המערכת האנדוקרינית (Endocrine System)

כל מערכות הגוף פועלות יחדיו בהרמוניה כדי לקיים חיים. שיתוף הפעולה מנוהל באמצעות שתי מערכות: מערכת העצבים (nervous system) והמערכת האנדוקרינית (endocrine system) שהיא מערכת הפרשה פנימית. לעומת מערכת העצבים שמעבירה **שדרים עצביים** במהירות רבה, המערכת האנדוקרינית פועלת באמצעות הפרשת **הורמונים** (hormones). הורמונים הם חומרים כימיים המופרשים לזרם הדם, והם אחראים לתקשורת בין־תאית. הם יכולים להשפיע על תא יחיד או על קבוצת תאים. ההורמונים אחראים למגוון רחב של תהליכים פיזיולוגיים כמו ויסות חום הגוף, מחזור שינה־עירות, גדילה, פעילות מטבולית, פעילות מינית, תחושות רעב ושובע, רגשות ועוד. למעשה, המערכת האנדוקרינית משפיעה מאוד על הגוף של האדם ושל בעלי חיים.

המערכת האנדוקרינית מורכבת מבלוטות אנדוקריניות (בלוטות שמפרישות הורמונים ישירות לזרם הדם), מאיברי המין (שחלות ואשכים) ומהלבלב. לצד זאת, לאיברים רבים יש פעילות אנדוקרינית משנית, למשל הלב, העור, הכליות והכבד. דוגמה לכך היא הפרשת רנין מן הכליות כחלק ממערכת הרנין־אנגיוטנסין־אלדוסטרון.

המערכת האנדוקרינית פועלת בשיתוף פעולה הדוק עם מערכות נוספות, ובמיוחד עם מערכת העצבים ועם מערכת החיסון. כשיש מחלה חריפה מופרשים **ציטוקינים** שמשפיעים השפעה עצומה הן על המערכת האנדוקרינית והן על מערכת העצבים. ציטוקינים הם חומרים דמויי הורמונים שפועלים כמתווכי דלקת, והם מופרשים מלימפוציטים, מונוציטים וכלי דם. דוגמה נוספת לשיתוף הפעולה ההדוק הוא בבלוטת התימוס (thymus) שנחשבת לבלוטה אנדוקרינית והיא גם חלק ממערכת החיסון.

מלבד שיתוף פעולה רב־מערכתי, הבלוטות האנדוקריניות פועלות יחדיו בהרמוניה תוך־מערכתית. אוסף של בלוטות הפועלות יחד נקראות ציר. דוגמה לציר אנדוקריני חשוב הוא ציר ההיפותלמוס־היפופיזה־אדרנל (hypothalamic-pituitary-adrenal axis: HPA) שמשופעל בזמן לחץ נפשי ומוביל להפרשה של קורטיזול, הורמון דחק אשר, בין היתר, מעלה את רמות הגלוקוז בדם.

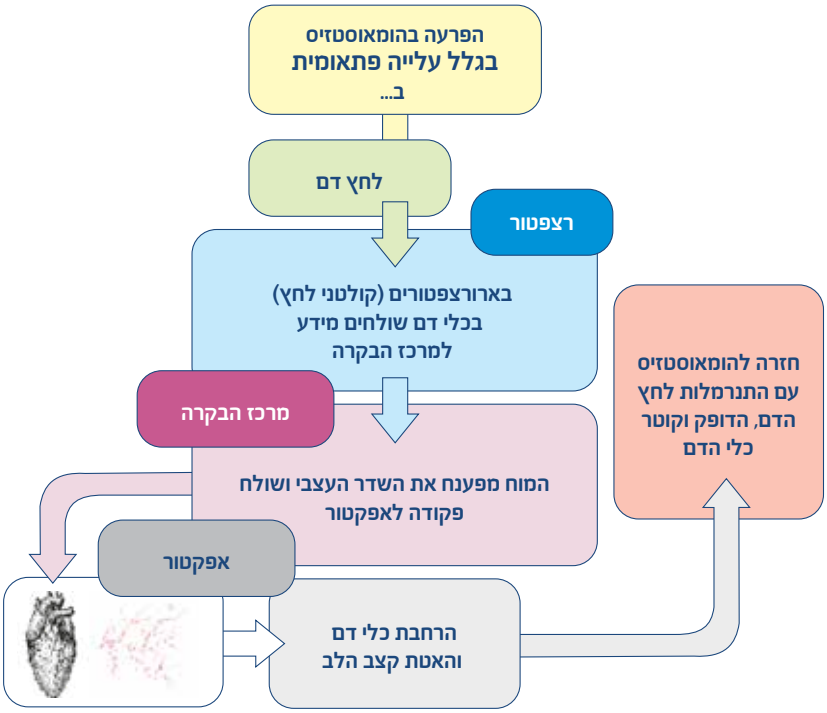
ההורמונים נישאים במערכת הקרדיווסקולרית. כך יכולה כל בלוטה להשפיע על כל רקמה בגוף ללא קשר לקרבתה אליה. ההורמון משפיע רק על **תאי המטרה** שלו, כלומר על תאים שמכילים קולטנים לאותו הורמון ספציפי.

המערכת האנדוקרינית פועלת **במנגנוני משוב (פידבק) שלילי**. מנגנוני משוב הם שרשרות אירועים שבהן מושא פיזיולוגי בגוף עובר ניטור, הערכה ותיקון במחזוריות. דוגמה לכך היא ויסות של רמות הגלוקוז בדם. כאשר רמות הגלוקוז גבוהות, למשל לאחר אכילה, אינסולין מופרש וגורם לירידה בריכוז הגלוקוז בדם. כאשר רמות הגלוקוז חוזרת לנורמה הפרשת האינסולין נפסקת. כאשר רמות הגלוקוז פוחתות מופרש גלוקגון (glucagon) שמעודד פירוק רב־סוכרים, כדי להעלות את רמות הגלוקוז בדם.

כל מנגנון משוב (פידבק) כולל שלושה מרכיבים בסיסיים:

- **רצפטור (קולטן)** - מבנה בגוף שמנטר בדרך קבע גורם פיזיולוגי ספציפי (חום גוף, לחץ דם, לחץ שתן בשלפוחית וכדומה). אם נקלט על ידי הרצפטור שינוי באותו מושא פיזיולוגי, הוא שולח מידע למרכז הבקרה האחראי על ויסותו.
- **מרכז בקרה, מעבד** - איבר האחראי על קביעת טווח נורמלי לכל מושא פיזיולוגי (בדרך כלל זהו המוח). כאשר מרכז הבקרה מקבל מידע מן הרצפטור בדבר שינוי חריג הוא שולח פקודה לתיקון ההפרעה. גירוי לביצוע תיקון הפעולה יכול להיות שדר עצבי, אך גם יכול להיות כימי בתצורת הורמונים.

- **אפקטור, מבצע (effector)** - מבנה בגוף שמקבל פקודה לתיקון הפרעה באיזון (equilibrium). כמעט כל איבר או רקמה יכולים לתפקד כאפקטור. דוגמה לכך אפשר לראות בשרירי השלד כשהם מקבלים פקודה לרעוד בהיפותרמיה. דוגמה נוספת היא כלי הדם השטחיים כשהם מקבלים הוראה להתרחב (ואזודילטציה) בהיפרתרמיה (חום גבוה).

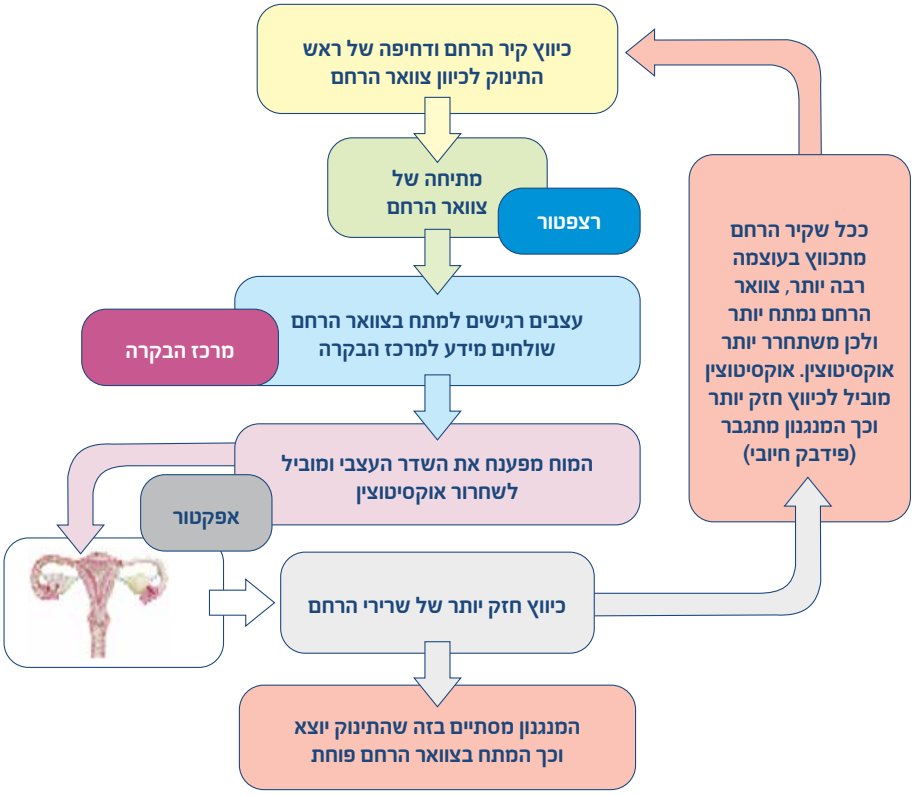


תרשים 17.1. מנגנוני משוב (פידבק) שלילי של המערכת האנדוקרינולוגית

מנגנוני משוב הם שרשרות אירועים שבהן מושא פיזיולוגי בגוף עובר ניטור, הערכה ותיקון באופן מחזורי.

מטרתו של מנגנון משוב שלילי היא לשמור על הומאוסטאזיס בגוף - שמירה על היציבות של הגוף כאשר מתרחשים שינויים בסביבה או בגוף עצמו. מטרתו היא להשיב את המצב לקדמותו. המנגנון המגן על הגוף מחזיר את הסטיה לכיוון התקין. ככל שהסטייה פוחתת ומתקרבת לתקין המנגנון המתקן מקטין את השפעתו. כאשר הפקודה לתיקון הולכת וקטנה המצב נקרא "מנגנון משוב שלילי". אלה הם המנגנונים שאחראים לשמירה על איזון. תהליכי משוב חיובי הם בדרך כלל פתולוגיים. דוגמה למנגנון משוב שלילי בקשר של ויסות לחץ דם: כאשר לחץ הדם חוזר לנורמה פעולת האפקטורים פוחתת, וכך הדופק וקוטר כלי הדם חוזרים לנורמה. כלומר מנגנון המשוב השלילי הולך ופוחת.

מטרתו של מנגנון משוב חיובי היא דווקא לסטות מן התנאים המאוזנים כשיש צורך בפעילות מיוחדת של הגוף. דוגמה למנגנון משוב חיובי (שאינו פתולוגי) בקשר של לידה: ככל שהלידה מתקדמת נוצר מתח גדול יותר בצוואר הרחם. המתח הגדול גורם לשחרור אוקסיטוצין (oxytocin), מצב שמוביל למתח גדול אף יותר בצוואר הרחם. המנגנון מתחזק (משוב חיובי) עד שהתינוק מגיח לאוויר העולם והמתח בצוואר הרחם חוזר לנורמה.



תרשים 17.2. מנגנון משוב (פידבק) חיובי בלידה

ככל שהלידה מתקדמת מתחזק המנגנון עד שהתינוק נולד.

אנטומיה ופיזיולוגיה

אלו בלוטות המערכת האנדוקרינית: (איור 1.71)

1) בלוטת האצטרובל (pineal gland)
2) בלוטת יותרת המוח, היפופיזה (pituitary gland/ hypophysis)
3) בלוטת התריס (thyroid gland)
4) בלוטת התימוס (thymus gland)
5) בלוטות האדרנל (adrenal glands)
6) לבלב (pancreas)
7) שחלות (ovaries)
8) אשכים (testes)