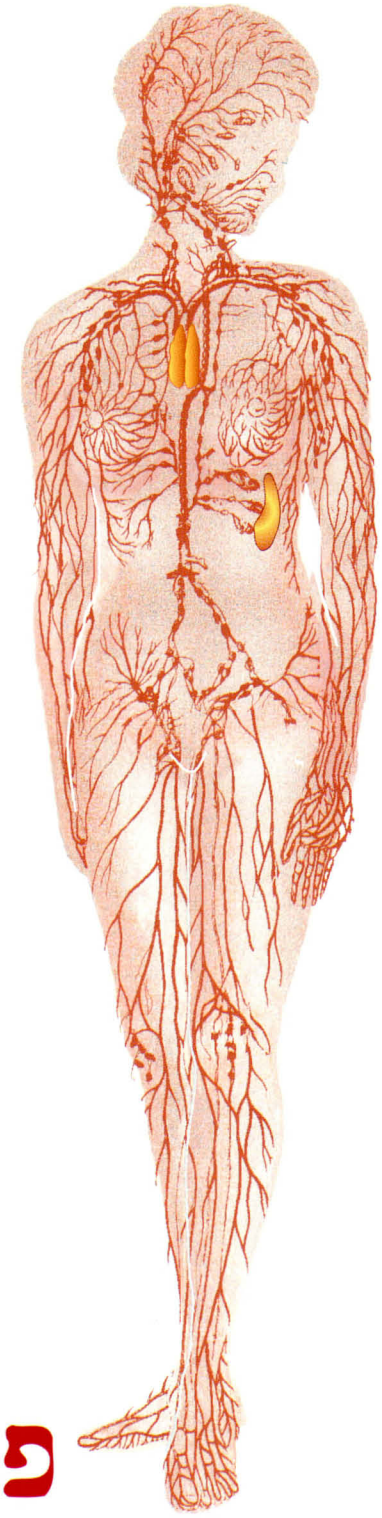
אף על פי שה**מיקרואורגניזמים** ממלאים אפוא את סביבתנו ומקצתם יכולים לגרום למחלה, רוב הזמן רובנו בריאים. כיצד נסביר זאת?

כל יצור חי - בין אם הוא חד-תאי, צמח או בעל-חיים - מצויד באמצעי התגוננות מפני פגיעה אפשרית של מזיקים המגיעים אל גופו. אילו לא היו היצורים מצוידים באמצעים כאלה, לא היו יכולים לחיות. במהלך האבולוציה הגיעו אמצעי התגוננות אלה לשכלול המרבי בגופם של עופות ויונקים. ביחידה זו נכיר את האמצעים השונים הפועלים בגוף האדם ומגינים עליו מפגיעתם של גורמים זרים העלולים לסכן אותו. למרות אמצעי ההתגוננות כל אחד מאתנו חולה לעתים. המחלה היא למעשה, סטייה מה**הומאוסטאזיס** והחלמה ממנה היא חזרה למצב התקין.

היחידה כוללת פרק אחד, פרק 8, שנושאו - מערכות ההגנה והחיסון של הגוף.



יחידה ב:
מערכות ההגנה של הגוף



פרק ט

מערכות ההגנה והחיסון של הגוף

פרק 8

תוכן העניינים

8.1 מערך הגנה קדמי מונע חדירת גורמים זרים לגוף 161
- העור הוא קו ההגנה הראשי של הגוף 161
- בלוטות הדמעות ובלוטות הרוק מפרישות חומרים הפוגעים בחיידקים 161
- הריריות מגינות על פתחי הגוף 161

8.2 מערך הגנה שני: תאי דם לבנים בולעים גופים זרים 162
- התאים הבלענים מעורבים בהופעת דלקת 162

8.3 מערך הגנה ייחודי - גילויים ראשונים 164

8.4 התגובה לחדירת חומרים זרים היא ייחודית 167
- "שבטים" של לימפוציטים מזהים אנטיגנים שונים 167
- הלימפוציטים מזהים אנטיגנים ומגיבים בשתי דרכים שונות 167
  לימפוציטים מסוג B מגיבים בייצור נוגדנים 168
  לימפוציטים מסוג T הורגים תאים נגועים 168
- תגובת הלימפוציטים משלבת ייחודיות וזיכרון 170

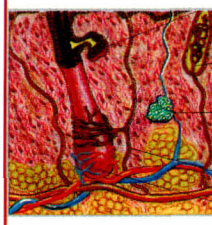
8.5 חיסון פעיל וחיסון סביל מסייעים במניעת מחלות 171
- חיסון פעיל נוצר בעקבות חשיפה לאנטיגן 171
- בחיסון סביל מחדירים לגוף נוגדנים מבחוץ 172

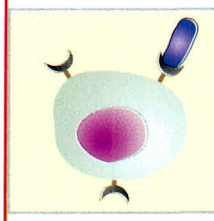
8.6 מערכת החיסון מגיבה להשתלת רקמות זרות 173
- תאי הגוף מזוהים על-פי אנטיגנים של תואם רקמות 173
- עירוי דם הוא מקרה פשוט של השתלת רקמה 174

8.7 שיבושים בפעולת מערכת החיסון הם מקור למחלות 175
- לעיתים תוקפת מערכת החיסון את הגוף עצמו 175
  אלרגיה היא תגובת יתר של המערכת לאנטיגנים שונים 175
- כשל של מערכת החיסון חושף את הגוף לזיהומים מתמידים 176

8.8 סיכום 178

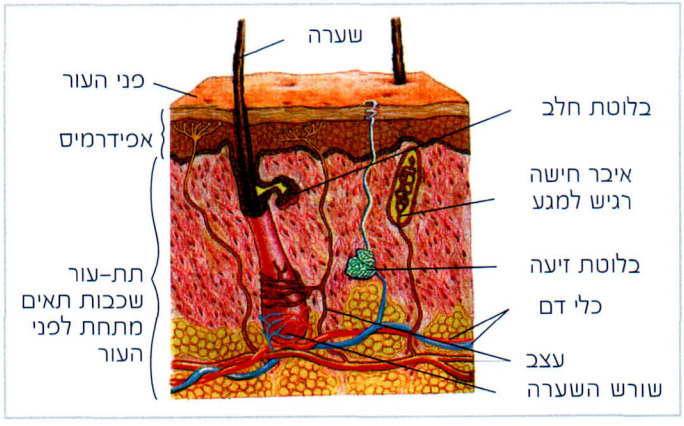
שאלות סיכום וחזרה 178





8.1 מערך הגנה קדמי מונע חדירת גורמים זרים לגוף

אנו חיים, כאמור, בתוך-תוכה של אוכלוסיית ענק של מיקרואורגניזמים. רוב-רובם של היצורים האלה אינם מסוכנים לנו כלל (וכזכור לכם, רוב המיקרואורגניזמים החיים במעי הגס הם כאלה המועילים לנו). מבין כמה אלפי סוגים שונים של חיידקים המוכרים למדע, פחות ממאה סוגים יכולים להזיק בדרך כלשהי לאדם; שני מערכי הגנה פועלים בגופנו נגד כל המיקרואורגניזמים המסוגלים לסכן את הגוף: מערך הגנה קדמי, המונע כניסה לגוף של כל סוגי האורגניזמים, לרבות אלה המזיקים; ומערכת הגנה וחיסון פנימית, התוקפת את אלה מבין המזיקים המצליחים לחדור דרך המערך הקדמי. ככלל, יעילות המערך הקדמי גבוהה ביותר: למעלה מ-99% מכל הגורמים המזיקים, כלל לא מצליחים לחדור לתוך גופנו. רובם המכריע נהדפים "על הסף" על-ידי קווי ההגנה הקדמיים של הגוף.



איור 8.1
חתך דרך עור אדם

העור הוא קו ההגנה הראשי של הגוף

החשוב בקווי ההגנה הקדמיים של הגוף הוא העור. עור בריא הוא אמצעי המגן הראשון והטוב ביותר נגד פלישה של חיידקים, נגיפים, פטריות טפילות וכל מיני גורמים אחרים העלולים לסכן את הגוף.

התבוננו באיור 8.1 המציג את מבנה העור.
באיור רואים את השכבה החיצונית, **האפידרמיס**, את השכבות שמתחתיה ובלוטות זיעה וחֵלֶב, הנמצאות בהן. השכבה החיצונית של העור -האפידרמיס - בנויה מתאי אפיתל צפופים והדוקים מאוד אלה לאלה. שכבת האפידרמיס מונעת כמעט לחלוטין איבוד מים וחדירה של חומרים שונים.
ברקמה שמתחת לאפידרמיס נמצאים, כאמור, שני סוגי בלוטות: בלוטות חֵלֶב ובלוטות זיעה. שני סוגי הבלוטות מפרישים את תוצריהן כל הזמן, בדרך-כלל בכמויות זעירות ובלתי מורגשות (גם כשלא חם, ולא מרגישים שמזיעים, יש הפרשה מתמדת של זיעה בכמויות זעירות).

עוד על...

בלוטות החלב ובלוטות הזיעה הן בלוטות להפרשה חיצונית. למדתם עליהן ביחידה ב, בפרק 6. להזכירכם, אלה הן קבוצות של תאים מפרישים, המצוידות בצינור שתוצרי הבלוטה מופרשים דרכו לסביבה החיצונית. הן שונות בכך מהבלוטות להפרשה פנימית, שתוצריהן מופרשים לדם.

הפרשות אלה יוצרות על-פני העור תנאים מיוחדים של חומציות, מליחות ושומניות, המעכבים התרבות של חיידקים ופטריות טפיליות על העור. העדות הטובה ביותר לחשיבותו של העור כקו הגנה של הגוף מתקבלת ממקרים בהם נמנע מהעור לתפקד בצורה תקינה - למשל, במקרה של כוויות. כוויות שטחיות יכולות להיות מסוכנות גם אם אינן פוגעות באיברים פנימיים, בשל האפשרות לזיהום הרקמות שנחשפו באזור הכוויה. במקרים של כוויות על שטח רחב של העור, הסכנות המיידיות הן שתיים: זיהום על ידי מיקרואורגניזמים ואיבוד מים. לכן, הטיפול הדחוף ביותר הוא כיסוי שטח הכוויה בירעה סטרילית של חומר מבודד, המונעת הן מגע עם האוויר והן התנדפות מים מהרקמות החשופות באזור הכוויה.

בלוטות הדמעות ובלוטות הרוק מפרישות חומרים הפוגעים בחיידקים

בלוטות הפרשה נוספות הנמנות עם ההגנה הקדמית הן בלוטות הדמעות והרוק. נוזלי הדמעות והרוק מכילים חומרים, כגון אנזים המכונה ליזוזים, הפוגעים בחיידקים מסוגים רבים ומונעים את חדירתם לגוף. בלוטות הדמעות מפרישות דמעות כל הזמן, גם כשאיננו בוכים או ממצמצים. כל עין מוגנת בהתמדה על-ידי שכבה דקיקה ורצופה של נוזל הדמעות. ירידה בפעילות של בלוטות הדמעות, הגורמת ליובש בעיניים, עלולה להוביל לזיהומן. בדומה לכך, החומרים הפעילים נגד חיידקים, הנמצאים ברוק, מונעים מרוב-רובם של המזהמים הנכנסים לפה לעבור הלאה לתוך מערכת העיכול. אולם, מכיוון שחיידקים ונגיפים נמצאים בכל מקום ועל כל דבר, קשה למנוע לחלוטין כניסה שלהם לקיבה. למרות זאת, על-פי-רוב אין אנו סובלים מפגיעה כלשהי, גם אם המזון שאכלנו אינו נקי באופן מושלם.

שאלה 1

היזכרו גם במה שלמדתם על התנאים השוררים בחלל הקיבה (פרק 2 עמוד 42). איך תסבירו את העובדה שלא כל ארוחה מזדמנת מסתיימת בקלקול קיבה?

חיידקים מצליחים לשרוד במעברם בקיבה רק במצבים יוצאי דופן, למשל, כשמספרם גדול במיוחד - כלומר, כשהזיהום כבד, ואז אנו בהחלט מרגישים את נוכחותם.

הריריות מגינות על פתחי הגוף

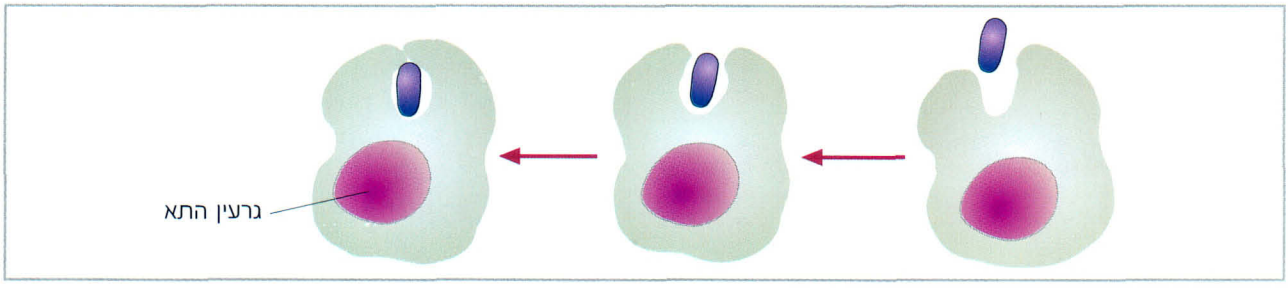
צדם הפנימי של כל פתחי הגוף, הבאים במגע עם הסביבה החיצונית, מצופה בתאי אפיתל, המפרישים בקביעות נוזל ריר. רקמות האפיתל האלה נקראות - **ריריות**, והן נמצאות באף, בפה, בצד הפנימי של העפעפיים, בפתחי המוצא של השתן ושל איברי המין. הריר המופרש מרקמות אלה מסייע להרחקת גורמים מזיקים מהגוף ומכיל חומרים הפוגעים במיקרואורגניזמים.

שאלה 2

בפרק 3, העוסק בחילופי הגזים במערכת הנשימה, הכרתם גורם נוסף המגן על הריאות מפני גופים זרים ומזהמים. מה הוא הגורם הזה? הסבירו את דרך פעולתו.

8.2 מערך הגנה שני: תאי דם לבנים בולעים גופים זרים

מרכיב חשוב במערך ההגנה נכנס לפעולה כאשר העור נפצע ותאים או חומרים זרים חודרים לגוף. מרכיב זה הוצג לפניכם בקצרה בפרק 4. מדובר בכמה סוגים של תאי דם לבנים, הנמצאים בדם ובלימפה, וגם נודדים בין תאי הרקמות בכל הגוף. בין השאר, הם נמצאים גם ברקמות העור. כאשר העור נפצע, ונגרם הרס של תאים, תאי דם לבנים יוצאים מנימי דם ולימפה שבסביבה הקרובה, ויוצרים מגע מהיר עם גופים זרים החודרים דרך הפצע. תאים לבנים אלה, המכונים **תאים בלענים** ובלועזית **פאגוציטים** (ביוונית עתיקה: פאגוס=אוכל, טורף; ציטוס=תא), בולעים בלא הבחנה כל גוף זר: חיידקים, נגיפים, פטריות חד-תאיות וגם גופים לא חיים שהם קטנים מספיק, כגון חלקיקים מיקרוסקופיים של אבק או פיח. ראו איור 8.2.



איור 8.2
תא דם לבן בלען (פאגוציט) בולע חיידק

מבט אל העבר

תאים בלענים - פאגוציטים -
הם אמצעי הגנה קדום בגופם של יצורים חיים

הראשון שהבחין בבירור בפעילות הגנה של פאגוציטים היה הזואולוג והפיזיולוג הרוסי איליה **מצ'ניקוב** (E. Metchnikoff, 1854-1916). בשנים 1882-1886 עסק מצ'ניקוב בחקר תהליכי ההתפתחות העוברית. בעת שעקב אחר התפתחות מערכת העיכול העוברית בכוכבי ים, החדיר ליצורים המתפתחים חלקיקים זעירים של נסורת וחומר צבע אדום, כדי לעקוב אחר תגובת תאי מערכת העיכול העובריים לנוכחותם. אך בעת מעקבו אחר תאים אלו באמצעות מיקרוסקופ, הבחין מצ'ניקוב בתאים אחרים, שלא היו שייכים למערכת העיכול. תאים אלו תקפו הן את חלקיקי הנסורת והן את חלקיקי חומר הצבע, ובלעו אותם. מצ'ניקוב העניק לתאים הבלענים האלה את השם **פאגוציטים**. בשנת 1908 זכה בפרס נובל על מחקריו החלוציים בפיזיולוגיה של בעלי-חיים.

כוכבי הים נמנים עם קבוצה גדולה של יצורים ימיים המכונים "קווצי-עור". הופעתם של יצורים אלה קדמה במאות מיליוני שנים להופעתם של החולייתנים, עמם נמנה האדם, על-פני כדור הארץ. נוכחותם של פאגוציטים בגופם של יצורים כה קדומים מעידה על כך שהגנה בפני גופים זרים היא תופעה מוקדמת מאוד באבולוציה של בעלי-החיים. אין בכך כדי להפתיע: סביר בהחלט, כי קיומו של אמצעי הגנה מפני חדירה של גופים זרים מקנה לבעלי-חיים יתרון הישרדותי ברור. משהופיע במהלך האבולוציה, שיפר האמצעי הזה את יכולת ההישרדות של בעלי-חיים, ואין פלא אפוא שאנו מוצאים תאים בלענים מסוג זה או אחר בגופם של יצורים מסוגים רבים.

אולם התאים הבלענים לא תמיד מצליחים לגבור על הפולשים הזרים. קורה שחודרים לגוף חיידקים, המפרישים חומרים רעילים, ואלה מסוגלים להרעיל ולהמית חלק מהתאים הבלענים. למעשה, המפגש בין פאגוציט לבין גוף זר דומה למאבק בין שני מתחרים, וזה שגובר ממית ומפרק את היריב; ולעתים, כפי שקורה גם במאבקים אחרים, שני היריבים נפגעים.

התאים הבלענים מבחינים בין תאי הגוף לבין גורמים זרים, אך אינם מבדילים בין סוגים שונים של גורמים זרים - למשל, בין סוגי חיידקים שונים. למעשה, הם אפילו לא מבדילים בין חיידק לבין חלקיק פיח זעיר. מהטעם הזה מכנים את צורת פעולתם **הגנה לא-ייחודית**. מערכת הגנה ייחודית (ספציפית), המגיבה באופן מדויק לסוג הגורם הזר, תכירו בהמשך הפרק.

פעילותם של התאים הלבנים הבלענים אינה מתמצה בתקיפת חיידקים במוקדי פציעה. התאים נודדים בגוף ובולעים גם תאי רקמות שהזדקנו ומתו, תאים הסובלים מפגיעה כלשהי, או תאים שגורם זר, כגון נגיף, חדר אליהם.

משימה 1

שאלות על תאים בלענים

כפי שציינו, התאים הבלענים מבחינים בין תאי הגוף לבין גורמים זרים. כיום ידוע שהם מסוגלים לתקוף, בנסיבות מסוימות, גם תאים של הגוף עצמו.

א. כתבו את השאלות שתופעה זו מעוררת, לדעתכם.

ב. לאחר שתסיימו ללמוד את הפרק, נסו לענות על השאלות שכתבתם.

התאים הבלענים מעורבים בהופעת דלקת

פציעה גורמת להרס התאים באזור הפגיעה וחושפת את הסביבה הפנימית למזהמים שונים. בעקבות הפציעה המקום הפגוע מתחמם, מאדים, מתנפח וכואב. מכלול התופעות האלה מכונה **דלקת** והן למעשה ראשיתו של תהליך ההחלמה מהפציעה.

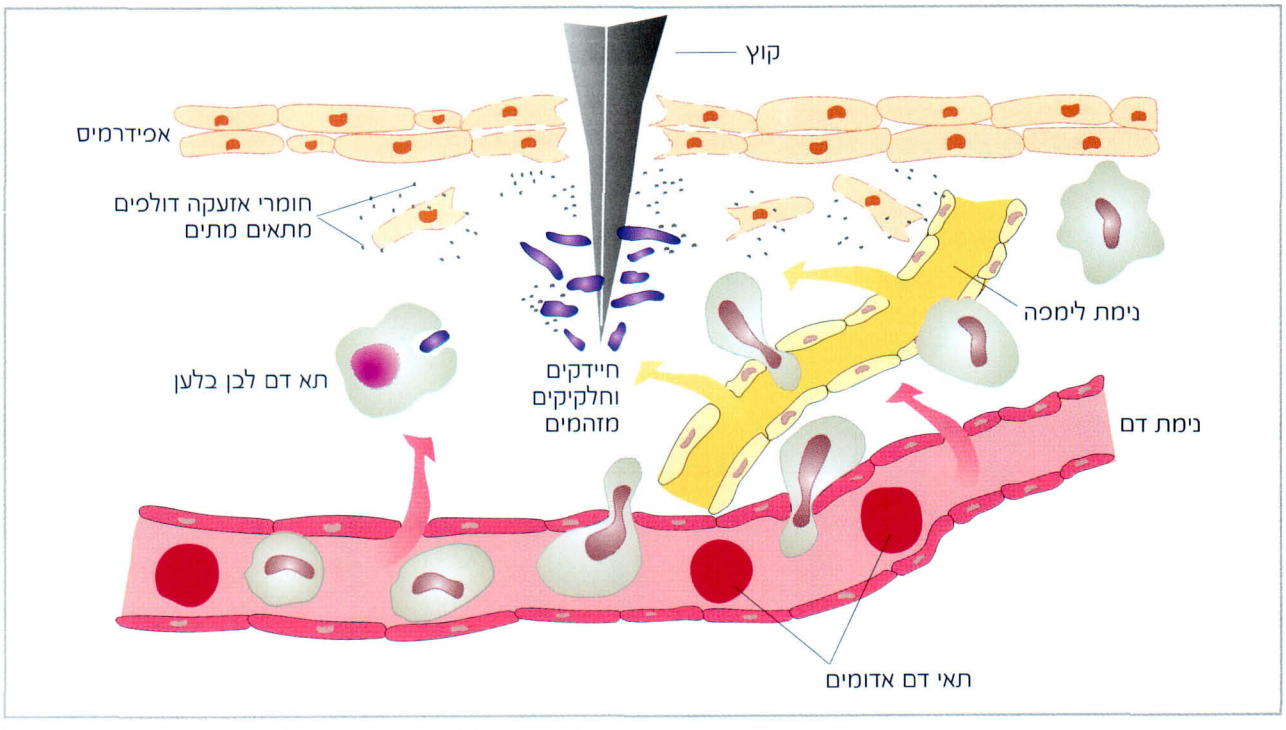
מי שמחולל את תופעות הדלקת הם תאי הגוף, המגיבים לפציעה ולכניסתו של הגורם המזהם. תאים שנהרסו מפגיעה כלשהי, משחררים חומרים הגורמים להתרחבות של נימי דם ולימפה באזור הפגיעה ולהגדלת חדירותם. מהנימים המורחבות דולפים נוזלים לסביבה, ונוזלים אלה גורמים לנפיחות האופיינית לדלקת. לחץ הנוזלים המצטברים ברקמה הוא בדרך-כלל הגורם לכאב. בנוסף, התרחבות נימי הדם גורמת גם לאדמומיות הנלווית לדלקת

וגם להתחממות האזור הפגוע. דלקת גרון או דלקת אוזניים, מלווה בדרך-כלל בעלייה כללית של טמפרטורת הגוף. במקרים אלה, החומרים המשתחררים מהתאים ההרוסים, משפיעים על המרכז המוחי בהיפותלמוס, המבקר את טמפרטורת הגוף, בדרך שעדיין לא הובהרה במלואה.

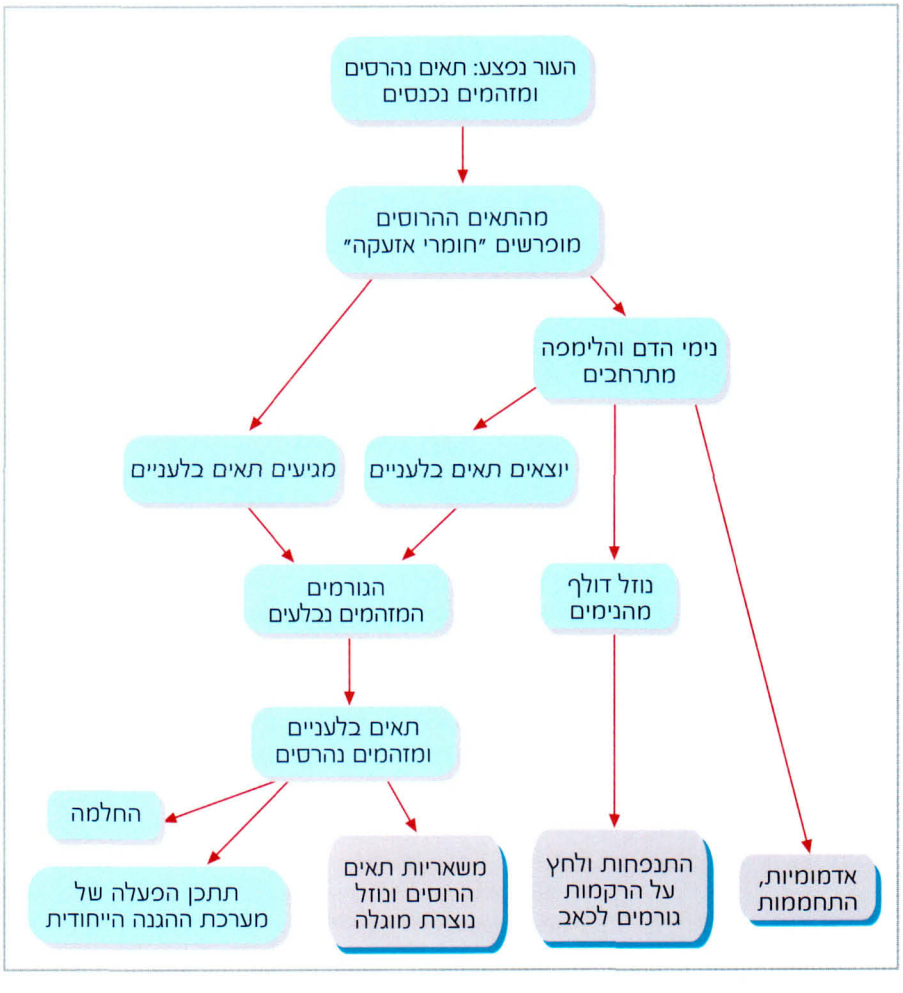
מקצת החומרים שהשתחררו מהתאים ההרוסים לדם הם "חומרי אזעקה", ואלה גורמים לתאים בלענים רבים נוספים להגיע לאזור הפגיעה. התאים הבלענים תוקפים את החיידקים או את המזהמים האחרים בלא אבחנה, ובתוך זמן קצר מצטברות כמויות ענק של שרידי תאים הרוסים ושל שאריות חיידקים מתים. כל שרידי התאים האלה, והנוזל שדלף מנימי דם ולימפה, יוצרים יחד את החומר הנקרא "מוגלה".

תופעת הדלקת מתוארת באיור 8.3.

מהלך התפתחות הדלקת מסוכם בתרשים שבאיור 8.4.



איור 8.3
תגובה לפציעה והתפתחות דלקת



איור 8.4
שלבים בהתפתחות דלקת

המוגלה היא אפוא עדות לכך שמערכת ההגנה של הגוף מגיבה כהלכה על חדירת מזהמים. אם מקום הפגיעה פתוח לסביבה החיצונית, המוגלה יוצאת החוצה, וכך מתאפשרת החלמה של המקום הפגוע. אך אם אין למוגלה דרך לצאת מהפצע, היא מצטברת ועלולה להחמיר את הרס הרקמה סביבה. לכן חשוב לוודא, כי בפצע דלקתי יתאפשר ניקוז יעיל של המוגלה החוצה. סיום התהליך הדלקתי הוא כאשר הרקמה הפגועה מחלימה והעור חוזר למלא את תפקידו כקו הגנה קדמי. אם מערכת ההגנה הקדמית לא מצליחה להתגבר על הזיהום מופעלת מערכת ההגנה הייחודית שעליה תלמדו בסעיף 8.3.

עד כאן עסקנו באמצעים שהגוף מצויד בהם, המונעים, מעכבים או מצמצמים כניסה של גורמים זרים לתוכו, באופן לא ייחודי. עתה נכיר את מערכת החיסון הפועלת בתוך הגוף ומבוססת על היכולת להבחין בצורה מדויקת בין סוגים שונים של גורמים זרים ולפעול כנגדם. מערכות ההגנה הלא-ייחודיות ומערכת ההגנה הייחודית –מערכת החיסון - פועלות ביחד בהגנה על הגוף.

הרחבה

דלקת בלי זיהום חיצוני

אפשר ששמעתם על אנשים הסובלים מדלקת בלי שנפצעו - למשל, מדלקת בגיד הזרוע. מכאן, שלא כל דלקת חייבת להתחיל בזיהום של פצע. תאים בתוך הגוף נפגעים, לעתים, כתוצאה מחיכוך, מלחץ מכני, ממכה שאינה מלווה בפציעה, או מסיבות אחרות. כאשר התאים נהרסים, הם משחררים חומרים מעוררי דלקת, בין אם הגורם להרס היה חיצוני (למשל, חדירת חיידקים), או בין אם היה פנימי (למשל, כתוצאה מחיכוך).

8.3 מערך הגנה ייחודי - גילויים ראשונים

מבט אל העבר

החיסונים הראשונים

נפתח את היכרותנו עם מערכת החיסון בתיאור ניסויים שנעשו במאה ה-18. האדם הראשון שעשה שימוש מכוון בכושרו של הגוף להתחסן נגד מחלות ותיעד את ממצאיו, היה **אדוארד ג'נר** (E. Jenner), רופא אנגלי שחי בין השנים 1749-1823. ג'נר היה רופא כפרי שחי בחבל ארץ עתיר מרעה, שתושביו התפרנסו מדורי דורות מגידול פרות וממכירת חלב ותוצרתו.

בימיו של ג'נר נפוצה באירופה מחלה קשה ושמה **אבעבועות שחורות**. סימני המחלה כללו חום גבוה ופצעים מוגלתיים גדולים – אבעבועות – על-פני העור. רוב החולים במחלה היו מתים, ולמעטים שנותרו בחיים נשארו על העור צלקות בולטות.

בזמנו של ג'נר כבר ידעו שמי שחלה במחלה והבריא ממנה לא יחלה שנית. כמו כן היה ידוע, מניסיון שנצבר במקומות שונים בעולם, שניתן לצמצם את הסכנה שבמחלת האבעבועות השחורות אם מדביקים אדם במכוון באמצעות חומר שנלקח מהאבעבועות של אדם חולה אך שמחלתו אינה חמורה במיוחד.

ג'נר גם ידע שהפרות חולות לעתים במחלת אבעבועות דומה, אך קלה יותר ולא קטלנית –"אבעבועות הבקר". ג'נר שם לב, כי העובדים ברפתות לא חלו כלל במחלת האבעבועות השחורות, וכי אלו מבין העובדים של משק החלב שחלו, סבלו ממחלת אבעבועות קלה בלבד והחלימו במהרה. ג'נר שיער, כי העובדים נדבקו מהבקר, וכי ההדבקה באבעבועות הבקר הגנה עליהם בדרך כלשהי ממחלת האבעבועות השחורות, הקטלנית.

כדי לבדוק את השערתו, אסף ג'נר נוזל מאבעבועות של אחת מהנערות החולבות, והזריק אותו לילד בן שמונה מהכפר. הילד חלה באבעבועות בצורה קלה, והחלים בלא פגע. זמן קצר לאחר שהחלים הילד, מצא ג'נר אדם חולה באבעבועות שחורות. הוא אסף נוזל מאבעבועותיו של החולה והזריק אותו לאותו ילד. הילד לא חלה כלל.

שאלה 3

מה דעתכם על הניסוי של ג'נר?

עוד על...

כולם ראו, אך ג'נר חשב, בדק וניסה

הסיפור של ג'נר מכיל הרבה יותר מעדות נוספת לתופעת ההתחסנות. הרי אנשים רבים ראו את מה שראה ג'נר: את אבעבועות הבקר, את עמידותם המופלאה של עובדי הרפתות בפני אבעבועות שחורות. אך ג'נר עשה דבר נוסף, שכל האחרים לא עשו: הוא חשב על התופעות שהיה עֵד להן, הן העסיקו את מוחו, הוא חיפש הסבר למה שמתרחש, ושיער לראשונה שעשוי להיות קשר בין התופעות. יתרה מזו, ג'נר עשה ניסוי, ואפילו ניסוי נועז, כדי לבדוק באופן מעשי את הקשר שקיים, לדעתו, בין התופעות.

החידוש של ג'נר מתבטא בחיבור שיצר בין מראה עיניים לבין מחשבה על מראה העיניים, ובין שני אלה לניסיון לבדוק את המחשבה בעולם המעשה. חיבור זה הוא צעד ראשון הכרחי לכל פריצת דרך הנוגעת לידע אודות המציאות ולהבנתה.

הצלחתו של ג'נר חיזקה את ביטחונו בצדקת דרכו, והוא שכנע אנשים בסביבה להניח לו להזריק להם את הנוזל, שיגן עליהם מפני אבעבועות שחורות. מבין כל אלה שהסכימו לקבל את ההזרקה (היום אנו קוראים לזה "חיסון"), איש

איור 8.5
אדוארד ג'נר (פסל)

לא חלה באבעבועות שחורות. ג'נר השתכנע, כי הזרקת הנוזל מאבעבועות הבקר מחסנת את האדם נגד אבעבועות שחורות. אולם רופאים וחוקרים רבים באנגליה פקפקו בתקפות טענתו. הוא גם לא היה מסוגל לספק הסבר למתרחש, מעבר לעצם ההצלחה של השיטה. שיטתו של ג'נר לא זכתה להכרה רשמית מצד הממסד המדעי והרפואי. מאמר ששלח לחברה המלכותית – המסגרת החשובה ביותר שהייתה אז לפרסום מחקרים מדעיים – נדחה ולא יצא לאור. ג'נר פרסם את ממצאיו באופן פרטי, בחוברת. היו רופאים שהלכו בעקבותיו והשיגו הצלחות דומות, אך לעיתים נגרמו גם אסונות. עליכם לזכור, כי באותה תקופה עדיין לא הכירו בצורך להקפיד על סטריליות של מזרקים, ולכן לעתים, גרמה זריקת החיסון לזיהום אצל המטופלים. יתר על כן, מכיוון שג'נר לא ידע מה יוצר את ההגנה מפני האבעבועות, הוא גם לא היה מסוגל לתת הוראות מפורטות, ושיטתו התמצתה בהזרקת נוזל מאבעבועות בקר. היו רופאים שסברו, כי הזרקת נוזל מאבעבועות שחורות של אדם תיתן תוצאות טובות יותר, וגרמו לאנשים לחלות במחלה הקשה.

לואי פסטר ממשיך בניסויים בחיסון

המדען הצרפתי **לואי פסטר** (1822-1895) היה בן שנה כאשר ג'נר הלך לעולמו. הוא החל את דרכו במדע ככימאי, ואף גילה תגלית מהפכנית בתחום מבנה החומר. (שמו של פסטר מונצח בתהליך פסטור החלב). בשלב מסוים החל פסטר להתעניין בגורמי מחלות. הוא החל לחקור מחלות של צמחים ועבר לחקור מחלות של בעלי-חיים. במאה ה-19 סבלו חיות המשק באירופה ממחלה קשה ושמה **גחלת** (**Anthrax**), שהפילה חללים רבים בבקר ובצאן, והעופות סבלו קשות ממחלת ה**כולרה** (Cholera). פסטר בודד את החיידקים, הגורמים למחלות אלה, וגידל אותם בתרביות במעבדה. במהלך המחקר הוזרק לתרנגולות נוזל מתרביות של חיידקי הכולרה, במטרה לעורר בהן את המחלה באופן מכוון. כתוצאה מכך מתו התרנגולות במחלה. יום אחד התברר, כי תרנגולת אשר לפי הרישומים קיבלה הזרקה, אינה חולה, וממשיכה לקרקר שבוע לאחר ההזרקה, שגרמה למותן של כל שאר התרנגולות. בבירור שערך פסטר, נמצא כי נעשתה טעות: אחד העובדים הזריק לתרנגולת שלא חלתה נוזל מתרבית ישנה, שעמדה כמה ימים על המדף (מקררים עוד לא היו אז...). פסטר הורה להזריק לתרנגולת נוזל מתרבית טרייה. חלף שבוע, חלפו שבועיים, והתרנגולת בריאה ושלמה, לא ניכר בה אפילו סימן קל של מחלה.

שימה 2

חוקרים בעקבות פסטר (1)

א. נסו לשער מדוע התרנגולת לא חלתה בעקבות ההזרקה הראשונה?

ב. נסו לשער מדוע לא חלתה התרנגולת בעקבות ההזרקה השנייה?

פסטר ערך ניסוי נוסף; הוא רצה לברר האם התופעה שקרתה לתרנגולת הראשונה, שלא חלתה בעקבות הזרקת הנוזל הישן, תחזור על עצמה בתרנגולות אחרות. (דרך-אגב, הוא לא לקח לניסוי את התרנגולת בת המזל, ש"סירבה" לחלות. על-פי הדיווחים, התרנגולת ההיא הפכה לבת-טיפוחים של עובדי המעבדה, ומתה ב"שיבה טובה").

איור 8.6
לואי פסטר

פסטר חזר פעמים רבות על הניסויים שלו, בתרנגולות ובחיות מעבדה אחרות, והגיע למסקנות האלה:

- ניתן להחליש באמצעים שונים - בעיקר, באמצעות חימום וייבוש - חיידקים מחוללי מחלות.
- מחולל המחלה המוחלש לא מזיק לגוף, אלא מעורר בו תהליך של התחסנות. גורמים מסוימים (שזהותם לא הייתה ידועה לפסטר) הנמצאים בגוף, מזהים את מחולל המחלה, גוברים עליו ומסלקים אותו.
- במפגש מחודש עם מחולל המחלה, אותם גורמים זוכרים אותו, מזהים אותו ומתגברים עליו, גם אם אינו מוחלש.

השאלה הבאה שהעסיקה את פסטר הייתה, האם החסינות שנוצרה בגוף בעקבות המפגש עם מחולל מחלה כלשהו, מגינה על הגוף גם מפני מחוללי מחלות אחרות.

מ שימה 3

חוקרים בעקבות פסטר (2)

תכננו ניסוי, הבודק את השאלה הזו של פסטר, ותארו אותו.

פסטר ביצע את הניסויים הנדרשים, וגילה כי התשובה היא שלילית: חשיפה למחולל מחלה מסוימת יוצרת חסינות רק נגד אותה מחלה, ולא נגד מחלות אחרות.
פסטר מצא, כי אפשר לחסן בעל-חיים אחד נגד מחלות שונות, אך לשם כך יש להחדיר לגופו מחוללים מוחלשים של כל אותן מחלות. המסקנה מכך הייתה, שהחיידקים מחוללי המחלות נושאים עליהם מעין סימן-היכר, המאפשר לגוף לזהות כל סוג של חיידק באופן נפרד, ולייצר נגדו אמצעי תגובה ייחודיים. ועוד: סימן ההיכר הזה אינו נעלם ואינו משתנה עם החלשת החיידק.

הניסויים של פסטר חשפו את שתי התכונות הבסיסיות של מערכת החיסון:

א. תגובת החיסון היא ייחודית, ופועלת רק כלפי מחולל המחלה שעורר אותה,
ב. הזיכרון של המפגש עם מחולל המחלה נשמר במערכת החיסון.

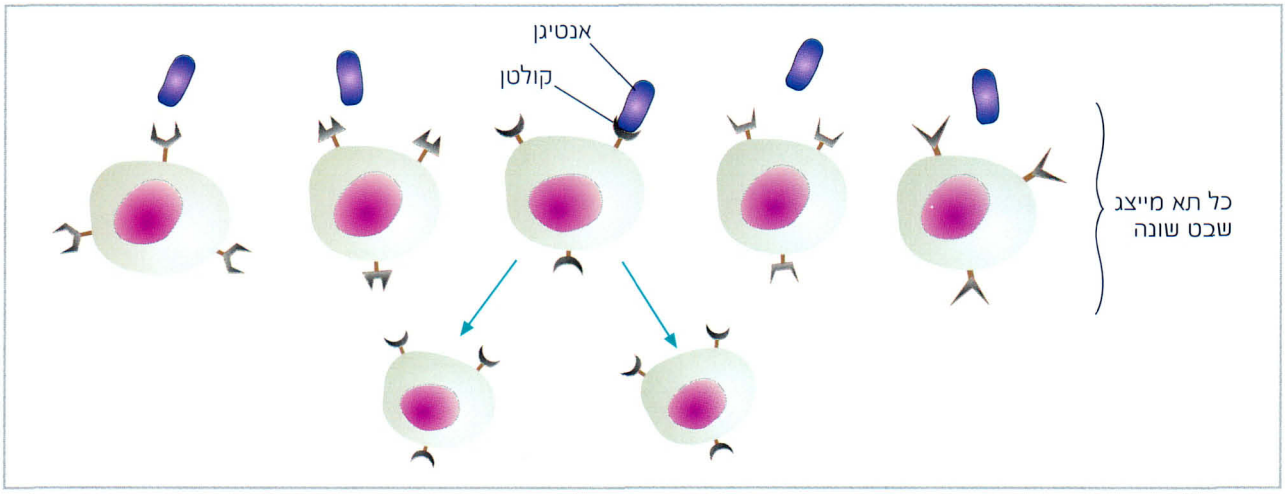
לאחר שהראו הניסויים כי העיקרון של יצירת חיסון באמצעות מחולל מחלה מוחלש, נשמר וחוזר על עצמו בכל פעם, החל פסטר לחסן בני-אדם נגד כמה מהמחלות הנוראות ביותר, שהיו מפילות חללים מדי שנה בכל העולם. בתחילת המאה ה-20 החל להתפשט הנוהג לחסן ילדים נגד המחלות הקטלניות, שגרמו עד אז לשיעורי תמותה גבוהים. כיום מחסנים תינוקות וילדים בכל העולם - כדבר שבשגרה - נגד כמה מחלות קשות: דיפתריה, צפדת (טטנוס), חצבת, חזרת, אדמת, צהבת מסוג B, דלקת קרום המוח ושיתוק ילדים. נשוב ונעסוק בחיסונים אלה בהמשך.

כיום אנו יודעים, כי **מערכת החיסון** של הגוף מזהה כ"זרים"[1] יצורים שונים, בין אם הם מחוללי מחלות ובין אם לאו, וכן חומרים שונים. גוף חי או חומר הנכנס לגוף ייתכן שיזוהה על-ידי מערכת החיסון כזר (לא-עצמי), כשונה מהתאים המרכיבים את הגוף. כל חומר המעורר תגובה מצד מערכת החיסון, נקרא **אנטיגן**.
ברבות הימים התברר, כי חיידק יחיד אינו אנטיגן יחיד; במעטה החיצוני של כל חיידק נמצאים חומרים שונים שהם האנטיגנים - כלומר, הם המעוררים תגובה מצד מערכת החיסון. החיידקים שעברו במעבדתו של פסטר טיפולים שהחלישו אותם, לא יכלו לחולל מחלה, אך הטיפול להחלשתם לא שינה את האנטיגנים שבמעטה החיצוני שלהם. הודות לכך הם זוהו על-ידי מערכת החיסון כ"זרים" ועוררו אותה לתגובה.

[1] למעשה הגוף מזהה את **עצמו**, וכל מה שאינו מזוהה כ"עצמי" הוא "לא-עצמי" או "זר".

8.4 התגובה לחדירת חומרים זרים היא ייחודית

הסביבה שאנו חיים בה מלאה אנטיגנים. כל החיידקים, הנגיפים, הפטריות - כולם נושאים אנטיגנים רבים. גם חומרים זרים רבים, המגיעים בדרך כלשהי לפנים הגוף, עשויים להיות אנטיגנים. כאשר חומר כלשהו חודר דרך מערך ההגנה הקדמי ומזוהה כאנטיגן, מתעוררת **תגובת חיסון ייחודית** נגדו. התגובה החיסונית היא תהליך מורכב מאוד, שבו משתתפים תאי הדם הלבנים וגורמים נוספים.
כאשר גורם שמהווה אנטיגן נכנס לגוף, תאי דם לבנים בלענים מזהים את נוכחותו בגוף. כאמור, תגובת התאים הבלענים אינה ייחודית; הם בולעים כל תא "זר" או חומר זר (ראו סעיף 8.2). לפעמים מסתיים בכך "סילוקו" של הגוף הזר.
אולם לעתים קרובות מזהים את האנטיגן גם תאים לבנים מסוג אחר – **לימפוציטים** - והם מגיבים בתגובה שהיא ייחודית לסוג האנטיגן. התגובה הייחודית היא שיוצרת בגופנו את תופעת החיסון שנחקרה על ידי ג'נר ופסטר. החיסון גורם לכך שאדם שחלה במחלה מסוימת לא יחלה בה שנית, גם אם ייחשף למחולל המחלה.



איור 8.7
ברירת השבטים: מבין שבטים רבים של לימפוציטים רק שבט אחד מזהה את האנטיגן ומתרבה

"שבטים" של לימפוציטים מזהים אנטיגנים שונים

הלימפוציטים נושאים בקרומי-התא שלהם מולקולות מיוחדות המותאמות לזיהוי אנטיגנים, ונקראות **קולטנים** (רצפטורים, receptors). הקולטנים הם האחראים לייחודיות שבתגובת הלימפוציטים לאנטיגנים. למעשה, בגוף מצויים מיליוני לימפוציטים, אך כאשר אנטיגן כלשהו חודר לגוף, הוא מזוהה רק על-ידי הלימפוציטים בעלי הקולטנים המתאימים לזיהויו.
תוכלו לשאול: האם יש בגופנו מיום היוולדנו קבוצות של לימפוציטים הנושאים קולטנים לכל האנטיגנים המצויים בטבע? אם אכן זה כך, הרי פירוש הדבר שכל אחד מאתנו נולד כשבגופו קבוצות של לימפוציטים המצוידים מראש בקולטנים מאלפי סוגים שונים: לימפוציטים עם קולטנים לחיידקי דלקת ריאות, לימפוציטים עם קולטנים לנגיפי חצבת, אדמת, אבעבועות, חזרת; לחיידקי שעלת, לחומרים רעילים שונים ועוד ועוד...
אכן, כל אדם (וגם כל פרה, או תרנגולת) נולד עם מעין "מחסן חירום" בדם ובלימפה – כלומר, עם קבוצות של לימפוציטים – "שבטים" - המסוגלים לזהות מגוון אדיר של אנטיגנים שונים, אשר רובם המכריע אולי לא יגיעו לגוף לעולם. מספר הלימפוציטים מכל "שבט" כזה הוא קטן למדי, והוא גדל רק אם נוצר מגע עם אנטיגן המזוהה על-ידי תאי השבט.

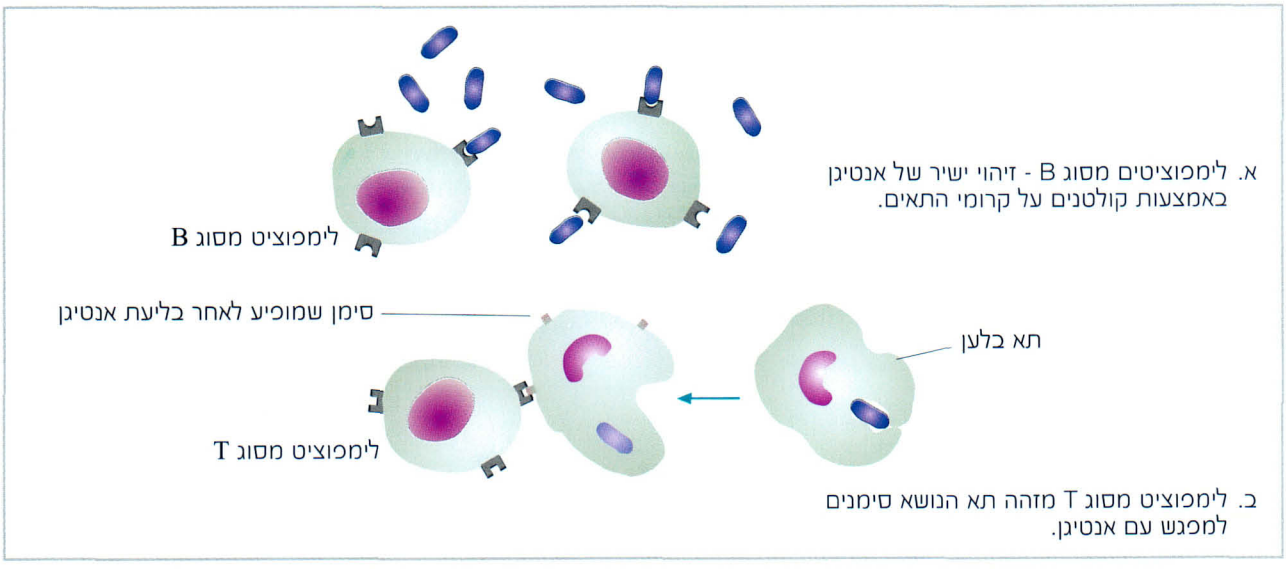
איור 8.7 ממחיש את התופעה.

הלימפוציטים מזהים אנטיגנים ומגיבים בשתי דרכים שונות

כל הלימפוציטים בגופנו, מכל השבטים, מתחלקים בין שתי קבוצות גדולות, המכונות **לימפוציטים מסוג B ולימפוציטים מסוג T**. כל אחת משתי קבוצות לימפוציטים אלה מזהה אנטיגנים באופן שונה, ובהמשך גם מגיבה אליהם בדרך שונה.

איור 8.8 מתאר את אופן הזיהוי של גורמים זרים החודרים לגוף על ידי סוגי לימפוציטים שונים.

לימפוציטים מסוג B מהשבט המתאים (כלומר, בעלי הקולטן המתאים) מזהים את האנטיגן באופן ישיר באמצעות הקולטן.
לימפוציטים מסוג T מזהים תאים שנמצאים בתוכם אנטיגנים. איך מזהה הלימפוציט מסוג T תא המכיל אנטיגן? בקרום תא נגוע בנגיף, או בקרום תא בלען שבלע אנטיגן, מופיע סימן מיוחד המעיד שהתא מכיל בתוכו אנטיגן, והסימן הזה מזוהה על-ידי הלימפוציט מסוג T.
לאחר הזיהוי הראשוני של אנטיגן מגיבות שתי קבוצות הלימפוציטים בצורה דומה: הם מתרבים ומעמידים מספר עצום של צאצאים מאותו שבט: כולם זהים לאלה שזיהו לראשונה את האנטיגן. אולם כפי שתראו, המשך פעולתם של לימפוציטים מסוג B שונה מזה של לימפוציטים מסוג T.



איור 8.8
דרכי זיהוי של אנטיגנים על ידי לימפוציטים מסוג B ולימפוציטים מסוג T.

עתה נתאר את דרכי התגובה השונות של שתי קבוצות הלימפוציטים לאחר זיהוי האנטיגן והתרבות שבט הלימפוציטים המתאים.

לימפוציטים מסוג B מגיבים בייצור נוגדנים

רוב הלימפוציטים מסוג B, שהתרבו לאחר זיהוי אנטיגן, מעמידים דורות של צאצאים רבים, שמרביתם מבשילים עם הזמן ונעשים תאים יצרני **נוגדנים**. הנוגדנים הם חלבונים המופרשים מהתאים ומומסים בדם ובלימפה, והם בעלי כושר ייחודי לזהות את האנטיגן שעורר את ייצורם. הם נקשרים לאנטיגנים – חיידקים או חומרים רעילים – ומנטרלים אותם. ייצור הנוגדנים מתרחש במהירות עצומה. כל תא מייצר נוגדנים מפריש לדם כ-2,000 נוגדנים בשנייה - כלומר, כ-120,000 נוגדנים בדקה. מדובר אפוא בייצור מולקולות חלבון חדשות בקנה-מידה עצום (אולי משום כך כדאי לאכול מזון עתיר חלבונים, בעת מחלה...). חלק מהנוגדנים נותרים בדם לאורך זמן.

קבוצה קטנה יותר של לימפוציטים מסוג B הופכים ל**תאי זיכרון**. אלה הם תאים המתרבים בקצב איטי ומשמרים לאורך זמן את זכר המפגש עם האנטיגן. אם אותו אנטיגן חודר לגוף פעם נוספת, הוא מזוהה תחילה על-ידי תאי הזיכרון, ואלה גורמים לכך שקצב ייצור הנוגדנים נגדו יהיה מהיר בהרבה מקצב ייצורם במפגש הראשון עם האנטיגן.

סיכום כללי של מהלכים אלה תוכלו באיור 8.9.

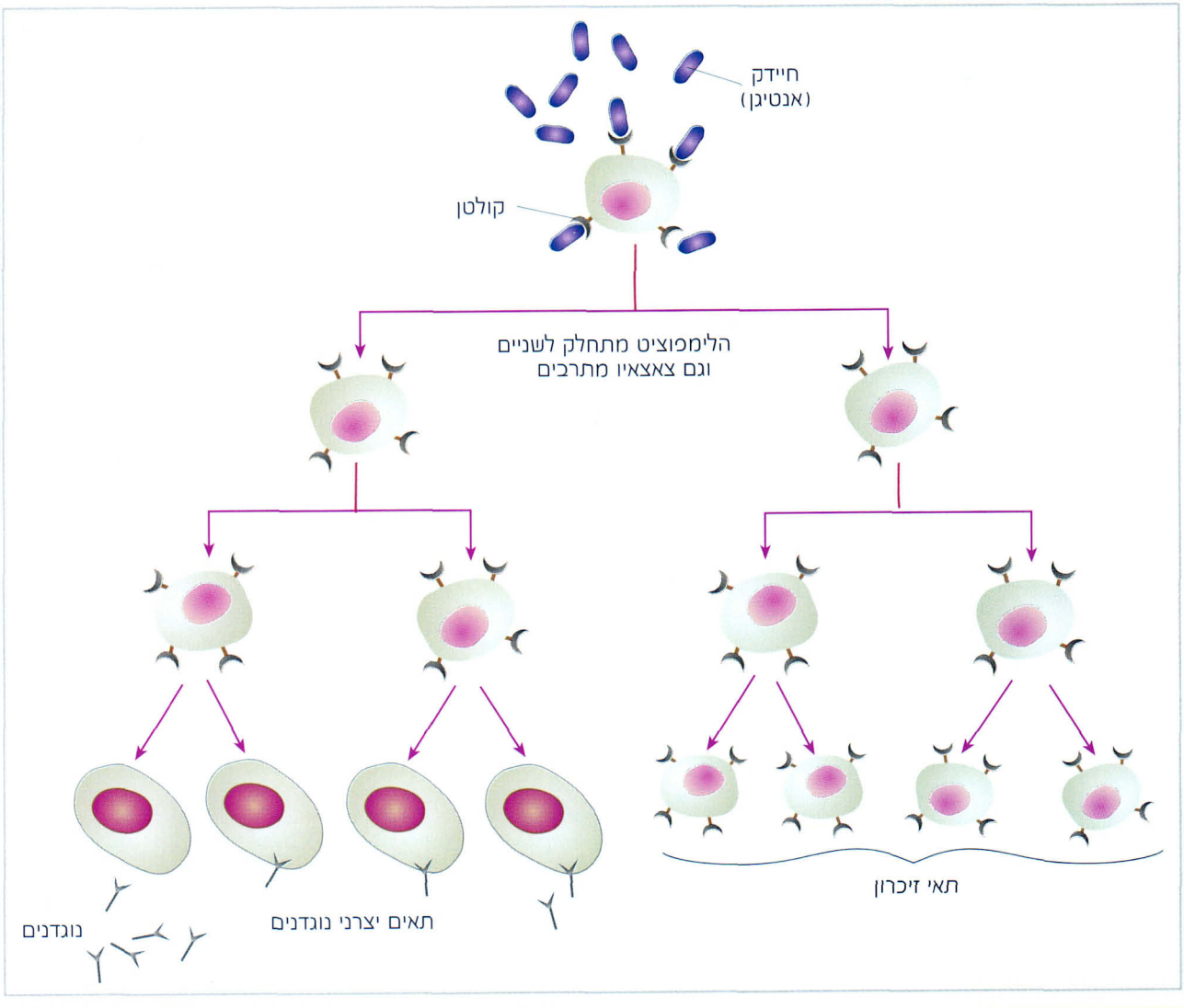
לימפוציטים מסוג T הורגים תאים נגועים

בעקבות זיהוי תא (בלען או תא אחר), הנושא סימנים לנוכחות אנטיגן בתוכו, כל תאי T מהשבט המתאים מתרבים ומעמידים גם הם מספר גדול של צאצאים. תאי T הורגים תאים או משתפים פעולה עם תאים אחרים (למשל תאי B) וביחד הם גורמים למותם של תאים נגועים.

מספר קטן של תאי T מתרבים באיטיות ונותרים בדם כתאי זיכרון, המשמרים את זהות האנטיגן לאורך זמן.

התגובות נגד אנטיגנים מתקיימות אפוא בשני מסלולים: לימפוציטים מסוג B מגיבים לאנטיגנים בהפרשה של נוגדנים. הנוגדנים נקשרים לחיידקים או לחומרים רעילים הנמצאים מחוץ לתאים, בלימפה, או בדם (חיידקים מגיעים לדם רק לעתים נדירות). תגובה זו של תאי B מכונה **תגובה המתרחשת בנוזל** (תגובה הומוֹרלית, מהמילה היוונית העתיקה "הומור" - humor - שפירושה "נוזל, לחות"). לעומת זאת, לימפוציטים מסוג T מתקיפים במישרין תאים ה"מציגים" סימנים לנוכחות אנטיגנים בתוכם. התגובה של תאי T מכונה בהתאם **תגובה תאית**.

סיכום הפעילות של שתי קבוצות הלימפוציטים מופיעה בטבלה 1.



איור 8.9
תגובות של לימפוציטים מסוג B למפגש עם האנטיגן

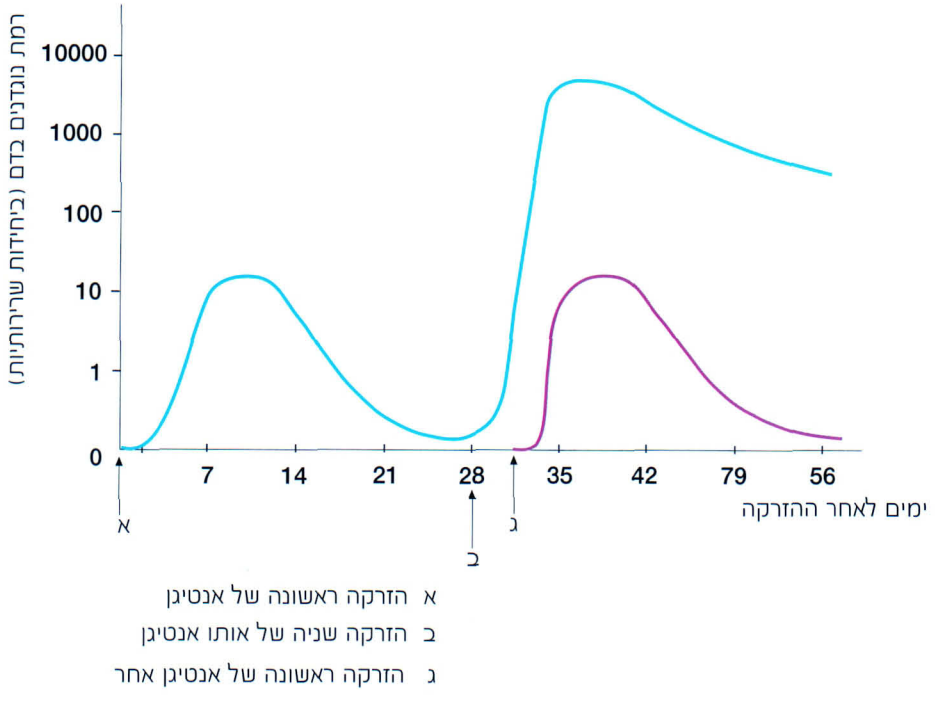
טבלה 1: השוואת פעילותם של תאי B לזו של תאי T

תאי B	תאי T
1. תאים משבט מסוים מזהים אנטיגן שחדר לגוף.	1. תאים משבט מסויים מזהים תאים בלענים שבלעו אנטיגן או תא נגוע בנגיף.
2. בעקבות הזיהוי התאים מתרבים בחלוקות תא מהירות.	2. בעקבות הזיהוי התאים מתרבים בחלוקות תא מהירות.
3. נוצרים תאים רבים מאותו שבט. רוב התאים החדשים מייצרים נוגדנים.	3. נוצרים תאים רבים מאותו שבט.
4. הנוגדנים מופרשים מהתאים לדם. הם משתקים אנטיגנים: חיידקים, נגיפים ו/או חומרים רעילים. הפעילות נגד האנטיגן מתרחשת בנוזלי הדם והלימפה ומכונה "תגובה בנוזל".	4. חלק מהתאים החדשים תוקפים במישרין תאי גוף אחרים הנגועים באנטיגן, וממיתים אותם. תאי T אחרים מסייעים לתאים ההורסים וגם לתאי B. הפעילות נגד האנטיגן מתרחשת במגע ישיר בין תאים ומכונה "תגובה תאית".
5. מקצת התאים החדשים הופכים לתאי זכרון. אם אותו אנטיגן יחדור שנית לגוף, הם יזהו אותו במהירות ויגיבו במהירות באמצעות יצירת נוגדנים כנגדו.	5. מקצת התאים החדשים הופכים לתאי זכרון. אם אותו אנטיגן יחדור שנית לגוף, הם יזהו אותו במהירות ויזרזו תגובה מהירה נגדו.

תגובת הלימפוציטים משלבת ייחודיות וזיכרון

מן התיאור עד כה מתברר ממה נובעות שתי התכונות המרכזיות של מערכת החיסון: הייחודיות והזיכרון.
הייחודיות נובעת מקיומם של הקולטנים, שבאמצעותם מגיב כל שבט של לימפוציטים באופן ייחודי ויעיל רק כנגד האנטיגן שהוא מזהה.
הזיכרון נובע מכך שבמהלך התגובה נגד האנטיגן, נוצרים תאי זיכרון. כאשר נכנס לגוף אנטיגן שכבר חדר אליו בעבר, תאי הזיכרון מזעיקים את כל מערך התגובה, וההתארגנות שלו לתגובה מהירה פי כמה מכפי שהייתה במפגש הראשון.

זהו, בעצם, ההסבר לעובדה שאדם אשר חלה פעם אחת באבעבועות, או באדמת, לא יחלה במחלה זו שנית.
הייחודיות מאפיינת גם את פעולת הנוגדנים המיוצרים על ידי לימפוציטים מסוג B. כל שבט לימפוציטים מסוג B בעל קולטנים לאנטיגן מסוים, יוביל ליצירת נוגדנים נגד אותו אנטיגן בלבד.
עובדה זו מומחשת היטב כאשר בודקים את רמת הנוגדנים בדמו של אדם לאחר חשיפה ראשונה לאנטיגן, ולאחר חשיפה שנייה לאותו אנטיגן (ראו איור 8.10).



איור 8.10
שינוי ברמת נוגדנים בדם בעקבות חשיפה ראשונה ובעקבות חשיפה שנייה לאותו אנטיגן

שאלה 4

עיינו בעקומות באיור 8.10.
א. כמה זמן עובר עד שהנוגדנים מגיעים לרמת שיא בדם לאחר חשיפה ראשונה לאנטיגן?
ב. נסו לשער איזו בעיה עלולה להתעורר בחשיפה ראשונה לאנטיגן בעל כושר פגיעה חזק במיוחד.

משימה 4

חוקרים בעקבות פסטר (3)
קראו שנית את תיאור המקרה עם התרנגולת במעבדתו של לואי פסטר. תארו והסבירו את מהלך התגובה החיסונית שהובילה לכך שהתרנגולת לא חלתה, והשתמשו במונחים האלה: **אנטיגן, תאים בלענים, לימפוציטים, זיכרון, ייחודיות.**

משימת אתגר

במעבדה נמצאות שתי קבוצות עכברים. לעכברים מאחת הקבוצות הוזרקו חיידקים מוחלשים, הגורמים לדלקת ריאות, שהיא מחלה קטלנית לעכברים. הסטודנט המבולבל שכח להדביק מדבקה לכלוב של העכברים שחוסנו. הציעו ניסוי, שיסייע לו לזהות איזו משתי הקבוצות כבר קיבלה את החיסון – וזכרו שאינכם רוצים להמית את העכברים הלא-מחוסנים!

תארו את מהלך הניסוי, והוסיפו איור מתאים המראה את התוצאות הצפויות.

8.5 חיסון פעיל וחיסון סביל מסייעים במניעת מחלות

בעקבות פסטר החלו רופאים במקומות רבים בעולם לחסן אנשים נגד מחלות קטלניות שלא היו להן תרופות. ברבות השנים הפכו חיסונים כאלה לדבר שבשגרה.

חיסון פעיל נוצר בעקבות חשיפה לאנטיגן

כיום ידוע, כי מרכיבים של תא החיידק, המזוהים כאנטיגנים על-ידי לימפוציטים, נמצאים במעטפת החיצונית של תא החיידק. לכן ניתן להכין חומר לחיסון ממעטפת, או מחלקים ממנה, ובדרך זו אפשר לחסן אנשים בלי הסיכון שיחלו במחלה. תערובת החומרים המכילה את האנטיגנים המעוררים תגובת חיסון נקראת **תרכיב חיסון.**

במקרים רבים, הגורם המסוכן לגוף אינו החיידקים עצמם, אלא חומרים רעילים שהחיידקים מפרישים, המזיקים לתאי הגוף. חומרים אלה מכונים **רעלנים** (Toxins) . במקרים כאלה, האנטיגן המוחלש המשמש לחיסון הוא הרעלן, שעבר שינוי כימי המבטל את הרעילות שלו, ומותיר רק את הזהות שלו כאנטיגן. כך מחסנים, למשל, נגד צפדת (טטנוס).

התקדמות נוספת שחלה כבר בימיו של פסטר מתבטאת בהצלחה להכין תרכיבי חיסון נגד מחלות קשות הנגרמות על ידי נגיפים (אף שפסטר לא ידע על קיומם של נגיפים כמחוללי מחלות). נגיפים הם קטנים מחיידקים, והזיהוי שלהם קשה לאין ערוך מזיהוי חיידקים.

עוד על...

פסטר מצליח לחסן נגד כלבת

פסטר ייחס חשיבות רבה לבריאותן של חיות המשק, והחיסונים שפיתח נועדו להן, לא פחות מאשר לבני - האדם. בשנותיו האחרונות הוא השקיע מאמצים רבים לזהות את הגורם לכלבת, כדי שיוכל להכין חיסון נגדו. לנגד עיניו עמד סבלם הנורא של כלבים הנדבקים במחלה, לצד הסיכון הכרוך בה לבני-אדם. פסטר השתמש במיצויים מרקמת מוח של כלבים שמתו מכלבת, הדביק באמצעותם ארנבות והצליח לייצר תרכיב - נוזל המכיל את מחולל המחלה בצורה מוחלשת. בתרכיב הזה הוא הצליח לחסן כלבים וגם בני אדם שנושכו על ידי כלבים חולים בכלבת. פסטר הלך לעולמו בלא שהצליח לפתור את תעלומת הגורם למחלת הכלבת. רק לאחר מותו של פסטר התברר שהגורם לכלבת הוא נגיף ולא חיידק. הנגיפים הראשונים בודדו וזוהו רק בשנות העשרים של המאה ה-20, כ-30 שנה לאחר מותו. כידוע לכם, נהוג לחסן נגד כלבת כל כלב וכל חיה העלולה להידבק במחלה. הודות למחקריו של פסטר, גם חיות המשק מוגנות היום ממחלות קטלניות דוגמת הגחלת.

השיטה של החדרת **מחולל מחלה מוחלש** לגוף נקראת **חיסון פעיל**. בשיטה זו מפעילים את מערכת החיסון וגורמים לה להגיב בהתאם לתהליך שהכרתם: התרבות תאים, הופעת תאים יוצרי נוגדנים והופעת תאי זיכרון.

ברוב ארצות העולם נהוג לחסן כיום בחיסון פעיל כל תינוק ופעוט נגד הנגיף של שיתוק ילדים, נגד חיידקי השעלת, הדיפתריה והצפדת (טטנוס) – כולן מחלות מסוכנות, ששיעור התמותה מהן גבוה. כמו כן נהוג לחסן גם נגד גורמי מחלות נוספים. למעשה, עד שנות ה-70 נהגו לחסן תינוקות וילדים רק נגד מחלות שפגיעתן קטלנית. נגד מחלות אחרות, שאין בהן סכנת מוות - כגון אדמת, אבעבועות רוח, חצבת, חזרת - לא חיסנו; הילדים הקטנים היו נדבקים בהן זה מזה, חולים לפרק זמן קצר, ומתחסנים נגדן בחיסון פעיל טבעי לכל החיים. רופאים רבים אף המליצו להורים לוודא שילדיהם נדבקים ב"מחלות ילדות" אלה בגילאי הגן, כדי שיתחסנו נגדן.

ברבות השנים חלו שינויים בתחום זה. חלק מהשינויים נובעים מכך שהתגלה, כי מי שלא חלה ב"מחלת ילדות", עלול להיפגע ממנה בצורה קשה אם יחלה בה בבגרותו. כך, למשל, נהוג כיום לחסן בגיל הילדות גם נגד אדמת ונגד חזרת, שכאמור, אינן מחלות קטלניות. בשנות ה-60 של המאה ה-20 התברר, כי נגיף האדמת עלול לפגוע פגיעה קשה בעוברים. נמצא, כי נשים הרות שלא חלו בילדותן באדמת, ונדבקו במחלה בזמן ההיריון, ילדו תינוקות שסבלו מפגיעות קשות, החל בחירשות וכלה בפיגור שכלי. לכן המליצו הרופאים, כי ילדה שלא חלתה באדמת בילדותה, תחוסן נגד המחלה לפני הגיעה לגיל בגרות. גם חזרת אינה מסוכנת לילדים, אך הידבקות של נערים במחלה פוגעת בתהליך ייצור תאי הזרע באשכים, ועלולה לגרום לעקרות. זו הסיבה לכך שכיום נוהגים לחסן את כל הילדים נגד חזרת ונגד אדמת כבר בילדותם.

בגלל עלייה מתמדת של זיהום המים והקרקע במקומות מתועשים וצפופים, מחסנים היום את כל התינוקות בני יומם גם נגד נגיף הפוגע בכבד וגורם למחלת הצהבת (Hepatitis).

עוד על...

השחפת - מחלת העבר?

עד תחילת המאה ה-20 הייתה השחפת המחלה הקטלנית ביותר באירופה. אחד ההישגים הבולטים ביותר של רוברט קוך, שגילה את החיידק גורם המחלה, היה החיסון נגד שחפת, ששחרר את אוכלוסיית אירופה מאימתה של מחלה זו. בארצות המפותחות נהגו לחסן ילודים נגד שחפת בערך עד אמצע-סוף שנות ה-60 של המאה ה-20 (המועדים המדויקים של הפסקת החיסון שונים מארץ לארץ). עם הזמן הגיעו הרופאים והחוקרים למסקנה, כי החיידקים גורמי השחפת נכחדו כמעט כליל, ואין צורך לחסן את האוכלוסייה כולה נגד המחלה. אולם מתחילת שנות ה-70 של המאה ה-20 החלה בכל העולם הגירת המונים - ההולכת וגוברת מאז - מארצות עניות בדרום ובמזרח לעבר ארצות המערב והצפון העשירות. ההגירה הזו נושאת עמה, בין השאר, גם מקרים לא מעטים של שחפת, ומתברר כי ההנחה בדבר הכחדתה הייתה אופטימית מדי: בחלקיו העניים של העולם היא לא נעלמה כלל. כיום נהוג לבדוק ילדים בהגיעם לגיל 12 בערך, ולברר האם יש להם חיסון טבעי נגד שחפת; אם מתברר, כי אינם מחוסנים - מחסנים אותם.

שאלה 5

כתבו מהן, לדעתכם, הסיבות לכך שלא נוהגים לחסן את כולנו נגד כל המחלות שגורמיהן ידועים?

בחיסון סביל מחדירים לגוף נוגדנים מבחוץ

ב**חיסון סביל** מזריקים לאדם נוגדנים ייחודיים נגד אנטיגן המסכן אותו, ואשר לא היה לו חיסון נגדו. הנוגדנים הללו נוצרו בגופו של יצור אחר שנחשף לאנטיגן. חיסון כזה נעשה לעתים נדירות ביותר: למשל, בעקבות הכשת נחש ארסי. ארס נחשים הוא רעלן חריף וקטלני, ופעילותו בגוף מהירה ביותר. אמנם הוא מזוהה כאנטיגן, כמו חומרים זרים אחרים הנכנסים לגוף, אך מהירות פעולתו עולה פי כמה על קצב התפתחות התגובה החיסונית וייצור הנוגדנים; ומשום כך חיסון פעיל לא יכול להועיל לאדם שהוכש. לכן, הדרך היחידה להציל אדם שהוכש על-ידי נחש היא באמצעות הזרקת נוגדנים מוכנים, ייחודיים לאותו ארס, המנטרלים אותו מייד.

שאלה 6

בעקבות התיאורים שקראתם, הסבירו מדוע נקראים "חיסון פעיל" ו"חיסון סביל" בשמות אלה.

כשאדם מוכש על-ידי נחש, מחישים אותו לבית-החולים הקרוב (דרך-אגב, כדאי לעשות מאמץ ולנסות לזכור איך נראה הנחש). בבית-החולים יזריקו לנפגע נוזל המכיל את הנוגדנים הדרושים. כזכור לכם, נוגדנים הם חלבונים שנוצרו על-ידי לימפוציטים מסוג B בגופו של מי שנחשף לאנטיגן. מגופו של מי נלקחו אפוא הנוגדנים האלה?

מקורם של נוגדנים מוכנים נגד ארס נחשים ונגד עוד כמה רעלנים מסוכנים, הוא בדרך-כלל בדמם של סוסים, או של חיות משק אחרות. בכמה מקומות בעולם מחזיקים חיות בית בחוות גידול, המתמחות בהכנת נוגדנים נגד אנטיגנים מסוכנים במיוחד. החיות מקבלות חיסון פעיל - כלומר, מזריקים להן אנטיגנים מוחלשים, ובדמן נוצרים נוגדנים ותאי זיכרון נגד אותם אנטיגנים - בדיוק כמו שמחסנים אותנו נגד הנגיף הגורם למחלת שיתוק ילדים (פוליו), למשל. מכיוון שהאנטיגן מוחלש, החיות אינן נפגעות בתהליך. הנוגדנים הייחודיים נגד ארס הנחשים, או נגד אנטיגנים אחרים, מבודדים מדמן של החיות המחוסנות ונשמרים בתמיסות מיוחדות, מוכנות לשימוש.

כאשר אדם שהוכש על-ידי נחש מגיע לבית-חולים, מצילים את חייו באמצעות הזרקת הנוגדנים המתאימים לגופו. בדרך זו מצילים גם את חייו של ילד שלא חוסן, בהיותו תינוק, נגד מחלת ילדות קשה - למשל, דיפתריה - ונדבק בה.

שאלה 7

א. הזרקה של נוגדנים מוכנים אמנם מצילה חיים, אך אינה מהווה פתרון אידיאלי. איזו בעיה לא נפתרת על-ידי חיסון סביל?

ב. ילדה יצאה לטיול ונתקע לה קוץ בכף הרגל. במרפאה נתנו לה זריקת חיסון נגד טטנוס, ונאמר לה לבוא לקבל זריקה נוספת כעבור חודש. איזה חיסון קיבלה: פעיל או סביל? ומדוע התבקשה לחזור כעבור חודש?

עוד על...

החיסונים חיוניים לבריאות האוכלוסייה

חיסון פעיל מכיל גורם מחלה מוחלש. לעתים נדירות ביותר קורה שתינוק חולה במחלה קשה בעקבות החיסון. יש המשערים, כי הסיבה היא רגישות יתר לתרכיב, אף כי דבר זה עדיין לא הוכח. השכיחות של פגיעה כזו נמוכה מאוד, אך מי שהדבר קורה לו עלול להיפגע קשות. מטעם זה, יש אנשים החוששים לחסן תינוקות בחיסונים המקובלים. נוסף לכך, בגלל מדיניות החיסון, הנמשכת כבר עשרות שנים, רוב-רובם של האנשים לא מכירים כלל את המחלות הקשות, הקטלניות במקרים רבים, שגורמים חיידקים ונגיפים. אולם חשוב לדעת, כי למרות הסיכון, אין שום תחליף לחיסונים נגד מחלות קטלניות. כיום, ילד יחיד שאיננו מחוסן חשוף רק לסיכון קטן, מהטעם הפשוט שהוא חי בסביבה שכולם מחוסנים בה, ולכן הסיכוי שלו להידבק במחלה מסוכנת זעום ביותר (אולם אם במקרה יידבק במחלה זיהומית קטלנית, כגון דיפתריה או פוליו, הסכנה לחייו תהיה גדולה מאוד). אבל אם אנשים רבים יימנעו מלחסן את ילדיהם, נשוב למציאות הקשה של העבר הלא-רחוק: תינוקות ופעוטות רבים ימותו ממחלות כגון דיפתריה, שעלת (השונה לחלוטין משיעול רגיל של אדם הסובל מהצטננות), שָׁנית, שיתוק ילדים, או צפדת (טטנוס). עליכם לזכור, כי בתחילת המאה ה-20, בערך אחד מכל שמונה עד עשרה ילודים מת בשנת חייו הראשונה ממחלה זיהומית; וכי מחצית מכל הפעוטות שנדבקו בשָׁנית, בדיפתריה, בשיתוק ילדים, בחצבת או בשעלת היו מתים. סכנה זו גדולה לאין ערוך מהסבירות שתינוק ייפגע מהחיסון עצמו.

8.6 מערכת החיסון מגיבה להשתלת רקמות זרות

כפי שראיתם, כושר ההבחנה של מערכת החיסון שלנו רחב מאוד: כל מה שאיננו מוכר כחלק מהגוף, מזוהה כזר ומותקף. ברור מדוע כושר ההבחנה הזה חיוני לקיומו של היצור החי, אך הרפואה המודרנית יצרה מצבים שבהם כושר ההבחנה הזה הופך לגורם מפריע.

מאז ומתמיד היו רופאים ששאפו להחליף איבר פגוע באיבר או בחלק איבר של אדם בריא. ידוע על מעט ניסיונות כאלה בהיסטוריה, ואלה תמיד כשלו.

בעשורים הראשונים של המאה ה-20 נעשו ניסיונות להשתיל עור בריא לאנשים שנפגעו מכוויות. בתחילה נראה ששתל העור נקלט היטב ומגן על מקום הכוויה, אך בתוך כשבועיים היה השתל מגלה סימני התנוונות, ולבסוף היה מתפרק ונושר. רק במחצית המאה ה-20 התברר מדוע לא צלחו כל ניסיונות ההשתלה האלה.

תאי הגוף מזוהים על-פי אנטיגנים של תואם רקמות

קרומי כל התאים בגופנו נושאים מולקולות מיוחדות, המסמנות אותם בסימן זיהוי ייחודי - כל אדם וסימן הזיהוי שלו.

למולקולות האלה קוראים **אנטיגנים של תוֹאֵם רקמות** (Histocompatibility antigens), והן נקראות "אנטיגנים" משום שעם החדרתן לגוף של אדם אחר, הן מזוהות על-ידי מערכת החיסון שלו ומעוררות אצלו תגובה חיסונית. ישנן כ-20 קבוצות שונות של אנטיגנים כאלה בקרומי התאים, ובכל קבוצה יש מספר גדול של אנטיגנים שונים. בגופו של כל אדם יש נציג אחד מכל קבוצת אנטיגנים, לכן לכל אדם יש צירוף של אנטיגנים של תוֹאֵם רקמות המיוחד רק לו ושונה מזה של כל אדם אחר. הצירוף הייחודי של האנטיגנים של תואם רקמות בקרומי התאים מהווה מעין "טביעת אצבעות" של תאי הגוף. חומרים אלה מהווים אנטיגנים רק בגוף אדם אחר; במערכת החיסון של הגוף שהם שייכים אליו, אין תאים עם קולטנים המזהים אותם, ואנו אומרים על כך שמערכת החיסון של כל אדם מגלה כלפי תאי הגוף שלו עצמו **סבילות חיסונית**.

כאשר משתילים איבר או רקמה זרה לאדם הזקוק לכך, מחדירים לגופו כמות עצומה של תאים הנושאים אנטיגנים של תואם רקמות שאינם "עצמי" - כלומר, זרים למערכת החיסון של מקבל השתל.

כצפוי, מערכת החיסון של החולה מקבל השתל תתחיל לפתח תגובה חיסונית כלפי השתל, אם לא יינקטו שום אמצעים למנוע זאת. תגובת חיסון נגד שתל מכונה "דחייה". עיקר התגובה נגד איברים ורקמות מושתלים מתבצעת על-ידי לימפוציטים מסוג T, והיא כוללת את כל השלבים שתיארנו: משיכה של תאים בלענים אל השתל, הפרשת חומרי אזעקה וגיוס והתרבות תאים משבטים בעלי קולטנים מתאימים, התוקפים את תאי האיבר המושתל.

כדי למנוע דחייה של השתל על-ידי מערכת החיסון של המקבל, עושים הרופאים מאמץ גדול למצוא תורם עם אנטיגנים רבים ככל האפשר הזהים לאלה של המקבל. הבעיה היא, שאין שני אנשים בעולם שכל האנטיגנים של תואם הרקמות שלהם זהים, להוציא תאומים זהים. בין קרובי משפחה אפשר למצוא מספר גדול יחסית של אנטיגנים זהים, ומספר האנטיגנים הזהים גדול יותר ככל שהקרבה המשפחתית גדולה יותר.

כאשר האיבר הדרוש הוא איבר זוגי (כמו כליות), או איבר בעל אונות אחדות, מנסים לבדוק את האפשרות לקבל את תרומת האיבר מאדם חי, ועדיף - מקרוב משפחה, שכן אדם בריא יכול לחיות עם איבר אחד בלבד, או עם חלק מהאיבר. תהליך זה מיושם במקרים של השתלת כליה, של השתלת חלק מריאה, או חלק מכבד. כן נכונים הדברים לגבי קטע עור, שאדם בריא יכול לתרום בלא חשש. אולם לא תמיד נמצא קרוב משפחה המתאים לשמש כתורם, ולא תמיד ניתן לקחת איבר של אדם חי – למשל, במקרה של השתלת לב. במקרים אלה מתעורר אפוא צורך להשיג תרומה מנפטר, ובעיית ההתאמה במקרה כזה מחריפה מאוד. התורם יהיה אדם מקרי, בדרך-כלל קורבן של תאונה כלשהי, שבני משפחתו ניאותו לתרום את איבריו כדי להציל חיים. מזבן שבמצב כזה הסיכוי לדמיון באנטיגנים של תואם רקמות בין איברי התורם לבין המקבל הוא קטן יותר.

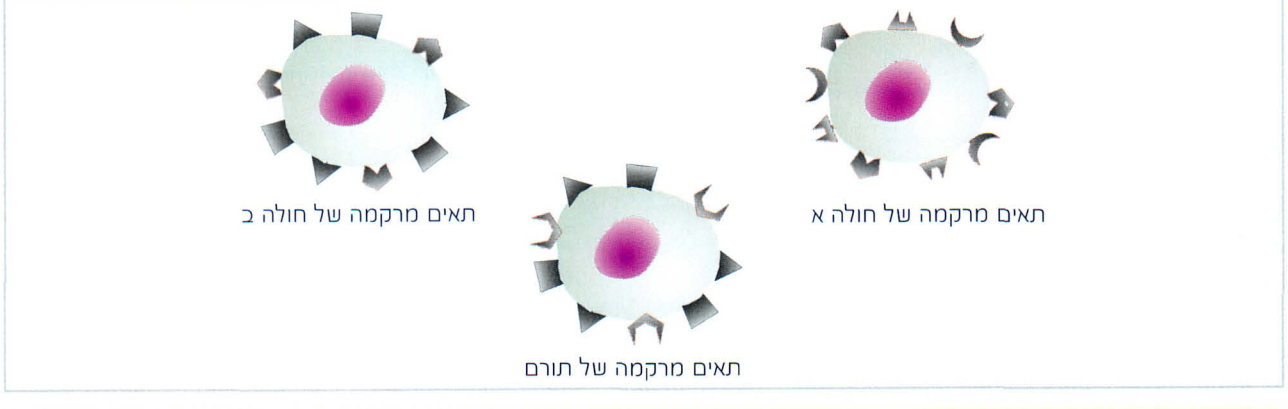
נראה איך מתמודדת המערכת הרפואית עם מצבים כאלה.

במרכז מידע ארצי נשמר מידע על כל החולים המועמדים להשתלה, הכולל פירוט של האנטיגנים של תואם הרקמות שלהם (מרכזים כאלה יש בכל הארצות המפותחות, ובכללן ישראל).

כאשר מתקבלת הודעה על תורם פוטנציאלי, בודקים במעבדה בבית-החולים תאים מדמו של התורם, ומעבירים את המידע על האנטיגנים שלו למרכז הארצי. שם סורקים את המידע על החולים הממתינים להשתלה, ומזהים למי מהם יש התאמה מרבית לרקמות התורם.

איור 8.11 ימחיש לכם את התהליך.

כפי שרואים באיור, לחולה ב יש אנטיגנים של תואם רקמות,



איור 8.11
תאים מגופם של שני חולים הזקוקים לתרומת איבר, ותאים שנלקחו מתורם פוטנציאלי. יש מידה של התאמה בין האנטיגנים של התורם לבין אלה של אחד משני החולים.

הזהים לחלק מאלה של התורם. סביר אפוא שחולה ב יקבל את תרומת האיבר. במציאות משווים תאים של תורם פוטנציאלי עם דגימות תאים ממספר גדול יותר של חולים; מבין החולים הממתינים בוחרים את מי שסיכויי ההצלחה שלו הם הגדולים ביותר בהשוואה לאחרים.

עוד על...

מה הסיכויים לדמיון בין רקמות?

כאמור, יש 20 קבוצות של אנטיגנים שונים של תואם רקמות, ובכל אחת מהן יש כמה תת-סוגים. מכאן שמספר הצירופים השונים הוא עצום, ולכל אדם יש צירוף ייחודי משלו. ההסתברות שלשני אנשים, שאין ביניהם קשר משפחתי, יהיו בדיוק אותו צירוף של 20 אנטיגנים, היא בערך אחת ל-400 מיליון. לעומת זאת, ההסתברות לכך שמחצית מהאנטיגנים של הורה וילד יהיו זהים – גבוהה. עד לפני שנים מעטות הסתמכו חקירות פליליות לזיהוי פושעים על הסתברויות אלה. כמו כן היה השימוש בהשוואת אנטיגנים של תואם רקמות שכיח במיוחד במקרים של קביעת אבהות, כאשר אישה טענה כי גבר מסוים הוא אבי התינוק שלה. אם מחצית מהאנטיגנים של תואם הרקמות של התינוק נמצאו זהים לאלה של הגבר (המחצית השנייה מקורה באם), הדבר התקבל כהוכחה לכך, שהאיש הוא אכן אבי התינוק, שכן הסבירות שיהיה דמיון כזה בין שניהם בלי קשר משפחתי, היא אפסית.

מאז שהשתכללו השיטות לאפיון ה- DNA, משתמשים בדמיון בין קטעי DNA כאמצעי אמין יותר להוכחת קרבה משפחתית, אולם בדיקת האנטיגנים של תואם רקמות היא עדיין האמצעי הראשי לקביעת התאמה בין תורם שתל לבין המקבל.

אולם הקשיים הנלווים להשתלה אינם מסתיימים באיתור תורם מתאים. מאחר שאי-אפשר להשיג התאמה מלאה בשום מקרה (להוציא השתלה בין תאומים זהים), ולגופו של החולה מוחדרים אנטיגנים זרים, למעשה לא ניתן למנוע באופן מוחלט התפתחות תגובה חיסונית של גוף החולה נגד השתל. לכן, במקביל להשתלה, מקבל החולה במשך כל חייו טיפול הנועד לדכא את כושר התגובה של מערכת החיסון שלו.

שאלה 8

מה הסיכון הכרוך בטיפול המדכא את כושר התגובה של מערכת החיסון הניתן לאחר השתלה?

אכן, הסיכון הכרוך בדיכוי מערכת החיסון ממשי לחלוטין, אך בהשגחה נאותה, אפשר להגן מפניו על האדם שקיבל את השתל. שיטות ההשתלה והטיפול הולכות ומשתכללות עם השנים, ואנשים רבים זוכים להארכה ניכרת של תוחלת חייהם, ולשיפור ניכר באיכותם.

עם זאת, במקרים רבים אדם עשוי להזדקק להשתלה נוספת לאחר כמה שנים, שכן בטווח הארוך מערכת החיסון שלו תזהה את האנטיגנים הזרים שבשתל, תתחיל לפתח תגובה חיסונית נגדם, ותפגע בתפקודם.

עירוי דם הוא מקרה פשוט של השתלת רקמה

למעשה, עירוי דם כמוהו כהשתלת רקמה. אולם בניגוד להשתלות איברים, זו השתלה פשוטה, הנעשית דרך שגרה. כדי שאדם יוכל לקבל עירוי דם מאדם אחר, צריך להיות לשניהם אותו **סוג דם**.

בין השנים 1901-1902 מצא החוקר קרל לנדשטיינר (K. Landsteiner), כי אפשר לחלק את בני האדם לפי סוג הדם שלהם לארבע קבוצות, שהוא כינה בשמות A, B, O ו-AB.

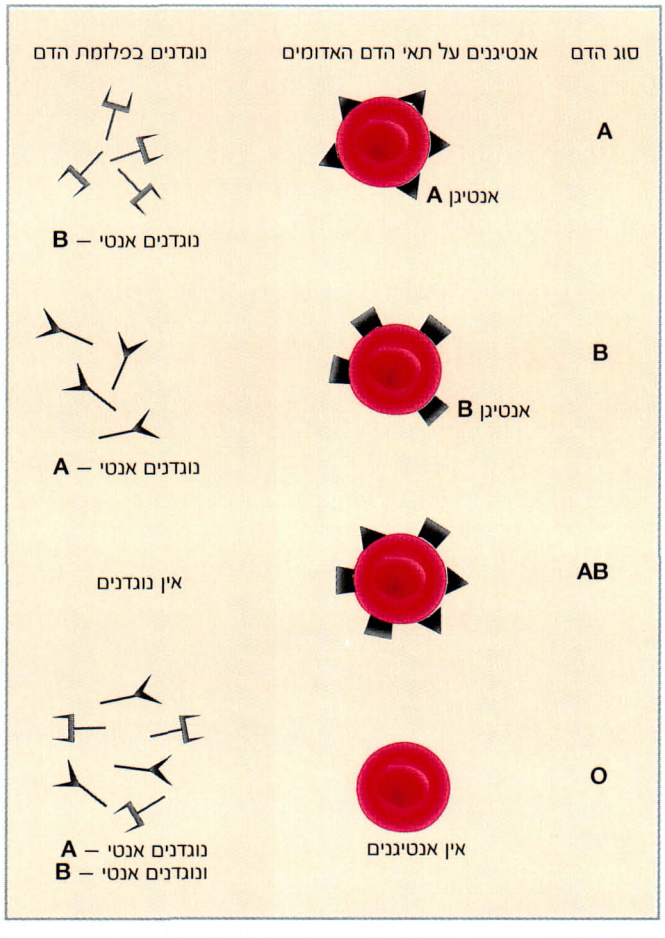
מה קובע אם אדם יהיה בעל סוג דם B, AB , A או O?

קבוצות הדם נקבעות לפי שני חומרים העשויים להימצא על הקרומים של תאי הדם האדומים. לנדשטיינר גילה, כי אצל חלק מבני-האדם יש על קרומי התאים האדומים תרכובת שהוא כינה A; בני-אדם אלה הוגדרו כבעלי סוג דם A. על קרומי התאים האדומים בגופם של אחרים מצא לנדשטיינר תרכובת שונה במקצת, שכינה B, ובהתאם לכך קבע שהם בעלי סוג דם B. כבעלי סוג דם O הוגדרו מי שלא נמצאו על קרומי התאים האדומים בגופם אף לא אחת מהתרכובות האלה. מאוחר יותר נמצאו בני-אדם שעל קרומי תאי הדם האדומים שלהם היו שתי התרכובות, וקבוצה זו הוגדרה כבעלת סוג דם AB.

התרכובות A ו-B הן אנטיגנים. אם תאי דם אדומים, הנושאים את A, יגיעו לגופו של אדם בעל סוג דם B, הם יזוהו כ"לא עצמי".

השאלה היא, ממה נובע הסיכון הגדול במתן עירוי דם כשאין התאמה בין סוגי הדם?

בפלזמת הדם עשויים להימצא נוגדנים המזהים את האנטיגנים של



איור 8.12
בפלזמת הדם של אדם עשויים להימצא נוגדנים המכוונים נגד אנטיגנים של סוג דם אחר

סוגי הדם. התברר, כי אם אדם הוא בעל סוג דם A, יש בדמו נוגדנים נגד אנטיגן B. הדבר נכון גם לבעלי סוגי הדם האחרים.
נבהיר זאת בעזרת איור 8.12
הנוגדנים נגד האנטיגנים של סוגי הדם מזהים תאי דם אדומים הנושאים אנטיגנים אלה; הם נקשרים לתאים וגורמים להם להידבק לגושים גדולים - תופעה הנקראת **הצמתה**. אם אדם בעל סוג דם A יקבל מנת דם מתורם בעל סוג דם B, הנוגדנים אנטי-B של מקבל העירוי יתקשרו לתאי הדם האדומים מסוג B שבתרומת הדם, ויגרמו להם להתלכד לגושים גדולים, שיפריעו לזרימת הדם בכלי הדם. הצמתה כזו היא למעשה קטלנית למקבל העירוי.

שאלה 9

א. מה יקרה אם אדם בעל סוג דם A יקבל עירוי של דם מסוג AB ?

ב. מה יקרה אם אדם בעל סוג דם AB יקבל מנת דם מתורם שדמו B ?

נוכחות נוגדנים נגד החומרים של סוגי הדם A ו-B יכולה לעורר תהייה: כך, בדמו של אדם בעל סוג דם B נמצאים נוגדנים אנטי-A אף שמעולם לא חדר לגופו האנטיגן A. תופעה זו מנוגדת למה שלמדתם עד כה, כי נוגדנים נוצרים בדמנו בעקבות חשיפה לאנטיגן. אכן, נוכחות הנוגדנים נגד החומרים A ו-B, המגדירים את סוגי הדם, מעוררת שאלה לא פשוטה בדבר התפתחותה של מערכת החיסון. לחוקרים יש כמה השערות בעניין זה, אך עדיין אין תשובה מניחה את הדעת לשאלה. עם זאת, סביר שיש לחפש את ההסבר לתופעה בחקר תהליכי האבולוציה של מערכות חיסון בעולם החי.
במרוצת השנים התגלו תרכובות נוספות בקרומים של תאי הדם, שגם הן אנטיגניות, והתברר כי בני-אדם נחלקים לקבוצות של סוגי דם לא רק לפי האנטיגנים A ו-B.

עוד על...

אין "סוג דם טוב" ו"סוג דם רע"
חשוב להדגיש, כי להימצאותם או להיעדרם של האנטיגנים האלה על קרומי התאים אין כל חשיבות לגבי תפקודם של תאי הדם האדומים ולגבי בריאות הגוף. במילים אחרות, אמירות כגון "סוג דם טוב", או "סוג דם לא טוב" – הן חסרות שחר. כל תאי הדם האדומים מתפקדים באופן זהה בהובלת חמצן בגוף, בלי קשר לאנטיגנים A ו-B הנמצאים או לא נמצאים על קרומיהם.

8.7 שיבושים בפעולת מערכת החיסון הם מקור למחלות

לעתים קורה שמערכת החיסון, המגינה עלינו מפני מחלות, גורמת לבעיות - אם משום שהיא מגיבה לחומרים שהיא אמורה לזהות כ"עצמי", מתייחסת אליהם כאל אנטיגנים ותוקפת אותם; ואם משום שהיא מגיבה בתגובת יתר לאנטיגנים מסוימים. לחילופין, מחלות קשות עלולות להיגרם בגלל היעדר תפקוד, או תפקוד חלש מדי של מערכת החיסון.
נבחן את האפשרויות האלה.

לעתים תוקפת מערכת החיסון את הגוף עצמו

לא מעט מחלות נובעות מכך שתאי מערכת החיסון תוקפים תאים ורקמות של הגוף עצמו. משמעות הדבר היא, שהתאים במערכת החיסון מאבדים את הסבילות החיסונית כלפי "עצמי". מסיבה כלשהי, המערכת מגיבה נגד האנטיגנים של "עצמי" - אותם אנטיגנים של תואם רקמות, המסמנים את תאי הגוף כשייכים לאותו גוף. מחלות כאלה נקראות **מחלות אוטואימוניות** (auto = עצמי; immune = חיסוני, וביחד: "חיסון נגד עצמי").
ביטוי אופייני של מחלות כאלה הוא מוות של תאים והרס של רקמה בגוף, המתרחשים באזור כלשהו בגוף בלי כל סיבה ברורה. בדיקה מעמיקה יותר מגלה ברקמה הפגועה חדירה של לימפוציטים מסוג T, ההורגים תאים וגורמים לנזקים שונים, כגון הצטברות חומרים מזיקים המובילים לניוון הרקמה. ברוב המקרים עדיין לא ידועה הסיבה להתנהגות הזו של מערכת החיסון.
עם המחלות שזוהו כמחלות אוטואימוניות נמנות טרשת נפוצה, סוכרת-תלויית-אינסולין, סוגים שונים של מחלות ניווניות הפוגעות במערכת העצבים, או בשרירים, סוגים מסוימים של דלקות פרקים ומחלות נוספות.

אלרגיה היא תגובת-יתר של המערכת לאנטיגנים שונים

סוג נוסף של תגובה מזיקה של מערכת החיסון מתבטא בסדרה של מצבים, המכונים **אלרגיה**. במצב שמוגדר כאלרגיה, מערכת החיסון מגיבה בעוצמה לחומרים שכיחים בסביבה הטבעית, שאינם מעוררים תגובה חיסונית אצל מרבית בני-האדם. לדוגמה, למספר גדול יחסית של בני-אדם יש נוגדנים המזהים את המעטה החיצוני של גרגרי אבקה בצמחים מסוימים, וכאשר צמחים אלה פורחים, והאבקה שלהם נישאת באוויר, אנשים כאלה סובלים מתגובה אלרגית. התגובה האלרגית דומה במקצת לדלקת: נימי דם מתרחבים, מתפתחת אדמומית ונפיחות, מצטברים נוזלים ברקמה ומרגישים גירוי חריף או עקצוץ. לעתים, התגובה הזו קיצונית במיוחד, ויכולה להוות סכנת חיים: אצל בני-אדם אלרגיים לארס של דבורים, למשל, דליפת הנוזלים מכלי הדם היא כה גדולה, שבלי טיפול מהיר ועירוי נוזלים, הם עלולים למות.

ההבדל בין אדם אלרגי לחומר מסוים, לכזה שאינו אלרגי, מתבטא בריבוי אותם נוגדנים מיוחדים, השכיחים בדמו של האדם האלרגי, ונדירים בדמו של האדם שאינו אלרגי.
יש בסביבתנו הטבעית כמה אנטיגנים, שבני-אדם רבים יחסית אלרגיים לאחד מהם: למשל, קשקשים של חיות בית; חרקים זעירים – קרדית האבק - המצויים באבק; גרגרי אבקה של כמה עצים, בעיקר האורן, הזית והברוש. עם זאת, מעטים בלבד מגיבים בתגובה אלרגית למגוון גדול של חומרים.

הרחבה

לא כל רגישות היא אלרגיה

אנשים מרבים להשתמש בביטוי "אני אלרגי ל...", אך לא כל רגישות היא אלרגיה. אם, למשל, מישהו לא יכול לשאת טעם של מאכל או משקה כלשהו, יש לכך סיבות שונות, אך בדרך כלל אין כאן תגובת יתר של מערכת החיסון, אלא מעורבות של גורמים אחרים, כגון חוש הטעם או הריח, או אף גורמים רגשיים. יש אנשים שמערכת העיכול שלהם מתקשה בעיכול של חומרים מסוימים. הם יודעים מתוך ניסיון, שאכילת מאכל מסוים גורמת להם כאבי בטן, ומעידים על עצמם שהם "אלרגיים לכרוב". גם כאן, אין מדובר באלרגיה, אלא ברגישות שסיבותיה אחרות. עם זאת, קיימת בהחלט גם אלרגיה למאכלים מסוימים. אנשים אלרגיים לתות-שדה, למשל, יסבלו מתופעות האלרגיה האופייניות, אם ינסו לאכול אותו.

כשל של מערכת החיסון חושף את הגוף לזיהומים מתמידים

תיארנו תופעות הנובעות מכך שתגובת יתר של מערכת החיסון פוגעת בגוף. עתה נראה מה קורה כאשר מתרחשת תופעה הפוכה: היעדר תגובה של מערכת החיסון. מצבים שבהם מערכת החיסון כמעט אינה מגיבה לאנטיגנים נקראים **כשל חיסוני**. ככלל, יכולים להיות שני סוגים של כשל חיסוני: כשל תורשתי וכשל נרכש.

כשל חיסוני תורשתי משמעו, שאדם נולד עם פגם תורשתי כלשהו, שבגללו מערכת החיסון שלו אינה מתפתחת ואינה מתפקדת בצורה תקינה. מצבים כאלה נדירים. תינוק שנולד עם מערכת חיסון שאינה מתפקדת כלל, לא יכול להאריך ימים. מימיו הראשונים הוא יותקף בהתמדה על-ידי חיידקים ונגיפים; גם אם אפשר יהיה להחזיקו בסביבה סטרילית, חופשייה ממזהמים, אי-אפשר יהיה לעשות זאת לאורך זמן. בשנות ה-80 נעשה ניסיון לגדל כמה ילדים כאלה בתוך מתקנים דמויי בועה, שמנעו באופן מוחלט חדירה של מזהמים. הילדים האלה כונו "ילדי בועה". הטיפול בילדים נעשה באמצעות כפפות מיוחדות, שאפשרו למבוגרים להכניס את ידיהם למתקן. שלושה ילדים שגדלו במתקנים כאלה בארצות-הברית, הגיעו לגיל בגרות. ניסיונות אלה נעשו מתוך תקווה שברבות הימים יימצא טיפול, או פתרון כלשהו שישפר את מצבם של הילדים; אולם לא נמצא פתרון יעיל לבעיה. הילדים, גם אם גדלו, לא האריכו ימים, והניסיונות האלה נזנחו.

כשל חיסוני נרכש הוא כשל של מערכת חיסון שהייתה תקינה ונפגעה במהלך החיים. כושר התגובה של מערכת החיסון יכול להיפגע בשל חיים בתנאי מחסור, או בשל חשיפה ממושכת לתנאי סביבה קשים, כגון קור קיצוני. חשוב לזכור, בהקשר זה, שתגובה תקינה של מערכת החיסון מתבטאת ביכולת של לימפוציטים להתרבות בקצב מהיר ביותר בעקבות חדירת אנטיגן. התרבות מהירה ומרובה של תאים משמעה ייצור מוגבר מאוד של כל החומרים המרכיבים את התאים: חלבונים, פחמימות, שומנים, חומצות גרעין ועוד. ועל כך יש להוסיף עוד ייצור מסיבי של נוגדנים, שהם כזכור חלבונים.
אם אדם סובל ממחסור מתמשך במזון, לרבות מחסור בוויטמינים, אין לגופו אפשרות לייצר לימפוציטים חדשים ונוגדנים בקצב ובכמות הדרושים, כדי להגיב על חדירה של אנטיגן - חיידק או נגיף כלשהו. בעיה דומה פוקדת אנשים זקנים, שהקצב הכולל של תהליכי חילוף החומרים בגופם איטי יותר. גם הם פגיעים יותר להדבקות, משום איטיות התגובה של מערכת החיסון שלהם.

אולם המצב הקשה ביותר של כשל חיסוני נרכש הוא זה המופיע אצל אנשים שנדבקו ב"נגיף הכשל החיסוני הנרכש באדם", או בקיצור הלועזי המקובל: HIV (Human Immunodeficiency Virus) נגיף זה גורם למחלת ה**איידס**, שגם שמה, ממש כשם הנגיף, מעיד על טיבה: AIDS הם ראשי תיבות של המילים Acquired Immune-Deficiency Syndrome, ובעברית: **תסמונת של כשל חיסוני נרכש.**
כאשר הנגיף מגיע לגוף, הוא חודר ללימפוציטים מסוג T ומסוגל להימצא בהם במשך פרקי זמן ארוכים, בלי לגרום לנזק כלשהו. אך אם הוא מתרבה, הוא הורס את הלימפוציטים. הרס של הלימפוציטים האלה פוגע, כמובן, בכושרה של מערכת החיסון להגיב לאנטיגנים. למעשה, אדם החולה באיידס חשוף לאוסף שלם של מחלות. כל חיידק או נגיף, הנמצאים בסביבה, ובאופן תקין לא מצליחים לשרוד בגוף, מסוגלים לחדור ולהתרבות בגופו של חולה האיידס בלא הפרעה. חולי איידס סובלים מפצעים בעור ובפה בשל התרבות חיידקים ופטריות טפיליות בגופם, וכן הם סובלים מדלקות זיהומיות רבות. רוב חולי האיידס מתים ממחלות כגון דלקת ריאות, או סרטן, אך הם עלולים למות גם משפעת.

כאמור, במקרים רבים נגיף האיידס החודר לגוף מסוגל להימצא במצב רדום בתוך הלימפוציטים. זה מה שקורה אצל אנשים אשר נבדקו וזוהו כנשאים של הנגיף. אנשים אלה אינם חולים, אולם הם נתונים לסכנה שבזמן כלשהו הנגיף שבגופם "יתעורר" ויפגע קשות בתאים של מערכת החיסון.

הקושי העצום הכרוך במלחמה באיידס נעוץ בכך שכיום לא ניתן לחסן את הגוף נגד הנגיף. וזאת, לא משום שאיננו יודעים להחליש אותו, או לייצר נוגדנים נגדו, אלא משום שהנגיף יוצא דופן בקרב כל הנגיפים הידועים לנו, במהירות שבה משתנים החלבונים היוצרים את המעטפת שלו. חלבוני המעטפת הם האנטיגנים המעוררים תגובה חיסונית; אך הם משתנים במהירות גדולה בהרבה מהזמן הנדרש למערכת החיסון להגיב עליהם. מטעם זה, גם חיסון פעיל לא מועיל: עד שהאדם יגיב להחדרת נגיף מוחלש וייצר נוגדנים, ישתנו האנטיגנים המאפשרים לזהות את הנגיפים שבגופו. צאצאי אותו שבט ראשון של לימפוציטים, שנכנס לפעילות עם חדירת הנגיף לגוף, כבר לא מסוגלים לזהותו, הקולטנים שלהם כבר לא מתאימים לאנטיגנים של הנגיף, שהשתנו בינתיים. בכך מתבטא ייחודו של נגיף האיידס, ומכך נובע הקושי הגדול במאבק בו.
למרבית המזל, כשם שפגיעתו של האיידס קשה, מניעת ההדבקה בו דווקא קלה. ככל הידוע היום, הנגיף מועבר רק על-ידי דם, נוזל זרע, נוזל הנרתיק וחלב אם - כלומר, רק כאשר נוזלים אלה של אדם הנושא את הנגיף, באים במגע עם אלה של אדם אחר. הנגיף לא יכול לעבור בשום צורה אחרת, לא במגע, לא בנשימה, וכמובן לא במגע בכלים, באוכל, או בחפצים כלשהם. מבחינה זו, נגיף האיידס מסוכן הרבה פחות מנגיפים וחיידקים רבים וביניהם, נגיף צהבת קשה, המכונה הֶפַּטיטיס B, היכול לעבור במים ומזון מזוהמים; וחיידק השחפת, העובר בקלות רבה באוויר. כך, יידבקו בצהבת זו מי שישתו מהמים שחולה הצהבת שותה מהם, או יאכלו ממזונו, וכך שיעול של חולה שחפת אחד יכול להדביק את כל סביבתו.

כדי למנוע הדבקה באיידס, צריך קודם-כל להימנע ממגע בין דם של חולה לדם של אדם בריא. לכן, למשל, צריך להימנע מנגיעה בידיים חשופות באדם פצוע – כלל בטיחות שכוחו היה יפה מאז ומתמיד, בלי כל קשר לאיידס; כמו-כן, אם מקיימים יחסי מין עם בן/בת-זוג בלי לדעת בביטחון אם הוא/היא אינם נשאי איידס - חייבים להשתמש בקונדום.

מכיוון שמערכת החיסון של האדם לא מצליחה לבלום הדבקה בנגיף איידס, ומכיוון שקשה לפתח חיסון פעיל נגדו, המחקר מתמקד בכמה כיוונים: כיוון אחד הוא ייצור חומרים, היכולים לפגוע בכושרו של הנגיף לחדור ללימפוציטים – כיוון שלפי שעה אינו זוכה להצלחה ממשית; כיוון מבטיח הרבה יותר, הוא פיתוח חומרים המעכבים או משבשים את תהליכי ההתרבות של הנגיף בתוך הלימפוציטים. כיום, כל אדם שנדבק בנגיף האיידס, גם אם הוא נשא - כלומר, בריא לכל דבר אך נושא את הנגיף בגופו - חייב לקבל שלושה סוגים של תרופות הפוגעות בתהליכי ההתרבות של הנגיף. צירוף תרופות זה זכה לכינוי "קוקטייל". נוסף לכך, מטפלים בחולים גם בתרופות נגד כל גורמי המחלות שהם נעשים חשופים להם בשל ההדבקה באיידס.

מאמצע שנות ה-90 של המאה ה-20 השתפר מאוד הטיפול בנשאים ובחולים, ותוחלת חייהם עלתה במידה ניכרת, בעיקר הודות לשימוש בקוקטיל התרופות.

8.8 סיכום

בגופם של מרבית בעלי-החיים פועלות מערכות הגנה המונעות חדירה של גורמים מהסביבה לתוך הגוף. מערכות אלה אף תוקפות גורמים זרים המצליחים לעקוף את ההגנה הקדמית ולחדור לגוף פנימה.

העור מהווה מערכת הגנה יעילה, המונעת כמעט לחלוטין כניסה של אורגניזמים וחומרים שונים לתוך הגוף. בפתחי הגוף נמצאים עוד אמצעי הגנה: דמעות, רוק, רקמות רריות וריסים. אם אמצעי הגנה אלה לא מנעו כניסה של גורם זר מופעלים התאים הבלענים הפאגוציטים. אמצעי המגן האלה מספקים הגנה לא-ייחודית, הפועלת באופן זהה נגד כל סוגי הגורמים הזרים החודרים לגוף.

בגופם של בעלי-חיים רבים, ובצורה משוכללת במיוחד אצל העופות והיונקים, פועלת גם מערכת חיסון המגיבה בתגובה ייחודית נגד גורמים זרים – אנטיגנים – החודרים אל הגוף. התגובה הייחודית של מערכת החיסון מופעלת על-ידי שתי קבוצות של תאי דם לבנים: לימפוציטים מסוג B ומסוג T. כל הלימפוציטים נחלקים לשבטים בעלי קולטנים המזהים אנטיגנים באופן ייחודי. הלימפוציטים מסוג B מתרבים ומובילים להופעתם של תאים מייצרי נוגדנים. תגובתם של הלימפוציטים מסוג T מתבטאת בהתרבות של תאים בעלי כושר הרג, הממיתים תאים נגועים באנטיגנים, ובהתרבות של תאים המסייעים לתאים ההורגים. שני סוגי הלימפוציטים מעמידים קבוצות של תאי זיכרון.

תאי מערכת החיסון מגלים, בדרך כלל, סבילות חיסונית כלפי תאים של הגוף עצמו, שכן אלה מסומנים באנטיגנים מיוחדים, אנטיגנים של תואם-רקמות, המזהים את תאי הגוף כ"עצמי". אנטיגנים אלה מזוהים כזרים, כאשר רקמה או איבר מגופו של אדם אחד מושתלים בגופו של אדם אחר, ובעקבות הזיהוי דוחה מערכת החיסון של מקבל השתל את הרקמה או האיבר המושתלים. מטעם זה נעשה מאמץ למצוא תורם שרקמותיו מתאימות, ככל האפשר, לרקמותיו של מקבל השתל. אולם במקרים רבים, למשל, בתרומת לב, התורם חייב להיות אדם מהאוכלוסייה הכללית, ואז יש צורך לדכא את מערכת החיסון של מקבל השתל.

מחלות אוטואימוניות הן מחלות שהסבילות החיסונית נפגעת בהן, בשל פגם או כשל כלשהו, ומערכת החיסון של החולים בהן תוקפת רקמות של "עצמי" כאילו היו זרות, וגורמת להן נזקים.

אלרגיה היא תופעה הנובעת מנוכחות מספר גדול של נוגדנים נגד חומרים לא מזיקים, הנמצאים באופן טבעי בסביבה, ואצל רוב בני-האדם לא מתפתחת כנגדם תגובה חיסונית.

אף שרוב הזמן איננו מודעים כלל לפעולתה, איננו יכולים לחיות בלי מערכת חיסון תקינה. מחלות של כשל חיסוני מולד, או נרכש, חושפות את הגוף לפגיעתם של מזהמים רבים, ובדרך-כלל הן קטלניות. כשל חיסוני מולד הוא נדיר ביותר ונובע מפגם גנטי. כשל חיסוני נרכש עשוי להיות תוצאה של חיים במחסור ממושך, ובמקרים כאלה הוא ניתן לתיקון, או תוצאה של הידבקות באיידס. אדם שנדבק בנגיף האיידס עלול לסבול מכשל חיסוני קשה, שאין לו תרופה, לפי שעה. אולם יש לזכור, כי קל למנוע הידבקות באיידס, שכן נדרשים לכך אמצעי מניעה פשוטים למדי.

שאלות סיכום וחזרה

1. חזרו למשימה 1 והשלימו את תשובתכם לסעיף ב.
2. בעת דלקת חיצונית, למשל בעיניים או באוזניים, מופרשת במקומות אלו כמות מוגדלת של הפרשה רירית. הסבירו את התופעה.
3. הסבירו מדוע מכונה פעולת התאים הבלענים – "הגנה לא ייחודית".
4. מה מכילה המוגלה המצטברת בפצע שמלווה בדלקת מקומית? מדוע חשוב לנקז את המוגלה החוצה?
5. מה הייתה ההשערה שרצה ג'נר לבדוק בניסוי שערך עם הילד?
6. כיצד הרחיבו המסקנות מניסוייו של פסטר את המסקנה מניסויו של ג'נר?
7. מהו "אנטיגן"? מה תפקד כאנטיגן בניסויו של ג'נר?
8. אחד הסימנים להתרחשותה של תגובת דלקת בגוף הוא עלייה משמעותית במספר תאי הדם הלבנים בדם. הסבירו עובדה זו.
9. סכמו את ההבדלים ואת קווי הדמיון בין פעילותם של לימפוציטים מסוג B לבין פעילותם של לימפוציטים מסוג T.
10. אחת הדרכים לוודא האם אדם נדבק בחיידק או בנגיף הגורמים למחלה כלשהי, היא לבדוק בדמו את רמת הנוגדנים הייחודיים לאותו גורם מחלה.
    1. הסבירו מדוע נתון זה יכול לספק מידע על מצב ההדבקה?
    2. הסבירו כיצד ניתן ללמוד מן התוצאות גם על השאלה האם זוהי הדבקה ראשונה בגורם מחלה זה, או שהאדם כבר נחשף אליו בעבר?
11. מדוע אין צורך לחסן אישה שחלתה בילדותה באדמת, נגד נגיף זה?
12. כאמור, על קרומי התאים של כל אדם נמצא צירוף ייחודי של כ-20 אנטיגנים של תואם רקמות. אם משתילים בגופו של אדם איבר ש-10 מהאנטיגנים של תואם הרקמות בו זהים לאלו של המושתל, האם יש צורך לתת לו טיפול לדיכוי המערכת החיסונית?
13. במה דומה עירוי דם להשתלת איברים, ובמה הוא שונה ממנה?
14. הסבירו מדוע מצב של תת-תזונה פוגע ביעילות פעולתה של מערכת החיסון.
15. מהו הקושי המרכזי בפיתוח חיסון נגד נגיף האיידס?

מדור לדור - רבייה והמשכיות

9. "...זכר ונקבה ברא אתם"

מדור לדור - רבייה והמשכיות

מבוא ליחידה

הרבייה היא אחד ממאפייני החיים. היא מאפיינת את כל היצורים החיים, החל באלה הבנויים מתא אחד, וכלה ביצורים מורכבים כמו הרקפת, הלוייתן והאדם. נשאלת השאלה, האם היכולת להתרבות שונה משאר סימני החיים שמנינו בפרק הראשון של הספר? היכולת להחליף חומרים ואנרגיה עם הסביבה, היכולת לחוש את הסביבה ולהגיב עליה - הן תנאים הכרחיים לקיום חיי הפרט; בלי אלה, אין יצור חי. לכאורה, הרבייה שונה משאר פעולות החיים: פרט יחיד יכול לחיות בלא שיתרבה, כל עוד מתקיימות בו כל פעולות החיים. אולם הדבר אינו כה פשוט. לרבייה יש עוד משמעות, מעבר לחשיבותה בחייו של היחיד: אלמלא התקיימו תהליכי רבייה, החיים היו נעלמים מייד לאחר הופעתם. הרבייה מקנה אפוא המשכיות לתופעת החיים; היא גורם הכרחי לקיומם של החיים לאורך זמן. החיים הופיעו על כדור הארץ לפני כשלושה וחצי מיליארד שנים, והודות לקיומם של תהליכי רבייה, הם נמשכים לאורך מיליארדי שנים, עד היום.

יצורים חד-תאיים מתרבים - כלומר, מעמידים דור חדש ומגדילים את אוכלוסיית התאים - בדרך של חלוקת התא לשניים. התהליכים המאפשרים רבייה הם חלק בלתי נפרד ממחזור החיים של התא. פגיעה בתהליכים אלה משבשת את חייו של התא, ובדרך-כלל, תא שאינו מתרבה - מת[1].

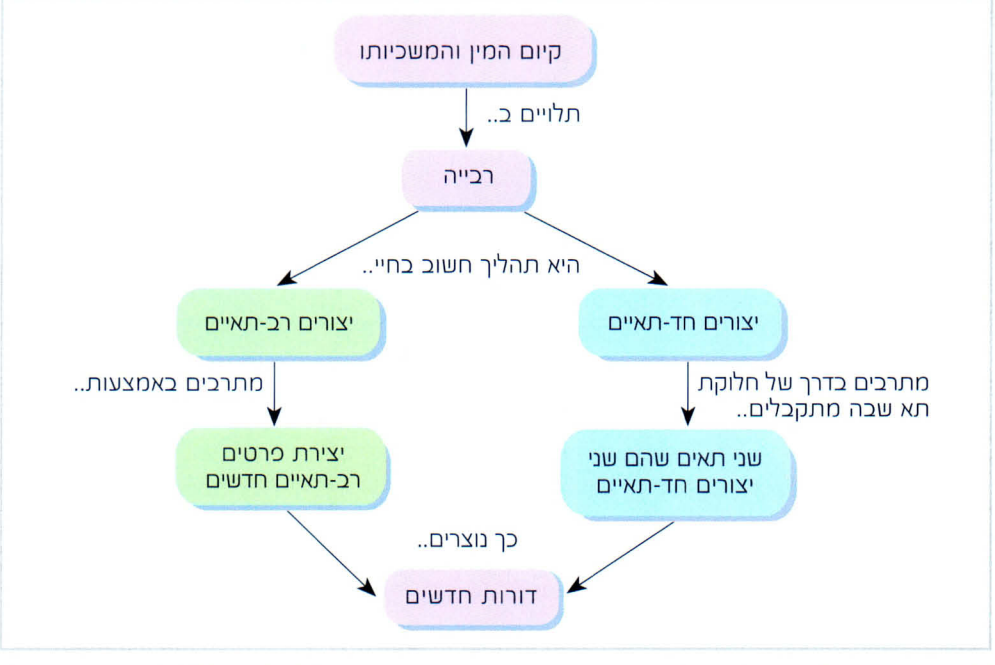
ביצורים רב-תאיים, כושרם של התאים הבודדים להתרבות הוא תנאי לגידולו, להתפתחותו ולקיומו של היצור השלם. בלי רבייה והתחדשות מתמדת של תאי הגוף, היצור השלם לא יחיה. לפיכך, כושרם של תאים להתרבות, חיוני לחייו של היצור הרב-תאי באותה מידה כמו פעולות החיים האחרות.

עם זאת, ביצורים רב-תאיים מתרחשים תהליכי רבייה של היצור השלם כיחידה אחת, ואלה מובילים להעמדת דורות חדשים ולהמשך קיום המין.

על אף שהרבייה היא חלק הכרחי ובלתי נפרד מחייהם של יצורים חיים, לרבות האדם, נטו תרבויות שונות לאורך ההיסטוריה להתייחס אליה ביחס מסויג, מטעמים שונים של אמונה ושל מוסכמות תרבותיות. לא בכל תקופה, ולא בכל מקום, התייחסו בני-אדם לרבייה כאל תהליך טבעי. באנגליה של המאה ה-19, למשל, במיוחד בתקופה הוויקטוריאנית, אסרו מוסכמות החברה כל אזכור, ולו ברמז, של מגע בין גברים לנשים. כך, אפשר למצוא בספר נימוסים והליכות מאת הליידי גאוג' (Gough) משנת 1863, כי "המארחת המושלמת תקפיד על כך שספריהם של סופרים ושל סופרות יהיו מופרדים כראוי על מדפי ארון הספרים".

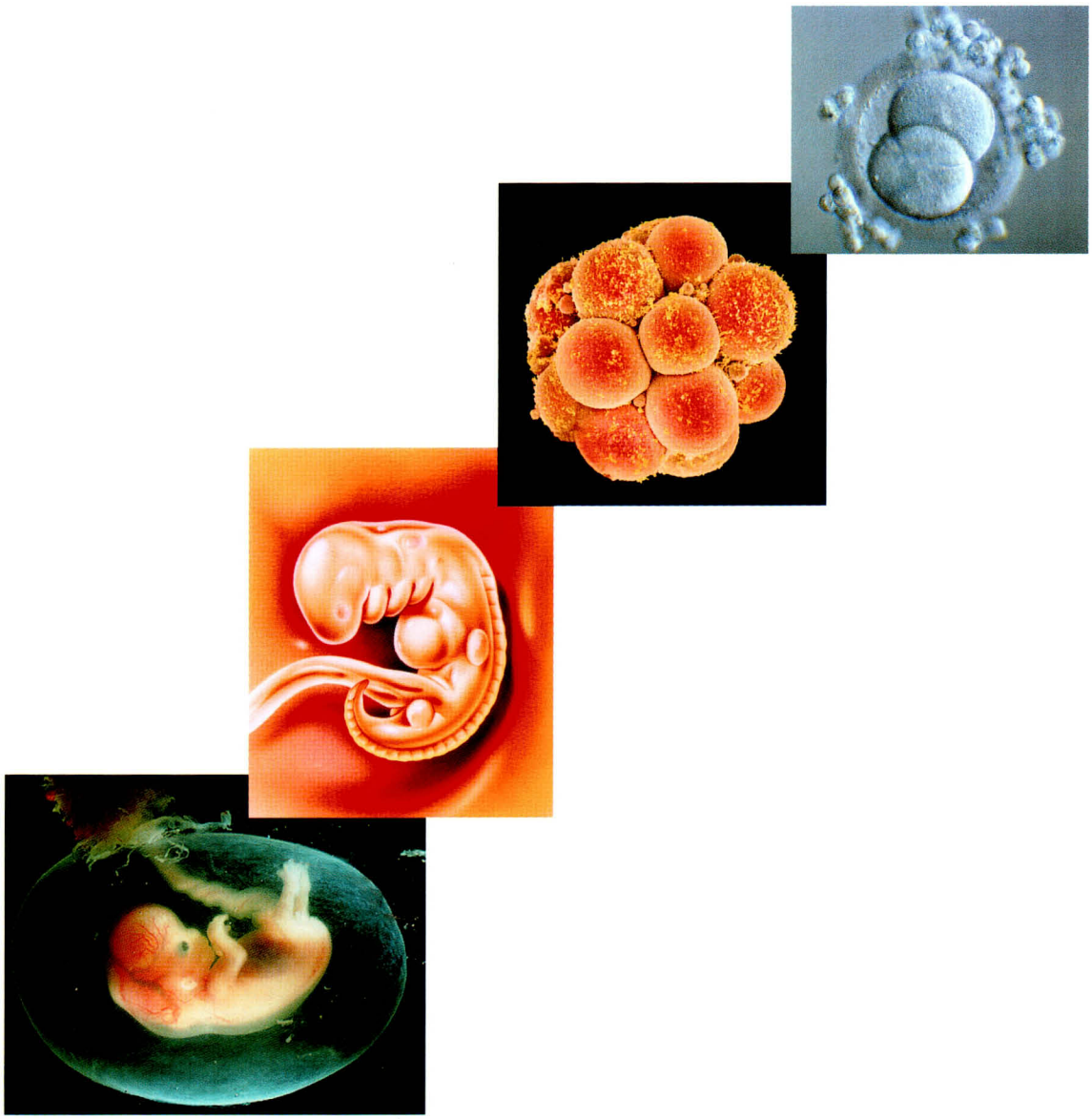
הטאבו שנקשר לנושא מומחש בחריפות רבה בספר ללימוד פיזיולוגיה שיצא לאור בשנת 1866. מחבר הספר, תומס הַקסלי (T. Huxley), רופא וחוקר טבע מגדולי החוקרים במאה ה-19, היה אחד מהחוקרים הספורים שיצאו להגנה נלהבת על תיאוריית האבולוציה כפי שהיא מוצגת בספרו של דרווין "מוצא המינים". בתמיכתו בדרווין גילה הקסלי אומץ לב יוצא דופן לזמנו. אך אפילו הוא לא העז לשבור את הטאבו סביב המין והרבייה, ובספרו "פיזיולוגיה בסיסית" לא נזכר נושא הרבייה, ולו במילה אחת.

במרוצת המאה ה-20 צמחה בהדרגה ההכרה, כי הסתרה עיקשת של תהליך שהוא כה בסיסי לקיום החיים, אין בה כדי לדכא את רצונם של אנשים לדעת ולהבין איך מתרחש תהליך זה בגופם. יתר על כן, נמצא, כי ההסתרה וטשטוש העובדות מובילים בעיקר לבורות שנזקיה רבים. כיום לא נוכל לתאר לעצמנו שניתן לכתוב ספר, המלמד את הביולוגיה של האדם, בלי לעסוק במבנה ובתפקוד של מערכות הרבייה בגוף האדם.



יחידה ד:
רביה

[1] יוצאים מכלל זה הם היצורים החד-תאיים, המסוגלים להתקיים תקופות ממושכות במצבים של מעין תרדמה בלי להתרבות; אך במצבים אלה מושהות גם מרבית פעולות החיים האחרות שלהם, להוציא צריכה מזערית של אנרגיה.



פרק 9

"זכר ונקבה ברא אתם"

פרק 9

"זכר ונקבה ברא אתם" (בראשית א, כ"ז)

תוכן העניינים

9.1 מערכות הרבייה של האדם 185
- מערכת הרבייה של האשה 186
- מערכת הרבייה של הגבר 187

9.2 בגיל ההתבגרות מערכות הרבייה מגיעות לבשלות 188
- פעילות מערכת הרבייה מווסתת על ידי מערכות הבקרה בגוף 189

ייצור תאי הזרע אצל הנער 189
הבשלת הביציות והמחזור החודשי של הנערה 189

9.3 מהתלכדות הזרע והביצית נוצר עובר 192
- רק תא זרע אחד מפרה את הביצית 192
- הזיגוטה היא ראשיתו של העובר 193
- אמצעים למניעת הריון 194

ה"ימים הבטוחים" אינם בטוחים! 194
- הרפואה והטכנולוגיה מסייעות בתהליך ההפריה 194

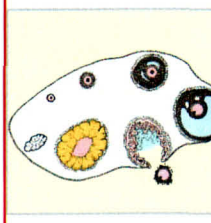
הטכנולוגיה מסייעת אך גם יוצרת דילמות 194

9.4 בתוך תשעה חודשים העובר הופך לילוד 195
- בתום ארבעים שבועות מתחילה לידה 197

הוויסות ההורמונלי של הלידה נעשה במשוב חיובי 198
נשימה ראשונה - צעקה ראשונה 198

9.5 סיכום 199

שאלות סיכום וחזרה 200



תינוקת נולדת; תינוק נולד. זה עתה באו לעולם ועדיין לא ידוע איזה בני-אדם יהיו, איך תתפתח אישיותם, מה יעשו בחייהם. אך דבר אחד ידוע, לעתים עוד קודם ללידה: האם נולדה בת, או נולד בן.
מה יש בתינוקות שעושה אותם לנקבה או לזכר? בתת-פרק 9.1 ננסה לענות על השאלה, לפחות בחלקה.

9.1 מערכות הרבייה של האדם

כל ילוד הוא צאצא של שניים - אם ואב: זרע של האב מפרה ביצית של האם. בהפריה מתמזגים שני התאים לתא אחד, המכונה זיגוטה - התא הראשון של העובר. לאחר ההפריה הזיגוטה מתחילה להתחלק, ומתפתח עובר. במהלך התפתחותו נוצרות בעובר כל מערכות הגוף שהכרתם, וכמובן גם מערכות הרבייה.

רחבה

המין[2] נקבע על-ידי כרומוזומי מין

הקביעה הבסיסית של המין - זכר או נקבה - נעשית על-פי מידע הקיים בכרומוזומים. כל תא בגוף האדם מכיל מערך של 23 זוגות כרומוזומים. כרומוזום אחד בכל זוג מקורו באם וכרומוזום אחד - באב. הכרומוזומים נושאים גנים הקובעים את התכונות התורשתיות של האדם. זוג אחד מתוך כרומוזומים אלו, המסומנים באותיות X ו- Y , קובע את המין. כרומוזומים אלה מכילים, לצד מידע על תכונות שונות, גם מידע הקובע את זהותו המינית של האדם כנקבה או כזכר. אצל הנקבה נמצאים שני כרומוזומי X, ואילו אצל הזכר - כרומוזום X אחד וכרומוזום Y אחד. תאי הרבייה - תאי הזרע והביציות - נבדלים משאר תאי הגוף בכך שבכל אחד מהם נמצא תמיד רק נציג אחד מכל זוג כרומוזומים. לפיכך, כל ביצית מכילה רק כרומוזום X יחיד. אצל הגבר, לעומת זאת, כמחצית מתאי הזרע מכילים כרומוזום X וכמחציתם מכילים כרומוזום Y. כל תא רבייה מכיל אפוא 23 כרומוזומים, שאחד מהם הוא כרומוזום מין: X או Y. בעת ההפריה, המפגש בן תא זרע לביצית הוא אקראי לחלוטין. אם הביצית מופרית על-ידי תא זרע נושא כרומוזום Y, הצאצא יהיה זכר; ואם הביצית מופרית על-ידי תא זרע נושא כרומוזום X, הצאצא יהיה נקבה. איור 9.1 ימחיש לכם את הנושא הזה.

שאלה 1

א. מה היה קורה אילו מספר הכרומוזומים בתאי הרבייה היה זהה למספרם בתאי הגוף?

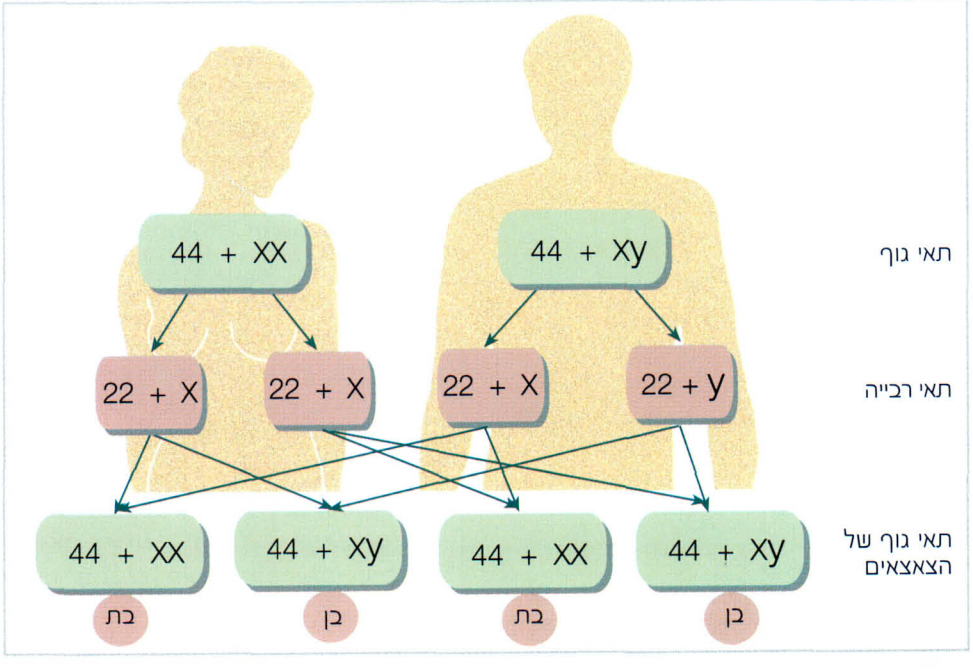
ב. איזו תוצאה נובעת מכך שמספר הכרומוזומים בתאי הרבייה הוא מחצית ממספר הכרומוזומים בתאי הגוף?

בהמשך הפרק נרחיב בכל הנוגע לתהליכים הקשורים להתפתחות העובר, אולם עתה נמקד את מבטנו בילוד - בן או בת - ובמה שמייחד אותו על-פי המין שלו.

בעת הלידה נמצאת בגופו של כל ילוד מערכת שלמה של איברי רבייה, שחלקם עדיין לא מפותחים במלואם. המבנה של איברי הרבייה מאפשר את קיומם של ארבעה תהליכים:

1. ייצור תאי רבייה,
2. ייצור והפרשה של הורמונים המווסתים את פעולות הרבייה,
3. מפגש תאי רבייה של הזכר עם אלה של הנקבה,
4. התפתחות של העובר באיבר בגוף הנקבה המותאם לספק לו מזון והגנה.

נכיר את מבנה מערכות הרבייה של הזכר ושל הנקבה ונראה איך הוא מאפשר את התהליכים האלה.



איור 9.1
כרומוזומים בתאי הגוף, בתאי הרבייה ובצאצאים

[2] יש הנוהגים להשתמש במילה "זוויג" (מלשון זוג) במקום המונח "מין" כאשר מציינים זכר או נקבה.

הרחבה

לבעלי-חיים שונים מערכות רבייה שונות

מבנה מערכת הרבייה של האדם אופייני לרוב היצורים ממחלקת היונקים. ההנקה היא אחד הסימנים שעל-פיהם מגדירים בעל חיים כ"יונק". אולם לבעלי-חיים רבים יש מערכות רבייה ודרכי רבייה שונות מאלה של היונקים. היסוד המשותף ברבייתם של כמעט כל היצורים הרב-תאיים הוא ההפריה - המפגש בין תא זרע לביצית (יש מעט יוצאים מן הכלל, שהרבייה אפשרית אצלם בלא הפריה). אולם מעבר לכך אפשר למצוא בטבע מגוון של דרכים לקיום תהליך הרבייה. בדגים, קרפדות ויצורי מים רבים אחרים ההפריה היא חיצונית - כלומר, מתרחשת מחוץ לגוף - אצל אחרים - חרקים, רוב הזוחלים, עופות ויונקים - ההפריה היא פנימית ומתרחשת בתוך גוף האם והעובר מתפתח בביצה המוטלת אל מחוץ לגוף, או ברחם האם.

מערכת הרבייה של האישה

באיור 9.2 תוכלו לראות את מערכת הרבייה של האשה.

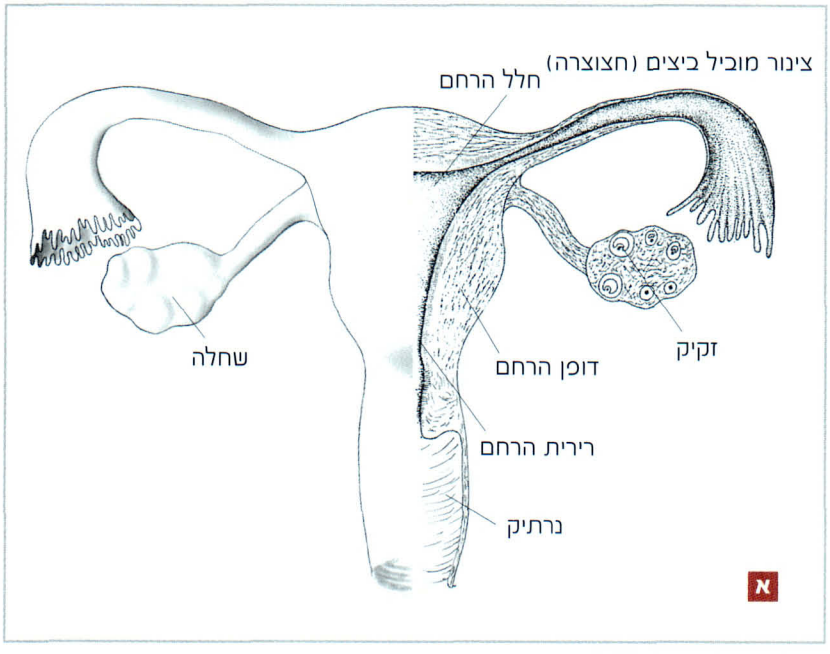
בשחלות של הנקבה נמצאים תאים שיהפכו בעתיד לתאי רבייה נקביים. תאים אלה קיימים כבר בעובר. בעת לידת התינוקת, תאים אלה עדיין אינם בשלים אך בעתיד חלקם יבשילו ויהיו ל**ביציות**. כל ביצית-לעתיד מוקפת בשכבה אחת של תאים. הביצית והתאים המקיפים אותה נקראים **זקיק ראשוני**. בכל אחת מהשחלות של העובר הנקבי נמצאים כ-3,000,000 זקיקים ראשוניים. בכל זקיק ראשוני נמצאת ביצית אחת בלתי מפותחת. אולם רוב-רובם של הזקיקים מתנוונים ומתים בעודם בעובר, לפני הלידה, ורוב הנותרים מתים בשנות החיים הראשונות. כך, בהגיעה לגיל ההתבגרות, נמצאים בשחלות הנערה כ- 400,000-300,000 זקיקים ראשוניים. רק כ-400 מהם יגיעו אי-פעם לכלל הבשלה עם הביציות שבתוכם, וכל השאר יתנוונו וימותו במרוצת השנים.

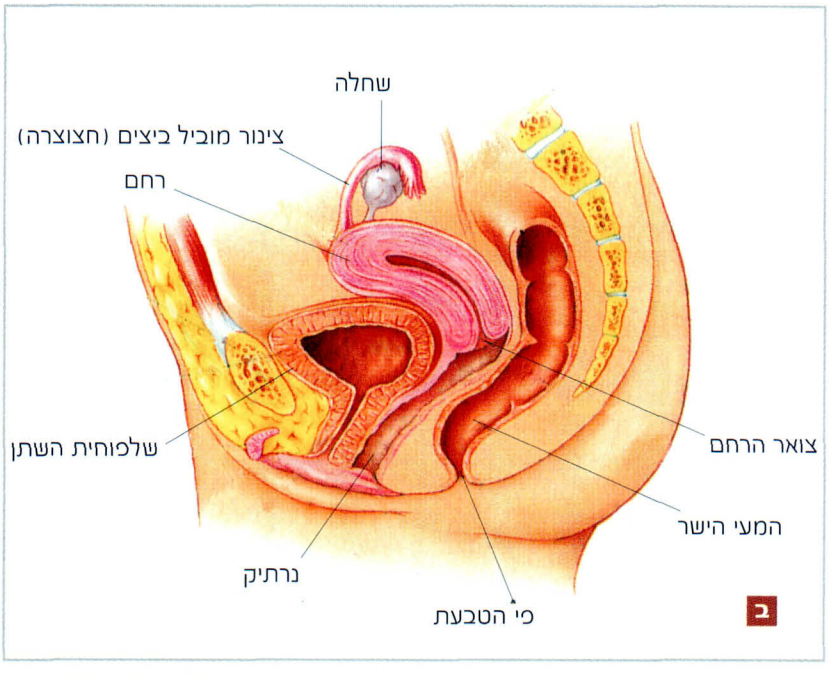
נוסף להיות השחלות אתר ייצור של תאי הרבייה הנקביים, נמצאים בהן גם תאים המייצרים ומפרישים הורמונים.

בסמוך לכל שחלה נמצא פתח של צינור, המכונה **צינור מוביל ביצים**, או **חצוצרה** (ראו באיור 9.2). שימו לב, כי אין כל מגע או חיבור כלשהו בין השחלה לפתח החצוצרה. בצדן השני נפתחות החצוצרות לחלל ה**רחם**.

הרחם הוא איבר המונח במרכז אגן הירכיים, אורכו כשבעה ס"מ בממוצע, ומשקלו כ-50 גרם. מבנה הרחם מותאם לקליטת העובר, להזנתו, להגנה עליו ולתמיכה בהתפתחותו. דופן הרחם בנוי משכבה עבה של שרירים חזקים. החלל הפנימי של הרחם מצופה בשכבה עבה של רקמה רכה עשירה מאוד בכלי דם, הנקראת **רירית הרחם** (איור 9.2א). ברירית הרחם נמצאים תאים המפרישים הורמונים שונים.

החלק התחתון של הרחם בנוי כמעבר צר המכונה **צוואר הרחם**. מצוואר הרחם אל מחוץ לגוף מוביל צינור הנקרא **נרתיק** (Vagina).

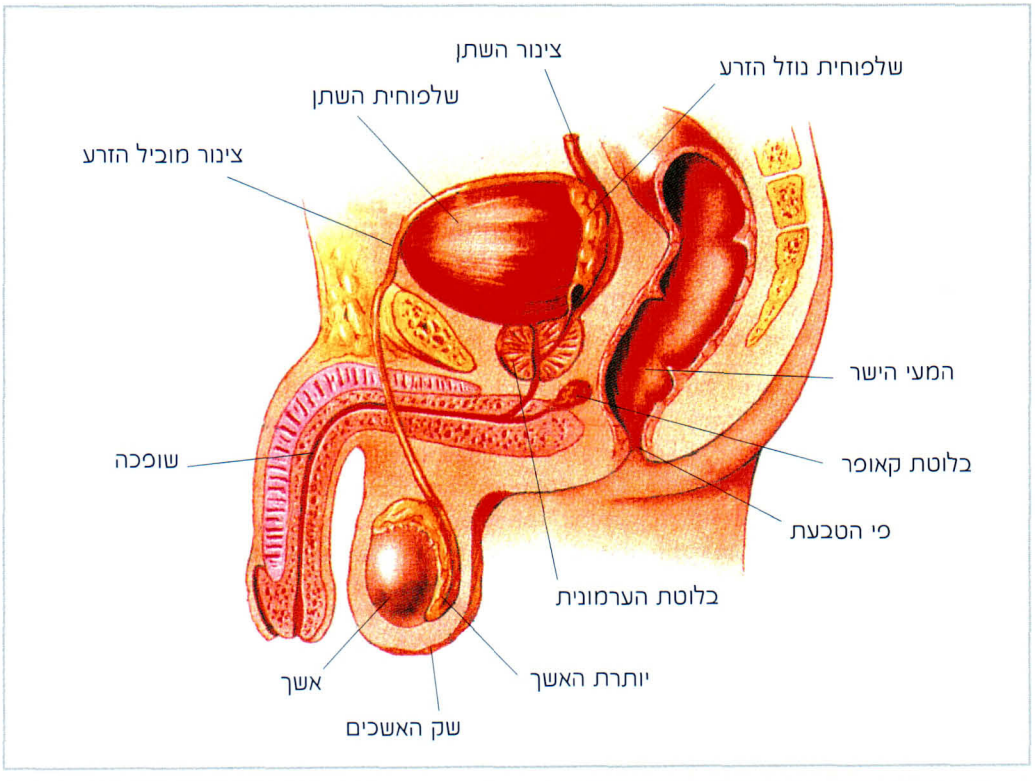




איור 9.2
מערכת הרבייה של האישה
א. מערכת הרבייה הנקבית במבט מלפנים (במחצית הימנית - מראה בחתך)
ב. מערכת הרבייה הנקבית במבט מהצד

מערכת הרבייה של הגבר

באיור 9.3 תוכלו לראות את מערכת הרבייה של הגבר.



איור 9.3
מערכת הרבייה של הגבר, מבט מהצד

ה**אשכים** הם אתר הייצור של תאי הרבייה הזכריים - **תאי הזרע**. האשכים נמצאים בשק האשכים, מחוץ לחלל הבטן. שלא כמו אצל הנקבה, הנולדת עם תאי רבייה לא בשלים, התינוק הזכר נולד בלי תאי זרע כלל. תאי זרע יתחילו להיווצר ולהבשיל באשכיו רק בגיל ההתבגרות. בדומה לשחלות הנקבה, גם באשכים נמצאים תאים המייצרים ומפרישים הורמונים הקשורים לתהליכי הרבייה.
כל אשך בנוי ממספר גדול של צינוריות דקיקות, ארוכות מאוד ומפותלות, שתאי הזרע נוצרים בהן. הצינוריות מתלכדות בקצותיהן לצינור אחד, היוצא מהאשך. הקטע הראשון שלו הנמצא מחוץ לאשך, נקרא **יותרת האשך**. בחלק זה, שהוא ארוך מאוד (כחמישה מטרים!) ומפותל מאוד, נאגרים תאי הזרע הנוצרים באשך. המשכה של יותרת האשך הוא **צינור מוביל זרע** - היוצא משק האשכים (ראו איור 9.3). שני הצינורות מובילי הזרע משני האשכים מתלכדים לצינור מוצא משותף המגיע אל פתח הפין. דרך פתח זה יוצאים בעת המגע המיני תאי הזרע, הנמצאים בתוך **נוזל הזרע**.
נוזל הזרע נוצר בשלוש **בלוטות** - שלפוחית נוזל הזרע, בלוטת הערמונית, ובלוטת קאופר - ומכיל חומרים החיוניים לקיומם ולהתפתחותם של תאי הזרע.
האשכים מתפתחים בחלל הבטן ויורדים לשק האשכים טרם הלידה, כשהעובר הזכר מגיע לגמר התפתחותו. שק האשכים נמצא מחוץ לחלל הבטן. הטמפרטורה בו נמוכה מזו של פנים הגוף ומגיעה ל-35 מעלות צלזיוס בלבד. מסתבר, כי ייצור תאי הזרע של האדם (וגם של יונקים רבים אחרים) חייב להיעשות בטמפרטורה נמוכה מזו השוררת בתוך הגוף, שהיא בין 36.5 ל-36.9 מעלות.

עוד על...

אשכים טמירים

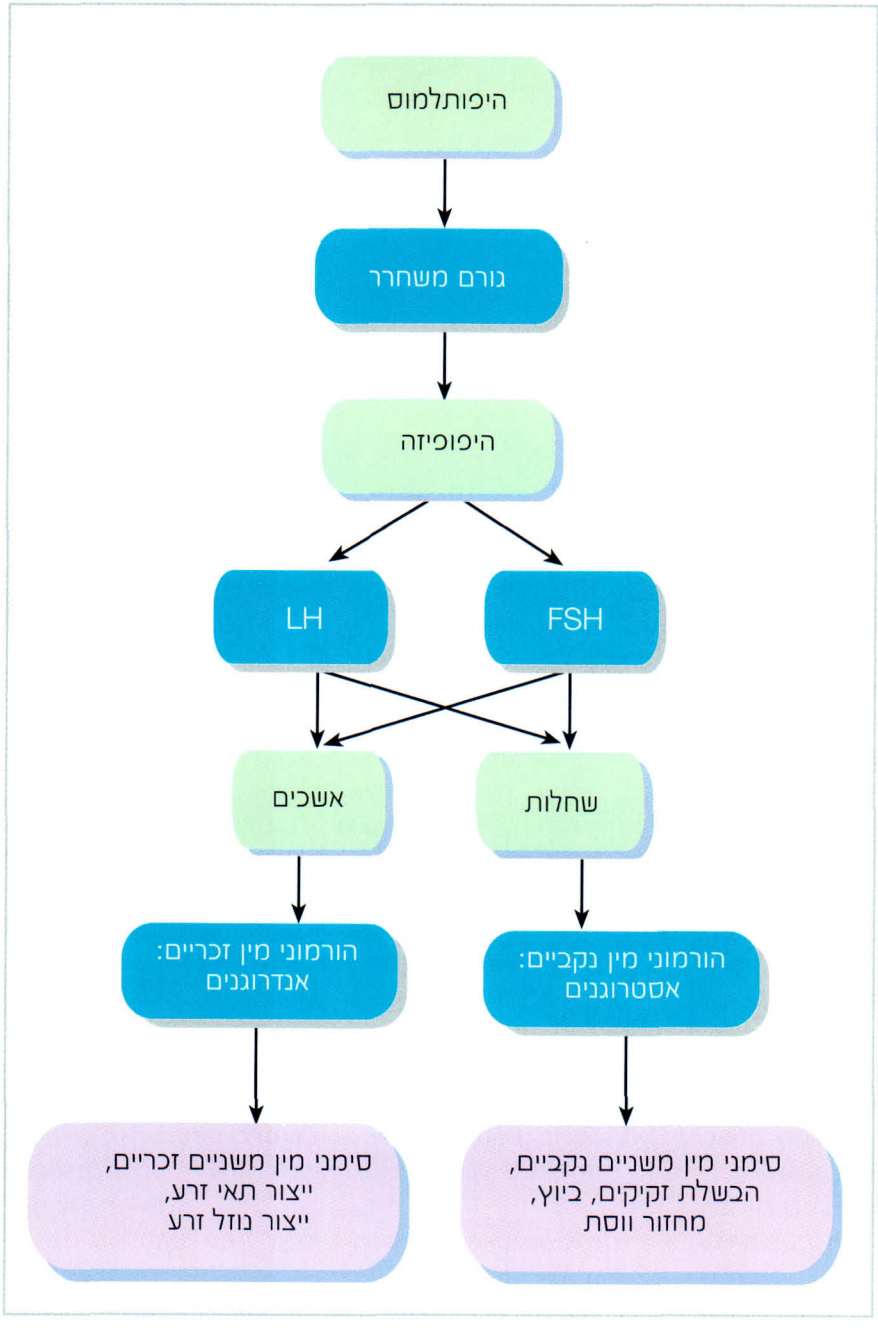
קורה שנולד תינוק זכר בריא ובעל מערכת רבייה תקינה, שאשכיו אינם נראים לעין. בעת הלידה אין בכך כדי לעורר דאגה; שכן ידוע, כי לעתים עוברים האשכים מחלל הבטן אל שק האשכים רק זמן-מה לאחר הלידה. אשכים שאינם יורדים לשק האשכים לאחר הלידה נקראים "**אשכים טמירים**" - כלומר, חבויים. בבדיקות שגרתיות של התפתחות התינוק בודקים, האם האשכים הטמירים יורדים לשק האשכים. אם האשכים נותרים בחלל הבטן כמה חודשים לאחר הלידה, משחררים אותם לתוך שק האשכים בניתוח פשוט. שהייה ממושכת מדי של האשכים בחלל הבטן מסוכנת, וזאת משום שתאי הזרע מתפתחים, כאמור, בצורה תקינה בטמפרטורה של 35 מעלות צלזיוס. טמפרטורת פנים הגוף, הקרובה ל-37 מעלות, מסכנת את התפתחותם.
כך גם נמצא במחקרים, כי פוריות הגברים עלולה להיפגע, אם הם לובשים במשך זמן רב מכנסי ג'ינס הדוקים מדי, הגורמים לקירוב האשכים לבטן ולהעלאת הטמפרטורה שלהם. מכיוון שתאי זרע חדשים נוצרים מדי יום, פגיעה כזו היא הפיכה, והחלפת המכנסיים ההדוקים מדי במכנסיים הדוקים פחות, יכולה להחזיר את ייצור הזרע לתיקנו.

9.2 בגיל ההתבגרות מערכות הרבייה מגיעות לבשלות

כאמור, אף שכל תינוק ותינוקת נולדים עם מערכת שלמה של איברי רבייה, עדיין אין בגופם תאי רבייה כשירים להפריה. בשחלות התינוקת והילדה נמצאים זקיקים ראשוניים, ובהם ביציות שאינן מוכנות להפריה; ובאשכי התינוק והילד אין כלל תאי זרע.
שינוי דרמטי מתחולל בבני שני המינים עם הגיעם לגיל ההתבגרות.

גיל ההתבגרות מתבטא בשינויים מכמה סוגים. אם נתחשב בתחושותינו גיל ההתבגרות מתחיל בעת שהנערים והנערות מבחינים לראשונה בהופעתם של שינויים גופניים, הנקראים **סימני מין משניים**[3].
אלה הם שינויים בתווי גוף ובסימנים חיצוניים אחרים האופייניים למין. למעשה, ההתבגרות המינית מתחילה עוד לפני שאנו יכולים לחוש בה. שינויים הורמונליים זעירים, שאיננו מרגישים אותם, הם המעוררים את התפתחות הסימנים המשניים, אשר על-פי תחושתנו מסמנים את העובדה שאנו מתחילים להתבגר.
התפתחות סימני המין המשניים היא עדות לתהליך פנימי, המתבטא בהפרשת הורמוני מין ובייצור של תאי רבייה בשלים המסוגלים להשתתף בהפריה.
כלל התהליכים האלה והשינויים החיצוניים הנלווים אליהם מכונים **התבגרות מינית**.

נתחיל אפוא בתיאור ההתפתחות של סימני המין המשניים.
אצל הנער משתנה הקול והופך לנמוך יותר. שינוי זה נובע מהתארכות מיתרי הקול (המוכרים לכם מפרק 3). העצמות מתארכות, וכך גם השרירים, וקצב הגדילה הכולל נעשה מהיר יותר. סימני התבגרות נוספים הם צמיחת שיער על הפנים, בבתי-השחי ובמפשעה, ואצל חלק מהנערים גם על החזה, הזרועות והרגליים.
סימני ההתבגרות העיקריים אצל נערות הם התפתחות השדיים וצמיחת שיער בבתי-השחי ובמפשעה. בחודשים הראשונים של ההתבגרות מואץ קצב גדילתן הכללי, אך לאחר הופעת הווסת הראשונה, קצב הגידול נעשה איטי יותר, עד שהוא נעצר. בדרך-כלל מתפתחת אצלן גם רקמת שומן מתחת לעור באזורים שונים בגוף, במידה שונה אצל כל אחת ואחת.
חשוב להדגיש, כי התפתחות סימני מין משניים אמנם משותפת לרוב בני האדם, אך יש גם הבדלים ניכרים בין אדם לאדם. ראשית, הגיל שבו מופיעים הסימנים לראשונה שונה מאדם לאדם; ושנית, אין לצפות כי כל סימני ההתבגרות יתבטאו באותה צורה, או יתרחשו באותו קצב אצל כולם.
התפתחות סימני המין המשניים היא, כאמור, ביטוי חיצוני לשינויים פנימיים, המתבטאים בעיקרו של דבר בהפרשה מוגברת של הורמונים ובהופעתם לראשונה של תאי רבייה כשירים להפריה: ייצור תאי זרע אצל הנערים והבשלת זקיקים וביציות אצל הנערות - לקראת הופעת המחזור החודשי.



איור 9.4
הגורמים המעורבים בהתבגרות המינית

[3] המונח "סימני מין משניים" נובע מכך שסימנים אלה מתייחסים גם לאיברים שאינם איברי מין.

פעילות מערכת הרבייה מווסתת על-ידי מערכות הבקרה בגוף

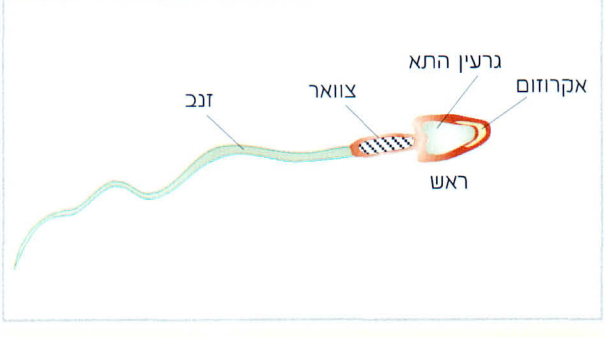
עדיין לא ידוע מהו האירוע הראשון המעורר את המעבר מילדות להתבגרות, אך האירוע הראשון שאפשר להבחין בו הוא שינוי המתרחש במוח.
ביחידה ב בפרקים 6 ו-7 הכרתם את מערכת ההפרשה הפנימית ואת מערכת העצבים, המבקרות ומווסתות את כל התהליכים המתרחשים בגוף. נתאר בקצרה את אופן מעורבותן בוויסות תהליכי ההתבגרות המינית ותהליכי הרבייה.
עד תחילת ההתבגרות, השחלות והאשכים של ילדים מפרישים כמויות זעירות ביותר של הורמוני מין, שהשפעתם על הגוף אינה ניכרת. מצב זה משתנה עם תחילת ההתבגרות, בהשפעת ההיפותלמוס.
בפרק 6 למדתם, כי ההיפותלמוס מבקר את פעולתה של בלוטת יותרת המוח, ההיפופיזה, שהיא הבלוטה הראשית במערכת הבלוטות להפרשה פנימית.

בנקודת זמן מסוימת מתחיל ההיפותלמוס להפריש חומרים המכונים **גורמים משחררים** (הגורם לכך עדיין לא ידוע). אלה גורמים להיפופיזה להפריש הורמונים שאיברי המטרה שלהם הן השחלות והאשכים. ההורמונים מעוררים את השחלות והאשכים לפעולה. שני הורמונים מופרשים מההיפופיזה: **הורמון מגרה זקיק** (Follicle Stimulating Hormone =FSH) והורמון ההצהבה, הקרוי גם **הורמון הביוץ** (Luteinizing Hormone =LH). על פשר שמותיהם של ההורמונים נעמוד בהמשך.
אצל הנערה, הפעילות בהיפותלמוס, ובעקבותיה פעילות ההיפופיזה, מתרחשות בצורה מחזורית, ומכוונות את מהלך המחזור החודשי. אצל הנער, לאחר שהחלה הפעילות בהיפותלמוס היא נמשכת באופן רצוף במשך כל חייו.
התהליך מסוכם בתרשים שבאיור 9.4.

תנו דעתכם לכך, שההיפופיזה מפרישה אותם הורמונים אצל הנקבה ואצל הזכר. למרות זאת, ההורמונים הזהים גורמים לתהליכים שונים לחלוטין אצל בני שני המינים. ההסבר לכך טמון בעובדה, שהשפעת ההורמון תלויה לא רק בהורמון עצמו, אלא גם באיבר המטרה שלו. כך למשל, רקמות האשכים מגיבות להורמון FSH בצורה שונה לחלוטין מזו שמגיבות כליו רקמות השחלה.

ייצור תאי הזרע אצל הנער

בתגובה להורמון LH המופרש מההיפופיזה, האשכים מתחילים לייצר ולהפריש הורמוני מין זכריים, המכונים **אַנדרוגֶנים**. ההורמון המוכר ביותר מביניהם נקרא **טֶסטוֹסטֶרון** (Testosterone). בהשפעתם של הטסטוסטרון וההורמון FSH, שכאמור אף הוא מופרש מההיפופיזה, מופיעים סימני המין המשניים, ומתחיל ייצור של תאי זרע ונוזל זרע. ייצור תאי זרע הוא תהליך מורכב מאוד, המתרחש ברציפות במשך כל שעות היממה.
תאי הזרע, המבשילים באשך מדי יום, נאגרים ביותרת האשך (ראו שוב איור 9.3). בעת שהותם שם הבשלתם נמשכת, הם מקבלים את הצורה האופיינית של ראש וזנב ארוך (ראו איור 9.5) ורוכשים בהדרגה את כושר התנועה שלהם.
בו בזמן נוצרים נוזלי הזרע בבלוטות הנמצאות במרחק-מה מהאשכים - בשלפוחית נוזל הזרע, בבלוטת הערמונית ובבלוטת קאופר. כאשר תאי הזרע יוצאים מיותרת האשך ונעים בצינור מוביל הזרע, מצטרפים אליהם הנוזלים המופרשים מהבלוטות הללו. לצירוף של תאי הזרע והנוזלים המקיפים אותם קוראים זִרמה. הזִרמה נעה בצינור מוביל הזרע וממנו היא נפלטת החוצה דרך הפין.
במשך יממה אחת נוצרים באשכים כמה מאות מיליונים של תאי זרע. בכל פליטה של נוזל זרע נמצאים בין 200 ל-400 מיליון תאי זרע.



איור 9.5
תא זרע בשל

עוד על...

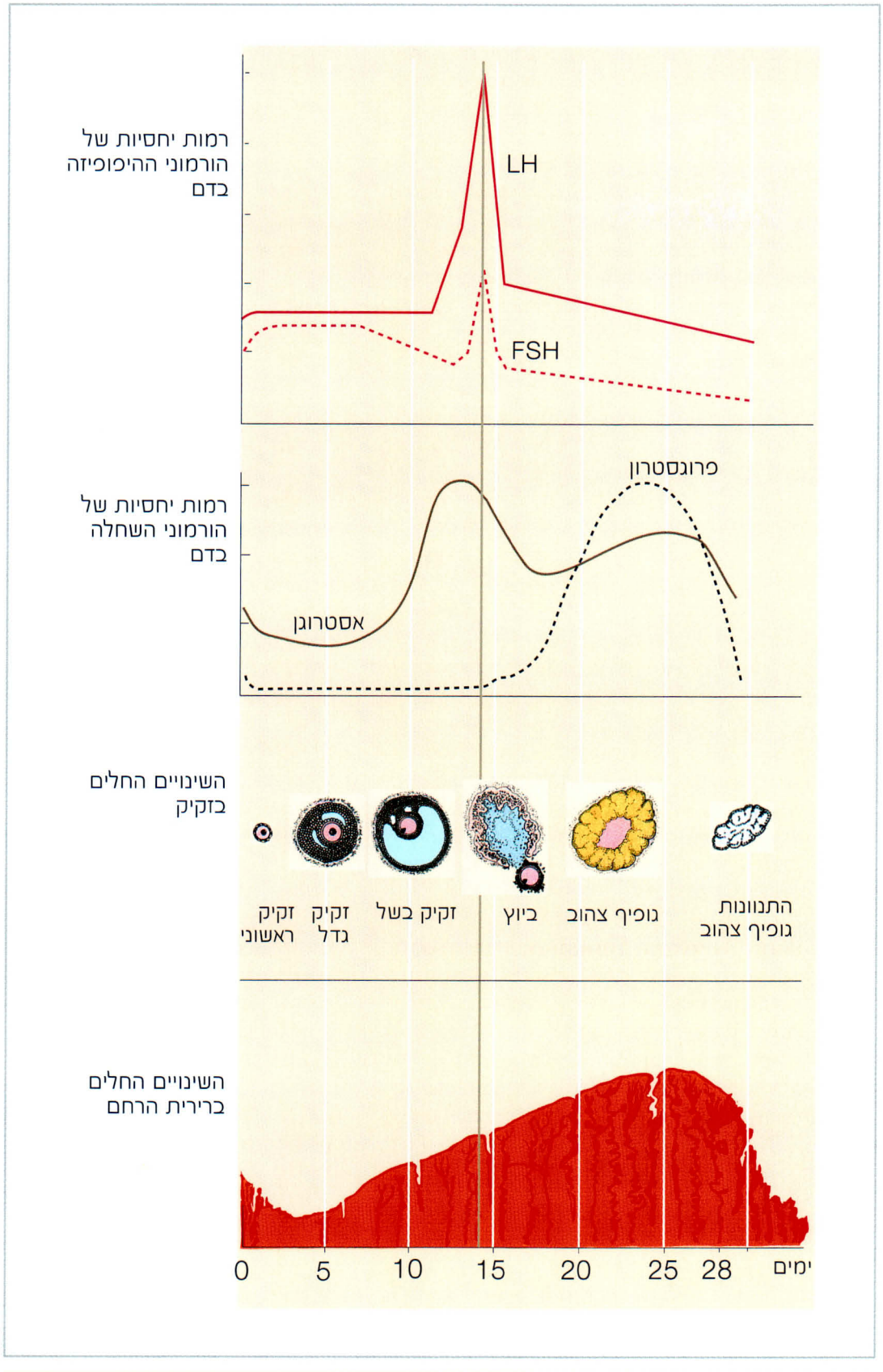
קרי לילה
נערים רבים בראשית גיל ההתבגרות חווים אירוע שעלול להיות מביך ולא נעים, אף כי מדובר בתופעה רגילה לגמרי. בתקופה הראשונה של ייצור תאי הזרע, כאשר מתחילה הפרשת נוזלים מהבלוטות, קורה שמתרחשת פליטת זִרמה בלתי מודעת בעת שהנער ישן. יש נערים החוששים שהם מרטיבים בשנתם, ולאחרים נדמה כי העובדה שהם פולטים זרע בשנתם מעידה, כי "משהו לא בסדר אצלם". אולם התופעה הזו, המכונה "קרי לילה", אינה צריכה להדאיג, שכן היא שכיחה למדי ונעלמת מעצמה במהלך ההתבגרות.

הבשלת הביציות והמחזור החודשי של הנערה

מכלול התהליכים המתחילים להתרחש בגופה של הנערה, בעקבות הפרשת הגורמים המשחררים (מההיפותלמוס) וההורמונים FSH ו-LH (מההיפופיזה), מכונה המחזור החודשי. בתהליכים אלו, שרובם נסתרים מעינינו, משתתפים: המוח, השחלה והרחם. הביטוי החיצוני היחיד לקיומם של התהליכים הללו הוא הופעת דימום הווסת הראשון. תהליכי המחזור החודשי יחזרו מעתה מדי חודש בחודשו במשך שנים, בערך עד גיל 50.
המחזור החודשי כולל שני תהליכים מרכזיים המתרחשים במקביל:
1. הבשלה של ביצית בשחלה וחריגתה ממנה - **הביוץ**;
2. הכנה של הרחם לקליטת עובר.

אם הביצית אינה מופרית, מופיע דימום הווסת.

שני תהליכים אלו ישמשו אותנו בתיאור תהליך מחזורי זה. התיאור יתחיל ביום הראשון של דימום הווסת, שנקבע כיום הראשון של המחזור.



איור 9.6

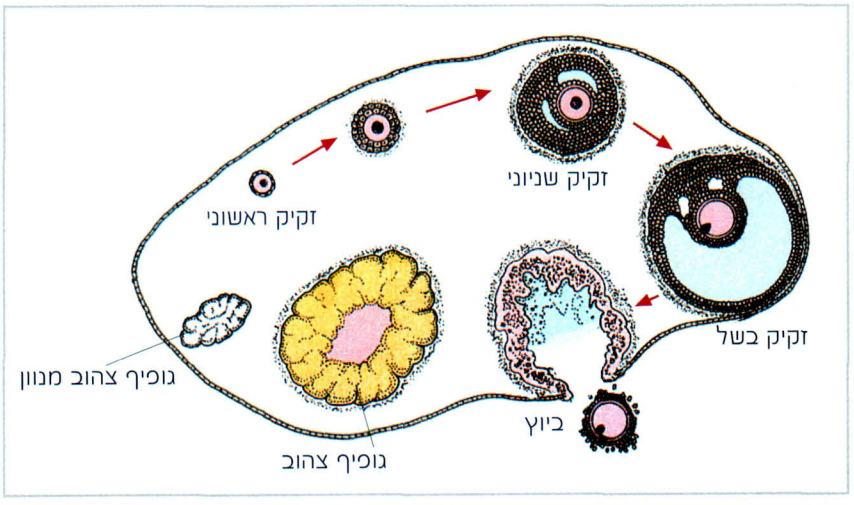
המחזור החודשי של האשה (יום הביוץ מודגש בקו אפור)

עקבו אחרי ההסבר באמצעות איור 9.6.

כזכור, בגופה של הילדה מצויות מאז היוולדה מאות אלפי ביציות לא בשלות במצב של זקיק ראשוני. בימים הראשונים של המחזור החודשי, מתחילה להבשיל ביצית אחת, המצויה באחת מהשחלות, והזקיק שהיא נמצאת בתוכו, גדל ומתפתח (ראו איור 9.7).

תהליך ההבשלה נמשך כ-14 יום, ובסיומו נמצא הזקיק, שהגיע לשיא בשלותו, בדיוק מול פתח החצוצרה. הזקיק נבקע, והביצית הבשלה (עם שכבת תאים סביבה) פורצת מן השחלה ו"נופלת" לפתח החצוצרה (צינור הביצים) הסמוך. אירוע זה נקרא ביוץ.

הביצית תמשיך לנוע בחצוצרה בכיוון הרחם, ומה שיתרחש



איור 9.7
הבשלה של זקיק בשחלה וביוץ

בהמשך תלוי בשאלה אם הביצית תופרה, אם לאו. מתאי הזקיק שנותרו בשחלה, מתפתח מבנה הנקרא **גופיף צהוב**, שתפקידו יוסבר בהמשך.

סביב היום השישי של המחזור מתחיל תהליך ההכנה של הרחם לקליטת עובר. רירית הרחם (ראו איורים 9.2 ו-9.6) מתחילה לצמוח ולהתעבות ונימי דם רבים חודרים לתוכה מדופן הרחם. התפתחות זו מגיעה לשיאה בימים שסביב הביוץ. אם לא חלה הפריה וחלפו כשמונה ימים מהביוץ, השכבה החדשה של רירית הרחם מתחילה להתפרק ולנשור. נימי הדם הרבים שצמחו בתוך הרירית נקרעים. שרידים של תאי הרירית עם הדם היוצא מהנימים יוצאים דרך צוואר הרחם והנרתיק אל מחוץ לגוף - זהו דימום הווסת. הדימום מתחיל כשבועיים לאחר הביוץ, ומועד התחלתו הוא סיומו של מחזור חודשי אחד ותחילתו של מחזור חדש. כאמור, מועד תחילת הדימום נקבע כיום התחלת המחזור, משום שזהו אירוע חיצוני הניתן לזיהוי בקלות.

אם הביצית מופרית (ההפריה חלה בחצוצרה), ינדוד העובר במשך כמה ימים מהחצוצרה אל הרחם, יישתל בתוכו והתפתחותו לתינוק תחל ותימשך כתשעה חודשים. התיאום המלא בין תהליכי הבשלת הביצית וחריגתה מהשחלה לבין תהליכי הכנת הרחם לקליטת העובר, הוא המאפשר את קליטת הביצית, שזה עתה הופרתה, ברחם. תיאום זה מושג באמצעות הורמונים. כל תהליכי המחזור מווסתים על-ידי משוב הדדי בין הורמונים מההיפופיזה לבין הורמוני השחלה. השינויים ברמות ההורמונים במהלך המחזור החודשי מתוארים באיור 9.6. נתאר אותם בקצרה.

בתחילת המחזור מפרישה בלוטת ההיפופיזה את ההורמון FSH. ה-FSH גורם לזקיק הראשוני הנמצא בשחלה להתפתח ולגדול, ומכאן שמו: "הורמון מגרה זקיק". הזקיק עצמו מפריש הורמון אחר - **אסטרוגן** - הגורם לרחם להתחיל להכין את עצמו לקליטת עובר.

לקראת אמצע המחזור - בערך ביום ה-14 - מפרישה בלוטת ההיפופיזה הורמון נוסף (LH), הגורם לחריגת הביצית וליצירת הגופיף הצהוב. הגופיף הצהוב מפריש את ההורמון **פרוגסטרון**. שני ההורמונים המופרשים בשחלה - האסטרוגן והפרוגסטרון - גורמים להתעבות רירית הרחם כהכנה לקליטת עובר.

אם לא חלה הפריה - וזהו המצב הנפוץ בחיי הנערה, הגופיף הצהוב מתנוון בהדרגה במהלך המחצית השנייה של המחזור. רמות הפרוגסטרון והאסטרוגן יורדות, ועקב כך מצטמצמת רירית הרחם וחוזרת לממדיה הקודמים. שרידי הרירית נפרדים מדופן הרחם, נימי הדם נקרעים ונגרם דימום הווסת. בו-בזמן רמת ה-FSH המופרש מההיפופיזה מתחילה שוב לעלות ומביאה להבשלתו של זקיק חדש.

אם חלה הפריה, הגופיף הצהוב ממשיך להפריש פרוגסטרון עוד כמה חודשים, ורק אז הוא מתנוון. רירית הרחם שומרת על המצב המתאים להתפתחות היריון, וההפרשה המתמשכת של הפרוגסטרון מפעילה משוב שלילי, המונע הבשלת זקיקים חדשים בשחלה.

שאלה 2

התבוננו באיור 9.6 ונסו להציע דרך להשתמש בהורמונים כדי למנוע ביוץ.

כאמור, מחזור חודשי נמשך כ-28 ימים בממוצע, אך למעשה אצל נערות ונשים רבות יש סטיות בולטות מהממוצע הזה. בתקופה הראשונה של ההתבגרות, המחזור בדרך-כלל אינו סדיר. בשנתיים הראשונות שלאחר הופעת הווסת הראשונה, יכולים להיות חודשים בלי ביוץ, וכן יכולים להיות מחזורים באורך משתנה מ-25 ועד 35 ימים - וכל אלה הם בגדר מצבים נורמליים. בהמשך עלולים להופיע שיבושים במחזור במצבים שונים: בעקבות שינויים בתנאי החיים, כמו למשל במהלך השירות הצבאי, אם הוא כרוך במאמץ גופני או רגשי יוצא דופן; כתוצאה מעיסוק אינטנסיבי בספורט, כפי שמקובל אצל ספורטאיות מקצועיות ועוד. דיאטות קיצוניות גורמות גם הן לשיבושים של המחזור, עד להפסקתו המוחלטת.

נוסף לכך, אצל נשים בוגרות יותר יש הבדלים אישיים במידת הסדירות של המחזור, ובעיקר באורכו. אצל רוב הנשים הבריאות, המחזור סדיר למדי, אך אורכו יכול להשתנות מאוד בתקופות שונות בחיים.

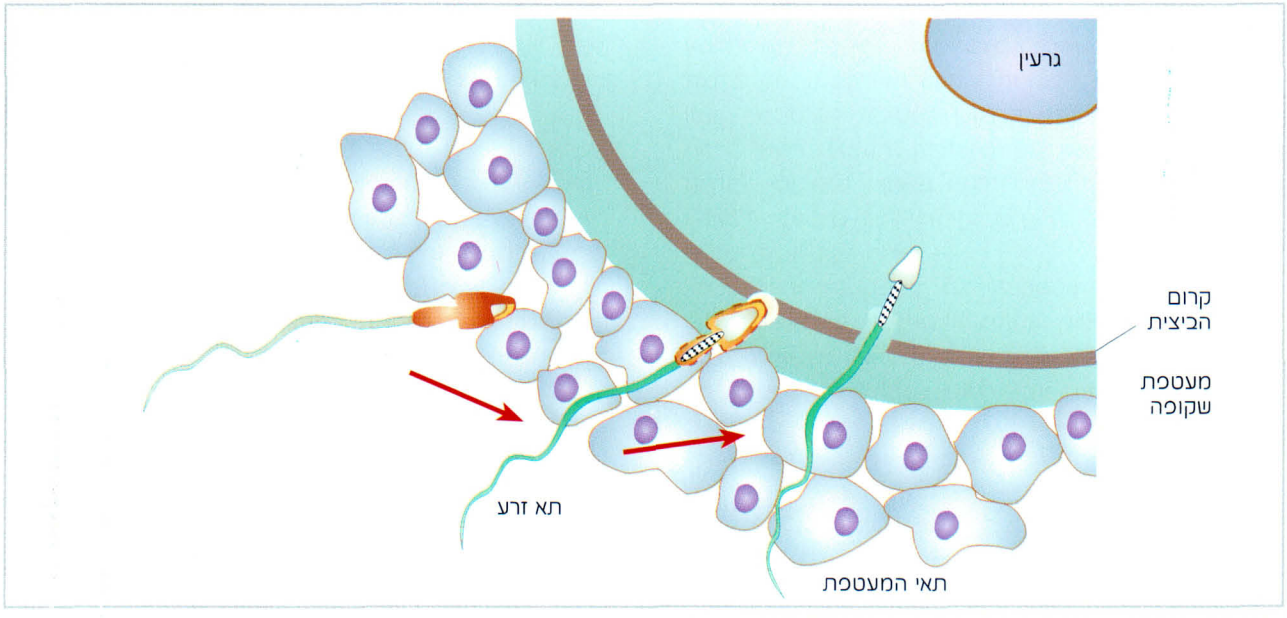
9.3 מהתלכדות הזרע והביצית נוצר עובר

לאחר הביוץ הביצית שוהה זמן קצר סמוך לפתח החצוצרה ואחר-כך נדחפת לאיטה לעבר הרחם, בין אם הופרתה ובין אם לאו.

כאמור, בעת המגע המיני עשוי הגבר לפלוט בין 200 מיליון ל-400 מיליון תאי זרע. תאי הזרע האלה נעים עם נוזל הזִרמה, עוברים מהנרתיק דרך הרחם ומתקדמים במעלה החצוצרות. רק כמה מאות תאי זרע (כלומר, בממוצע, מכל שני מיליון רק תא זרע אחד) יגיעו לקרבת הביצית. רבים מתאי הזרע נתקלים בדופן הרחם, ובכך מסתיים מסעם. יתר על כן, כמחצית מכל תאי הזרע מגיעים ממילא לחצוצרה שאין בה ביצית, ואלה אובדים כולם. נוסף לכך, כל זרמה תקינה, גם של גברים פוריים, מכילה תמיד אחוז ניכר של תאי זרע פגומים; גם אלה לא מצליחים להגיע לקרבת הביצית. התהליך כולו הוא לכאורה "בזבזני" מאוד: מתוך הכמות העצומה של תאי הזרע המתקדמים במסלול הארוך ועתיר המכשולים, רק אחד, אולי, יגיע לכלל הפריית הביצית. אולם מספרם העצום של תאי הזרע חיוני להתרחשות ההפריה: ככל שמספר תאי הזרע גדול יותר, כך גדלים הסיכויים שאחד מהם יגיע לביצית.

רק תא זרע אחד מפרה את הביצית

תאי הזרע ש"זכו" להגיע לקרבת הביצית נצמדים אליה, אך רק אחד מצליח להפרותה. תא זרע יחיד נוגע בקרום הביצית, אז חלה התמזגות של קרום תא הזרע עם קרום הביצית, וגרעין תא הזרע משתחרר לציטופלזמה של הביצית. ברגע שמתחילה התמזגות קרומי התאים, נמנעת כניסה של תאי זרע נוספים. זמן קצר לאחר שגרעין תא הזרע נכנס לביצית חלה ההפריה - כלומר, גרעין תא הזרע מתמזג עם גרעין התא של הביצית.



איור 9.8
תא זרע מפרה ביצית

הרחבה

מדוע נוצרים תאי זרע וביציות בכמויות כה גדולות?

כפי שנאמר, הגבר מייצר החל מגיל ההתבגרות ולאורך כל חייו, כמה מאות מליונים של תאי זרע ליום. יצירת תאי זרע במספרים אסטרונומיים כאלה אופיינית לא רק לאדם, אלא ליצורים הרב-תאיים בכלל. האישה, לעומת זאת, מייצרת מספר קטן בהרבה של ביציות, אך עדיין מספרן רב יחסית למספר הביציות המופרות. כאמור, תופעה זו אופיינית גם לנקבות של יצורים רב-תאיים אחרים. איך ניתן להסביר תופעה זו, הנראית על פניה כבזבוז עצום של משאבים ואנרגיה?

כדי להבין זאת יש לחזור אחורה בזמן. החיים נוצרו בסביבה מימית - ראשוני היצורים החיים היו יצורים חד-תאיים שחיו במים, ומהם נוצרו לפני כ-600 מיליוני שנים היצורים הרב-תאיים הראשונים. גם הם התפתחו וחיו במים. תאי הרבייה של יצורים קדמוניים אלה הופרשו למים, ושם גם חלה ההפריה. הפריה כזו נקראת **הפריה חיצונית**. ברור, שהסיכוי למפגש בין תא זרע לבין תא ביצית מאותו המין (species) במים, הוא נמוך ביותר. במשך הזמן התפתחו מנגנונים שונים שהגדילו את הסיכוי למפגש. המנגנון המרכזי הוא שחרור מספר עצום של תאי רבייה זכריים ונקביים למים. מאוחר יותר התפתחו מינים שמותאמים לחיים ביבשה, וביניהם כאלה - דוגמת הצפרדע - החוזרים למים על-מנת להתרבות ומפרישים את תאי הרבייה למים. ביצורים החיים כל חייהם ביבשה התפתחו מנגנונים המאפשרים **הפריה פנימית** בגוף הנקבה. בהפריה פנימית תאי הזרע מוחדרים ישירות אל מערכת הרבייה של הנקבה. חשוב לציין, שהסביבה שהפריה פנימית מתרחשת בה היא תמיד סביבה מימית. אך מאחר שההפריה מתרחשת בחלל מצומצם, הסיכוי למפגש בין תא זרע לביצית גדול בהרבה מהסיכוי למפגש כזה מחוץ לגוף. לדעת חוקרי האבולוציה, ההסבר למספרם העצום של תאי הרבייה, גם ביצורים שההפריה בהם היא פנימית (כמו האדם), הוא מוצאם הקדום מיצורים שחיו והתרבו במים.

הזיגוטה היא ראשיתו של העובר

הביצית המופרית נקראת **זיגוטה** - תא שהגרעין שלו מכיל כרומוזומים של האב ושל האם. הזיגוטה היא למעשה התא הראשון של מישהו חדש: עובר, שתכונותיו הן שילוב של תכונות הוריו. כיממה לאחר ההפריה הזיגוטה מתחלקת לשני תאים, אחר-כך לארבעה וכן הלאה. החלוקות הראשונות מתרחשות בזו אחר זו, והתאים החדשים אינם גדלים כלל. לכן כל תא חדש קטן בערך כי שניים מהתא שקדם לו. מכאן, שהעובר המגיע לרחם כארבעה ימים לאחר שנוצר, אינו גדול בהרבה מהביצית שהופרתה, אך שהוא בנוי מכמה עשרות של תאים. רק כשיגיע העובר לרחם יחל תהליך גדילתו.

עוד על...

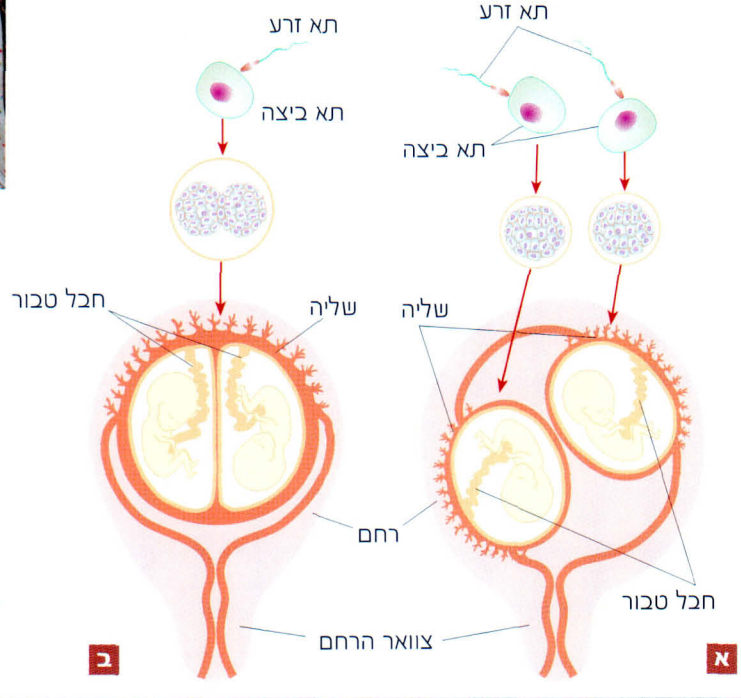
תאומים יכולים להיוולד מהפריית ביצית אחת או שתיים

בדרך-כלל, בכל מחזור מבשיל זקיק אחד בשחלה אחת. בשחלה השנייה לא מבשיל זקיק באותו זמן. לכן, ברוב המקרים תהיה הפריה של ביצית אחת. אולם ידוע לנו, כי בכל זאת קורה שנולדים תאומים, ולעתים אפילו יותר משני ילודים בלידה אחת. שתי אפשרויות עשויות להוביל ללידת תאומים.

אפשרות אחת מתרחשת כאשר העובר, המכיל עדיין מספר קטן של תאים, מתחלק לשני חלקים נפרדים לחלוטין זה מזה. כל אחת משתי קבוצות התאים ממשיכה בחלוקות תא, כעובר רגיל. בדרך זו נוצרים **תאומים זהים**, המכונים חד-ביצתיים, או מונוזיגוטיים. מכיוון שמקורם בביצית מופרית אחת, יש לשניהם אותו מערך כרומוזומים בדיוק, והם זהים בכל תכונותיהם התורשתיות. האפשרות השנייה היא ביוץ כפול: מטעמים לא ידועים, קורה ששתי ביציות מבשילות ומשתחררות באותו זמן וכל אחת מהן יכולה להיות מופרית. במקרה כזה ייוולדו **תאומים אחאים** שגילם זהה, אך שהדמיון ביניהם הוא כמו הדמיון בין אחים רגילים. כלומר, הם יכולים להיות שונים למדי זה מזה. שתי האפשרויות להתפתחות תאומים מתוארות באיור 9.9.

שאלה 3

לזוג הורים נולדו תאומים, בת ובן. האם מוצאם מביצית אחת, או משתיים? הסבירו את תשובתכם.



איור 9.9

א. התפתחות תאומים לא זהים (אחאים), ברחם נוצרות שתי שליות.

ב. התפתחות תאומים זהים, ברחם נוצרת שליה אחת.

אמצעים למניעת היריון

יחסי מין יכולים להוביל להיריון לא רצוי, והם גם חושפים את בני הזוג לסיכון של הדבקה במחלה המועברת במגע מיני.
אמצעי מניעה נועדו למנוע את שתי הבעיות: העברה של מחלות דרך איברי המין (כולל מחלת האיידס), והיריון לא רצוי. אמצעי המניעה הבטוח והמתאים לשתי המטרות הוא הקונדום - שקיק גומי גמיש המולבש על הפין ומונע מגע בין נוזל הזרע לגוף האישה.
יש עוד כמה אמצעים היכולים למנוע היריון, אך הם אינם מונעים הדבקה במחלות. האמצעים נחלקים לשני סוגים: אמצעים מכניים ואמצעים הורמונליים.
האמצעים המכניים מונעים כניסה של זרע לרחם, או מונעים קליטה של ביצית מופרית ברחם.
האמצעי הנפוץ ביותר המונע כניסה של זרע לרחם הוא הקונדום, שכבר הוזכר. אמצעים אחרים המיועדים לאישה נפוצים פחות. האמצעי המונע קליטה של ביצית מופרית ברחם הוא ההתקן התוך-רחמי (אותו יכול להחדיר רק רופא).
האמצעים ההורמונליים הם גלולות שונות למניעת היריון. יש סוגים שונים של גלולות, וכולם מכילים חומרים הורמונליים מקבוצת האסטרוגן, או מקבוצת הפרוגסטרון. הגלולות הנפוצות ביותר הן אלה המשלבות את שני סוגי ההורמונים. הן מדכאות את הפרשת הורמוני ההיפופיזה וגם את הפעילות הבלוטית של תאי רירית הרחם. דרך השימוש בכל סוג של גלולות שונה, וחשוב מאוד להקפיד על נטילתן על-פי ההוראות. לגלולות שונות עלולות להיות השפעות לוואי בלתי נעימות, לכן לאחר שרופא התאים לאישה גלולה מסוימת, חשוב לעקוב אחר השפעותיה על האישה, כדי לוודא שהגלולה אכן מתאימה לה.
הגלולות הן האמצעי היעיל ביותר למניעת היריון, אך, כאמור, הן אינן יכולות למנוע הדבקה במחלות. הגלולות הנמצאות בשימוש מיועדות רק לנשים. במשך שנים נעשים נסיונות לייצר גלולות לגברים, אך עדיין אין מידע מספק בדבר יעילותן של אלה שכבר פותחו.

ה"ימים הבטוחים" אינם בטוחים!

רבים סוברים שאפשר למנוע היריון על-ידי שימוש בשיטה המכונה "ימים בטוחים". הכוונה היא לקיום יחסי מין באותם ימים בחודש שבהם הסיכויים להפריה קטנים (ראו איור 9.6). קשה להבין מדוע השיטה הזו עדיין שכיחה, גם כאשר ידוע מזה זמן רב שאי-אפשר לבטוח בה. הריונות בלתי מתוכננים רבים הם תוצאה של הסתמכות על "ימים בטוחים". כפי שהסברנו, מספר ימי המחזור אינו אחיד, אפילו אצל אותה אישה. בוודאי שלא ניתן להסתמך על אורך מחזור של 28 ימים, שהוא רק ממוצע בין הרבה מאוד מחזורים אמיתיים של נשים.

הרפואה והטכנולוגיה מסייעות בתהליך ההפריה

כ-15 אחוזים מכלל הזוגות המבקשים להביא ילד לעולם מגלים, כי גם לאחר ניסיונות מרובים, אין הם מצליחים בכך. הסיבות לכך יכולות להיות רבות. ככלל, כל אחד מבני הזוג עלול לסבול מבעיית פוריות כלשהי. אצל גברים בעיות הפוריות המוכרות ביותר הן: מיעוט של תאי זרע בעת הפליטה, תאי זרע בעלי כושר תנועה לקוי, תאי זרע בעלי מבנה פגום, בעיות בייצור ובהפרשה של נוזל הזרמה, וכן חסימות בצינורות של הבלוטות המייצרות את נוזל הזרע, או בצינורות מוביל הזרע. יש לציין, כי עצם קיומם של תאי זרע פגומים אינו מעיד על עקרות; כ-80 אחוזים מכלל תאי הזרע של כל גבר בריא ופורה, יכולים להיות פגומים בצורות שונות.
אצל נשים הבעיות המוכרות ביותר הן: הפרעות בביוץ, חסימה של החצוצרות המונעת הגעה של תאי זרע לביציות, או הפרעה בקליטת הביצית המופרית ברחם.
הרפואה המודרנית, בשילוב טכנולוגיה מתקדמת, מצליחה מזה עשרות שנים, לסייע בחלק נכבד מהמקרים האלה. גברים יכולים לקבל טיפולים הורמונליים הגורמים להעלאת כמות תאי הזרע, או כמות הזרמה הכוללת, ונשים יכולות לקבל טיפולים המסדירים את הביוץ. כמו-כן, באמצעות ניתוח פשוט ניתן, לעתים, לסלק חסימה בצינורות הזרע של הגבר, או בחצוצרות האישה.
התקדמות הושגה כאשר רופאים החלו לבצע הפריה מלאכותית - כלומר, מצאו דרך המאפשרת להחדיר לאישה תאי זרע. בדרך זו ניתן לעקוף בעיות שעיכבו את כניסת האישה להיריון, וביניהן בעיית תנועתם של תאי הזרע.
בשנת 1978 הושגה באנגליה פריצת דרך מהפכנית - תינוקת בריאה ראשונה נולדה בעקבות **הפריה חוץ-גופית**. כדי לבצע הפריה חוץ-גופית אוספים ביציות משחלות האישה ותאי זרע מהגבר. מפגישים את הביציות עם תאי הזרע בכלי מעבדה,[4] ומאפשרים בדרך זו הפריה ותחילת התפתחות של עובר. לאחר ימים מספר מוחדר העובר לרחם וממשיך שם את התפתחותו.
חשוב לציין, כי הפריה חוץ-גופית, אף שהיא שכלול טכנולוגי מרשים ביותר, אינה תהליך פשוט, והצלחתה אינה מובטחת. ההסתברות שעובר שנוצר במעבדה ייקלט ברחם וימשיך להתפתח אינה גבוהה, והיא פוחתת ככל שהאישה מבוגרת יותר.

הטכנולוגיה מסייעת אך גם יוצרת דילמות

כדי לשפר את סיכוייה של אישה להרות בהפריה חוץ-גופית, נוהגים הרופאים לשאוב כמה ביציות משחלת האישה, להפרותן בכלי מעבדה, ולהחזיר לרחם כמה עוברים, בתקווה שלפחות אחד מהם ייקלט. במקביל, שומרים כמה מן העוברים במבחנות, בהקפאה. שמירת עוברים מוקפאים נועדה לאפשר לאישה להרות בעתיד, בלי לחזור שנית על תהליכי ההפריה החוץ-גופית.
האפשרות להחזיק בהקפאה עובר, שכל גדלו שמונה תאים, פותחת פתח לבעיות לא פשוטות כלל.
ברגע שעובר נמצא בתוך מבחנה במשמורת מחוץ לגוף, הוא יכול להפוך לסלע מחלוקת בין בני זוג פרודים, כפי שקרה בישראל באמצע שנות ה-90. קשה לקבוע איך להתייחס לעובר כזה: האם אפשר לראות בו "רכוש" שבני זוג מסוכסכים יכולים להתדיין עליו התדיינות משפטית? איך ניתן בכלל להכריע במחלוקת מעין זו? והדילמה יכולה להסתבך עוד יותר: כל עוד שני בני הזוג פרודים, אך עדיין רוצים שהעוברים יושתלו כדי להביא ילדים לעולם, הדילמה היא רק סביב השאלה מי יהיה ההורה שלהם. אולם מה קורה אם הורה אחד רוצה בילדים, ואילו הורה אחר רוצה למנוע בכלל שימוש בעוברים? ומה קורה אם ההורים נפטרים? למי שייכים העוברים המוקפאים? ולא פחות חשוב: מהי טובת הילד שאולי ייוולד?
כל עוד עובר נמצא ברחם, הוא במובן מסוים חלק מגוף האם; אי-אפשר לקבל הכרעות לגביו בניגוד לרצון האם, כי יש לה זכות יסוד: זכות האדם על גופו. דבר זה מוצא את ביטויו בעובדה, שאין זכות לכפות על אישה הפלה נגד רצונה. אולם כאשר עובר נמצא במבחנה, הגישה אליו אינה כרוכה בפגיעה בזכות האישה

[4] מקובל לקרוא לשיטה זו "הפריית מבחנה", אך בפועל משתמשים לא במבחנה, אלא בצלחת פלסטיק מיוחדת עם מכסה תואם, הנקראת "צלחת פטרי".

על גופה. במצב זה אפשר לטעון - והטענה כבר עלתה - כי לשני ההורים יש זכויות שוות ביחס לעובר. הטכנולוגיה יצרה מצב שוויוני בין שני ההורים לגבי עובר, מצב שלא היה קיים קודם-לכן בהיסטוריה.

דילמה נוספת יכולה להתעורר בעקבות טיפולים שנועדו לגרום לביוץ. הטיפול ההורמונלי יכול לגרום לביוץ של כמה זקיקים במקביל, ואם מתרחשת הפריה, היא עשויה להוביל להיריון רב-עוברים - לא רק שניים או שלושה עוברים, אלא חמישה, שישה ואף יותר.

מצב זה מעורר דילמה קשה: ככל שמספר העוברים גדול יותר, קטנים הסיכויים שלהם להתפתח כראוי ברחם, ולהגיע בשלום ללידה. הרופאים נוטים להמליץ בשלב מוקדם מאוד על "הפחתת עוברים". בטיפול זה פוגעים באופן מכוון בכמה מהעוברים בעודם בשלב מוקדם מאוד של התפתחותם. בדרך זו מבטיחים התפתחות תקינה של שניים או שלושה עוברים, ומפחיתים את הסיכון בעת הלידה. יש נשים המתקשות, או אף מסרבות, לקבל את ההמלצה הזו. הדילמה במקרה כזה חריפה במיוחד, משום שהשארת עוברים מרובים ברחם מסכנת את חיי כולם.

אנו רואים אפוא, כי לטכנולוגיה שתי פנים: מצד אחד, ניתן להיעזר בה כדי לפתור בעיות ומצוקות קשות, ומהצד האחר, הפתרונות עלולים לעורר דילמות קשות. כמובן, אין תשובה אחת לדילמות אלה, וודאי לא תשובה שתניח את דעת הכול. אולם בשעת הצורך, ידע מוקדם עשוי לסייע בהתמודדות עם דילמות אלה.

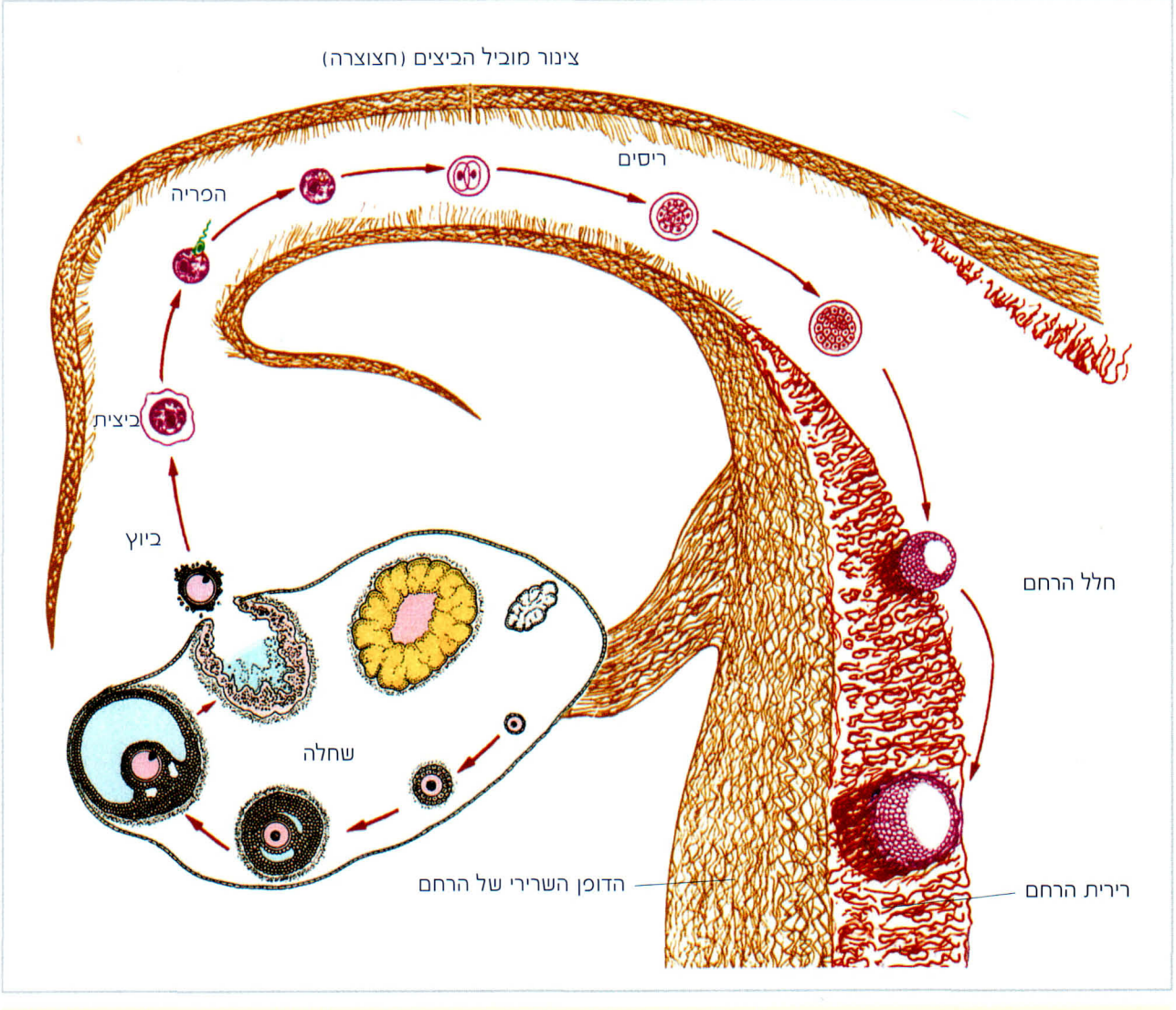
9.4 בתוך תשעה חודשים העובר הופך לילוד

בשעה שהעובר שבחצוצרה נע לכיוון הרחם, תאיו ממשיכים להתחלק.

כשלושה-ארבעה ימים לאחר ההפריה מגיע כדור התאים הזעיר לרחם ושוקע בשכבה הרירית המעובה בדופן הרחם. תהליך זה נקרא **קינון**.

באיור 9.10 תוכלו לראות את מעבר העובר ממקום ההפריה לרחם.

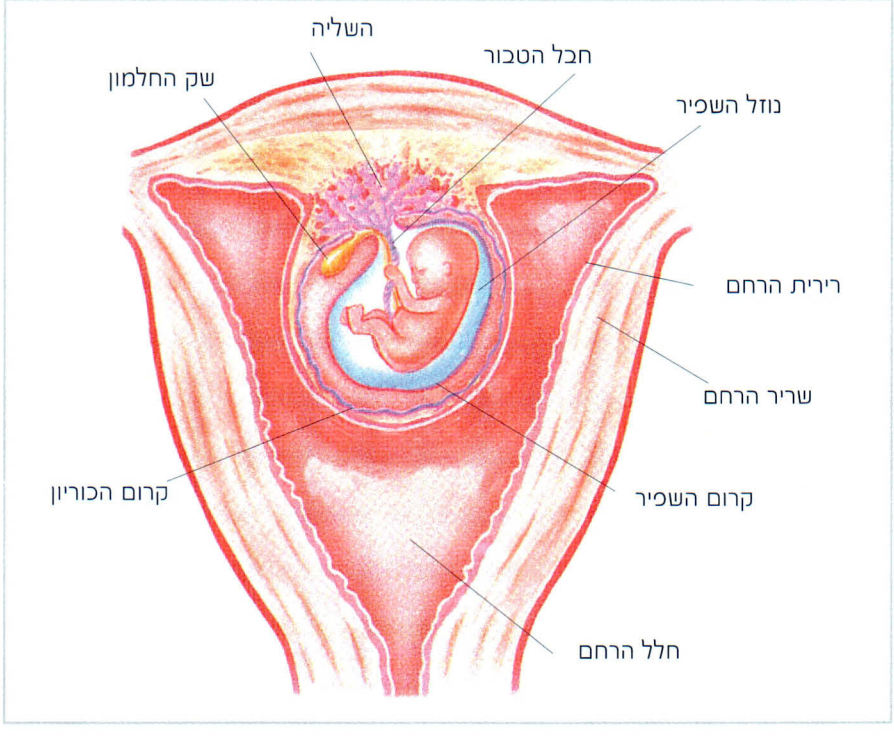
העובר שוקע בנקודת הקינון, ובשבוע הראשון להיריון הוא ניזון באמצעות ספיגה של חומרים המופרשים מרירית הרחם המקיפה אותו. כמו כן מתפתחת סביבו מערכת של הזנה וסילוק חומרי



איור 9.10
הזיגוטה מתפתחת לעובר, נודדת לרחם ומקננת בו.

פסולת: **השליה** (ראו איור 9.11). השליה היא איבר המשותף לעובר ולרקמות האם. מגוף העובר יוצאים כלי הדם היוצרים את חבל הטבור. חבל הטבור מחובר לשליה, וכלי הדם העובריים נפרשים בתוך השליה במעין מניפה רחבה. כלי הדם של האם מגיעים לשליה ופרושים בה ברשת מסועפת. הם מסתיימים באגמים קטנים, המקיפים מכל עבר את כלי הדם הזעירים של העובר. בדרך זו דם העובר קולט חומרי מזון וחמצן, ומשחרר אל דם האם את הפחמן הדו-חמצני הנפלט בנשימת התאים שלו, וחומרי הפרשה הנמצאים בדמו. הדם מהאגמים נאסף לורידי האם.

נוסף לכך, העובר מוקף בקרום: **קרום השפיר**, המכיל את **נוזל השפיר**, היוצרים סביבה יציבה ומוגנת לעובר (איור 9.11); קרום נוסף - הכוריון - נמצא מחוץ לקרום השפיר ושלוחות שלו, הנקראות "סיסי הכוריון", משתתפות בבניית השליה.



איור 9.11
מראה העובר וקרומי העובר

עוד על...

עדות נוספת לעבר של חיים במים

העוברים של כל בעלי-החיים יכולים להתפתח בסביבה מימית בלבד בתוך גוף האם, או מחוצה לו. דבר זה נכון לגבי עובר האדם שמתקיים בסביבה מימית בתוך הרחם וגם לגבי עובר עוף שמתקיים בתוך ביצה. תופעה זו - התפתחות של עוברים בסביבה מימית בלבד - המשותפת לכל היצורים החיים על פני כדור הארץ, תואמת את ההשקפה שכל היצורים החיים התפתחו מיצורים קדומים שחיו במים (ראו גם: הרחבה בעמוד 192).

במרוצת החודשים הבאים עובר העובר התפתחות מופלאה. מגוש תאים כדורי בגודל של חמש מאיות המילימטר, השוקל מיליגרמים מעטים, הוא יהפוך לתינוק שמשקלו הממוצע 3.4 ק"ג ואורכו הממוצע כ-50 ס"מ. גם האיבר הנושא את העובר - הרחם - עובר שינויים מפליגים. השרירים של דופן הרחם מתגלים בהיריון במלוא חוזקם וגמישותם: מאיבר בגודל של שבעה סנטימטרים גדל הרחם לשק המכיל את העובר, את השליה ועוד כשני ליטרים של נוזל בממוצע. אך אין ספק שהתפתחות העובר היא הפלא הגדול מכולם.

חשבו על כל מערכות הגוף המורכבות שהכרתם עד כה: מערכות העיכול, הנשימה, ההובלה והתיווך, ההפרשה, מערכת החיסון, המערכות לבקרה ולוויסות הורמונלי ועצבי - כל אלה מתפתחות בעובר, שהיה אך לפני שבועות מעטים גוש תאים. עובר בן שלושה חודשים, שאורכו שישה סנטימטרים בלבד, מכיל כבר את כל מערכות הגוף, בשלבי התפתחות שונים. התפתחות המערכות נמשכת עד גמר השבוע ה-20 להיריון. בתום 20 שבועות (כחמישה חודשים) לעובר מראה מעוצב של אדם, עם תווי פנים, אצבעות, וכדומה. לא כל מערכות גופו של העובר מגיעות לבשלות בגיל זה. הריאות עדיין אינן מסוגלות לתפקד, וגם המוח ממשיך להתפתח; אך השינוי העיקרי החל משלב זה של חיי העובר ועד הלידה, הוא גדילה.

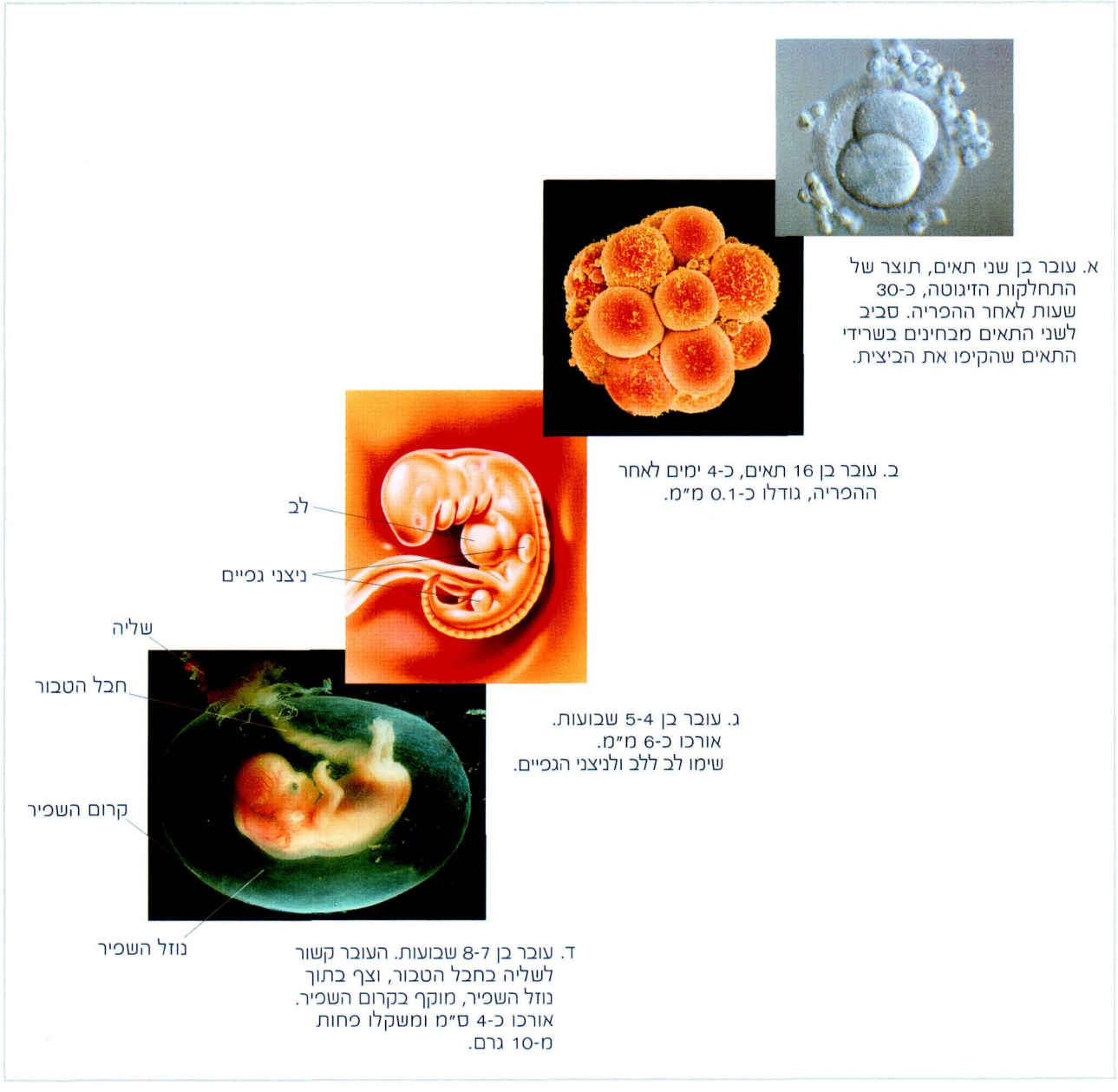
שלושה תהליכי התפתחות מתרחשים בעובר:

- חלוקת תאים;
- התמיינות תאים;
- התארגנות התאים במבנים היוצרים את המערכות ואת איברי הגוף;

חלוקת תאים: במהלכו של ההיריון (הנמשך 270 ימים בממוצע) נוצרים מתא אחד מיליארדים רבים של תאים בעלי צורות שונות ותפקודים שונים, מורכבים ומגוונים ביותר. ההתחלקות המהירה של התאים תורמת לגדילתו הכללית של העובר, אך התרבות התאים היא רק חלק אחד, פשוט יחסית, של הסיפור.

התמיינות תאים: בתהליך מורכב זה התאים משתנים, רוכשים צורה ותפקוד חדשים ונעשים מומחים לפעילויות מסוימות. בעובר של שמונה תאים כל התאים נראים זהים. אם יפרידו אותם בלי להזיק להם, כל אחד מהם עדיין יכול להתפתח לעובר מושלם. אולם לאחר כמה חלוקות נוספות, המצב משתנה. למרות שכל התאים מכילים אותם כרומוזומים ואותו מידע תורשתי, קבוצות תאים מתחילות להתפתח בצורה שונה וייחודית. בכל קבוצת תאים מתבטאות תכונות מסוימות, ותכונות אחרות אינן מתבטאות בה. מתפתחים תאים בעלי תפקידים שונים: תאי שריר, תאי כבד, תאי דם, תאי עצבים ועוד.

התארגנות התאים: במקביל להתרבות ולהתמיינות התאים, תאים רבים נעים ומשנים את מיקומם בעובר. התוצאה היא שהעובר מפסיק להיות גוש תאים, ומופיעים בו מבנים בעלי צורות שונות, שהם תחילתם של איברים שונים בגוף.



א. עובר בן שני תאים, תוצר של התחלקות הזיגוטה, כ-30 שעות לאחר ההפריה. סביב לשני התאים מבחינים בשרידי התאים שהקיפו את הביצית.

ב. עובר בן 16 תאים, כ-4 ימים לאחר ההפריה, גודלו כ-0.1 מ"מ.

ג. עובר בן 4-5 שבועות. אורכו כ-6 מ"מ. שימו לב ללב ולניצני הגפיים.

ד. עובר בן 7-8 שבועות. העובר קשור לשליה בחבל הטבור, וצף בתוך נוזל השפיר, מוקף בקרום השפיר. אורכו כ-4 ס"מ ומשקלו פחות מ-10 גרם.

איור 9.12
השתנות העובר בשלבים שונים של התפתחותו

את השינויים החלים בעובר תוכלו לראות באיור 9.12.

ההתארגנות מתבטאת גם בעיצוב איברי הגוף. התבוננו, למשל, בידו של עובר בן ארבעה שבועות (איור 9.12ג): בשלב זה, הידיים והרגליים שלו נקראות "ניצני גפיים". ניצן היד נראה כבליטה חסרת צורה. בין השבוע השישי לשביעי מתחילות להופיע אצבעות בכף היד. האצבעות כאילו מגולפות מתוך הבליטה הראשונית. ההתארגנות של מבנה כף היד נעשית על-ידי שילוב של כמה תהליכים: התרבות של התאים, נדידת תאים המשנים את מיקומם, וגם מוות של רבים מהם. התאים באזורים שבין האצבעות מתים ומתפרקים. כך מתעצב המבנה הדק והמאורך של האצבעות, עם הרווחים שביניהן. התארגנות התאים לאיברים כרוכה אפוא לא רק בהתרבות והתמיינות של תאים, אלא גם בתמותה של תאים במספרים עצומים.

מערכות גופו של עובר בן חמישה חודשים השלימו את התארגנותן. אולם הגודל והמשקל חשובים מאוד לקיומו של ילוד, ואפילו עובר בן שישה חודשים עדיין אינו בשל ללידה. רוב-רובם של ההריונות נמשכים בין 260 ל-280 יום, ובסיומם מגיח לעולם ילוד בריא שהתפתחותו הושלמה.

בתום ארבעים שבועות מתחילה לידה

לא ידוע מהו הדחף המעורר את תחילת הלידה, אך על-פי ההשערה הוא נגרם על-ידי הורמון המופרש מבלוטות יותרת הכליה של העובר. יש כאן נקודה מעניינת, כי אם ההשערה נכונה, פירושה שהגורם המעורר את תהליך הלידה הוא העובר - שהוא למעשה כבר כמעט תינוק - ולא גוף האם. כתגובה להפרשה של ההורמון **אוקסיטוצין**, הנוצר בעובר, מתחילה הפרשה של אותו הורמון גם מההיפופיזה של האם. האוקסיטוצין גורם להתכווצויות של שרירי הרחם, הדוחפים את העובר לעבר צוואר הרחם. בשלב זה מתחילה פעולתו של מנגנון משוב חיובי.

הוויסות ההורמונלי של הלידה נעשה במשוב חיובי

כאשר ראש העובר מגיע לצוואר הרחם נוצר לחץ על דפנות צוואר הרחם, הנקלט על-ידי מערכת העצבים. המידע מגיע מההיפותלמוס להיפופיזה, וזו מפרישה כמות נוספת של אוקסיטוצין, המגיעה עם זרם הדם לרחם ומעוררת התכווצויות של שרירי דפנות הרחם - **צירי לידה**. הצירים דוחפים את העובר בצוואר הרחם, והגירוי להפרשת ההורמון - לחצו של ראש העובר - נמשך. לחץ זה מעורר צירים שעוצמתם ותדירותם הולכות וגוברות. המשוב הוא חיובי, כי תוצאת התהליך - הגברת התכווצות שרירי הרחם - מגבירה את הגירוי (לחצו של ראש הילוד), המעורר הפרשה נוספת של ההורמון.

התהליך גובר ככל שהעובר מתקדם דרך צוואר הרחם המורחב, והוא נמשך עד שהעובר - עתה הוא כבר ילוד - מגיח לאוויר העולם (ראו איור 9.13).

איור 9.13
שלבי הלידה

ברגע שהראש יוצא דרך הנרתיק, הלחץ על דפנות צוואר הרחם נפסק, וכך גם פוסק הגירוי להפרשת אוקסיטוצין, ונפסקים צירי הלידה.

שימה 1

משוב חיובי ולידה

שרטטו תרשים המתאר את מנגנון המשוב החיובי הפועל במהלך הלידה.

נהוג לחלק את הלידה לשלושה שלבים: שלב הצירים, שלב התרחבות צוואר הרחם ושלב יציאת הילוד. משך כל שלב משתנה מאוד מלידה ללידה. יש לידות האורכות רבע שעה, ויש הנמשכות יממה שלמה. ההבדלים אינם רק בין אישה לאישה, אלא גם בין לידות שונות של אותה אישה עצמה. יש נשים שילדו פעם אחת בלידה קצרה, ובפעם אחרת בלידה ממושכת.

בדרך-כלל, לקראת הלידה, העובר מונח ברחם כשראשו כלפי מטה, כך שהראש מגיח ראשון מהרחם. יש מקרים לא מעטים בהם העובר הפוך - ראשו כלפי מעלה ועכוזו מונח כלפי מטה. מצבים אלה מחייבים התערבות רפואית, ולעתים יש צורך בהחלטה על ניתוח.

לאחר שהילוד מגיח לאוויר העולם, התכווצויות הרחם נמשכות, ובתוך כמה דקות השליה נדחפת החוצה. יציאת השליה נעשית באותה דרך כמו לידת הילוד, אך היא קצרה יותר, ומכאיבה פחות.

נשימה ראשונה - צעקה ראשונה

העובר הנמצא ברחם אינו נושם באמצעות ריאותיו. החמצן מגיע אל תאי גופו מדם האם, דרך כלי דם בחבל הטבור, והפחמן הדו-חמצני מפונה דרך כלי דם שני בחבל הטבור. הריאות מסיימות את הבשלתן במהלך החודש השביעי והחודש השמיני של ההיריון, אך הן ריקות מאוויר. ברגע שהעובר יוצא מהרחם, אוויר חודר בבת-אחת לריאותיו, ויוצא מהן. זרם האוויר הפתאומי מפעיל את מיתרי הקול של העובר, וכך נשמעת צעקתו הראשונה. הצעקה הראשונה הזו היא עדות לכך שהילוד נושם כהלכה.

עם צאת הילוד, מנקים אותו מהנוזל שהקיף אותו, קושרים את חבל הטבור ומנתקים אותו. מרגע זה הריאות של הילוד הן האחראיות לקליטת החמצן ולפינוי הפחמן הדו-חמצני מדמו.

ילוד בריא הוא חסר אונים לחלוטין ותלוי באופן מוחלט במטפלים בו, אך יש כמה תפקודים שאפשר לבדוק אצלו, כדי לוודא שהתפתחותו אמנם תקינה. כך, למשל, לכל ילוד אדם יש רפלקס המכונה רפלקס האחיזה. אם נוגעים בכף ידו בקצה אצבע, אצבעותיו מתכווצות מייד ולופתות בחוזקה את האצבע הנוגעת בו. רפלקס נוסף, המעיד על מצב התפתחותו של הילוד, הוא רפלקס "צעידה": כאשר הרופא מחזיק אותו, ותומך בשני צדי גופו, כך שקצות בהונותיו נוגעות במשטח כלשהו (של שולחן טיפולים, למשל), הוא מניע את רגליו בזו אחר זו לזמן קצר מאוד, בתנועה של הליכה, כאילו הוא צועד. רפלקס זה נעלם בתוך שעות מעטות. בפעם הבאה שיבצע תנועות הליכה (מלווה בתמיכה), הוא יהיה לכל הפחות בן שבעה-שמונה חודשים, ובדרך-כלל אף יותר מכך.

הרחבה

לא כולם נולדים חסרי אונים

אורכה של התקופה שבה הילוד חסר אונים ותלוי לחלוטין באמו שונה מאוד בין יונקים שונים וגם בין בעלי-חיים בכלל. ילוד האדם הוא חריג מבחינת משך הזמן הדרוש לו להגיע לעצמאות בתנועותיו. משך התבגרותו של האדם, בהשוואה לבעלי-חיים אחרים, ארוך במיוחד. אפילו בזמנים שבהם התייחסו לילדים כאל בוגרים לכל דבר מרגע שהגיעו לבגרות מינית, עדיין ארכה "תקופת התלות" בין 12 ל-14 שנים. פרק זמן זה הוא ארוך ביותר ביחס למשך ההתבגרות של כל יונק אחר.

צאצאים של אוכלי עשב - סוסים, צבאים, פרות, כבשים - נעמדים על רגליהם בתוך דקות מרגע הלידה. הם יונקים במשך כחודש-חודשיים, אך במקביל הם מתחילים ללחך עשב. גורים של טורפים - אריות, חתולים, דובים - נזקקים למעט יותר זמן להגיע לעצמאות. גורי כלבים, למשל, יונקים בערך עד גיל שישה שבועות; ורוב היונקים מגיעים לבגרות בגיל שנה, או לכל המאוחר, בגיל שלוש שנים, כפי שקורה לפילים. ההתבגרות של רבים מהחולייתנים שאינם יונקים - עופות, זוחלים, דגים - מהירה אף יותר. בהתאם להבדלים בקצב ההתבגרות, יש גם הבדלים ניכרים בקשר בין הורים לצאצאים. גור פילים חי לצד אמו כשלוש שנים. גור חתולים, לעומת זאת, מתנתק מאמו כחודשיים לאחר הלידה, ולאחר מכן לא נותר ביניהם קשר כלשהו.

9.5 סיכום

הרבייה היא אחת מפעולות החיים, ואין יצור חי שאינו מתרבה. ביצורים חד-תאיים רבייה היא חלק מרצף מחזור החיים של התא, והודות לה מופיעים דורות חדשים של יצורים. בגופם של יצורים רב-תאיים, רבייה של תאים בודדים היא הכרח קיומי ליצור השלם. כמו כן, יצורים רב-תאיים מקיימים תהליכי רבייה המעמידים דורות של פרטים רב-תאיים חדשים. בגופם של יצורים רב-תאיים התפתחו מערכות שאיבריהן מותאמים לקיום הרבייה. אצל מרבית היונקים, ובכלל זה האדם, ההפריה - התלכדות תא הזרע עם הביצית - מתרחשת בתוך גוף הנקבה, והעובר מתפתח בגופה.

מערכת הרבייה של האישה כוללת שחלות, רחם ונרתיק. בשחלות נמצאות ביציות שרק מיעוט זעיר מהן מגיע לכלל הבשלה ויכול להיות מופרה. נוסף לכך, בשחלות נוצרים הורמונים המווסתים תהליכים הקשורים לרבייה. הרחם מותאם לנשיאה ולהזנה של העובר המתפתח. מערכת הרבייה הזכרית כוללת: אשכים, יותרת האשך, בלוטות, צינורות מובילי זרע ופין. באשכים נוצרים תאי זרע וכן הורמונים, המווסתים את התפתחות תאי הזרע. הבלוטות הסמוכות לאשכים משתתפות בייצור נוזל הזרע ומפרישות הורמונים המעודדים את הבשלת תאי הזרע.

ההתבגרות המינית, המתרחשת בגיל הנעורים, מתבטאת כלפי חוץ בהופעת סימני מין משניים. ההתבגרות המינית מתחילה בהשפעת גירוי מההיפותלמוס. גירוי זה מעורר פעילות של ההיפופיזה, וזו מגרה את השחלות והאשכים וגורמת להם להגביר את הייצור וההפרשה של הורמוני מין. ההורמונים גורמים לתחילתו של המחזור החודשי בגוף הנערה, ולתחילתו של ייצור מסיבי של תאי זרע, הנמשך ברציפות כל העת, בגוף הנער.

בעת המגע המיני, עוברת זרמה בצינור מוביל הזרע, יוצאת דרך הפין ומגיעה אל רחם האישה. מספר תאי הזרע המשתחררים בפליטה אחת הוא עצום. אך רק אחוז זעיר מהם מגיע אל הביצית, ורק תא זרע אחד מתמזג אתה ומפרה אותה. מההפריה נוצרת זיגוטה המתחלקת ומתפתחת לעובר. העובר מתפתח ברחם במשך כארבעים שבועות, עד ללידה. בהתפתחות העובר כלולים שלושה תהליכים: התרבות תאים, התמיינות והתארגנות של רקמות ואיברים. כאשר העובר מגיע לגיל ארבעים שבועות בערך, הוא יוצר גירוי המשפיע על המערכת ההורמונלית של האם, ומעורר את תחילת הלידה. מהלך הלידה מווסת על-ידי הורמון המופרש מההיפופיזה של האם, באמצעות מנגנון של משוב חיובי.

יש אנשים הסובלים מהפרעות שונות הפוגעות בפוריותם. הרפואה, בסיוע הטכנולוגיה, מתמודדת כיום עם מספר גדול של הפרעות, ומסייעת לזוגות רבים המתקשים להוליד. עם זאת, השכלולים הרפואיים והטכנולוגיים יוצרים מצבים חדשים, שאין להם מקבילות בתהליך ההפריה הטבעי. מצבים אלה מובילים, לעתים נדירות, לדילמות קשות אצל אנשים הנעזרים בטכנולוגיה.

ככלל, לקיום יחסי מין יש השלכות משמעותיות לשני בני הזוג - בין אם מדובר בבריאותם, ובין אם מדובר בהיריון. אמצעי מניעה שונים מאפשרים לבני הזוג לקחת אחריות על השלכות אלה.

שאלות סיכום וחזרה

1. בטבלה שלהלן מופיעים ארבעה תהליכים המעורבים ברבייה. העתיקו את הטבלה למחברת ומלאו את שמות האיברים המשתתפים בכל אחד מתהליכים אלו - בזכר ו/או בנקבה.

התהליך	איברים במערכת הנקבית	איברים במערכת הזכרית
ייצור תאי רבייה		
ייצור והפרשה של הורמוני רבייה		
מפגש תאי הרבייה של הזכר עם אילו של הנקבה		
התפתחות העובר		

2. כיצד מותאם האיבר שהעובר מתפתח בו לתפקודו?
3. יש טענה שלבישת מכנסי ג'ינס הדוקים עלולה לפגוע בפוריות הגבר. הסבירו טענה זו.
4. מהו, לדעתכם, היתרון בכך שעד תחילת גיל ההתבגרות אין ייצור והבשלה של תאי רבייה בשחלות ובאשכים?
5. היזכרו במה שלמדתם על ההורמונים בפרק 6 וענו: כיצד ייתכן שהאנדרוגנים הנוצרים באשכים משפיעים גם על ייצור תאי זרע באשך עצמו, גם על ייצור נוזל הזרע בבלוטות וגם על הופעת סימני המין המשניים?
6. מהו הקשר בין דימום הווסת למחזור ההורמונלי החודשי של האישה?
7. מהו היתרון בריבוי העצום של תאי הזרע הנפלטים בכל מגע מיני?
8. האם תתכן הפריה של ביצית על-ידי יותר מתא זרע אחד? נמקו.
9. הסבירו כיצד יכולות גלולות, המכילות הורמונים מקבוצת האסטרוגנים, למנוע אפשרות של היריון (היעזרו באיור 9.6).
10. אילו בעיות פוריות, אצל הגבר ואצל האישה, יכולות להיפתר בשיטת "הפרייה חוץ גופית"? אילו בעיות אינן נפתרות באמצעותה?
11. תפקוד השליה מחליף עבור העובר את תפקודן של חלק מהמערכות שמתפקדות באדם הבוגר. מהן המערכות שהשליה ממלאת את מקומן?
12. נסו לשער כיצד ייתכן שקבוצות של תאים מתפתחות לרקמות בעלות תכונות ייחודיות להן, וזאת למרות שכל התאים מכילים אותו מידע תורשתי.

הכל פועל ביחד

10. הגוף פועל כיחידת מבנה אחת
11. ההומאוסטאזיס נשמר בשינה כמו בריצה

ה

הכל פועל ביחד

מבוא ליחידה

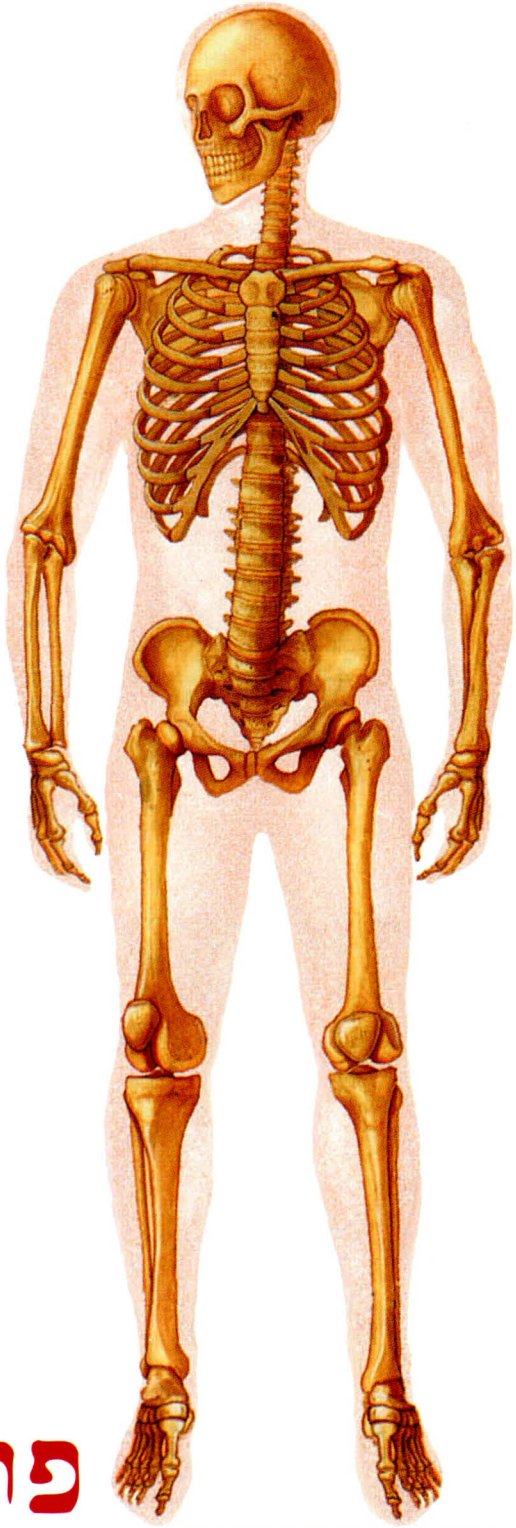
האם חשבתם פעם מה קורה לכליותינו או לריאותינו כאשר אנו עומדים על הראש? למעשה, כל איברי הגוף מעוגנים במקומם היטב, עד כי לא קורה להם דבר, בין אם אנו ישנים, עומדים על הראש, או עושים סלטה כפולה. על אף שינויי התנוחות שגופנו מתנסה בהם במהלך היממה - משינה ועד ריצה - לא חל שום שינוי בארגונו הפנימי ובסידור המדויק של איבריו.

לאורך כל הספר הדגשנו בדרכים שונות, כי גוף האדם, אף שפועלות בו מערכות רבות, הוא יחידה אחת. אפשר לתאר את תפקודו של הגוף כיחידה אחת שלמה ומאורגנת, משני היבטים שונים. היבט אחד מתייחס לשינויים הרבים במצבו ובתנוחותיו של הגוף, המתרחשים כל הזמן, ואינם מחוללים שום שינוי במיקומם ובסידורם של איבריו. רקמות חיבור, שהן רקמות עשירות בסיבים חזקים, מעגנות את האיברים השונים במקומם. יתר על כן, כל האיברים מאורגנים בתוך מסגרת קשיחה ומוצקה - השלד - ומוקפים בשרירים המונעים גם הם שינויים בסדר הפנימי.
בפרק 10 נכיר את מערכת היציבה וההנעה של הגוף - השלד והשרירים - הממסגרת את איברי הגוף, ומאפשרת את תנועותיהם המתואמות.

ההיבט השני של תפקוד הגוף כיחידה אחת מתייחס לשמירה על יציבות הסביבה הפנימית. במעבר בין רמות הפעילות - למשל, ממנוחה לריצה - חלים שינויים בפעולתם של מערכות ואיברי גוף שונים; אך למרות כל השינויים האלה, הסביבה הפנימית נותרת יציבה. כך, למשל, אדם העובר ממנוחה לפעילות ספורטיבית, מזיע ומאבד מלחים ומים רבים. אולם ריכוז המלחים בדמו ובתאי גופו לא משתנה. למעשה, ריכוז המלחים בדם לא תלוי ברמת הפעילות. פעולותיהן של כל מערכות הגוף מתואמות כך שמאפייני הסביבה הפנימית נותרים יציבים, גם כשרמות הפעילות של הגוף כולו, או של איבריו השונים, משתנות.

בפרק 11 נראה איך מתואמות פעילויותיהן של מערכות הגוף במצבי פעילות משתנים, המתרחשים ברצף שבין שינה, עֵרות ומאמץ גופני.
בהמשך הפרק נכיר חריגה קשה מהסדר הפנימי השורר בגוף, זו המתבטאת במחלת הסרטן.

יחידה ה:
הכל פועל ביחד



פרק 10

הגוף פועל כיחידת מבנה אחת

פרק 10

תוכן העניינים

10.1 השלד והשרירים הם מערכת התנועה שלנו 207

10.2 תנועת האיברים תלויה במבנה המפרקים 209

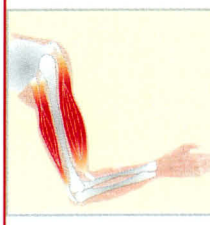
10.3 שרירים רצוניים מניעים את העצמות 210

• שרירים בריאים פעילים תמיד 211

10.4 כל התנועות מתואמות ומתוזמנות בדייקנות 211

10.5 סיכום 212

שאלות סיכום וחזרה 212



10.1 השלד והשרירים הם מערכת התנועה שלנו

איור 10.1
רקדנית בלט. ציור מאת א. דגה (1914-1843)

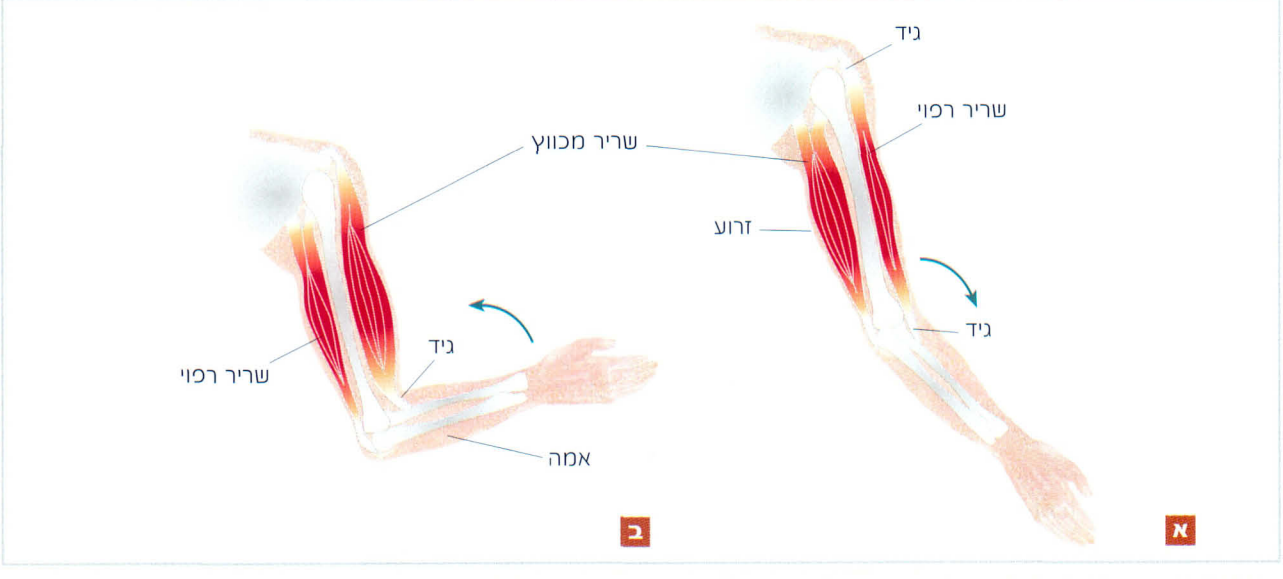
עצמות השלד והשרירים המחוברים אליהן, מקנים לגוף את יציבתו - כלומר, את האפשרות לשאת את עצמו בכל התנוחות והתנועות המשתנות בלא הרף. העצמות והשרירים הם המאפשרים לגוף לנוע כולו כיחידה אחת, או להניע איברים שונים לפי הצורך (איור 10.1).

מה שמניע את ה**עצמות** הם ה**שרירים**. קצות השרירים מחוברים לעצמות באמצעות **גידים**.

כדוגמה נראה מה מאפשר לנו להניע את היד. התבוננו באיור 10.2.

פקודה המגיעה מתאי עצב תנועתיים (מוטוריים) במוח הגדול גורמת לאחד השרירים, המחברים בין האמה לכתף, להתכווץ. בו-בזמן השריר שבצד הנגדי של הזרוע מתרפה. הגיד המקשר בין השריר לעצם, מושך את עצמות האמה ומקרב אותן לעצם הזרוע. כשמיישרים את האמה קורה תהליך הפוך: השריר שהיה רפוי מתכווץ, והשריר השני מתרפה.

יכולת התנועה שלנו תלויה אפוא במבנה העצמות, בחיבורים שביניהן ובפעולת השרירים והגידים המחברים בין העצמות. כמובן, התנועה תלויה גם בהגעת פקודות מתאימות ממערכת העצבים. בנוסף לתפקידן בתנועה, העצמות מספקות הגנה לאיברים הפנימיים הרכים, כולל המוח.



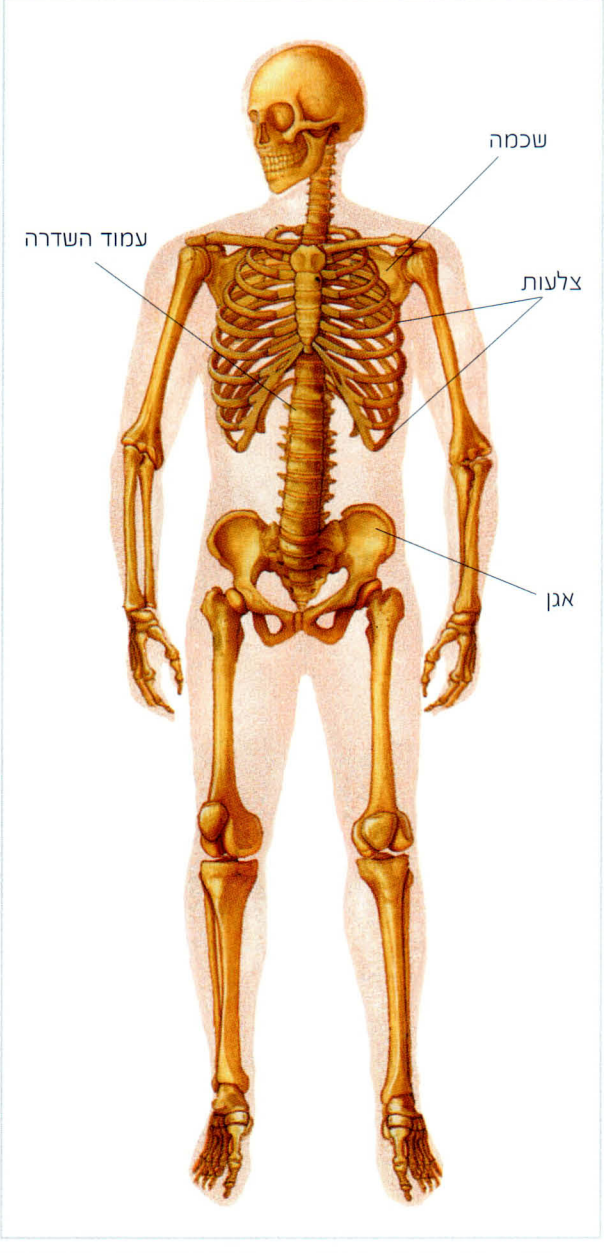
איור 10.2
התכווצות שרירים מניעה את היד.
א. יד פשוטה לפנים
ב. יד כפופה

באיור 10.3 רואים את השלד השלם. יש בו עצמות ארוכות וצרות, אלה הן **עצמות הגפיים** - הידיים והרגליים. עצמות אחרות הן קצרות ושטוחות, למשל עצמות הכתפיים, הנקראות **שכמות**. אפשר להבחין בכמה אזורים בשלד.

הגולגולת מתחלקת לשני חלקים. החלק העליון הוא מעין קופסה של עצמות שטוחות, המגינה על המוח. החלק התחתון מכיל את הלסתות וקובע את מבנה הפנים (ראו איור 10.7).

מתחת לגולגולת מתחיל **עמוד השדרה**, הבנוי מ-26 **חוליות**. לאורך החוליות עובר מוח השדרה, המוכר לכם מפרק 7.

בשני מקומות בשלד נמצאות קבוצות של עצמות המחברות את הגפיים לעמוד השדרה. קבוצת העצמות העליונה, היוצרת את הכתפיים, מאפשרת להניע את הזרועות. הקבוצה התחתונה, עצמות **האגן**, מאפשרת להניע את הרגליים. עצמות האגן גם מגינות על האיברים הפנימיים הרכים הנמצאים בבטן, אך רק משלושה צדדים. הביטוי "בטן רכה" כסימן לפגיעות מזכיר לנו עובדה זו.



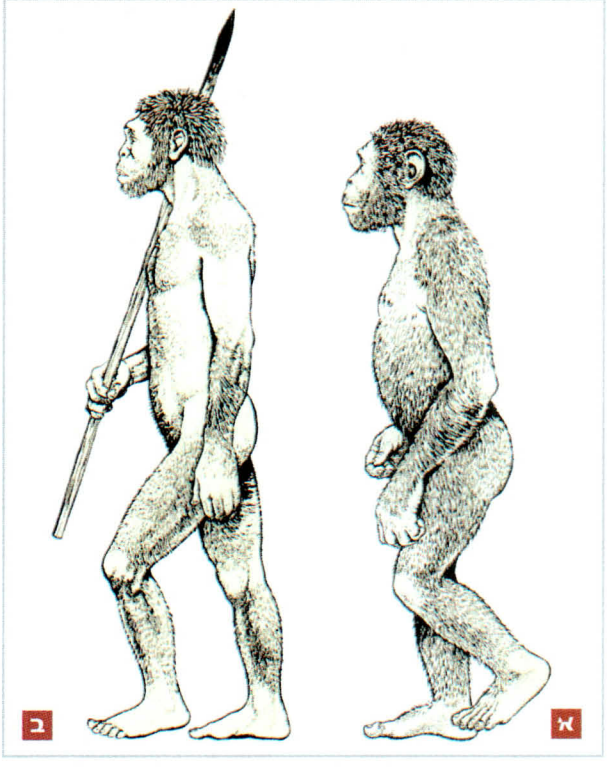
איור 10.3
שלד של אדם במבט מלפנים

העמקה

בטן רכה: מחיר ההדקפות על שתי רגליים

בשלב מסוים של האבולוציה של האדם חלו שינויים בעמוד השדרה שלו, שהתבטאו בהתאמה להליכה על שתיים, והובילו ברבות הימים להיותו היונק היחיד העומד והולך זקוף. ואכן, ממצאים מלפני כ-5 מיליוני שנים מעידים על קיומו של יצור דומה מאוד לאדם, הניצב זקוף על רגליו כל העת. האדם הוא היחיד מבין היונקים, שהתנועה על שתי רגליים היא דרך תנועתו הקבועה והיחידה (שלא כמו הקרובים אליו, השימפנזים והגורילות, המסוגלים ללכת על שתיים, אך מרבים יותר לנוע על ארבע). ההליכה על שתיים אמנם עושה את האיברים הפנימיים שבבטן חשופים יותר לפגיעות מכניות, אך יש לשער כי יתרונותיה גוברים על חסרונותיה, שאם לא כן, האדם ההולך על שתיים לא היה שורד במהלך האבולוציה. יש השערות שונות בדבר היתרונות שהקנתה לאדם ההליכה על שתיים. יתרון חשוב אחד מתבטא בשחרור הגפיים הקדמיות - הידיים - ממשימת ההליכה. הידיים המשוחררות מסוגלות לבצע מגוון עצום של פעולות מורכבות, לרבות ייצור כלים ומכשירים ושימוש בהם. לידיים המשוחררות היה אפוא תפקיד מכריע בהמשך התפתחותו של האדם. ייצור כלים ומכשירים היה תלוי גם בגידול משמעותי בממדי המוח.

ראו שלבים בהתפתחות האדם באיור 10.4. שימו לב שהאדם הקדום (איור 10.4א) הלך על שתיים אך זרועותיו היו ארוכות ודומות לזרועות של קופים.



איור 10.4
שלבים בהתפתחות האדם

א. דמות של אדם קדום (אוסטרלופיתקוס). יצור זה, חי לפני כ-2.5 מליון שנים.

ב. דמות של אדם (הומו-אירקטוס) שחי לפני כ-1.5 מליון שנים.

10.2 תנועת האיברים תלויה במבנה המפרקים

שימה 1

בודקים את תנועות המפרקים

א. נסו להניע את האמה בלי להניע את הזרוע. אילו תנועות היא מסוגלת לעשות?

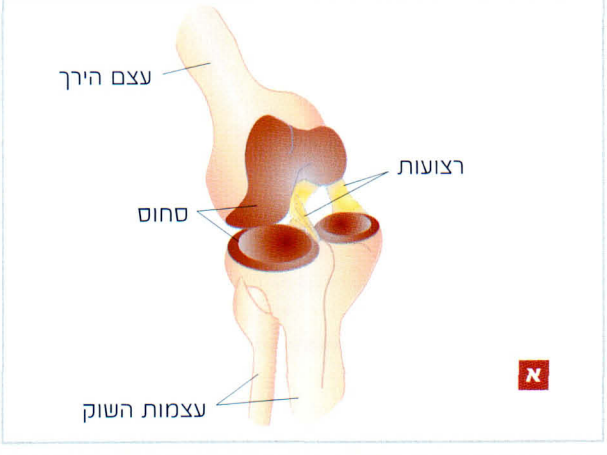
ב. מצאו בגופכם מפרק המאפשר לעצמות לנוע בתנועה סיבובית. באיזה חלק של הגוף הוא נמצא?

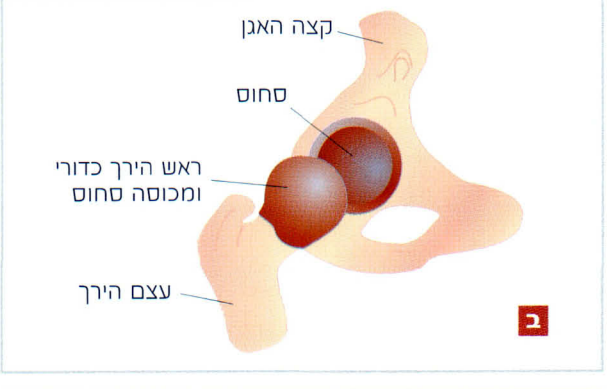
החיבור בין העצמות, המאפשר לעצמות לנוע, נקרא **מִפְרָק**. יש לנו מפרקים שונים בגוף, והם מאפשרים לעצמות לנוע בצורות שונות זו ביחס לזו.

היכולת שלנו להניע יד או רגל תלויה במבנה של המפרק. המַרפֵּק, שהוא המפרק בין הזרוע לאמה, מאפשר תנועה מסוג אחד: כפיפה וישור של האמה.

מפרקי הירך, לעומת זאת, מאפשרים סיבוב של עצם הירך (אם אינכם בטוחים, בדקו זאת על עצמכם). בין עצמות הגולגולת ישנו רק מפרק אחד המאפשר תנועה - זה המניע את הלסת התחתונה. המפרק המחבר בין הגולגולת לחוליה הראשונה של עמוד השדרה מאפשר תנועה מורכבת ביותר.

רוב המפרקים בגוף נמנים עם אחד משני סוגי מפרקים: **מפרק ציר ומפרק כדורי** (ראו איור 10.5). יש הבדלים בפרטי המבנה בתוך הסוגים האלה. הדרך הטובה ביותר להבחין בהם היא על-ידי ביצוע תנועות.





איור 10.5
מבנה מפרקים
א. מפרק ציר (ברך)
ב. מפרק כדורי (ירך)

שימה 2

מבחינים בין סוגי המפרקים

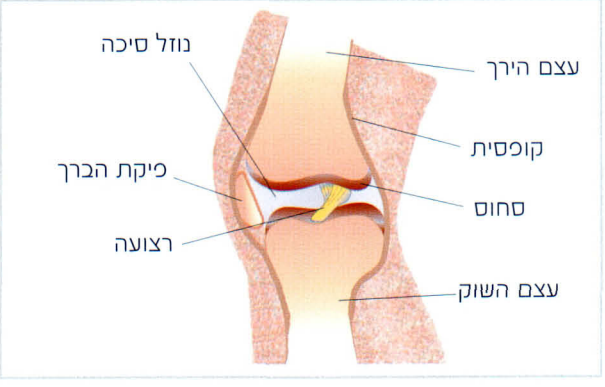
א. מפרק הירך הוא, כאמור, מפרק כדורי. מצאו מפרק כדורי נוסף בגופכם, ובדקו האם אתם מבחינים בהבדלים כלשהם באפשרות התנועה בינו לבין מפרק הירך.

ב. מפרק הלסת התחתונה הוא מפרק ציר, אך הוא שונה ממפרק המַרפֵּק. נסו לגלות את ההבדל ביניהם.

ג. היכן עוד נמצאים בגוף מפרקי ציר? מה מייחד את איכות התנועה שלהם?

חלק מההבדלים שגיליתם אכן נובעים ממבנה המפרקים. אולם חלק מההבדלים קשורים בעוד גורמים.

כדי להבין מעט יותר את אפשרויות התנועה שלנו הסתכלו באיור 10.6.



איור 10.6
מבנה של מפרק הברך

כפי שרואים באיור 10.6, כל אזור המפרק מוגן על-ידי קופסית העשויה מרקמת חיבור. קצות העצמות מכוסים **סחוס**. רקמת הסחוס בנויה ממספר קטן של תאים וביניהם חומר חוץ-תאי-הסחוס, שהוא חומר גמיש וחלק מאוד. המרווח שבין הסחוסים מלא בנוזל המהווה חומר סיכה ומונע חיכוך בין הסחוסים בעת שהעצמות זזות. נוזל המפרקים הוא חומר הסיכה הטוב ביותר; עד היום לא הצליחו לייצר נוזל סיכה שישווה לו.

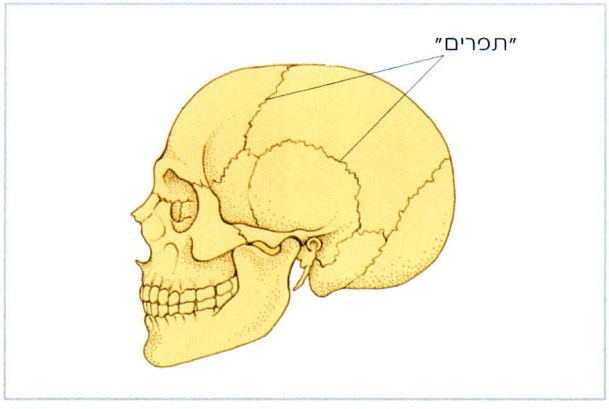
עוד על...

תנועה רבה מרבה חיכוך

ספורט וריקוד הם עיסוקים שיש בהם הנאה רבה, והם גם טובים לבריאותנו. עם זאת, הפעלה מרובה של המפרקים כרוכה גם בסיכון מסוים. הפעלה מרובה ונמרצת של המפרקים עלולה לגרום לשחיקה של הסחוסים שבקצות העצמות. חיכוך בין הסחוסים לקופסית עלול לגרום לדלקת, המתבטאת בנפיחות של המפרק ובכאבים. אפשר למנוע בעיות כאלה אם מקפידים על הנעת הגפיים בדייקנות לפי הוראות של מורה, ועל מנוחה והרפיה בין תרגול לתרגול. עם זאת, יש אנשים שהמפרקים שלהם נוטים לפתח דלקות בתדירות גבוהה; אנשים אלה צריכים להסתפק בפעילות גופנית מתונה שאינה מאמצת במיוחד את המפרקים.

קצות העצמות מקובעים באזור המפרק על-ידי **רצועות** הבנויות מרקמת חיבור סיבית וחזקה. בכל מפרק יש רצועות פנימיות וחיצוניות. הרצועות והקופסית המקיפה את המפרק מגבילות את חופש התנועה של העצמות הנפגשות במפרק. אפשר להגמיש את הרצועות, ואף להאריך אותן במקצת על-ידי התעמלות סדירה, ובכך לשמור על גמישות המפרקים. אולם יש אנשים שהם גמישים במיוחד מלידה. לאנשים אלה, המסוגלים לבצע תנועות יוצאות דופן (למשל, לכרוך את שתי רגליים סביב הראש), יש רצועות ארוכות מהממוצע המאפשרות למפרקיהם חופש תנועה גדול .

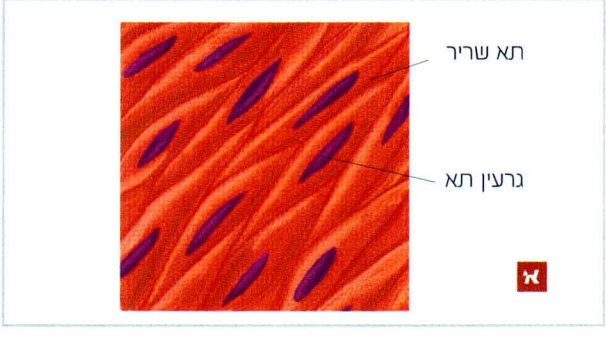
צורת חיבור מיוחדת בין עצמות יש בקופסת המוח. קופסת המוח בנויה מכמה עצמות שטוחות, המחוברות לכל אורכן בחיבורים הדוקים. חיבורים אל מכונים **תפרים** והם אינם מאפשרים שום תנועה של העצמות אחת ביחס לשניה (איור 10.7).

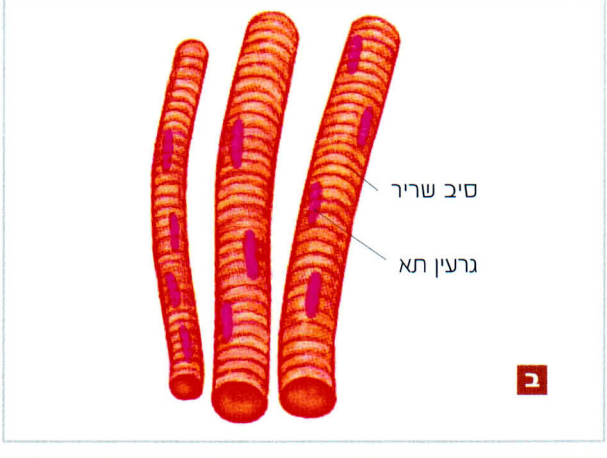


איור 10.7
"תפרים" בין עצמות הגולגולת

10.3 שרירים רצוניים מניעים את העצמות

השרירים הוזכרו בפרקי הספר בכמה הקשרים: במערכת העיכול - שרירים המניעים את דפנות הוושט, הקיבה והמעיים; במערכת הנשימה - שרירים המניעים את הצלעות ומאפשרים את תנועות השאיפה והנשיפה; בדפנות העורקים והווריד - שרירים המסוגלים להצר או להרחיב את קוטר כלי הדם, ובכך להשפיע על כמות הדם הזורמת בהם; כמו כן הכרתם גם את שריר הלב, הפועם בקצב שמכתיב לו קוצב הלב.
כלל השרירים בגוף הם משלושה סוגים: **שרירים חלקים**, **שרירים משורטטים ושריר הלב**, שהוא סוג בפני עצמו.





איור 10.8
תאי שריר
א. תאי שריר חלק
ב. סיבים של שריר משורטט

המונחים "שריר חלק" ו"שריר משורטט" נובעים מהמבנה של רקמות השריר, כפי שהן נראות במיקרוסקופ. באיור 10.8 תוכלו לראות שריר חלק ושריר משורטט.

כל שריר משורטט מורכב מאלומות או מחבילות הנראות במיקרוסקופ כסיבים ארוכים. כל סיב בפני עצמו הוא צבר של מאות תאי שריר. בשריר משורטט, סיב יחיד הוא למעשה תא רב-גרעיני: הוא מכיל גרעיני תא רבים ובהתאם גם כמות גדולה של ציטופלזמה. שריר חלק בנוי ממספר גדול של תאי שריר בודדים.
כל השרירים שבדפנות הקיבה, המעיים וכלי הדם הם שרירים חלקים. השרירים המניעים את הידיים, את הרגליים ואת כל חלקי השלד הם שרירים משורטטים.

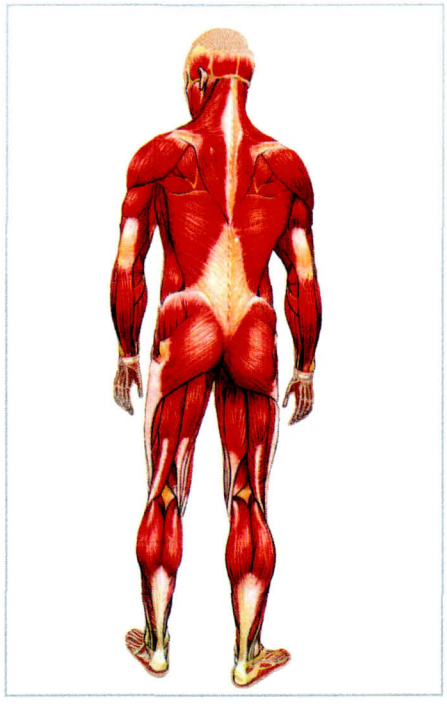
שאלה 1

בפרק 7 למדתם, כי כל השרירים בגוף מופעלים על-ידי עצבים. במה שונה, לדעתכם, הפעלתם של השרירים החלקים מהפעלת השרירים המשורטטים?
רמז: היעזרו במה שלמדתם בפרק 7 על חטיבותיה השונות של מערכת העצבים.

השרירים המשורטטים מניעים עצמות שונות, לכן הם נקראים **שרירי שלד**, ומכיוון שהם מופעלים על-ידי מערכת העצבים הסומטית (ראו פרק 7), הם נקראים גם **שרירים רצוניים**.
באיור 10.9 רואים חלק משרירי השלד.
יוצאי דופן הם שרירי בית החזה: הם מניעים את הצלעות - כלומר, הם שרירי שלד, ובדיקה מיקרוסקופית מראה שהם משורטטים. אך כזכור לכם (מפרקים 3 ו-7) הם כפופים למרכז בקרת הנשימה הנמצא בגזע המוח, שהוא חלק של מערכת העצבים האוטונומית - ובכך הם דומים לשרירים החלקים. אכן, במצב רגיל, אין לנו בקרה רצונית על פעולת הנשימה; אולם למערכת העצבים הסומטית יש בכל זאת מעורבות בשליטה עליהם. המעורבות הזו מתגלה כשהרופא אומר לנו "לנשום עמוק". אנחנו בהחלט מסוגלים לשנות באופן מודע את עומק הנשימה ואת קצבה, וזו עדות לכך ששרירים אלה נתונים גם לבקרה של החלק ה"רצוני", הכפוף להכרה, של מערכת העצבים.
שריר הלב מיוחד בכך שמבחינת המבנה שלו הוא דומה לשריר משורטט, אך פעולתו אוטונומית לחלוטין.

שרירים בריאים פעילים תמיד

גם כששוכבים במיטה במנוחה, השרירים אינם דוממים. סיבים בודדים בכל שריר מתכווצים ומתרפים לסירוגין - מעטים מהם בכל רגע נתון - גם כשהשריר כולו, כיחידה שלמה, לא מבצע פעילות כלשהי. מהבחינה הזו, שריר בריא אף פעם איננו דומם לחלוטין. הפעילות המזערית המתמדת הזו של השרירים, שאינה מתבטאת בתנועה גלויה, נקראת **טונוס השרירים** (muscle tone). הודות לטונוס נשמרת יציבתו של הגוף במצב מנוחה - למשל, כשיושבים על כיסא. הטונוס עלול להיחלש אצל אנשים הנמצאים בחוסר פעילות גופנית לאורך זמן, והוא בדרך-כלל חלש יותר אצל אנשים זקנים בהשוואה לצעירים. אולם היעדר של טונוס מוצאים רק בשריר משותק או מנוון. אנשים הסובלים מניוון שרירים קשה אינם מסוגלים להחזיק את גופם גם בתנוחת ישיבה רגילה, בגלל היעדר טונוס השרירים.



איור 10.9
שרירי השלד (מבט מהגב)

10.4 כל התנועות מתואמות ומתוזמנות בדייקנות

עכשו נסו לתאר לעצמכם מה קורה בגופו של אדם כשהוא רץ. בין אם האדם רץ, כי רודף אחריו נמר, ובין אם הוא רץ כדי להגיע לרכבת, בכל מקרה הוא פועל על-פי מידע שנקלט באיברי החוש שלו. בעקבות עיבוד המידע במוח הגדול יוצאות פקודות ממרכזים עצביים ועוברות בעצבים תנועתיים לשרירים ברגליים. שימו לב לכך, שלא כל השרירים פועלים באותו אופן בכל רגע. ברגע ששריר אחד מתכווץ ומכופף את הברך, שריר אחר ברגל דווקא מתרפה (ראו שוב איור 10.2). ובתוך אלפית שנייה מתחלפים התפקידים: השריר שהתכווץ נעשה רפוי, וזה שהתרפה מתכווץ. הדבר קורה בשתי הרגליים בו-בזמן בתיאום מושלם. אם תנסו לחשוב באופן מודע, במילים, על הפקודות היוצאות מהמוח לשתי הרגליים: "שריר א להתכווץ" "שריר ב להתכווץ", "שריר א להתכווץ" וחוזר חלילה - תקבלו סחרחורת בתוך פחות מדקה. ובכל זאת, זה בדיוק מה שהמוח עושה, במהירות הנמדדת באלפיות שנייה, ובלי טעות. והוא מתמיד בכך כל זמן שהאדם רץ.

בו-בזמן מתבצעות פעולות שונות על-ידי שרירים חלקים, הנמצאים במערכת העיכול, בדפנות כלי הדם ובמקומות אחרים בגוף.

כשאדם הולך ברחוב, משחק במחשב, או פורס לחם, לא נראה לו שהוא עושה משהו מורכב במיוחד. אך כל פעולה כזו היא סכום של פעולות שרירים רבות מספור, המתואמות ביניהן בשלמות מופלאה. עצם יכולתנו לשבת על כיסא אינה עניין מובן מאליו. אלמלא התקיים טונוס השרירים, היה גופנו קורס וצונח לצדדים בלי שליטה. אפילו תנועה פשוטה, כמו קימה מהכיסא, מבטאת את התיאום בין חלקי הגוף: הגוף נע כיחידה אחת הודות לעמוד השדרה ולעצמות הגפיים המחוברות אליו; השרירים מניעים את הרגליים ומטים את הגו בזווית המאפשרת קימה - והכול בפרק זמן הנמדד בפחות משנייה.

התזמון המדויק של הפעלת השרירים, הנעשה על-ידי המוח, הוא הגורם לכך שהתנועה היא רצופה ונטולת "מעברים חדים". אם הזדמן לכם לראות תנועה של רובוט בסרט תעודה, במוזיאון מדע או בתצוגה כלשהי, תוכלו להעריך את משמעות התיאום המתבטא בכל תנועה פשוטה שאנו עושים.

שאלה 2

היעזרו בפרק 3, (עמ' 61-63), בפרק 4 (עמ' 87-88) בפרק 7 (עמ' 145), כדי לענות על השאלות האלה:

א. מהי רמת פעילותם של שרירי דפנות הקיבה בעת הריצה (גבוהה או נמוכה)?

ב. איזו חטיבה של מערכת העצבים אחראית לרמת פעילות זו?

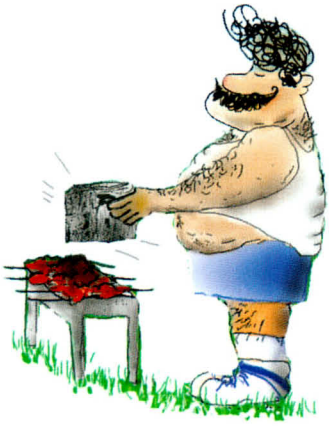
ג. כיצד פועלים שרירי בית החזה בעת הריצה? מי הם גורמי הבקרה האחראים לפעולתם?

10.5 סיכום

השלד והשרירים הם המקנים לגוף את יציבתו ואת יכולתו לנוע, והם גם אלו המספקים הגנה לאיברים הפנימיים. קצות השרירים מחוברים לעצמות באמצעות גידים וכאשר הם מתכווצים ומתרפים - על-פי פקודות ממערכת העצבים - הם מושכים אתם את העצמות, וכך נוצרת תנועת האיברים. השלד כולל את הגולגולת, את עמוד השדרה, את עצמות הגפיים וכן את העצמות המחברות אותן לעמוד השדרה.
חיבור בין עצמות, המאפשר תנועה, נקרא מפרק. קצות העצמות במפרק בנויים מסחוס, והמרווח ביניהם מלא בנוזל סיכה. רוב המפרקים בגוף הם מפרקי ציר או מפרקים כדוריים. בין עצמות הגולגולת יש חיבורים, הנקראים תפרים, והם אינם מאפשרים תנועה. השרירים בגוף נחלקים לשלושה סוגים: שרירים משורטטים, שסיביהם בנויים מתאים רב-גרעיניים - שרירים אלה מניעים בעיקר את עצמות הגפיים וכפופים ברובם למערכת העצבים הסומטית; שרירים חלקים, שסיביהם בנויים מתאים רבים - שרירים אלה מניעים בעיקר את דפנות צינור העיכול וכלי הדם וכפופים למערכת העצבים האוטונומית; הסוג השלישי הוא שריר הלב שמבנהו כשריר משורטט ופעולתו אוטונומית.
גם בעת מנוחה הסיבים המרכיבים את השרירים מתכווצים ומתרפים לסירוגין, וכך נוצר טונוס השרירים השומר על יציבות הגוף.
פעולת כל השרירים והעצמות בגוף מתואמת ומתוזמנת על-ידי מערכת העצבים.

שאלות סיכום וחזרה

1. שחקן כדורגל בועט כדור לשער. ציינו אילו מבין חלקי הגוף מעורבים בפעולה זו.
2. כיצד מותאם מבנה המפרקים לאופן פעולתם (התייחסו לכל מרכיבי המפרק)?
3. השרירים המשורטטים נקראים גם "שרירים רצוניים". האם שם זה תמיד מתאים? הסבירו.



פרק 11

ההומאוסטאזיס נשמר בשינה כמו בריצה

פרק 11

תוכן העניינים

11.1 הגוף עובד גם כשהוא ישן 215

11.2 מתעוררים ועוברים לפעילות נמרצת 216

11.3 גידולים סרטניים מבטאים סטייה מיציבות הסביבה הפנימית 218

11.4 סיכום 219

לעתים אנחנו ישנים, לעתים יושבים וקוראים ולעתים שוחים. ההבדל המוחשי הבולט בין מצבים אלה הוא מידת המאמץ של השרירים המושקע בהם. אך מבחינת המתרחש בגוף, יש עוד הבדלים חשובים. בפרק זה נבחן מה מאפיין את מצבי הפעילות, ואיך מווסתות מערכות העצבים וההורמונים את יציבות הסביבה הפנימית בכל מצב.

11.1 הגוף עובד גם כשהוא ישן

בערך שליש מחיינו עובר עלינו בשינה. יש אנשים הרואים בכך בזבוז עצום של זמן: האם לא עדיף לנצל את הזמן הזה לבילוי, להתכוננות למבחן, או לפעילות חשובה אחרת? אנשים לא מעטים מתפתים לוותר על שעות שינה ולדחוס פעילות רבה ככל האפשר לזמן ה"פנוי". לעתים, נראה לנו כי שתיית קפה, או נטילת ממריצים אחרים, מאפשרים לדחות את הצורך בשינה, או אף לוותר עליה במשך כמה ימים. אם כך - למה צריך בכלל לישון? האם אי-אפשר לפתח חומרים מתאימים שיבטלו לחלוטין את הצורך בשינה, או לפחות יצמצמו מאוד את זמן השינה? כדי לענות על שאלה זו, עלינו לבדוק תחילה מהי שינה.

שינה מוגדרת כמצב של שינוי בהכרה, או כמצב של חוסר הכרה חלקי, שהאדם יכול להתעורר ממנו בהשפעת גירוי. ריכוז מסוים של תאי עצבים בהיפותלמוס (ראו פרק 7, עמ' 142) **מרכז בקרת השינה** - פועל כ"שעון ביולוגי" המתזמן את מחזורי השינה והעֵרות שלנו, בהתאם למחזוריות של שעות האור והחושך. דחפים עצביים היוצאים ממרכז זה מחוללים את התהליכים המַשְׁרים שינה. תחילת השינה מתבטאת בשינויים בקצב הפעילות החשמלית של המוח הגדול ובירידה הדרגתית בטונוס השרירים. בהמשך חלים שינויים בקצב הפעילות של רוב מערכות הגוף.

כאשר הגוף שקוע בשינה עמוקה, יורדים קצב הדופק, לחץ הדם, טמפרטורת הגוף וקצב הנשימה לערכים הנמוכים ביותר שלהם בתוך הגבולות התקינים. טונוס השרירים מגיע לשיא הרפייתו (אך אינו נעלם!), התנועה של דפנות הקיבה גוברת, ותהליכי העיכול וייצור השתן נמשכים. המעביר העצבי (נוירוטרנסמיטר) **סֶרוֹטוֹנין**, המופרש במוח, מעורב בירידה הכוללת בקצב פעולתן של מערכות ההובלה והנשימה.

אפשר לראות אפוא, כי פעילותן של מערכות מסוימות מצטמצמת כשהאדם ישן, אבל מערכות אחרות דווקא מקיימות פעילות נמרצת בעת השינה.

השאלה, מה חשיבות השינה לגוף, נחקרת כבר שנים, והתשובות לכך עדיין חלקיות. אין מחלוקת לגבי חשיבות השינה. לגבי תינוקות ולילדים בגיל הגדילה, התברר במחקרים רבים, כי הפרשת **הורמון הגדילה** מבלוטת יותרת המוח נעשית בעיקר בשעות השינה.

איור 11.1
השינה חשובה במיוחד לתינוקות ולילדים

חשיבות השינה למבוגרים היא עניין מורכב יותר. ההרפיה של טונוס השרירים חשובה, ככל הנראה, ליכולתם של השרירים לקיים את הטונוס שלהם לאורך זמן. אולם בכך לא מתמצה חשיבות השינה. רוב המידע על השפעות השינה נשאב ממחקרים שבהם מנעו שינה ממתנדבים לפרקי זמן שונים, ובחנו את השפעת המחסור בשינה על ההתנהגות ועל פעולות מוחיות שונות. התברר, כי שינה סדירה חשובה לא רק למנוחת הגוף, אלא גם למנוחה של המוח, אף שאיש עדיין לא יודע להגדיר במדויק מה היא "מנוחה של המוח".

העמקה

חשוב לישון, וחשוב לחלום

שינה אינה מצב אחיד. ככלל, מחלקים את השינה לשני מצבים עיקריים השונים זה מזה מבחינת פעילות המוח ותנועות העיניים. מצב אחד הוא שינה בלי תנועות עיניים. במצב השני השינה מלווה בחלומות ובתנועות עיניים מהירות (מתחת לעפעפיים העצומים) והיא מכונה "שנת חלומות". השאלה לגבי חשיבותה של שנת החלומות היא מהשאלות המסקרנות ביותר. במחקרים שבהם העירו מתנדבים בקביעות בכל פעם ששקעו בשנת חלומות, התברר כי מחסור בשינה כזו גורם למצבי רוח קודרים, ואפילו לדיכאון. מחסור מתמשך בשנת חלומות גורם לקשיים בריכוז, לערפול כללי ולהפרעות בזיכרון, ואף עלול לחולל הפרעות אישיות. בדרך-כלל ההפרעות האלה הן הפיכות, ונעלמות כאשר האדם חוזר לישון שינה רגילה.

חומר ממריץ עשוי להשפיע על מרכז בקרת השינה, הוא יכול לזרז את הדופק, או למנוע ירידה בלחץ הדם, ועל-ידי כך ליצור תחושת ערנות. אך תהליכים חשובים, המתרחשים רק בעת השינה - הגברת פעולות העיכול וההפרשה, הפרשת הורמון גדילה והתהליכים הקשורים למנוחת המוח - לא ימשיכו להתקיים בלעדיה. מניעת שינה מסכנת אפוא את יציבות הסביבה הפנימית.

עוד על...

משקאות "אנרגיה" אינם מוסיפים אנרגיה לגוף

בשנים האחרונות מתרבים בשוק משקאות המוצגים כ"משקאות אנרגיה". החברות המשווקות אותם מציינות שהם מתאימים במיוחד למי שעוסק בספורט, ולכל מי שמרגיש שהוא זקוק לתוספת אנרגיה ורוצה להאריך את שעות פעילותו. כידוע לכם, כדי לספק אנרגיה לתאי הגוף צריך להזין אותם בחומרי מזון המתפרקים בתהליך נשימת התא, והתפרקותם מלווה בשחרור אנרגיה. תוספת האנרגיה המהירה והיעילה ביותר מושגת מאכילת פחמימות, ובעיקר מאכילת סוכר. אם "משקאות האנרגיה" מעוררים תחושה של ערנות-יתר ויכולת להתמיד בפעילות גופנית, הרי זה משום שהם מכילים, לצד סוכר או פחמימה אחרת, חומרים ממריצים כלשהם. חומרים ממריצים פועלים על מערכת העצבים שלנו ומטשטשים את תחושת העייפות, אך הם אינם מוסיפים לגוף אנרגיה יותר מכפי שמוסיף לנו כל מזון המכיל סוכר. תחושת הערנות המוגברת גורמת לנו לחשוב שאפשר להסתפק בפחות שינה, וזו כמובן טעות. המשקה המעורר לא מהווה תחליף לתהליכים המתרחשים בזמן שאנו ישנים: הפרשת הורמון גדילה אצל מי שנמצא בגיל הגדילה, פעילות מוגברת של מערכת העיכול, הרפיית השרירים ומנוחה החיונית למוח.

11.2 מתעוררים ועוברים לפעילות נמרצת

עם עלות השחר, תאי עצב במרכז בקרת השינה מתחילים להפיק דחפים עצביים בתדירות גבוהה; טמפרטורת הגוף מתחילה לעלות, לחץ הדם גובר והגוף הישן מתקרב בהדרגה ליקיצה. בעבר הקדם-טכנולוגי, אנשים אכן היו מתעוררים עם עלות השחר. כיום נקבעות שעות השינה והערות שלנו על-ידי גורמים חברתיים-תרבותיים וטכנולוגיים, יותר מאשר על-ידי שעות החושך והאור. אם אדם הולך לישון בשעה שלוש לפנות בוקר, המוח מזהה את המחסור בשינה ומסוגל לפצות על כך ולאפשר המשך של השינה בשעות האור. אך אנשים שהיפוך היום והלילה הוא עניין של קבע אצלם, כגון עובדי משמרות, אחיות ורופאים בבתי-חולים, בהחלט סובלים מבעיות שונות, הנובעות הן ממחסור בשינה והן משינוי בסדרי השינה.

במהלך היקיצה עולים בהדרגה המדדים החיוניים: קצב הדופק, לחץ הדם, קצב הנשימה וטמפרטורת הגוף, ושבים לערכיהם בזמן עֵרות.

אלה 1

איזו חטיבה של מערכת העצבים האוטונומית מעורבת בהגברת הדופק ובהעלאת טמפרטורת הגוף?

כל עוד האדם עוסק בפעילות מתונה, נותרים המדדים האלה בערכיהם הממוצעים, ברמה שבין מנוחה לפעילות קלה. מצב זה משתנה כאשר משתנה רמת הפעילות של האדם, למשל, כאשר הוא יוצא לאימון ספורט, או מבצע משימה אחרת הכרוכה במאמץ גופני. כידוע לכם, במהלך המאמץ חלים שינויים ניכרים בפעילות של מערכות רבות בגוף. מצד אחד, שינויים אלה מאפשרים לגוף לקיים את המאמץ; מהצד האחו׳, הסביבה הפנימית לא יכולה לסבול שינויים ניכרים לאורך זמן, ונדרשים תהליכי תיקון מהירים.
מה בעצם קורה בגוף בעת מאמץ?
המשימה שלפניכם עוסקת באירועים המורכבים המתרחשים בעת מאמץ גופני. ההפניות לפרקים קודמים יסייעו לכם להשיב לשאלות.

משימה 1

מסכמים את פעילותן של מערכות הגוף בעת מאמץ
כשהאדם יודע שהוא עומד בפני מאמץ גופני, עצם הידיעה גורמת להתחלה של פעילות מוגברת של יותרת הכליה. עוד לפני שהתחיל בפעילות, מפרישים תאי בלוטה זו כמות מוגדלת של ההורמון **אדרנלין**. השפעתו של האדרנלין מהווה מעין "גורם מכין", המקל על הגוף להיכנס למאמץ המוגבר.

א. הידיעה, או ההתכוננות למאמץ מתרחשת במוח. איך תסבירו את התגובה של בלוטה להפרשה פנימית לתהליך המתרחש במוח? (ראו פרק 6)

הפרשה מוגברת של אדרנלין מתבטאת לא רק בהכנה לאימון ספורט. אנשים היודעים כי צפוי להם מאמץ גופני מיוחד, למשל, אדם המתחיל לטפס על הר, או חייל העומד לצאת לקרב, חשים בביטוייה של אותה תופעה. המידע על המאמץ הצפוי מוביל להפרשת יתר של אדרנלין מיותרת הכליה, והאדרנלין גורם לכמה שינויים בפעילות מערכות הגוף, שתתבקשו לתאר אותם בהמשך המשימה.
ומה קורה כשמתחילה הפעילות המאומצת? כשמתחילים לרוץ, למשל, שרירי הרגליים מתכווצים ומתרפים במהירות גדולה בהרבה ממהירות ההתכווצות שלהם בהליכה. המאמץ מתחיל אפוא בתאי השרירים. כל תא שריר מתחיל לצרוך חמצן מהדם בשיעור מוגבר.

ב. איזה מידע הנקלט במוח מעיד על כך שהשרירים נתונים במאמץ? (פרק 3)
ג. אילו מרכזים של מערכת העצבים מגיבים למידע הזה? איך הם מתאימים את פעילות מערכות הגוף למידע על המאמץ? תארו שינויים בארבע מערכות גוף לפחות.
בתשובתכם השתמשו במושגים **תפוקת לב, שיעור האוורור, הרחבה/כיווץ של כלי דם**, ובנתונים המוצגים באיור 4.21 (פרקים 4 ו- 7).

קצב הנשימה המוגבר של תאי השרירים גורם לכך שחום רב נפלט מהתאים לדם.

ד. איך נשמרת טמפרטורת הדם וטמפרטורת האיברים הפנימיים, על אף החום הרב המשתחרר מהתאים? (פרק 4)

כאמור, גם מערכת ההפרשה הפנימית מעורבת בשינויים הכרוכים במאמץ. למעשה, בלי מעורבותה לא נוכל להתמיד במאמץ, אלא למשך דקות מעטות.

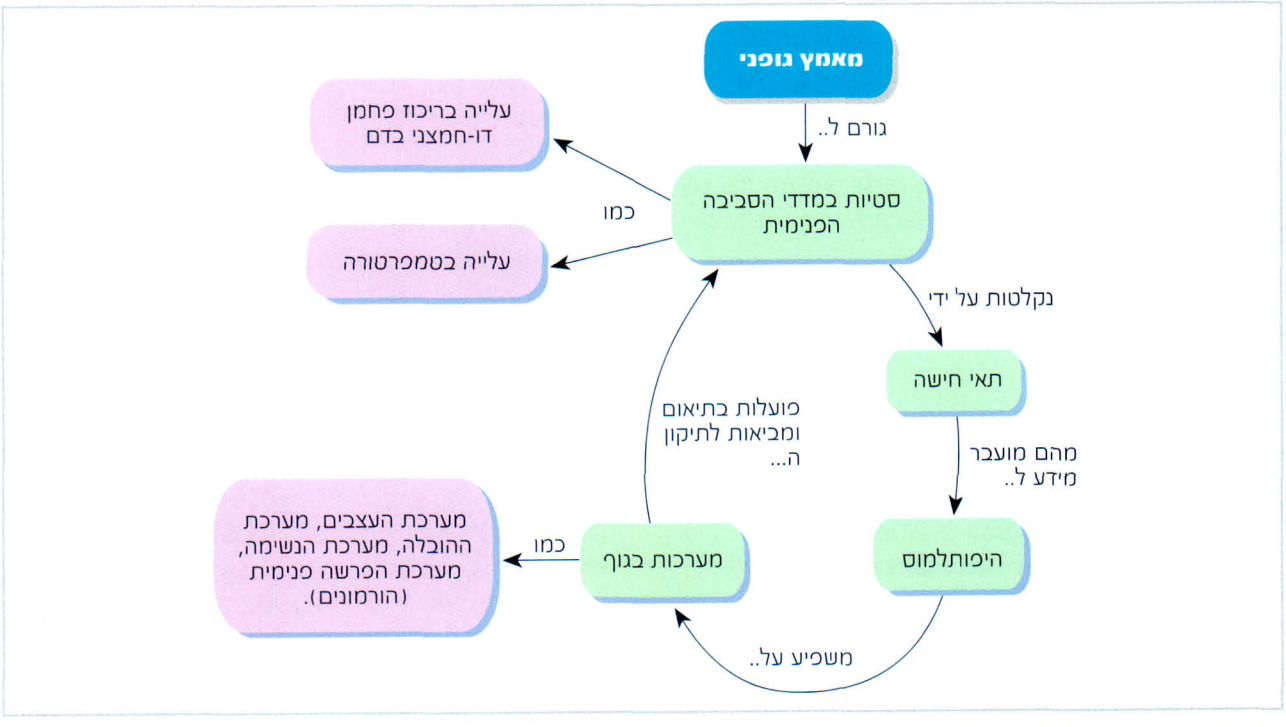
ה. תארו מעורבות של הורמון בשינויים בפעילות של: מערכת ההובלה ומערכת ההפרשה. (פרק 6)

נוסף לאדרנלין, שכבר הכרתם, מעורבים עוד כמה הורמונים בהתאמת התהליכים בגוף למאמץ המתמשך. בתשובתכם לשאלה **ה** ודאי ציינתם הורמון הקשור לשינויים בהפרשת השתן בעת המאמץ. לכך יש להוסיף גם את ההורמון גלוקגון. הגלוקגון מופרש מהלבלב וגורם לפירוק של הרב-סוכר גליקוגן האגור בכבד ובשרירים והפיכתו לגלוקוז.

ו. מה החשיבות של הגדלת ריכוז הגלוקוז בדם בעת מאמץ? (פרק 3)

לסיכום, מאמץ גופני ניכר יכול לערער את יציבות הסביבה הפנימית. תאי השרירים צורכים חמצן וגלוקוז בשיעור מוגבר ומשחררים לדם כמויות גדולות של פחמן דו-חמצני; נוסף לכך, נפלט מהם חום רב הנוצר בתהליך הנשימה התאית. מערכת העצבים המרכזית ומערכת ההפרשה הפנימית מתקנות את הסטיות האלה. ההיפותלמוס הוא האחראי הראשי לקליטת המידע על השינויים ולתיקון מדדי הסביבה הפנימית. הוא מפקח על פעולתם של מרכזי בקרת הנשימה והלב במערכה האוטונומית, המתאימים את הפעולה של מערכות הגוף למצב המאמץ. חומרים המופרשים מההיפותלמוס מגיעים להיפופיזה ומגרים אותה להפריש הורמונים, המווסתים גם הם את פעילות מערכות הגוף. זוהי דוגמה לפעילות משולבת של מערכות העצבים וההורמונים.

איור 11.2 מסכם את מכלול התהליכים הקשורים בשמירה על ההומאוסטאזיס במאמץ.



איור 11.2
שמירה על יציבות הסביבה הפנימית במאמץ

הרחבה

התיאום בין המערכות מאפשר לגוף לשרוד בתנאים קשים

ברור לנו שמערכות הגוף מתואמות ביניהן כל העת, אולם הקשר ההדוק ביניהן מתגלה בצורה מרשימה ביותר במצבים שבהם הסביבה הפנימית נתונה לזעזועים ניכרים. מצבים של ערעור קשה של תהליכים פנימיים נקראים "מצבי דחק" או **מצבי עקה** (stress). מצבי דחק יכולים להיווצר בעקבות מאמץ קשה במיוחד, בשל מחסור חריף ומתמשך בחומרי מזון, או בשל מחלה קשה וארוכה. גם זעזועים רגשיים קשים יכולים להוביל למצבי דחק. במצבי דחק מתחוללות סטיות חריפות בסביבה הפנימית, ורק הבקרה המתמדת באמצעות מערכות העצבים וההורמונים מאפשרות את המשך קיומו של הגוף.

כך, לדוגמה, יכולתו של הגוף לשרוד בתנאים של רעב מתמשך מותנית בפעילות משולבת של הורמונים, המווסתים תהליכי חילוף חומרים בתאים. כאשר נוצר מחסור חריף במזון, מפרישה בלוטת יותרת הכליה כמויות גדולות של ההורמון קורטיזול (ראו פרק 6). הקורטיזול מזרז פירוק של חלבונים לחומצות אמיניות, ופירוק של שומנים לחומרי הבניין שלהם: חומצות שומן וגליצרול. החומצות האמיניות וחומצות השומן מגיעות לתאי הכבד ומשמשות לנשימת התאים. החלבונים והשומנים נלקחים מרקמות הגוף (הגוף כאילו "אוכל את עצמו"), וזה ההסבר לרזון הקיצוני הנגרם ברעב ממושך; אך התאים ברקמות ממשיכים לנשום, וזה כמובן התנאי הראשון לעצם המשך החיים. הקורטיזול גורם אפוא לכך שתאי הגוף יוכלו להמשיך בנשימתם, גם כשיש מחסור חריף בחומרי מזון.

אם מצב המחסור מתמשך או מחמיר, הקורטיזול גורם לתופעה חיונית נוספת: הוא מעכב במידה מסוימת את ניצול הגלוקוז בתאי הגוף, ומגדיל את זמינות הגלוקוז לתאי המוח. עובדה זו מתקשרת למה שכבר ידוע לכם: צריכת האנרגיה של המוח גבוהה באופן יחסי מצריכת האנרגיה של כל אחד מאיברי הגוף האחרים. נוסף לכך, מהלבלב מופרש הגלוקגון, המגדיל את רמת הגלוקוז בדם על-ידי זירוז פירוקו של הגליקוגן, האגור בכבד ובשרירים, לגלוקוז. במקביל להפרשת הגלוקגון, מתעכבת הפרשת ההורמון אינסולין, המזרז כניסת גלוקוז לתאים. שילוב שני התהליכים האלה - הפרשת הגלוקגון ועיכוב הפרשת האינסולין - מגדיל גם הוא את זמינות הגלוקוז למוח, על חשבון שאר תאי הגוף. כך, על-ידי פעולה משולבת של הורמונים, מובטחת יעילות מרבית בניצול מקורות האנרגיה המעטים העומדים לרשות הגוף בעת רעב.

11.3 גידולים סרטניים מבטאים סטיה מיציבות הסביבה הפנימית

התופעה מוכרת לבני-אדם מאז ומתמיד: במקום כלשהו בגופו של אדם בריא מופיע פתאום גוש של תאים ההולך וגדל בצורה לא מרוסנת. יש מקרים בהם הגידול עטוף במעטפת של רקמת חיבור, והוא נותר מופרד מהרקמה הסובבת, גם אם הוא מגיע לממדים גדולים. במקרים אחרים אין הפרדה בין הגידול לסביבתו. תאים של הגידול מתנתקים ממנו, נודדים, פולשים לרקמות אחרות ומתיישבים בהן.

גידול מהסוג הראשון, כזה שאינו פולש לרקמות שכנות, נקרא **גידול שפיר**; וגידול מהסוג השני, הפולש לסביבה ומסוגל גם להתפשט בגוף, נקרא **גידול ממאיר**.

שני סוגי הגידולים מסכנים את הגוף: גידול שפיר דוחק את תאי הרקמה הסמוכים אליו ולוחץ עליהם. תאים בסביבתו עלולים למות, ואם הגידול לוחץ במקרה על עצב, הוא עלול לשתק איבר כלשהו. גידול ממאיר גורם לאותן תופעות, אך סכנתו גדולה בהרבה. תופעה אופיינית לגידולים ממאירים היא התנתקות של תאים מהגידול המקורי. תאים כאלה מגיעים לכלי הדם, נודדים בהם למקומות מרוחקים בגוף, ויוצרים שם גידולים משניים המכונים **גרורות**. השם **סרטן** ניתן למחלות המתבטאות בהופעת גידולים ממאירים.

כפי שהדגשנו בפרק הראשון של הספר, בגוף בריא התאים מאורגנים ברקמות. התרבות התאים בכל רקמה נתונה לבקרה, המונעת שיבוש של מבנה וארגון הרקמות. מחלות סרטן מבטאות חריגה קיצונית מהסדר הקפדני הזה של רקמות הגוף. ייתכן, כי תאים סרטניים הם תאים שאבדה להם היכולת להגיב למסרים מהסביבה: מטעמים לא ידועים, הם אינם מגיבים לנוכחות תאים אחרים סביבם, ומתנהגים כאילו אין שום הגבלה על אפשרות ההתרבות שלהם. אולם אלה הן רק השערות.

צמיחת הגידול מבטאת סטייה חמורה מהיציבות הכוללת של הסביבה הפנימית: ברקמה בריאה יש איזון מדויק בין מספר התאים המתים לבין מספר התאים החדשים הנוספים לרקמה, ומספר התאים הכולל נותר קבוע לאורך זמן. בגידול סרטני האיזון הזה מתערער, וזה הדבר המאפשר למעשה את צמיחתו המתמדת של הגידול.

למרות עשרות שנים של מחקר, לא ידוע עדיין מהי ה"תקלה" הבסיסית הגורמת לתא רגיל להפוך לתא סרטני, המתחלק ומתרבה בלי הגבלה. אילו ידענו מה הם התהליכים המאפשרים לתאים ליצור רקמות מאורגנות, כי אז אולי היינו יודעים להצביע על השיבוש המתרחש בתאים סרטניים; לצערנו, עדיין איננו יודעים די על כך.

לעומת זאת ידועים היטב כמה מהגורמים שיש להם קשר להופעת סרטן. הגורמים המוכרים הם: קרינה רדיואקטיבית, חומרים מסרטנים וגנים מסוימים שנוכחותם בתאים מגדילה את הסיכויים של אדם לחלות בסוגים מסוימים של סרטן.

חשוב להבהיר למה מתכוונים החוקרים כאשר הם אומרים על גורם או על חומר כלשהו שהוא מחולל סרטן. בחלק מהמקרים, הכוונה היא לכך שהחוקרים יכולים להצביע על קשר חד-משמעי, ברור, בין הגורם לבין הופעת סרטן. זה המצב למשל, לגבי קרינה רדיואקטיבית. אנשים רבים שנחשפו לקרינה רדיואקטיבית בעוצמה גבוהה - למשל, בעקבות הטלת פצצות אטום על הערים הירושימה ונגאסקי (ביפאן, בשנת 1945) ותאונות בהן דלפה קרינה מכור גרעיני - חלו בסוגים מסוימים של סרטן. כמו כן, ידוע כי הקרינה העל-סגולה המגיעה מהשמש עלולה לחולל שינויים המובילים לתהליכים סרטניים בתאי העור ולכן חשוב מאוד להישמר מפניה.

יש לציין, כי גם היום עדיין לא ברור איך גורמת הקרינה לסרטן. ידוע, כי קרינה רבת עוצמה גורמת לשברים בכרומוזומים הנמצאים בגרעיני התאים. אם כי אין ביטחון בכך שהשברים בכרומוזומים הם אכן הגורמים הישירים לסרטן. עם זאת, ברור כי קיים קשר מובהק בין קרינה רבת עוצמה לבין הופעת סרטן.

באותו אופן, ידוע בוודאות כי חומרים מסוימים מגדילים מאוד את הסיכויים לחלות בסרטן. החומרים אשר הקשר בינם לבין סרטן אינו מוטל בספק, הם אזבסט ומרכיבים מסוימים בזפת ובפיח. להזכירכם, זפת ופיח נמצאים בכל סיגריה. גם במקרה זה, לא ידוע באיזה תהליך גורמים חומרים אלה לסרטן, וכן, אין וודאות מוחלטת שכל חשיפה להם תגרום לסרטן. אולם מספר המחקרים, שבהם נמצא קשר בין חשיפה רבה וממושכת לחומרים אלה לבין הופעת סרטן, הוא כה גדול, עד כי המעורבות שלהם בגרימת המחלה היא כמעט ודאית.

ולבסוף, זוהו כמה גנים, אשר נוכחותם בתאים מגדילה, ככל הנראה, את הסיכויים לחלות בסרטן.

תפקידם של גנים אלה כגורמי סרטן טרם הובהר; גם אין ודאות שכל אדם הנושא אחד מהגנים האלה, אכן יחלה בסרטן. אולם אם אדם נושא אחד מאותם גנים החשודים כגורמי סרטן, סיכוייו לחלות גבוהים מסיכוייו של אדם שאינו נושא גן כזה.

שנים רבות של מחקר הובילו לשיפור באמצעים **לגילוי מוקדם** של סרטן ולשיפור הדרגתי ומתמיד בדרכי הטיפול בו. כתוצאה מכך, גדל אחוז המחלימים מסרטן והוארכה תוחלת החיים של חולים רבים. עם זאת, הדרך לריפוי מלא של כל הנפגעים מסרטן היא עדיין ארוכה. מכיוון שעוד לא ידוע התהליך הבסיסי ההופך תא בריא לתא סרטני, אין דרך למנוע הפיכה של תאים בריאים לסרטניים. במקום זאת, הרופאים משתמשים באמצעים שונים להרג תאים. מקצת השיטות הנקוטות לטיפול בגידולים ממאירים מסתמכות על כך שתאים סרטניים מתרבים בקצב מהיר מהרגיל, ובהתאם לכך מנסים חוקרי הסרטן לפתח אמצעי הרג שיפגעו בעיקר בתאים מתרבים וכך לצמצם את הפגיעה בשאר הרקמות. עם זאת, כל השיטות המוכרות - ההקרנות והטיפולים הכימיים השונים - הן בעיקרו של דבר שיטות להמתת תאים. זו הסיבה שהטיפול מחליש כל-כך את המטופלים; הוא פוגע גם ברקמות בריאות שבהן יש אחוז גבוה של תאים מתרבים כמו: הדופן הפנימי של המעיים, מוח העצמות ושורשי השערות. ככל ששיטות ההרג נעשות יעילות וממוקדות יותר, מתרבים הסיכויים לשיפור מצבם של החולים.

11.4 סיכום

בפרק הראשון של הספר וגם בזה המסיים את הספר עסקנו רבות ב**הומאוסטאזיס** - היכולת של הגוף לשמור על סביבה פנימית יציבה. היכולת הזו היא אחד ממאפייני החיים. בפרק זה ראינו שהגוף מתמודד מדי יום עם מעברים בין מצבים שונים מאוד זה מזה, כמו שינה ועֵרוּת, מנוחה ופעילות. המעבר בין המצבים הללו מתרחש כמה פעמים ביממה. כל האיברים והמערכות שבגופנו פועלים בתיאום ביניהם, וכתוצאה מתיאום זה נשמרים מדדי הסביבה הפנימית בטווח אופייני לכל מדד, גם בעת המעבר בין מצבים קיצוניים. ראינו דוגמאות לכך גם בפרקים הקודמים.

מעת לעת מגיעה "שעת מבחן". תנאי סביבה קיצוניים יכולים לגרום לסטייה ניכרת במדדי הסביבה הפנימית, ולעתים אין ביכולתם של המנגנונים השונים לתקן סטייה זו. מכת חום, התייבשות ועודף תמידי של סוכר בדם עלולים לחשוף את הגוף לסכנה של ממש. גם מחלות שונות, ובהן מחלות הסרטן, הן עדות להפרה של שיווי משקל פנימי. ברוב המקרים מצליחים מנגנוני המשוב ומנגנוני ההגנה להתגבר גם על סטיות כאלה, ואף סביר להניח שיש סטיות מההומאוסטאזיס המתוקנות עוד לפני שחשנו במשהו חריג. תחושה רעה, עלייה בטמפרטורת הגוף, שינוי בהרכב השתן - כל אלה הם תסמינים של סטייה מההומאוסטאזיס, המוכרים לכם. יש הבדלים, לעתים גדולים, במשכי הזמן הנדרשים לתיקון סטיות שונות, אך במרבית המקרים, בסופו של דבר, הגוף מחלים. הרי רוב רובנו בריאים רוב הזמן, ומחלה היא אירוע חריג.

כיום יש ביכולתן של טכנולוגיות רפואיות חדשניות לסייע לגוף להתגבר על סטיות קיצוניות מההומאוסטאזיס ולסייע לגוף לחזור למצב תקין. הזרקת אינסולין לחולי סוכרת והטיפול בחולי כליות באמצעות מכשיר דיאליזה, הן שתי דוגמאות לכך.

הידע הרחב העומד לרשותנו בכל הנוגע לתפקוד היום-יומי של הגוף יכול להיות בידינו כלי לשמירה על איכות החיים ועל בריאותנו לאורך שנים. תזונה מתאימה, פעילות גופנית מאוזנת והימנעות מחשיפה מיותרת לתנאים קיצוניים ולגורמי מחלות, הם דפוסי התנהגות שכל אחד מאתנו יכול לאמץ לעצמו, ובכך לעזור לגוף לשמור על מצבו היציב והתקין.

סוף דבר: גוף האדם - שלמות מורכבת

בפרקי הספר הצגנו את גוף האדם כמורכב ממערכות רבות שיש ביניהן שיתוף פעולה מלא, המאפשר להן לתפקד כישות אחת. כדי להבין זאת תארנו בנפרד את המבנה של כל מערכת ואת תפקודה הייחודי. כמו כן הדגשנו את קשרי הגומלין בין כל מערכת לבין המערכות האחרות.

לסיכום נתייחס אל הגוף כולו כשלמות אחת, כאל מערכת מורכבת שמאפיינים אותה גבול בין הסביבה הפנימית לבין הסביבה החיצונית ותהליכים המתרחשים בתוך המערכת ובגבולותיה. בה בעת גוף האדם הוא חלק מסביבה רחבה ואין לו קיום בלעדיה.

מחוץ לגבולות המערכת – בסביבה:

כל אדם ומשפחתו הם חלק מרצף המשכי של דורות, הם חלק מחברה וכל בני האדם ביחד מהווים חלק מהביוספירה שכוללת את כל היצורים החיים ואת סביבתם הפיסית על פני כדור הארץ.

בגבולות המערכת – בין האדם לבין סביבתו:

- הפרדה בין סביבה פנימית לבין סביבה חיצונית באמצעות העור והתאים המרפדים את חלל איברי העיכול וחלל איברי הנשימה
- הגנה לא ייחודית על הסביבה הפנימית
- קליטה של חומרים מהסביבה: חמצן ומזון
- קליטה של מידע מהסביבה באמצעות איברי חוש
- פליטה של חומרים ואנרגיה לסביבה: פחמן דו-חמצני, חום ופסולת

בתוך המערכת – בתוך גוף האדם:

- שמירה על סביבה פנימית יציבה שונה מהסביבה החיצונית – הומאוסטאזיס
- תיאום, ויסות ובקרה באמצעות עצבים והורמונים
- קשרי גומלין ותלות הדדית בין כל המערכות ובעיקר בין מערכת ההובלה לבין המערכות האלה: עיכול, הפרשה, נשימה, הפרשה פנימית, הגנה, תנועה (שלד ושרירים)
- הפקת אנרגיה, בניית חומרים, פירוק חומרים, העברת מידע, תגובה למידע

מילון מונחים

מילון המונחים נועד לסייע לקורא וללומד לאתר במהירות את משמעותם של מונחים ומושגים חשובים שבהם עוסק הספר.
הכיתוב באנגלית נוסף לרוב המונחים כדי שהמעוניינים יוכלו לאתר מידע נוסף באמצעות מאגרי מידע ברשת האינטרנט.
כדי להקל על ההתמצאות במילון המונחים ננקטו האמצעים הבאים:

- המונחים ה**מודגשים** בהגדרה - מוגדרים גם הם במילון זה.
- הפניה להגדרה של מונח נוסף הקשור למונח מסוים צוינה: "ראו גם:"
- הפניה למיקום המדויק של הגדרה צוינה: "ראו: " (כדוגמה: **חילוף גזים** ראו: **מערכת חילופי גזים**)

א

אבולוציה (Evolution)
תהליך ההשתנות של מינים. שינויים תורשתיים המצטברים במהלך הדורות, ומביאים להתפתחותם של מינים חדשים ממינים שקדמו להם.

אבי העורקים (Aorta)
העורק הראשי במערכת ההובלה של החולייתנים. ביונקים ובעופות הוא יוצא מהחדר השמאלי של הלב ונושא דם עשיר בחמצן אל כל איברי הגוף, מלבד לריאות.

אדרנלין (Adrenaline)
הורמון המיוצר ומופרש בעיקר מבלוטת יותרת הכליה. פעיל במצבי לחץ, גורם לעלייה בלחץ הדם, בקצב הלב, בריכוז הגלוקוז בדם ועוד.

אות (חשמלי/כימי) (Chemical/Electric signal)
דרך להעברת מידע בין תאים. האות יכול להיות כימי, כמו בתקשורת באמצעות **הורמונים** או בתקשורת בין **תאי עצב** באמצעות **נוירוטרנסמיטר** העובר ב**סינפסה**. האות יכול להיות חשמלי כמו בתאי עצב.

אטמוספרה (Atmosphere)
מעטפת הגזים סביב כדור הארץ שעובייה מאות אחדות של ק"מ.

איברי חוש (Sensory organs)
איברים שיש בהם **תאי חישה** - תאים הקולטים באופן ייחודי גירוי מהסביבה.

אינסולין (Insulin)
הורמון המיוצר ומופרש מאיי לנגרהנס בלבלב ומעורב בכניסת הגלוקוז לתאים ובוויסות ריכוז הגלוקוז בדם.

אנזים (Enzyme)
זרז ביולוגי שהינו **חלבון**, המיוצר בתא ומזרז תהליך ביולוגי ייחודי. הזרז אינו מתכלה במהלך התהליך.

אנטיביוטיקה (Antibiotics)
חומרים הנוצרים במיקרואורגניזמים ופועלים נגד **חיידקים**. כיום הורחבה ההגדרה והיא כוללת את כל החומרים הנוצרים ביצור אחד ופוגעים ביצור אחר.

אנטיגן (Antigen)
חומר או תא זרים לגוף (לא-עצמיים) הגורמים להפעלת **המערכת החיסונית** נגדם, כלומר הפעלה של תגובת חיסון ייחודית.

אנרגיה (Energy)
למושג זה אין הגדרה מוסכמת. אנרגיה משתחררת או מושקעת במהלך שינויים. אנרגיה יכולה להופיע בצורות רבות, כגון: אנרגיית חום, אנרגיה כימית ואנרגיית אור. בתנאים מסוימים, צורה אחת של אנרגיה יכולה להפוך לצורה אחרת.

אפידרמיס (Epidermis)
השכבה החיצונית בעור, בנויה ממספר שכבות של תאי **אפיתל**.

אפיתל, רקמה (Epithelial tissue)
רקמה המתאפיינת בתאים צמודים הנמצאים בתאחיזה חזקה זה לזה. יוצרת יריעות המכסות שטחים חשופים ל**סביבה החיצונית** או מרפדת צינורות וחללים.

אקסון (Axon)
שלוחה של תא עצב המוליכה **דחף עצבי** מגוף התא לתא אחר. ראו גם: **תא עצב**.

אשכים (Testes) ראו: **מערכת הרבייה**

ב

ביוץ (Ovulation)
שחרור של ביצית בשלה מה**שחלה**.

בלוטה להפרשה פנימית - אנדוקרינית (Endocrine gland)
בלוטה ללא צינור מוצא, מייצרת **הורמונים** ומפרישה אותם ישירות לדם. בלוטות להפרשה פנימית (למשל: בלוטת המגן) נמצאות בחלקי גוף שונים וכולן יחד מהוות את **מערכת ההפרשה הפנימית**.

בלוטה להפרשה חיצונית - אקסוקרינית (Exocrine gland)
בלוטה בעלת צינור מוצא, מייצרת חומרים ייחודיים ומפרישה אותם אל הסביבה החיצונית. למשל: בלוטות רוק, בלוטות זיעה.

בלען, תא (פאגוציט) (Phagocyte)
תא שבולע חומרים ותאים זרים ומעכל אותם. ראו גם: **מאקרופאג**.

ג

גידול (שפיר, ממאיר) (Tumor, benign, malignant)
אזור ברקמה שמספר התאים בו גדל ללא בקרה. גידול שפיר תחום ומוגדר ואילו גידול ממאיר פולש לרקמות נורמליות סביבו ושולח גרורות לאיברים אחרים.

גירוי (Stimulus)

כל שינוי ב**סביבה** (**הפנימית** או **החיצונית**) של יצור, הנקלט על ידי תאים.

גליקוגן (Glycogen)
רב-סוכר שאבני הבניין שלו הן מולקולות גלוקוז (חד-סוכר). משמש כ**חומר תשמורת** בתאים של בעלי חיים. באדם - נאגר בעיקר ב**כבד** וב**שרירים**.

גן (Gene)
קטע מהחומר התורשתי, הקשור לביטוי תכונה מסוימת.

ד

דופק (Pulse)
התרחבות והתכווצות ריתמית (קצבית) של **עורקים** הנובעת מהתכווצות ה**לב**. ניתן לחוש בדופק כאשר נוגעים באזורים מסוימים בעור.

דחף (חשמלי/עצבי) (Impulse)
אות חשמלי העובר לאורך **תאי עצב** כגל של שינויים בחדירות **קרום התא**. נקרא גם פוטנציאל פעולה.

דיאליזה (Dialysis)**, מכשיר**
מכשיר לניקוי הדם מחומרים מיותרים ומזיקים. נקרא גם "כליה מלאכותית", משמש לטיפול באנשים שתפקוד כליותיהם נפגע.

דיפוזיה (Diffusion)
תנועה עצמית, מתמדת ואקראית של חלקיקי החומר, הגורמת לפיזורם האחיד של החלקיקים במרחב.

דלקת (Inflammation)
תגובה של רקמה שנפגעה, כגון מפציעה או זיהום. מאפייניה: כאב, חום, אדמומיות ונפיחות. תגובת הדלקת היא לא-ייחודית ומשתתפים בה תאים **בלענים**. ראו גם: **הגנה לא-ייחודית**.

דנדריטים (Dendrites)
שלוחות מסועפות היוצאות מגוף **תא העצב**. הן קולטות מידע על ה**גירוי** ומוליכות אותו אל גוף התא.

ה

הגנה ייחודית (Specific defense)
הגנה מפני חומרים ותאים זרים באמצעות **נוגדנים** ותאים המזהים את ה"לא עצמי" (הזר) ומנטרלים אותו.

הגנה לא-ייחודית (Non specific defense)
הגנה מפני חומרים ותאים זרים הפועלת בעיקר באמצעות **בלענות**.

הומאוסטאזיס (Homeostasis)
יכולתו של כל יצור חי לשמור על **סביבה פנימית** יציבה, השונה מתנאי ה**סביבה החיצונית**, באמצעות מנגנונים שונים כמו מנגנוני **משוב**.

הורמון (Hormone)
חומר המעביר מידע בין תאים בגוף. הוא משפיע על תהליכים בתאים שיש להם **קולטנים** להורמון. הורמון מיוצר ומופרש מתאי **בלוטה** אל מחזור הדם, וכך הוא מגיע ל**תאי המטרה**.

היפופיזה ראו: **יותרת המוח**

היפותלמוס (Hypothalamus)
אזור במוח הממוקם מעל ל**יותרת המוח** (ההיפופיזה), מווסת את מאזן המים, תהליכי רבייה, טמפרטורת הגוף ו**חילוף החומרים**.

המוגלובין (Hemoglobin)
חלבון ב**תאי הדם האדומים** שקושר חמצן בריאות ומעבירו אל תאי הגוף. הוא שנותן את הצבע האדום לתאי הדם האדומים.

הפקת אנרגיה ראו: **נשימה תאית**

הפריה (Fertilization)
התלכדות שני תאי רבייה (בדרך כלל תא זרע ותא ביצית) ליצירת תא אחד - **זיגוטה** דיפלואידית.

הפריה חוץ-גופית (in vitro Fertilization)
הפריה של תא ביצית בתא זרע שנעשית מחוץ לגוף. הזיגוטה עוברת מספר חלוקות ולאחר מכן מועברת לרחם ומשלימה שם את התפתחותה.

התמיינות (של תאים) (Differentiation)
תהליך שבו תאים רוכשים צורה, מבנה ופעילות ייחודיים. לדוגמה: התפתחות תאי כבד, תאי שריר, תאי עצב.

ו

ויטמינים (Vitamins)
חומרים שונים (לרוב אורגניים) הדרושים בכמויות זעירות לתפקוד תקין של הגוף ומתקבלים מהמזון.

וריד (Vein)
כלי דם (צינור) שבו זורם דם בכיוון אל ה**לב**. בווריד הגוף זורם דם עני בחמצן ואילו בוריד הריאה, המזרים דם מהריאות אל הלב, זורם דם עשיר בחמצן.

ז

זיגוטה (Zygote)
התא הדיפלואידי המתקבל מהתמזגות תא זרע עם תא ביצית. הזיגוטה היא התא הראשון של העובר.

ח

חוליות (Vertebrae)
עצמות הבונות את **עמוד השדרה** ומגינות על **מוח השדרה** העובר לאורכן.

חולייתנים (Vertebrates)
קבוצה של בעלי חיים שלכולם עמוד שדרה הבנוי מ**חוליות**. אליהם שייכים הדגים, הדו-חיים, הזוחלים, העופות והיונקים.

חומצה אמינית (Amino acid)
תרכובת אורגנית שבה אטום פחמן קשור אל קבוצה בסיסית ($-NH_2$) וקבוצה חומצית (-COOH). חומצות אמיניות הן אבני הבניין של **חלבונים**.

חומר אורגני, תרכובת פחמן (Organic compound)
תרכובת הבנויה מאטומי פחמן ומימן ולעתים קרובות גם מחמצן. חומר אורגני נוצר בטבע על ידי יצורים חיים. חומרים אורגניים משמשים להפקת **אנרגיה** ולבניית תאים ורקמות ביצורים חיים. לדוגמה: סוכרים, **חלבונים**, שומנים, חומצות גרעין.

חומרי תשמורת (Storage material)
תרכובות הנאגרות ביצורים חיים ומשמשות בעת הצורך כמקור לחומרים ול**אנרגיה**. שומן ו**גליקוגן** הם חומרי תשמורת עיקריים באדם.

חטיבה סימפתטית (Sympathetic division)
חלק מ**מערכת העצבים האוטונומית**, מווסתת את השינויים המתרחשים בגוף במצבים של פעילות גופנית נמרצת, התרגשות או לחץ ומצוקה.

חטיבה פרסימפתטית (Parasympathetic division)
חלק מ**מערכת העצבים האוטונומית**, מווסתת את פעולתם הרגילה של איברים פנימיים במצבי שגרה.

חיידקים (Bacteria)
קבוצת יצורים חד-תאיים קטנים שאין בהם אברונים מוקפים בקרום, והחומר התורשתי גם הוא אינו מוקף בקרום. החיידקים רבגוניים בצורתם ובאורח חייהם. מקצתם גורמים למחלות בבני אדם.

חילוף גזים ראו: **מערכת חילופי גזים**

חילוף חומרים (Metabolism)
כלל התהליכים הכימיים המתרחשים בתאים. תהליכים אלה כוללים פירוק תרכובות אורגניות מורכבות לתרכובות פשוטות ויצירת תרכובות אורגניות מורכבות מתרכובות פשוטות. תהליכי חילוף החומרים מלווים בשחרור **אנרגיה** או בצריכתה.

חיסון (Immunity)
יצירת הגנה בגוף מפני **אנטיגנים**, בעיקר גורמי מחלות.

- **חיסון סביל** (Passive immunization)
  יצירת חיסון באמצעות הזרקת **נוגדנים** מוכנים שנוצרו בפרט אחר.
- **חיסון פעיל** (Active immunization)
  תגובה חיסונית המתפתחת בגוף עצמו בעקבות חשיפה טבעית ל**אנטיגן** או בעקבות חשיפה מלאכותית לתרכיב חיסון.

חלבון (Protein)
חומר אורגני שאבני הבניין שלו הן **חומצות אמיניות**. למשל: אנזימים, נוגדנים וקולטנים בקרום התא הם חלבונים.

ט

טסיות דם ראו: **לוחיות דם**

י

יותרת הכליה (Adrenal)
בלוטה להפרשה פנימית צמודה לכליה. ממנה מופרשים **אדרנלין** והורמונים נוספים.

יותרת המוח (היפופיזה) (Hypophysis)
בלוטת הפרשה פנימית צמודה ל**היפותלמוס**, נמצאת בבסיס המוח. להיפופיזה שני חלקים:

- **היפופיזה אחורית** שממנה מופרשים **ההורמונים** אוקסיטוצין ו-ADH.
- **היפופיזה קדמית** שממנה מופרשים **הורמונים** המווסתים פעילות של **בלוטות הפרשה פנימיות** אחרות, כמו יותרת הכליה, בלוטת המגן, האשכים והשחלות.

יצור רב-תאי (Multicellular organism)
יצור שגופו בנוי מתאים רבים. בין התאים קיימים חלוקת עבודה ושיתוף פעולה.

כ

כבד (Liver)
איבר מרכזי שבו מתרחשים תהליכים רבים, בעיקר: יצירת **חלבונים**, בניית **גליקוגן** אגירתו ופירוקו, ייצור מיצי מרה ואגירת **ויטמינים**. בכבד גם מפורקים חומרים רעילים ותרופות.

כולסטרול (Cholesterol)
חומר שומני המהווה מרכיב חשוב ב**קרומי התאים** של בעלי חיים. עודף כולסטרול בדם יכול לגרום להיצרות של כלי הדם.

כליה (kidney) ראו: **מערכת ההפרשה**

כרומוזום (Chromosome)
גופיף בתא המורכב מ-DNA ו**חלבונים**. צורתו חוטית. לכל מין יש מספר כרומוזומים אופייני.

כרומוזומי מין (Sex chromosomes)
זוג כרומוזומים הקובעים את המין (הזוויג). בנקבת האדם שני כרומוזומי המין זהים והם נקראים X. לזכר יש כרומוזום אחד X וכרומוזום אחד הנקרא Y.

כשל חיסוני (תורשתי,נרכש)
(Immune deficiency, inherited, acquired)
תפקוד לקוי של **מערכת החיסון**. כשל חיסוני יכול להיגרם עקב פגם תורשתי או עקב מחלה כמו איידס (תסמונת הכשל החיסוני הנרכש).

ל

לב (Heart)
איבר שרירי הפועל כמשאבה ומזרים דם לכל חלקי הגוף.

לבלב (Pancreas)
בלוטה שפועלת הן כ**בלוטת הפרשה חיצונית** ומפרישה מיצי עיכול לתריסריון והן כ**בלוטה להפרשה פנימית** המפרישה **הורמונים** - **אינסולין** וגלוקגון - לדם. ממוקמת מאחורי הקיבה.

לוחיות דם (טסיות דם) (Platelets)
חלקיקי תאים בדם (חסרי גרעין ועטופים בקרום) המשתתפים ב**קרישת הדם**.

לחץ דם (Blood pressure)
כוח שמופעל על ידי נוזל הדם כנגד דופן כלי הדם, הנובע מהתכווצות שריר ה**לב**. ההפרשים בלחץ הדם באזורים שונים של **מערכת ההובלה** הם המניעים את זרימת הדם בכלי הדם.

לימפה, נוזל (Lymphatic fluid)
נוזל המצוי ב**מערכת הלימפה** ומתנקז אליה מאיברי הגוף.

לימפוציטים (Lymphocytes)
תאי דם לבנים, פעילים ב**מערכת ההגנה הייחודית**. קיימים שני סוגים עיקריים של לימפוציטים: לימפוציטים מסוג B ולימפוציטים מסוג T.

מ

מאקרופאג (Macrophage)
תא **בלען** (פאגוציט) הנמצא בכל הרקמות ובולע **חיידקים** ותאים אחרים.

מוח הגולגולת (Brain)
חלק של **מערכת העצבים המרכזית** הנמצא בראש ומהווה מרכז עיבוד ובקרה עיקרי של מערכת העצבים.

מוח השדרה (Spinal cord)
חלק של **מערכת העצבים המרכזית** המהווה המשך ישיר של **מוח הגולגולת**. הוא ממוקם בתעלה הנוצרת מחיבור החללים ש**חוליות עמוד השדרה**.

מחזור הדם (Circulatory system)
מערכת הכוללת את ה**לב** ואת כלי הדם השונים שבהם זורם הדם במחזוריות; יוצא מהלב וחוזר אליו.
- **מחזור הגוף** (מחזור הדם הגדול) בו הדם זורם מהלב אל כל איברי הגוף וחוזר מהם אל הלב.
- **מחזור הריאות** (מחזור הדם הקטן) בו הדם זורם מהלב אל הריאות, קולט שם חמצן ופולט CO_2 וחוזר אל הלב.

ראו גם **מערכת ההובלה**.

מחזור חודשי (Menstrual cycle)
תהליך הבשלת הביצית ב**שחלה**, חריגתה ממנה והשינויים החלים במקביל ברחם לקראת קליטת העובר. אם לא חלה הפריה, מתרחש דימום מהרחם, נקרא הווסת.

מחלה (Disease)
הפרעה במצב היציב של יצור חי, או סטייה מהפעילות התקינה שלו, כלומר פגיעה ב**הומאוסטאזיס**. מחלות נגרמות עקב שיבושים בחומר התורשתי ובמנגנוני פעולתו, רעלים, **חיידקים**, **נגיפים**, חוסר בהורמונים ועוד.

מסתם (שסתום) (Valve)
קיפול של דופן כלי דם המאפשר זרימה בכיוון אחד בלבד. נמצא ב**לב** במעברים מהעליות לחדרים ומהחדרים ל**עורקים**. ב**ווריד**ים ובצינורות ה**לימפה** קיימים מסתמים המונעים זרימת נוזל בכיוון הפוך.

מעביר עצבי ראו: **נוירוטרנסמיטר**

מערכת אנדוקרינית ראו: **מערכת ההפרשה הפנימית**

מערכת ההובלה (הדם והלימפה) (Circulatory system)
מערכת המשמשת להובלת חומרים ותאים בין חלקי הגוף השונים, ולתיווך ביניהם. משתתפת בשמירה על יציבות ה**סביבה הפנימית** ובהגנה. כוללת את ה**לב**, את כלי הדם ואת צינורות ה**לימפה**.
ראו גם: **מחזור הדם**.

מערכת ההפרשה (Urinary system)
מערכת שבאמצעותה מסולקים מהדם חומרים רעילים כמו **שתן**. מווסתת את כמות המים והמלחים בדם. כוללת את הכליות, צינורות מובילי שתן, שלפוחית שתן ושופכה.

מערכת ההפרשה הפנימית, מערכת אנדוקרינית (Endocrine system)
מערכת הכוללת את כל **בלוטות ההפרשה הפנימית** בגוף, המייצרות והמפרישות **הורמונים** לזרם הדם.

מערכת החיסון (Immune system)
מערכת שמרכיביה מזהים חומרים זרים (חיים ולא-חיים) ומונעים את חדירתם או את התפשטותם בגוף. מרכיבי מערכת החיסון מסוגלים להבחין בין עצמי לבין לא-עצמי (זר) וכן לזכור לאורך זמן את המפגש עם גורם לא-עצמי. מערכת החיסון כוללת את **תאי הדם הלבנים** הנעים ב**מחזור הדם**, ב**מערכת הלימפה** וברקמות.

מערכת הלימפה (Lymphatic system)
מערכת הובלה של נוזלים ושל תאים. פעולותיה העיקריות הן הגנה וניקוז נוזלים חוץ-תאיים מהרקמות.

מערכת העיכול (Digestive system)
מערכת שבה מתפרקים חומרי המזון בעזרת **אנזימים** שונים לחומרים פשוטים יותר שיכולים לחדור לתאים ולשמש בהם לבנייה ולהפקת **אנרגיה**. המערכת בנויה כצינור שמתחיל בפה ומסתיים בפי הטבעת. בצינור מבחינים בוושט, קיבה ומעיים המורכבים מהמעי הדק (כולל תריסריון), המעי הגס והמעי הישר.

מערכת העצבים (Nervous system)
מערכת תקשורת המורכבת מרשת מאורגנת של **תאי עצב** המעבירים מידע באמצעות **אותות** חשמליים וכימיים (**נוירוטרנסמיטרים**). מערכת העצבים מפעילה את השרירים ואת הבלוטות.

- **מערכת העצבים האוטונומית** (Autonomic nervous system)
חלק של **מערכת העצבים ההיקפית**, המפעיל באופן לא רצוני בלוטות הפרשה פנימית ובלוטות הפרשה חיצונית, שרירים חלקים, בעיקר באיברים פנימיים, ושרירי הלב. נחלקת ל**חטיבה סימפתטית וחטיבה פרסימפתטית**.
- **מערכת העצבים ההיקפית** (Peripheral nervous system)
חלק של מערכת העצבים המעביר מידע מ**תאי חישה** אל מערכת העצבים המרכזית וממנה אל **תאי המטרה**. כוללת את המערכת הסומטית ו**המערכת האוטונומית**.

- **מערכת העצבים המרכזית** (Central nervous system)
חלק של מערכת העצבים הכולל את **מוח הגולגולת** ו**מוח השדרה**, מורכבת בעיקר מתאי עצב מקשרים.

מערכת הרבייה (Reproductive system)
מערכת בה מיוצרים תאי רבייה והורמוני רבייה באשכים או בשחלות. המערכת כוללת גם איברים להפגשת תאי הרבייה ולהתפתחות העובר.

מערכת חילופי הגזים, מערכת הנשימה (Gas exchange system)
מערכת שבאמצעותה מוכנס לגוף אוויר מהסביבה ומוצא מהגוף אוויר המכיל פחות חמצן ויותר פחמן דו-חמצני ביחס לאוויר הסביבה. כוללת את הקנה, הסימפונות והריאות.

מפרק (Joint)
מקום בשלד שבו מחוברות עצמות זו לזו והוא מאפשר תנועה. למשל: מפרק הירך, מפרק הברך.

מרכז הנשימה (Respiratory center)
מרכז ב**מוח הגולגולת** המקבל מידע על ריכוז הפחמן הדו-חמצני בדם ומגיב באמצעות השפעה על שרירי הנשימה. מווסת את רמת האוורור בריאות.

משוב, מנגנון (Feedback)
מנגנון שבאמצעותו מווסתות תוצאות של תהליך את השלבים הקודמים של התהליך עצמו.
- **משוב חיובי:** עלייה בתוצאת התהליך מגבירה את התהליך עצמו.
- **משוב שלילי:** עלייה בתוצאת התהליך גורמת לעיכוב התהליך.

מנגנוני משוב שלילי חשובים מאוד בשמירת ה**הומאוסטאזיס**.

נ

נגיף (Virus)
חלקיק שיכול לגרום למחלות. בנוי מחומצת גרעין וחלבון ויכול להתרבות רק בתא חי.

נוגדן (Antibody)
חלבון הנוצר על ידי **לימפוציטים** מסוג B בתגובה לחשיפה ל**אנטיגן**. כאשר נוגדן מזהה אנטיגן הוא נקשר אליו ומנטרל אותו.

נוירוטרנסמיטר (מעביר עצבי) (Neurotransmitter)
חומר המיוצר ומשתחרר מ**תאי עצב** אל המרווח הסינפטי. הנוירוטרנסמיטר נקשר ל**קולטנים** בתאי המטרה ובאמצעותו מועבר המידע. ראו גם: **סינפסה**.

נוירון ראו: **תא עצב**

נימים (נימי דם) (Capillaries)
כלי הדם הקטנים ביותר, קוטרם בערך כקוטר **תא דם אדום**. דפנותיהם עשויות משכבה אחת של תאים, ודרכם עוברים חומרים (גזים, הורמונים, חומרי הזנה וחומרי פסולת) בין הדם לבין הסביבה החוץ-תאית. ראו גם: **סביבה פנימית**.

נפרון (Nephron)
יחידת המבנה והתפקוד של הכליה. בנויה מפקעית (גלומרולוס) ואבובית. ראו גם: **מערכת ההפרשה**.

נשימה ראו: **מערכת הנשימה**

נשימה תאית (Respiration)
סדרת תהליכים כימיים המתרחשים בתאים ובמהלכם חל פירוק תוך חמצון של תרכובות אורגניות פשוטות. בתהליך מופקת **אנרגיה** המשמשת לביצוע תהליכים בתא.

ס

סביבה חיצונית
הסביבה שהיצורים חיים בה. חלל צינור העיכול וחלל צינורות מערכת הנשימה מהווים המשך של הסביבה החיצונית. ראו גם: **סביבה פנימית**.

סביבה פנימית
בגוף האדם: הסביבה של תוך התא ושל החומר החוץ-תאי, כולל נוזל הדם ונוזל **הלימפה**. הסביבה הפנימית שונה מהסביבה החיצונית ומאפייניה נשמרים יציבים. ראו גם: **סביבה חיצונית**.

סוגי דם (קבוצות דם) (Blood groups)
בני אדם נבדלים זה מזה בסוג האנטיגנים הקיימים על תאי הדם האדומים שלהם. לפי סוג ה**אנטיגן** מסווגים את הדם לסוגים אלה: AB, B, A, ו-O.

סוכרת (Diabetes)
מחלה שמתבטאת בעיקר בעלייה בריכוז הגלוקוז בדם. נגרמת משיבוש במנגנון הוויסות של רמת הסוכר בדם עקב חוסר ב**אינסולין** (בסוכרת נעורים) או ירידה בתגובת **תאי המטרה** לאינסולין.

סחוס (Cartilage)
סוג של רקמת חיבור, נמצאת בקצות העצמות, באזור ה**מפרקים**, באף, באפרכסת האוזן.

סימני מין משניים (Secondary sexual characters)
מאפיינים מבניים (כמו: מבנה השרירים והעצמות, שעירות), המתפתחים בהשפעת הורמוני מין בגיל ההתבגרות, אינם בהכרח מעורבים בתהליך הרבייה.

סימפונות (Bronchi)
הסעיפים הראשיים של קנה הנשימה הנכנסים לריאות ומתפצלים בהן לצינורות קטנים יותר. ראו גם: **מערכת חילופי הגזים**.

סינפסה (Synapse)
אזור שכולל קצוות של שני תאי עצב או של **תא עצב** ותא שריר או בלוטה, והמרווח שביניהם, הנקרא מרווח סינפטי. בסינפסה מועבר מידע מתא אחד לתא אחר באמצעות **נוירוטרנסמיטר**.

סרטן (מחלה) (Cancer)
קבוצה של מחלות המאופיינות ב**גידולים** לא מבוקרים שמסוגלים להתפשט בגוף.

סרעפת (Diaphragm)
שריר המפריד בין חלל החזה לבין חלל הבטן. כאשר הוא מתכווץ, גדל נפח חלל בית החזה ואוויר נכנס לריאות.

ע

עורק (Artery)
כלי דם שמוביל דם מהלב אל הגוף.

עורקים כליליים (Coronary arteries)
עורקים המספקים דם ל**שריר הלב**.

עמוד השדרה (Spine) ראו: **חוליות**

עצב (Nerve)
צרור של **אקסונים**. העצבים מקשרים בין תאים בגוף לבין **מערכת העצבים המרכזית**.

פ

פאגוציט ראו : **בלען, תא**

פיברין (Fibrin)
חלבון סיבי בלתי מסיס היוצר את הקריש בתהליך **קרישת הדם**. פיברין נוצר מחומר מוצא מסיס - פיברינוגן - הנמצא בנוזל הדם.

פלזמה (דם) (Plasma)
המרכיב בנוזל הדם שאינו כולל תאים.

צ

צינור מוביל ביצים/חצוצרה (Oviduct, fallopian tube)
צינור שדרכו הביצית מועברת מהשחלה אל הרחם.

ק

קולטן (Receptor)
מולקולה ב**קרום התא** שהמבנה המרחבי שלה מותאם באופן ייחודי למבנה מרחבי של מולקולה אחרת - למשל: **הורמון** או **אנטיגן** - ומאפשר את ההתקשרות ביניהם.

קוצב לב (Pace maker, heart)
קבוצת תאים ייחודית בדופן של העלייה הימנית, הקובעים את קצב הפעילות של ה**לב** כולו. כאשר הקוצב הטבעי נפגע ניתן למלא את מקומו באמצעות קוצב לב מלאכותי.

קיבה ראו: **מערכת העיכול**

קלוריה (Calorie)
יחידת מידה של **אנרגיה**. קלוריה = כמות החום הדרושה בכדי להעלות את הטמפרטורה של 1 גרם מים ב-1 מעלה צלסיוס (מ-15 מעלות ל-16 מעלות). בתחום התזונה נוהגים להשתמש במונח קלוריה לציון קילו-קלוריה, או "קלוריה גדולה" (=1000 קלוריות).

קליטה חוזרת (Re-absorption)
תהליך שבו מים ומומסים נקלטים מאבובית ה**נפרון** בחזרה אל הדם. ראו גם: **מערכת ההפרשה**.

קנה ראו: **מערכת חילופי הגזים**

קרום התא (Cell membrane)
קרום המקיף את תוכן התא, מבדיל בין התא לבין סביבתו, מווסת מעבר של חומרים שונים אל התא וממנו ומקבל **אותות** מהסביבה.

קרישת דם (Blood clotting)
תהליך של יצירת קריש המתרחש כאשר כלי דם נפגע, משתתפות בו **לוחיות הדם**. קרישת הדם מצמצמת את איבוד הדם בעת פציעה.

ר

ריאות ראו: **מערכת חילופי גזים**

רפלקס (Reflex)
תגובה הנגרמת באמצעות **מערכת העצבים** ויש לה תבנית קבועה: **גירוי** מסוים גורם תמיד לאותה תגובה. בתגובת רפלקס משתתפים **תאי חישה**, **תאי עצב** תחושתיים ותאי עצב תנועתיים.

ש

שחלה (Ovary) ראו: **מערכת הרבייה**

שליח/מעביר עצבי ראו: **נוירוטרנסמיטר**

שריר, רקמה (Muscle)
רקמה הבנויה מתאים מאורכים - סיבי שריר - המאופיינים ביכולתם להתכווץ. על פי מבנה השריר מבחינים בשלושה סוגים: שריר חלק, שריר משורטט ושריר הלב.

- **שריר לא רצוני (חלק)** (Involuntary muscle)
  שריר שמופעל באופן לא מודע. שרירים לא רצוניים הם שרירים חלקים. הם נמצאים ב**מערכת העיכול**, בכלי הדם, באיברי ההפרשה ובאיברי הנשימה.
- **שריר רצוני (משורטט)** (Voluntary muscle)
  שריר שמופעל באופן מודע. רוב שרירי השלד הם שרירים משורטטים ורצוניים.

שתן (Urine)
נוזל המכיל מים, **שתנן** וחומרי פסולת אחרים. נוצר בכליות ומופרש משלפוחית השתן.

שתנן (Urea)
תרכובת אורגנית שנוצרת ב**כבד**, מאמוניה - תוצר פירוק של **חלבונים** - ומפחמן דו-חמצני. היא פחות רעילה לגוף מאמוניה. שתנן מהווה מרכיב מרכזי ב**שתן**.

ת

תא/תאים (Cell/s)
יחידות המבנה והתפקוד שמהם בנויים כל היצורים החיים.

תאי דם אדומים (Erythrocytes, Red Blood cells)
תאים בדם שקוטרם כ-7.5 מיקרומטר, צורתם כדיסק פחוס. תאי דם אדומים בוגרים הם חסרי גרעין תא ואברונים. הם מכילים **המוגלובין** - החלבון הפעיל בנשיאת חמצן.

תאי דם לבנים (Leucocytes)
תאים בדם ו**בלימפה**, בעלי גרעין תא ואברונים. מהווים כ-1% מנפח הדם. בעלי תפקודים חיוניים במערכת ההגנה נגד גורמים זרים.

תאי זיכרון (Memory cells)
תאים ב**מערכת החיסון** שנוצרים בעקבות חשיפה ראשונה לאנטיגן ומופעלים בעת חשיפה חוזרת לאותו **אנטיגן**.

תא חישה (Sensory cell)
תא הקולט באופן ייחודי גירוי מסוים מהסביבה ומעביר את המידע ל**תאי עצב**.

תאי מטרה (Target cells)
תאים בעלי **קולטנים** ייחודיים המותאמים להתקשר להורמון או למתווך כימי אחר. ראו גם: **הורמון**, **סינפסה**.

תא עצב , נוירון (Neuron)
תא המוליך מידע באמצעות **דחף עצבי** (**אות חשמלי**). חלקיו העיקריים הם: גוף התא, **דנדריטים** ו**אקסון**.

תואם רקמות (אנטיגנים של)
(Major Histocompatibility Complex protein, MHC)
מולקולות הבנויות מחלבון ומסוכר, נמצאות בקרומי כל התאים והן ייחודיות לכל פרט. מרכיבי **מערכת החיסון** מזהים את העצמי על פי ההרכב הייחודי של מולקולות תואם הרקמות.

תקשורת כימית (Chemical communication)
העברת מידע בין תאים בגוף באמצעות מולקולות כגון **הורמונים**.

תקשורת פרקרינית (Paracrines)
תקשורת כימית שבה **הורמונים** המיוצרים בתאי הפרשה משתחררים אל הנוזל החוץ-תאי ומשפיעים על תאים שכנים.

תריסריון ראו: **מערכת העיכול**

תרכובת פחמן ראו: **חומר אורגני**

מפתח

מספרים **מובלטים** מציינים את העמוד שבו הערך מוסבר בהרחבה; מושגים לועזיים מופיעים בסוף.

א

אבובית , נפרון **102**, **103**, 104, 119
אבולוציה 37, 53, 78, 192, 196, 208
אבי העורקים 72, 73, 75, 77-80, 100
אבעבועות שחורות 164, 165
אגן 208
אדמת 171
אדר (pleura) **59**, 60
אדרנלין 119, **120**, 123, 145, 216
אוויר **50**, 51, 52, 54, 59, 60, 75
אוורור יתר **62**, 63
אוורור ריאתי **61**, 62, 88
אוזן, חיצונית/תיכונה/פנימית 143, 148-151
אוטם שריר הלב 85, 86
אוכלוסייה 21
אור, קרינת אור 16, 146, 147
אוקסיטוצין **120**, 197, 198
אטום 55
אטמוספרה 50, 51, 92
איבוד נוזלים, ראו: התייבשות
איבר שיווי משקל, ראו: חוש שיווי משקל
איברי גוף 21, 203
איברי חושים 16, 129, 139, 146-153
איברי מטרה, ראו: תאי מטרה
איידס 94, 176, 194
איי לנגרהנס 115, 116, 120
אינסולין 89, **115-117**, **120**, 217
אי-ספיקת כליות **105**
אירוע מוחי, ראו: שבץ מוחי
אישון 146
אלדוסטרון **119**, **120**
אלכוהול **44**, 86, 136, **137**
אלסטיות (בכלי דם) 74
אלרגיה 175, 176
אמוניה 99
אנדרוגנים 189
אנזים/אנזימים 31, 36, 40, 42, 89
• אנזימי עיכול 42, 43, 45
אנטיגן **166**, 167-176
אנמיה 91
אנרגיה 15-18, 25, 32, 33, 36, 37, 49, 61, 64, 88, 104, 215, 217
• אנרגיה כימית 64
• אנרגיה, הפקה 15, 37, 88, 122, 145
• אנרגיית חום 15, 64, 90
אסטרוגן **120**, 190, 191, 194
אסטמה 56
אף, מערות אף 31, 49, **52**, 53, 56, **153**
אפידרמיס **161**
אפלטון 14, 69
אפרכסת 149
אקסון **131**, **132**, 133-135, 138, 141, 142
אריסטו 14, 69
אשכים 118, 120, 121, **187**, 188, 189

ב

ביוץ 188-190, **191**, 192, 195
ביצית, ראו: תאי רבייה
בית הבליעה 38, **40**, **41**
בית החזה 57-60
בלוטה (בלוטות) 117, 121, 124, 133, 143
• בלוטות דמעות 161
• בלוטות הפרשה פנימית (אנדוקרינית) **117**, **118**, 121
• בלוטות הפרשה חיצונית (אקסוקרינית) **117**, **118**
• בלוטות זיעה **99**, 118, 161
• בלוטות חלב 118, 161
• בלוטות רוק 40, 118, 161
• בלוטת המגן 118-122
• בלוטת יותרת המוח (היפופיזה) 118, 120, **121**, 122, 124, 138, 142, 188-191, 197, 198, 215, 217
• בלוטת הערמונית 187, 189
• בלוטת קאופר 187, 189
בלען, תא **162**, 163, 167, 169, 173
בסט, צ' 116
בקרה 88, 101, 104, 111, **112**, 122, 124, 137, 139, 140, 142, 189
ברוקה, פ 140, 141
ברזל 91
ברי-ברי 34

ג

גולגולת 121, **138**, 148, 149, 208
גוף זגוגי (בעין) 146
גופיף צהוב 191
גורמי גדילה 124
גזע המוח 138, 139, 142-144, 210
גחלת (אנתרקס) 165
גיד (גידים) 207
גידול (שפיר, ממאיר) 218
גירוי 16, 130, 134-137, 146, 149, 151
גלולות למניעת הריון 194
גלוקגון **119**, **120**, 217
גלוקוז 19, **32**, **36**, 44, 64, 75, 89, 99, 101, 103, 104, 116, 119, 123, 217
גליצרול 33, 43
גליקוגן **44**, 119, 123, 217
גלנוס 14, 69
גנגליונים 143
ג'נר, א 164, 165
גרון 57

ד

דו סוכר **32**, 40
דופק לב 82, 83

דחייה, של שתל 173
דחף, עצבי-חשמלי **132**, 133, 134, 139, 140, 148, 149, 215, 216
דיאליזה, מכשיר 105, 106
דיאסטולה **78**, 79, 80
דיפוזיה 54, **55**, 75, 76, 90-92, 105, 133
דלקת 104, **162**, 163, 164, 175
• דלקת אזניים 150
דם 18, 31, 38, 39, 43, 44, 49, 55, 70, 72, 81, **89**, 90, 100-105, 119, 162, 176
דמית (בעין) 146
דנדריט **131**, **132**, 141, 142
דפיקות לב, ראו: לב, דפיקות
דציבל 150

ה

הארווי, ו. 69-71
הגנה, ראו: מערכות הגנה
הומאוסטאזיס (ראו גם: יציבות הסביבה הפנימית) **17**, 18, 19, 31, 62, 64, 89, 90, 99, 111, 122, 129, 145, 157, 221
הורמון/ הורמונים (ראו גם: הורמונים לפי שמותיהם) 32, 33, 75, 76, 89, 104, 112, **115**, 116, 118-121, 123, 124, 185-189, 191, 217
• הורמון אנטידיורטי (ADH) 104, **120**
• הורמון הביוץ/ההצהבה (LH) 120, **188-191**
• הורמון הגדילה 118, **120**, 125, 215
• הורמון מגרה זקיק (FSH) **120**, 188-191
• הורמון מגרה תיראויד (TSH) 120, 122
• הורמוני מין 189, 188
החלפת חומרים 25, 31
היפופיזה (יותרת המוח), (ראו: בלוטת יותרת המוח)
היפותלמוס 118, 121, 136, 138, **142**-144, 163, 189, 198, 217
היריון **196**, **197**, 198
הכרה 215
המוגלובין **91**, 92
המופיליה 94
המיספרה, במוח 139, 141, 143
הנשמה מפה לפה 62
הסתגלות (לגובה) 92
הפקת אנרגיה, ראו: אנרגיה, הפקה
הפריה 186, 191, **192**, 193, 195, 195, 197
• הפריה חוץ גופית 194
• הפריה חיצונית **186**, 192
• הפריה פנימית **186**, 192
הצמתה 175
הקאה 42
השמנה 37
השתלת איברים (כליות) 106, **173**, **174**
התאמה בין מבנה לבין תפקוד 74, 77, 102, 132
התבגרות מינית 121, 125, 188, 189
התייבשות 31, 45, 46, 52, 81, 104, 161
התמיינות 196
התמכרות 135-137
התעלפות 62, 63
התקף לב, ראו: אוטם שריר הלב
התרגלות 135-137

ו

ויטמינים 30, 31, **33-35**, 36, 45, 91, 99
ויסות 111, **112**
• ויסות טמפרטורה 20, 90
וירוס, ראו: נגיף
וסליום 14
וסת, דימום 188, 189, **191**
וריד 14, 69, 70, 72, **74**, 75, 80, 210
• וריד הריאה 73, 75
• וריד חלול (תחתון, עליון) **72**, **73**, 75
ורידון 54, 74, 75
ושט 38, **40**, **41**, 42, 53, 210

ז

זיגוטה 193, 197
זיהום אוויר 53, 56, 57
זיכרון חיסוני 166
זיעה, הזעה 15, 20, 31, 99, 145, 203
זקיק ראשוני 186, 188, **190**, 191
זרימת הדם 80, 81, 84, 87, 88

ח

חבל הטבור 196, 197, 198
חד- סוכר **32**, 39, 43
חדר (בלב: שמאלי, ימני) 72, 73, 75, 77, 79, 80
חד-תא, יצור 16, 17, 19, 49, 157, 181, 192
חוט שדרה, ראו: מוח שדרה
חוליה (חוליות) 138, 208
חולייתנים 78, 90, 199
חומצות אמיניות **32**, 36, 39, 42-44, 75, 89
חומצות אמיניות חיוניות 32
חומצות שומן 33, 43
חומר (חומרים) 15, 16, 25
• חומר אורגני 15, **30**, 31, 33, 37
• חומר אי-אורגני **30**, 31
• חומר חוץ תאי 18, 119, 209
• חומר תשמורת 119
חוש (חושים) 146-153
• חוש טעם 151, 152
• חוש כימי 151-153
• חוש מישוש 153
• חוש ראייה 146-148
• חוש ריח 151-153
• חוש שיווי המשקל 143, 149, **151**, 153
• חוש שמיעה 20, 148-150
חזרת 171
חטיבה סימפתטית 144, 145
חטיבה פרסימפתטית 145, 144
חיידק/ים 31, 33, 40, 42, **45**, 46, 52, 56, 104, 157, 161-163, 167, 171
חילופי אנרגיה 25
חילוף גזים 31, **49**, 52, 54, 75
חילוף חומרים (מטבוליזם) 15, 18, 99, 101, 122
חיסון 165-167, 172

חיסון סביל 171, 172
חיסון פעיל 171, 172
חירשות 150
חלבון/חלבונים **31**, **32**, 37, 117
• חלבון/ חלבונים כמזון 30, 37, 39, 42-44
• חלבון /חלבונים בגוף 75, 89, 93, 99, 101, 104
חלום 215
חלון סגלגל 148, 149
חלוקת תא 196
חמצן 25, 31, 32, 36, 49, 50, 54-56, 61, 64, 74, 75, 85, 88, 90-92, 198, 217
חצוצרה, ראו: צינור מוביל ביצים

ט

טונוס השרירים 211, 215
טמפרטורה, סביבה חיצונית 18, 64, 90
טמפרטורה, גוף פנימית 18, 19, 64, 90, 163, 187, 215, 216
טסטוסטרון **120**, 189
טרשת נפוצה 175
טרשת עורקים 84-86

י

יונקים 90, 186, 199, 208
יותרת האשך **187**, 189
יותרת הכליה 100, 118-121, 123, 197, 216
יותרת המוח, ראו: היפופיזה
יחס שטח פנים/נפח **40**, 42, 44, 54, 90, 139
יציבות הסביבה הפנימית (ראו גם: הומאוסטאזים) 17, 52, 89, 125, 144, 203, 217, 218
יתר לחץ דם 86

כ

כבד 14, 38, 42, **43**, **44**, 75, 76, 99, 101, 119, 137, 173
כדור הארץ 22, 50, 51
כדור העין 146
כולסטרול **33**, **86**
כולרה 165
כיב קיבה 42
כיס מרה 38, **43**, 45
כלבת 171
כליה 44, 99-101, **102-104**, 105, 106, 123, 173
כרומוזום (כרומוזומים) 185, 193
• כרומוזומי מין 185
כשל חיסוני (תורשתי, נרכש) 176
כתם עיוור 148
כתם צהוב 146, 147

ל

לב 14, 33, 52, 69, 70, 72-75, **77**-88, 143, 173
• לב, דפיקות 79
• לב, מחיצה 72
• לב, פעימה 11, 71, 78, 79, 81-84
• לב, קצב 145, 215, 216
• לב, תפוקה **82**-84, 88
לבלב 38, **42**, **43**, 45, 115, 116, 118, 119, 120, 217
לובן העין 146
לוחיות דם 89, 90, **93**
לחץ אוויר 58-60
לחץ דם (ראו גם: יתר לחץ דם) 80, 81, 123, 145, 215, 216
לחץ חלקי (של חמצן, של גז) **51**, 91, 92
ליבת כליה 102
לידה 121, 197, **198**
לימפה, נוזל, צינורות 44, 95, 162, 163
לימפוציטים (B ו-T) 167-170, 173, 175, 176
ליפידים 33
לנגרהנס 115, 116
לשון 151, 152

מ

מאזן מים 31
מאמץ 83, 88, 123, 144, 145, 191, 203, 216, 217
מדוכים (בעין) 146
מוגלה 162-164
מוח 14, 20, 61, 81, 83, 88, 90, 104, 112, 134, 135, 136, **138**, 144, 148, 189, 211, 215
• מוח ביניים 138, **139**, 142, 153
• מוח גדול **138-142**, 144, 148, 207, 211
• מוח גולגולת 130, 131, **138-144**
• מוח שדרה 130, 131, 138-140, **143**, 144, 208
• מוח עצמות 90, 92
• מוח קטן **138-140**, 143
• מוח, אונות 139, **140**
מולקולה 55
מזון 15, 18, 25, 33, 36, 41, 53, 215
מחזור דם, סגור 69, 71, 75, 81
מחזור הגוף (מחזור גדול) 73, 75, 81
מחזור הריאות (מחזור קטן) 73, 80
מחזור חודשי **189-191**
מחזור פעימה 78, 79
מחלה (ראו גם: מחלות לפי שמותיהן) 56, 57, 89, 104, 157, 165-167, 171, 172, 176
• מחלות אוטואימוניות 175
מטבוליזם, ראו: חילוף חומרים
מידע 15, 16, 20, 111, 112, 121, 122, 125, 129, 130-134, 137, 139, 142
• מידע, קליטה והעברה 124, 211
מידע תורשתי 16
מיטוכונדריה 64
מים 15, 17, 30, **31**, 39, 99, 101, 102, 104
מינרלים, ראו: מלחים
מיץ הקיבה 42
מיץ מרה **42**, 43
מיצי עיכול 44
מיקרואורגניזמים 56, 157, 161
מיתרי קול 52, **53**, 57, 188, 199
מלחים 15, 17, 30, **31**, 39, 89, 99, 101-104
מלפיגי, מ. 71
מנגנון משוב, ראו: משוב
מניעת היריון, אמצעים 194
מסילות עולות/יורדות 143, 144
מסתם (בלב, בורידים) 69, 72, **74**, 77-79, 86, 95
מעביר עצבי (נוירוטרנסמיטר) 133-137, 215

מעי (מעיים) 42, 75, 88, 119, 123, 210
• מעי גס 38, **45**
• מעי דק 38, **42**, 43, **44**, 45, 75
• מעי ישר 38, 39, **44**
מערכות גוף 11, 14, 15, 19-22, 196
מערכות הגנה 155-178
• מערך הגנה ייחודי 164
• מערך הגנה לא-ייחודי 162
• מערך הגנה קדמי 161
מערכות תקשורת 20
מערכת הגנה (חיסון) 45, 52, 56, 93, 157, 161, 164, 166, 175, 176
מערכת הוכלה 67-96
מערכת הפרשה 107-97
מערכת הפרשה פנימית (אנדוקרינית) 113-126, 217
מערכת חילופי הגזים (מערכת הנשימה) 48-65, 99, 157, 210
מערכת לימפה 95
מערכת עיכול 18, 26-46, 76, 123, 145, 157, 210, 211
מערכת עצבים 61, 112, 123, 124, 129-146, 198, 207, 217
• מערכת עצבים אוטונומית 144, 145, 210, 217
• מערכת עצבים היקפית 130, 131, 138, 143
• מערכת עצבים מרכזית 130, 131, 138-144, 217
• מערכת עצבים סומטית 144, 210
מערכת רבייה 179-200
מפל ריכוזים 55
מפרק 209, 210
• מפרק , (מרפק, ירך) 209
• מפרק , ציר/כדורי 209
מצ'ניקוב, א 162
מקלאוד 116
מרווח סינפטי 133-136
מרכז בקרת השינה (במוח) 215
מרכז בקרת נשימה (במוח) 63, 210, 217
מרכז ראייה (במוח) 134, 148
מרכז שמיעה (במוח) 149
משוב 122, 191
• משוב חיובי **101**, 122, 123, 197, 198
• משוב שלילי **101**, 122, 123, 191
משككי כאבים, ראו: סמים
משקפיים 147, 148
מתח פנים **59**, **60**

נ

נאדית הריאה **54**, **55**, 56, 75
נגיף 45, 52, 56, 157, 161, 162, 167, 171, 176
נוגדנים 32, 169, 170, 172, 174, 175
נוזל הזרע 176, 187, 188, 189, 194
נוירוטרנסמיטר, ראו: מעביר עצבי
נוירון, ראו: תא עצב
• נוירונים מקשרים, ראו: תאי עצב מקשרים
• נוירונים תחושתיים, ראו: תאי עצב תחושתיים
• נוירונים תנועתיים/מוטוריים, ראו: תאי עצב מוטוריים
נזלת 52
נימי דם (נימים) 54, 55, 71, 72, **74**, **75**, 76-77, 80, 90, 93, 103, 162, 163
ניתוח מעקפים 86
נפח פעימה, ראו: לב, פעימה
נפח שאיפה 61
נפחת 57
נפרון (נפרונים) **102**, **103**, 104
נרתיק 186, 191, 198
נשימה תאית 25, 32, 36, **49**, **64**, 76, 90, 91, 122, 196, 215
נשיפה **58**, 59-61, 210

ס

סביבה 15-17, 22, 25
סביבה חיצונית **17**, **18**, 20, 25, 38, 44, 49, 52, 54, 76, 111, 118, 129, 132, 146, 157, 161, 221
סביבה פנימית **17-19**, 25, 38, 42, 44, 54, 92, 95, 99, 111, 118, 122, 125, 129, 132, 142, 203, 217, 221,
סביבה תוך-תאית 18
סבילות חיסונית 173, 175
סוגי (קבוצות) דם 174
סוגרי עורקיקים 73
סוכר/ סוכר בדם 19, 115
סוכרת 89, 104, **115**, 117, 175
סחוס 53, 76, 209
סיגריות, ראו: עישון
סימני חיים, ראו: פעולות חיים
סימני מין משניים 188, 189
סימפונות (ברונכים) 53, 54, 56, 57
סינון (בכליות) 102, 104, 105
סינפסה 132, **133**-137, 141, 142
סיסטולה **78**, 79, 80
סמים (אופיום, אל.אס.די, חשיש, מורפיום, מריחואנה, ניקוטין, קופאין, קוקאין) 99, 135-137
ספיגה (במעי) 43, 45
סקרטין 115, **120**
סרוטונין 215
סרטן (מחלה) 56, 57, 136, 176, 218
• סרטן הריאות 57
סרעפת 52, 53, 57, 59, 60, 61

ע

עדשה, בעין 146, 147
עובר 186, 189, 191, 193-196
• עובר, התפתחות 196, 197
עור 33, 133, **161**, 162, 173
עור התוף 148-150
עורק 14, 54, 69, 70, 72, 73, **74**, 75, 80
• עורק הריאה 72, 73, 75, 77-79
• עורק כלילי 72, 84
• עורקיק 74, 75
עיכול (ראו גם: מערכת עיכול) 20, 75, 215
• עיכול/פירוק כימי 39-43
• עיכול/פירוק מכני 39-42
עין 143, 146-148
עירוי דם 176
עישון 53, 57, 84, 86, 218
עלייה (בלב: ימנית, שמאלית) 72, 73, 75, 77-79
עמוד השדרה 59, 131, 138, 143, 208, 211
עמילן 32, 36, 40

עצב 14, **138**
• עצב הראייה 146-148
• עצב השמע 149
עצם /עצמות 207, 208, 210
עצמות השמע 148, 149
עקה, מצבי 217
עקרות 194
עֵרות 203, 215, 216

פ

פאגוציט, ראו: כלען, תא
פה 31, 40, 49, 53
פחמימה/פחמימות 30, 31, **32**, 37, 39, 42-44
פחמן דו-חמצני 15, 49, 50, 54, 55, 61-64, 74, 75, 88, 91, 99, 198, 217
פחמן חד-חמצני **56**, 57
פטריה 157, 161, 167
פי הטבעת 38, 39, 45
פי הקיבה 41, 42
פיברין, פיברינוגן 93
פין 187, 189, 194
פלזמה (דם) 89, 90, 174
פסטר, לואי 157, 165, 166, 171
פעולות (מאפייני) חיים 15, 31
פעילות גופנית 83, 84, 87, 203, 209
פעימה בלב, ראו: לב, פעימה
פעימה, נפח 82, 83
פקעיות טעם 151, 152
פקעית (בנפרון) **102**, **103**
פרוגסטרון **120**, 190, 191, 194
פרולקטין 120, 121

צ

צואה 15, 31, 34, **45**
צוואר הרחם 186, 191, 197, 198
ציטופלסמה 21
צינור מוביל ביצים **186**, 190, 192, 195
צינור מוביל הזרע **187**, 189
צינור מוביל שתן 100, **102**, 103, 104, 187
צירי לידה 198
צלעות 57, 59, 208, 210
צנתור 86

ק

קבוצות דם, ראו: סוגי דם
קוך 157
קולטן 119, 124, 133-136, 153, 167, 170
קופסית הנפרון **102**, **103**
קופסת הגרון 52
קוצב לב (טבעי, מלאכותי) 82, 83, 210
קוצר ראיה 147
קוקאין 135
קורטיזול 120
קורת המוח 138, 141
קיבה 18, 38, 40, **41**, **42**, **43**, 45, 120, 161, 210
קיבולת חיונית, של ריאות **60**
קינון (עובר ברחם) 195
קלוריה 36
קליטה חוזרת **103**, 104
קליפת המוח (קורטקס) 139
קליפת הכליה 102
קנה (הנשימה) 38, 52, 53, 54, 56
קנים (בעין) 146
קצב לב, ראו: לב, קצב
קצב נשימה 61, 215, 216
קרום התא 17, 31, 33, 69, 119, 167
קרום שפיר, ראו: שפיר
קרי לילה 189
קרישת דם **93**, 122
קרני אור 147
קרני לייזר 148
קרנית (בעין) 76, **146**
קשרי לימפה 95
קשת רפלקס 143, 144
קשתית (בעין) 146

ר

רבייה 16
רב-סוכר 32, 44, 119
רב-תא, יצור 16, 17, 19, 21, 22, 25, 69, 124, 181, 192
רוחק ראייה 147
רוק 40, 44, 161
רחם **186**, 189, 191, 192, 195-197
ריאות 18, 31, 41, 49, **51-60**, 73, 75, 76, 99, 143, 173, 198
ריסים 52, 53
ריריות 57
• ריריות האף **52**, 53, 56, 153, 161
• ריריות הקיבה 42
• ריריות הרחם 186, 190, **191**, 195
רמת ארגון (ביולוגיה) **21**, 22, 111
רפלקס, תגובה, ראו גם: קשת רפלקס 129, 130, 143, 144, 198
• רפלקס, זיע הברך 143
רצועות 209
רקמה 11, 21, 75, 124, 162
רקמת חיבור 209, 210
רשתית **146-148**

ש

שאיפה **58**, 59, 61, 210
שבט (של לימפוציטים) 167, 169
שבלול (באוזן) 149
שבץ מוחי 86, 142
שומן/שומנים 30, 31, **33**, 36, 37, 39, 42, 43, 85, 86, 89, 123
שופכה 100, 104, 187
שחלה 118, 120, 121, **186**, 188-191, 195
שחמת הכבד 44
שחפת 171
שטח פנים/נפח, ראו: יחס שטח פנים/נפח
שינה 203, 215
שיתוף פעולה 20, 221
שיתוק 144

שכמה, עצם 208
שלד 203, 207, 208
שליה 193, 196-198
שלפוחית שתן 18, 100, **101**, 104, 123, 187
שמיעה 149, 150
שפיר, קרום/נוזל 196, 197
שריר 20, 57-59, 61, 87, 119, 123, 129, 133, 143, 186, 203, 207, 210, 211
• שריר הלב **72**, 77, 78, 82-84, 119, 123, 210
• שריר חלק (לא רצוני) 210, 211
• שריר טבעתי (בקיבה, בוושט) 41, 42, 45
• שריר משורטט 210
• שריר סוגר (בשלפוחית שתן) 101
• שריר רצוני (שריר שלד) 45, 144, 210
• שרירי בית החזה 59, 210
• שרירי שלד, ראו: שריר רצוני
שתן 15, 20, 31, 99, **101-104**, 115, 116, 123, 215
שתנן 30, 89, 99, **101**-103, 105

ת

תאומים 193
תאי T, ראו: לימפוציטים
תאי אפיתל 161
תאי גזע 141
תאי גליה 132
תאי דם אדומים 54-56, 75, **89-93**, 101, 174, 175
תאי דם לבנים 89, **90**, 92, 101, 162, 167
תאי זכרון 168-170
תאי חישה 88, 129, 134, 135, 139, 142, 143, 146, 148, 149, 152, 153, 217
תאי (איברי) מטרה 119, 123, 132, 133, 189
תאי עצב (נוירונים) 131-135, 137, 138, 141
• תאי עצב (נוירונים) מקשרים **132**, 140
• תאי עצב (נוירונים) תחושתיים **132**, 143
• תאי עצב (נוירונים) תנועתיים/מוטוריים **132**, 143
תאי רבייה 185-188
• תא זרע 186-**189**, 192, 194
• ביצית 186, **189**, 190, 191-193, 195
תאית 45
תגובה 16, 130, 132
תגובה בנוזל (תגובה הומורלית) 168, 169
תגובה חיסונית: ייחודיות וזיכרון 166, 167, 170
תגובה תאית 168, 169
תהליכי חיים 25
תואם רקמות (אנטיגנים של) 173-175
תוספתן 45
תיאום 11, 19-21, 61, 111, **112**, 211, 217
תירוקסין 120
תלות גופנית 136, 137
תנועה 16, 207, 209
תנועה פריסטלטית **41**, 45, 123
תסנין 102-104
תפוקת הלב, ראו: לב, תפוקה
תקשורת 21
• תקשורת אנדוקרינית 124
• תקשורת חשמלית 132
• תקשורת כימית 117, 127, 132
• תקשורת פרקרינית 124
תריסריון 38, **42**, **43**, 120
תרכיב חיסון, ראו: חיסון
תת-עור 161
תת-תזונה 36, 137

ATP 64
HIV 176
FSH ראו: הורמון מגרה זקיק
LH ראו: הורמון הביוץ
TSH ראו: הורמון מגרה בלוטת תירואיד

מקורות האיורים

המקורות שמהם נלקחו האיורים רשומים להלן. מספרי האיורים הם מספריהם בספר זה.
מקצת האיורים עובדו בהתאם להקשר שבו הובאו וסומנו ב (*).
האיורים שאינם כלולים ברשימה זו הוכנו ע"י יוליה אגרנוביץ' וגדעון דן (סטודיו דן).
אנחנו מודים לכל מי שנתן לנו את רשותו להשתמש באיורים ובצילומים.
עשינו מאמץ לאתר את כל בעלי הזכויות ונשמח לתקן במהדורות הבאות, כל טעות שנפלה.

Solomon,E.P., Berg, L. R., Martin, D. W., Villee, C., (1993) **Biology** 3rd ed. Saunders College Publishing.

2.14 ,2.15 ,4.6 ,4.19.

Goodenough,J., Wallace,R.A., McGuire, B., (1998) **Human Biology, Personal Environmental, and Social Concerns,** Saunders College Publishing:

ב9.2 ,9.3 ,9.11 ,9.13.

Singer, C. (1959) **A short history of Science** Oxford: The University Press.

1.2

Nuffield Biology, Text II. (1966) London: Longmans, Green & Co. Ltd.

8.5

ASAP

P570/005, M532/544, P550/067, P495/033, P680/497, P680/390, P680/339, P680/458

9.12. שער פרק 9, 5.8, 5.6, 4.14, 3.5 שער פרק 3 ,1.1

בכר, ח., ברנהולץ, ח., (תשס"א) **תקשורת, ויסות ותאום ביצורים חיים**, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
1.1 (חלק), 1.7, 1.8 , 1.9 (*), שער פרק 5, 5.2, 5.3, 5.5, שער פרק ,6, 6.3(*), 6.4(*), 6.5, 7.3(*), 7.5, 7.6(*)
7.11, 7.20(*), 7.22, 9.2א, 9.6(*), 9.7, 9.10.

ברנהולץ, ח., פלד, ל., וינקלר, ר. (תשס"א) **פרקים במיקרוביולוגיה ובמערכות הגנה**, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
4.27, 8.2(*), 8.3, (*)8.7, (*) ,8.10.

הביולוגיה חקר החיים – אחידות (ללא ציון שנה), המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
אריסטו (פרק 1), 4.1, 4.2, 8.6.

אדלר, י., לב, ח., ארינוס, מ., (תשמ"ח) **פרקים בפיזיולוגיה של בעלי חיים**, מהדורה שניה, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
4.5, 4.15, 4.16(*), 4.21, 4.24.

גרשון, ע., ברנהולץ, ח., תשנ"ב, **רבייה באדם**, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
9.10.

נבו, א. (1990), **האוולוציה ומוצא האדם, מדע**, ל"ד 62-68.

צילומים

פרופ. שלמה אייזנברג ז"ל (באדיבות המשפחה): **4.20**
שמואל אמיר: **11.1**
גדעון דן: **1.11**, **7.21**
דידה פרנקל: **9.9**

הספר "ביולוגיה של האדם" מזמין אתכם למסע היכרות עם הדבר הקרוב אליכם ביותר – גופכם, ומציג בפניכם מידע בסיסי החשוב להבנה של התהליכים המתרחשים בו.

ניסינו להביא לכם מידע עדכני – בלי להקשות בפרטים שאינם הכרחיים – ובמקביל להראות איך צמח הידע הזה לאורך ההיסטוריה של המדע והרפואה.

הספר נכתב מתוך ההשקפה שאדם בוגר במאה ה-21 יכול וצריך לקחת אחריות על גופו ועל בריאותו, מתוך ידע והבנה של התהליכים המתרחשים בו, ובו בזמן להיות שותף בעיצוב סביבה שגם בני אדם אחרים יוכלו לחיות בה בבריאות ובכבוד.

הספר מתאים לתכנית הלימודים החדשה בביולוגיה (תשס"ג 2002), המציבה את הנושא "מבוא לביולוגיה של האדם" כנושא ליבה מחייב. הספר מיועד לתלמידי כיתות י', ומתאים הן לתלמידים המסיימים את לימודי הביולוגיה והן לתלמידים שימשיכו ללמוד ביולוגיה בהרחבה, וייבחנו בנושא זה בבחינות הבגרות.

מס"ת: 965-295-019-X

ביולוגיה של האדם
/עדי מרקוזה-הס
360-541
68.44 ש"ח