

יסודות התזונה

ביוכימיה, אבות המזון, ויטמינים, מינרלים ומשק המים

כרך נושאי



1 ביוכימיה, מטבוליזם ומסלולי אנרגיה

2 מאקרו-נוטריינטים ומאזן קלורי

3 מיקרו-נוטריינטים, משק המים והידרציה

יסודות התזונה

ביוכימיה, אבות המזון, ויטמינים, מינרלים ומשק המים

ספר למידה מקיף בעברית: הסבר תיאורטי, מנגנונים, טבלאות השוואה, תרשימי זרימה, מפות גוף, מבנים מולקולריים, מקרים קליניים ומחקר עדכני.

לפני שמתחילים

⚠ הבהרה

הספר הוא חומר לימודי והעשרתי בלבד. המידע בו אינו מהווה ייעוץ רפואי, אבחון או המלצה לטיפול, ואינו מחליף התייעצות עם רופא או מטפל מוסמך. אין להפסיק או לשנות טיפול תרופתי ללא התייעצות עם הרופא המטפל. צמחי מרפא ותוספי תזונה עלולים לגרום לתופעות לוואי ולאינטראקציות עם תרופות, במיוחד בהריון, בהנקה, בילדים ובמחלות כרוניות.

כל הדוגמאות והמקרים בספר בדויים ונועדו להמחשה בלבד. הסימון • ליד צמח מציין שקיימת עליו מונוגרפיה מלאה.

איך להשתמש בספר

כל פרק בנוי מנושאים מרכזיים, ובתוכם הסבר תיאורטי, מנגנונים, טבלאות השוואה, תרשימי זרימה, מפות גוף ומבנים מולקולריים. בסוף הנושאים – עזרי למידה, ובסוף כל פרק – מפת פרק, סיכום, מילון מונחים ושאלות לחזרה.

📌 דגש קליני / טיפ לימודי

נקודות חשובות לקליניקה ולמבחן.

🔬 מנגנון פיזיולוגי / מחקרי

הסבר המנגנון ותוצאות מחקרים.

🧐 מה אומר המחקר העדכני

סיכומי ראיות מסקירות שיטתיות והנחיות רשמיות, עם ציון המקור.

🧠 טריק לזכירה

עוגנים, ראשי תיבות ואנלוגיות.

🔄 מקרה קליני

תרגול יישומי עם פתרון.

✅ בדקי את עצמך

שאלות קצרות עם תשובות.

תוכן העניינים

פרק 1: ביוכימיה, מטבוליזם ומסלולי אנרגיה

4	מבוא למדעי התזונה: הגדרות, חשיבות ורכיבי תזונה
46	תזונה כמדע: שיטות מחקר, רמות הוכחה ומגמות
50	תזונה מגדרית ומגמות השמנה
53	אנרגיה: הגדרות, יחידות ותרמודינמיקה
59	אנזימים: מבנה, פעולה, קינטיקה ובקרה
64	מטבוליזם, ATP ומאגרי האנרגיה בגוף
68	גליקוליזה: פירוק הגלוקוז בצטופלסמה
74	שלב המעבר והמיטוכונדריה: מפירובט לאצטיל CoA
79	מעגל קרבס (מעגל חומצת הלימון)
86	זרחון חמצוני: שרשרת מעבר האלקטרונים ומאזן ה-ATP
90	נשימה אנאירובית, חומצת חלב ותסיסה
93	

פרק 2: מאקרו-נוטריינטים ומאזן קלורי

151	מאקרו-נוטריינטים ומאזן קלורי – מבט-על
158	פחמימות: הגדרה, כימיה ומבנה
166	פחמימות במזון: סוגים, מקורות ועיכול
174	המסלול המטבולי של הפחמימות בגוף
180	התגובה הגליקמית, האינדקס הגליקמי והעומס הגליקמי
192	סיבים תזונתיים, פרה-ביוטיקה ופרוביוטיקה
198	סוכר וממתקים טבעיים: היסטוריה, עיבוד ונזקים
204	תחליפי סוכר: ממתקים מלאכותיים, סוכרים אלוהליים וממתקים טבעיים
207	נוטרסיאויטקלים מפחמימות: פחמימות מורכבות כמזון פונקציונלי
208	חלבונים: הגדרה, חומצות אמינו ומבנה

פרק 3: מיקרו-נוטריינטים, משק המים והידרציה

261	ויטמינים – הגדרה, סיווג ואוכלוסיות בסיכון
269	ויטמינים מסיסי שומן: A, D, E, K
275	ויטמיני B וויטמין C – הקו-אנזימים של המטבוליזם
279	יציבות וויטמינים, אלוהליזם וטבלת סיכום
284	מינרלים – הגדרות, סיווג ותפקידים
289	סידן (Calcium) – מטבוליזם, ויסות הורמונלי ואוסטאופורוזיס
296	ברזל (Ferrum) – תפקידים, ספיגה, חסר ועודף
302	אנמיה – הגדרה, סימנים והדרכה תזונתית
306	ויטמינים ומינרלים בספורט – ברזל ומגנזיום

ביוכימיה, מטבוליזם ומסלולי אנרגיה

הפרק הזה הוא הבסיס לכל מה שיבוא אחריו בחוברת. כדי להבין איך תזונה משפיעה על בריאות, על מחלה, על ביצועים גופניים ועל משקל, צריך להבין קודם מה עושה התא במזון שהוא מקבל: איך הוא מפרק פחמימות, שומנים וחלבונים, איך הוא "אורז" את האנרגיה שבהם במולקולת ה-ATP, אילו אנזימים וקו-אנזימים (רובם ויטמינים מקבוצת B ומינרלים) מאפשרים את התהליכים, ומה קורה כשאין חמצן, כשאין גלוקוז או כשיש עודף אנרגיה. בחלק השני של הפרק נעבור מהתא אל האדם כולו: נגדיר אנרגיה ויחידות מדידה, נפרק את ההוצאה האנרגטית היומית למרכיביה (BMR, TEF, פעילות גופנית ו-NEAT), נלמד את נוסחאות החישוב (האריס-בנדיקט, מקדמי פעילות ופציעה, METs), את שיטות המדידה במעבדה ובשטח (קלורימטריה, מים כפולי סימון, BIA, DEXA, קליפר), ואת מדדי האנתרופומטריה (BMI, היקף מותניים, אחוזי שומן). נפתח בהקשר הרחב: מהו מדע התזונה, איך הוא נחקר ומדוע הוא חשוב.

מבוא למדעי התזונה: הגדרות, חשיבות ורכיבי תזונה

על מה עומד מדע התזונה

פרק זה מניח את **הבסיס למדע התזונה**: אבות המזון, הוויטמינים והמינרלים, וכלים להערכת צריכת מזון ולמעקב אחר גדילה. נקודת המוצא היא שאלה פשוטה לכאורה – "איך אנחנו מתייחסים לאוכל?" – ומתוכה עולים הנושאים הפותחים: **תזונה נכונה** – זרמים ותיאוריות, שיטות מחקר בתזונה, תורת המזון (כימיה), "שיח טוב / לא טוב", השמנה – מצב האוכלוסייה, אי-הסכמה, ותיאוריה מול יישום. שאלה למחשבה: **האם הרפואה יכולה לספק מרפא לכל המחלות?** התשובה המקובלת היא שלא, ולכן הדגש עובר אל המניעה, ובמרכזה התזונה. התאמה תזונתית (דיאטנות) חשובה במיוחד במצבים כמו יתר לחץ דם, מחלות כליה, סוכרת, מחלות לב וכלי דם, צליאק, קרוהן וקוליטיס, וכן כשהמטרה היא ירידה או עלייה במשקל.

חשיבות התזונה

- מונעת מחלות.
- משפיעה על תפקודי הגוף.
- תזונה = שליטה על מצב הבריאות.
- מן ההיריון, דרך הילדות והבגרות ועד הזקנה – בכל שלבי החיים התזונה מעצבת את אופן פעולתו של הגוף.

$$\text{בריאות} = \text{תורשה} + \text{סביבה}$$

משוואת הבריאות: מאחר שהסביבה כוללת את התנהגות האדם (תזונה, פעילות, עישון, אלקוהול), הבריאות תלויה בעיקר בידיו של האדם ובהתנהגותו.

גורמי סיכון למחלות כרוניות לפי ארגון הבריאות העולמי (WHO)

לפי ארגון הבריאות העולמי, טיפול בארבעה גורמי סיכון בלבד יכול למנוע חלק עצום מן התחלואה הכרונית:

1. תזונה לקויה
2. חוסר בפעילות גופנית
3. עישון
4. צריכת אלכוהול

4	30%	90%	80%
גורמי סיכון התנהגותיים (WHO)	מכל סוגי הסרטן	מסוכרת מסוג 2	ממחלות הלב וכלי הדם ניתנות למניעה

דגש קליני / טיפ לימודי

המספרים 80% / 90% / 30% חוזרים במבחנים. שימו לב שהם מתייחסים לטיפול **בארבעת** הגורמים יחד, לא לתזונה לבדה. בעבודה הנטורופתית זה הבסיס לגישה ההוליסטית: תזונה, תנועה, הפסקת עישון והפחתת אלכוהול הם ארבעה צירים שפועלים יחד.

המזון כסמל: ההיבט החברתי והתרבותי

המזון אינו רק "דלק". לאוכל יש כמה רבדים סמליים:

- **סטטוס:** היבט חברתי, כלומר מה אוכלים, איפה ועם מי משקף מעמד.
- **תרבויות:** מטבחים, מסורות ומנהגי אכילה.
- **ערך רגשי:** אוכל כנחמה, כזיכרון, כביטוי של אהבה.
- **גמילה (תגמול):** אוכל כפרס.
- **מזון ומהגרים:** שמירה על זהות דרך מזון.

המזון בעולם המודרני

אפשר לתאר את עולם המזון המודרני כמערכת שלמה: **קהל יעד, ענף הפרסום, מחקרים ממומנים** (מחקרים במימון התעשייה), **סימון מזונות, מזון מוכן, והסופר ועידן השפע**. כל אחד מהם משפיע על בחירות המזון של המטופל, ולכן על יכולתו ליישם המלצות.

הגדרות יסוד

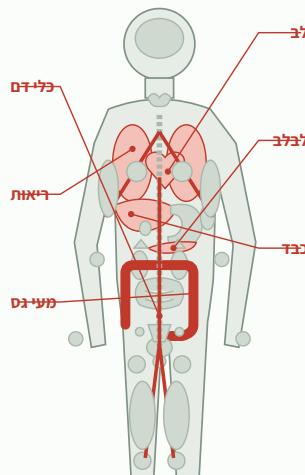
מושג	הגדרה	הערה
מדע התזונה	תחום מדעי החוקר את המזון: ממה הוא מורכב, מה טיבו ואיכותו, ואיך הוא משפיע על התהליכים הפיזיולוגיים בגופנו.	הוא חלק בלתי נפרד מן המניעה והטיפול במחלות, ובאמצעותו מגדירים מה צריך כל אדם לאכול בכל שלב במעגל החיים.
תזונה	אכילה מתוכננת ומותאמת אישית, שמספקת לאדם את כל האנרגיה ואת כל רכיבי התזונה שהוא צריך, בהתאם לשלב שבו הוא נמצא במעגל החיים.	מיוונית <i>Diaita</i> = "אורח חיים".
דיאטטיקה	יישום הדיאטה למניעה ולטיפול של מחלות.	תזונה נכונה רלוונטית ל: מחלות לב וכלי דם, מחלות כליה, צליאק, קרוהן וקוליטיס, סוכרת, עודף משקל, לחץ דם, ירידה במשקל ודיאטות.
רכיבי תזונה (Nutrients)	רכיבים חיוניים לתפקודו התקין של גוף האדם, המסופקים על ידי המזון.	מתחלקים לפי כמה צירים (טבלה הבאה).

חלוקת רכיבי התזונה

ציר חלוקה	קבוצה א	קבוצה ב
כמות נדרשת	Macronutrients – נדרשים בכמויות גדולות יחסית, נמדדים בעשרות ומאות גרמים: פחמימות, שומנים, חלבונים.	Micronutrients – נדרשים בכמויות קטנות, נמדדים בגרמים ספורים, במיליגרמים ובמיקרוגרמים: ויטמינים ומינרלים.
כימיה	אורגניים : שומנים, חלבונים, פחמימות וויטמינים.	אנאורגניים : מים ומינרלים.
ערך קלורי	בעלי ערך קלורי : שומנים, חלבונים ופחמימות.	חסרי ערך קלורי : ויטמינים, מים ומינרלים.
חיוניות	רכיבי מזון חיוניים (שהגוף אינו יכול לייצר): ויטמינים, מינרלים, וחלק מהשומנים ומהחלבונים (חומצות שומן וחומצות אמינו חיוניות).	רכיבים שהגוף מסוגל לייצר בעצמו.

מנגנון פיזיולוגי / מחקרי

החלוקה ל"בעלי ערך קלורי" ו"חסרי ערך קלורי" אינה חלוקה לחשובים ולא-חשובים. כפי שנראה בהמשך הפרק, הוויטמינים והמינרלים "חסרי הקלוריות" הם בדיוק הקו-אנזימים והקו-פקטורים שבלעדיהם אי אפשר להפיק אנרגיה מהמקרו-נוטריינטים: B1 בפירוק פירובט, B2 ב- B3, FAD ב- B5, NAD בקו-אנזים B6, A בפירוק גליקוגן ובטרנסאמינציה, מגנזיום בהקסוקינאז ונחושת בציטוכרום C אוקסידאז.



היכן "פוגעים" ארבעת גורמי הסיכון של WHO (תזונה לקויה, חוסר פעילות, עישון, אלכוהול): הלב וכלי הדם (80% ממחלות הלב וכלי הדם ניתנות למניעה), הלב לב והמטבוליזם של הסוכר (90% מסוכרת סוג 2), ואיברים שבהם מתפתחים סרטנים שכיחים הקשורים לאורח חיים – ריאות, כבד ומעי גס (30% מכלל הסרטנים). המפה ממחישה שאותם ארבעה הרגלים משפיעים על מערכות רבות במקביל.

טריק לזכירה

"המנוע והמצתים": המאקרו-נוטריינטים (פחמימות, שומנים, חלבונים) הם הדלק – יש בהם קלוריות. המיקרו-נוטריינטים (ויטמינים ומינרלים) הם המצתים והשמן של המנוע: אין בהם קלוריות, אבל בלעדיהם הדלק אינו נשרף. זו הסיבה שמחסור בוויטמיני B או בברזל מתבטא בעייפות גם כשהמטופל אוכל מספיק קלוריות.

ארבעת ה"לא" של WHO = ת.פ.ע.א: תזונה לקויה, פעילות חסרה, עישון, אלכוהול – והמספרים 80/90/30 (לב / סוכרת / סרטן) בסדר יורד, כמו ספירה לאחור.

רכיב	מאקרו / מיקרו	אורגני / אנאורגני	ערך קלורי	חיוני?
פחמימות	מאקרו	אורגני	כן – 4 קק"ל/ג'	הגוף יכול לייצר גלוקוז (גלוקונאוגנזה)
שומנים	מאקרו	אורגני	כן – 9 קק"ל/ג'	חלקם – חומצות שומן חיוניות
חלבונים	מאקרו	אורגני	כן – 4 קק"ל/ג'	חלקם – חומצות אמינו חיוניות
ויטמינים	מיקרו	אורגני	לא	כן
מינרלים	מיקרו	אנאורגני	לא	כן
מים	—	אנאורגני	לא	כן

בדקי את עצמך

1. מדוע ויטמינים נחשבים "חסרי ערך קלורי" ובכל זאת חיוניים להפקת אנרגיה? (תשובה: הם משמשים קו-אנזימים: B1 בפירובט דהידרוגנאז, B2 ב-FAD, B3 ב-NAD, B5 בקו-אנזים A)
2. אילו רכיבים הם אנאורגניים? (תשובה: מים ומינרלים)
3. לפי משוואת הבריאות, מדוע הבריאות "בידי האדם"? (תשובה: בריאות = תורשה + סביבה, והסביבה כוללת התנהגות: תזונה, פעילות, עישון ואלכוהול)

תזונה כמדע: שיטות מחקר, רמות הוכחה ומגמות

ממקרה בודד למדע

מדע התזונה נשען על ארבעה סוגי ידע, מן הבודד אל הכללי: **תיאור מקרה, מחקר אפידמיולוגי, מחקר קליני ומחקר מעבדה.**

סוג מחקר	מה בודקים	חוזקות	מגבלות
מחקרי מעבדה	בחיות מעבדה, או בתאים / רקמה בתרבות.	מאפשרים לחקור מנגנונים.	לא תמיד ניתן להשליך לאדם.
מחקר קליני (בבני אדם)	במחקר מסוג זה החוקר משנה את התזונה בכוונה ובודק מה קורה לבריאות או למחלה. מדובר במחקר התערבותי מבוקר , שבו הגורם הנבדק נתון לשליטתו של החוקר, באופן מלא או חלקי.	רמת ההוכחה הגבוהה ביותר.	יקר, קצר יחסית, לעיתים לא אתי.
מחקר תצפיתי	כאן החוקר אינו מתערב כלל: הוא רק מתבונן ומודד את הקשר שבין מידת החשיפה לגורם מסוים לבין תוצאה בריאותית, כפי שהם מתרחשים מעצמם.	מתאים לשאלות ארוכות טווח.	אינו מוכיח סיבתיות.
— פרספקטיבי (Cohort study)	מתחילים בנקודה מסוימת וממשיכים הלאה בזמן.	רואים התפתחות מחלה לאורך זמן.	ארוך ויקר.
— רטרוספקטיבי (Case control)	מתחילים בנקודה מסוימת והולכים אחורה.	מהיר וזול.	הטיות זיכרון.
מחקר אפידמיולוגי	בודק הרגלי אכילה המאפיינים אוכלוסיות מסוימות ואת הקשר בינם לבין מצב בריאותי.	מראה קשרים באוכלוסיות גדולות.	אינו מהווה הוכחה לסיבתיות.
תיאורי מקרה	תיאור מפורט של מטופל אחד, או של קבוצה קטנה של מטופלים.	תצפיות כאלה משמשות לעיתים קרובות נקודת מוצא, שממנה מתפתחים מחקרים תצפיתיים או קליניים רחבים יותר.	לא ניתן לעשות להם ניתוח סטטיסטי; אינם מהווים בסיס להוכחה מדעית.

רמת הוכחה בסדר יורד



פירמידת רמות ההוכחה: משמאל (גבוה) לימין (נמוך).

EBM – Evidence Based Medicine

רפואה המבוססת על בסיס מדעי מהימן (שנבדק מחקרית). **המטרה:** להשתמש בידע הטוב ביותר שנמצא, באמצעות הערכה ביקורתית של המידע הקיים, כך שיהיה יישום של הגישה המדעית בפרקטיקה.

דגש קליני / טיפ לימודי

כנטרופתית תפגשי מטופלים שמגיעים עם "מחקר" מהאינטרנט. השאלה הראשונה היא תמיד: איזה סוג מחקר זה? מחקר תאים או חיות, או תיאור מקרה, אינם שקולים לניסוי קליני אקראי כפול סמיות. גם מחקר תצפיתי גדול מראה קשר ולא סיבה.

מגמות חדשות בתזונה (סקירה חלקית)

כמה מגמות תזונה פופולריות ראויות להתייחסות: **DAY 2, דיאטה קטוגנית, פליאו, צום לסירוגין ודיאטה ים-תיכונית**. בהמשך הפרק נבין את הבסיס הביוכימי של חלק מהן; למשל, הדיאטה הקטוגנית והצום מבוססים על ייצור גופי קטו מחומצות שומן במצב של מחסור בגלוקוז (ראו פרק המשנה על גופי קטו).

פיטוכימיקלים ו"חמשת הצבעים"

פיטוכימיקלים: כינוי למגוון רחב של חומרים פעילים שהצמח מייצר. הם אחראים לצבעו ולריחו ומסייעים לו להתגונן מפני מזיקים. רבים מהם פועלים בגופנו כנוגדי חמצון, כחומרים אנטי-קריצינוגניים או כפיטואסטרוגנים. מכאן ההמלצה לאכול ירקות ופירות בחמישה צבעים.

צבע	פיטוכימיקלים עיקריים	תרומה בריאותית
אדום	ליקופן, אנתוציאנינים, קרוטנואידים	תורם להגנה מפני סרטן ומפני מחלות לב וכלי דם.
סגול	אנתוציאנינים, בטאלאינים	האטת תהליכי הזדקנות, במיוחד הזדקנות המוח.
ירוק	לואטאין, כלורופיל	עוזר בהפחתת סיכון לסרטן; תורם לראייה תקינה ולחוזק העצם.
כתום	לואטאין, קרוטנואידים	תורם לפעילות תקינה של מערכת החיסון ויש לו חלק במניעת סרטן.
לבן	תרכובות גופרית ועוד	עוזר להילחם בחיידקים; במניעת דלקות ומחלות לב וכלי דם.

טריק לזכירה

"מתאם אינו סיבתיות" - דוגמת הגלידה והטביעות: בחודשי הקיץ עולה גם מכירת הגלידה וגם מספר מקרי הטביעה. מחקר תצפיתי ימצא קשר חזק, אבל הגלידה אינה גורמת לטביעה - משתנה שלישי (חום, יותר רחצה בים) גורם לשניהם. רק ניסוי אקראי, שבו החוקר קובע מי "נחשק", מנטרל משתנים מתערבים כאלה.

סדר הפירמידה - "נ.ל.א.מ.": ניסוי אקראי כפול סמיות ← ניסוי לא אקראי ← מחקר אפידמיולוגי ← תיאור מקרה. ככל שעולים בפירמידה - פחות הטיות, יותר ביטחון בסיבתיות.

מה אומר המחקר העדכני

הדיאטה הים-תיכונית, אחת ה"מגמות" שהוזכרו בפרק, היא גם דוגמה מצוינת לחשיבות האקראיות. בניסוי PREDIMED שובצו 7,447 מבוגרים בסיכון קרדיו-וסקולרי גבוה (ללא מחלת לב וכלי דם קיימת) לשלוש זרועות: תזונה ים-תיכונית עם תוספת שמן זית כתית מעולה, תזונה ים-תיכונית עם תוספת אגוזים, או דיאטת ביקורת דלת שומן. במעקב חציוני של 4.8 שנים, שיעור האירועים הקרדיו-וסקולריים הגדולים היה נמוך בכ-30% בזרועות הים-תיכוניות (0.69 HR לשמן זית ו-0.72 לאגוזים).

נקודה מתודולוגית חשובה: הפרסום המקורי משנת 2013 נמשך ופורסם מחדש ב-2018, לאחר שהתברר שבחלק מהאתרים השיבוץ לא היה אקראי לחלוטין. הניתוח המתוקן הראה תוצאות דומות. זו המחשה של העיקרון מסעיף רמות ההוכחה: איכות האקראיות היא שקובעת את מידת הביטחון במסקנה.

מקור: Estruch R, et al. Primary Prevention of Cardiovascular Disease with a Mediterranean Diet Supplemented with Extra-Virgin Olive Oil or Nuts. N Engl J Med, 2018 (תקציר: "American College of Cardiology, "Latest in Cardiology", יוני 2018)

מה אומר המחקר העדכני

ההמלצה "5 צבעים" נשענת בעיקר על מחקרים תצפיתיים גדולים. מטה-אנליזה של מחקרי עוקבה פרוספקטיביים מצאה שכל תוספת של 200 ג' פירות וירקות ביום קשורה בסיכון נמוך יותר ב-8% למחלות לב וכלי דם (RR 0.92), ב-3% לסרטן (RR 0.97) וב-10% לתמותה מכל סיבה (RR 0.90). ירידה בסיכון נצפתה עד צריכה של כ-800 ג' ליום (לסרטן – עד 600 ג').

שימי לב לרמת ההוכחה: אלו מחקרי עוקבה, כלומר הם מראים קשר ולא סיבה. החוקרים עצמם מציינים שהערכת 5.6–7.8 מיליון מקרי מוות מוקדם בעולם (2013) שאפשר לייחס לצריכה נמוכה תקפה רק "אם הקשרים סיבתיים".

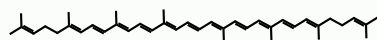
מקור: Aune D, Giovannucci E, Boffetta P, et al. Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Int J Epidemiol*, 2017;46(3):1029–1056

מה אומר המחקר העדכני

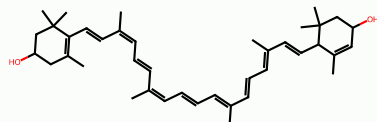
צום לסירוגין, מגמה פופולרית נוספת: סקירת-על (umbrella review) של 11 מטה-אנליזות של ניסויים אקראיים, שבדקה 104 תוצאים קליניים, מצאה ראיות באיכות בינונית-גבוהה לתועלת רק בשישה תוצאים – בעיקר משקל גוף, הרכב גוף וגורמי סיכון קרדיו-מטבוליים, ובעיקר באנשים עם עודף משקל או השמנה. לא נמצאה עדות לכך שצום לסירוגין עדיף מהותית על שיטות אחרות של הגבלה קלורית.

המשמעות לקליניקה: הצום הוא דרך אחת ליצור גירעון אנרגטי (ראו "מאזן האנרגיה"), ולא "קסם מטבולי".

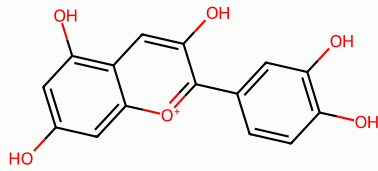
מקור: Patikorn C, et al. Intermittent Fasting and Obesity-Related Health Outcomes: An Umbrella Review of Meta-analyses of Randomized Clinical Trials. *JAMA Network Open*, 2021 (תקציר: ConscienHealth, דצמבר 2021)



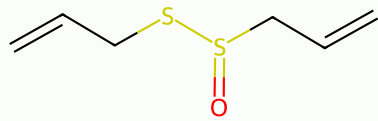
ליקופן (C₄₀H₅₆) – הפיגמנט האדום של העגבנייה והאבטיח. שרשרת ארוכה של קשרים כפולים מצומדים (פוליאן) היא שבולעת אור כחול-ירוק ולכן נראית אדומה, והיא גם זו שמאפשרת "לספוג" רדיקלים חופשיים – הבסיס לפעילות נוגדת החמצון. המולקולה שומנית לחלוטין (פחמימן ללא חמצן), ולכן נספגת טוב יותר עם מעט שמן ובבישול.



לוטאין (C₄₀H₅₆O₂) – קרוטנואיד ירוק-צהוב (עלים ירוקים, חלמון). שלד דומה לליקופן, אך עם טבעת וקבוצת OH בכל קצה (קסנטופיל). הוא מצטבר במקולה שברשתית – ומכאן הקשר המקובל בין "ירוק" לבין ראייה תקינה.



ציאנידין (יון פלביליום, $C_{15}H_{11}O_6$) – החלק הצבעוני (אגליקון) של אנתוציאנינים רבים בפירות סגולים-כחולים. שלוש טבעות ומספר קבוצות OH פנוליות: אלו "תופסות" רדיקלים, והמטען החיובי על החמצן שבטבעת האמצעית גורם לצבע להשתנות לפי ה-pH (אדום בחומצה, כחול-סגול בבסיס).



אליצין ($C_6H_{10}OS_2$) – תרכובת הגופרית של השום הכתוש, מייצגת את קבוצת ה"לבן" בחלוקת המזון לפי צבעים. הקשר S-S(=O) הלא יציב מגיב עם קבוצות SH בחלבונים חיידקים – מכאן הפעילות האנטי-בקטריאלית. נוצר רק כשהשום נחתך או נמעך (אנזים אליינאז פוגש את המצע אליאין).

מקרה קליני

מטופלת מגיעה נרגשת: "קראתי מחקר שתמצית צמח X הרגה תאי סרטן!" מתברר שמדובר בניסוי בתאים בתרבות.

שאלה: איך תסבירי לה את משמעות הממצא לפי רמות ההוכחה?

פתרון: מחקר מעבדה (תאים/חיות) מאפשר לחקור מנגנון, אך "לא תמיד ניתן להשליך לאדם": ריכוזים בתרבות אינם בהכרח ניתנים להשגה בגוף, ואין בו בדיקת ספיגה, פירוק ובטיחות. זה בסיס לשאלת מחקר – לא הוכחה. כדי להמליץ צריך ניסויים קליניים בבני אדם, ובראש הפירמידה ניסוי אקראי כפול סמיות.

תזונה מגדרית ומגמות השמנה ♀

הבדלים פיזיולוגיים ורפואיים

- מחלת לב בנשים מופיעה כ-10 שנים מאוחר יותר מאשר בגברים, ובצורה חמורה יותר.
- פירוק תרופות בכבד האישה איטי יותר.
- אספירין משפיע על נשים פחות מאשר על גברים.
- עודף משקל קשור לחוסר בשעות שינה.

הבדלים חברתיים

- באופן מסורתי הוטלה על האישה האחריות לכל מה שנוגע לאוכל בבית: הקניות, הבישול והאפייה, הגשת הארוחות ואירוח האורחים.
- נשים מפתחות פי 7-9 יותר בעיות אכילה מגברים.
- נשים חוששות יותר מהשמנה וסובלות יותר מבעיות דימוי גוף.
- התחום נתון כיום לשינויים גדולים.
- רוב הנשים מביעות כמיהה רבה יותר לפחמימות ולמתוקים, בעוד שגברים מעדיפים מנות בשר ומזון מבושל. נשאלת השאלה: האם הדבר קשור לרמות סרטונין?
- גברים משמינים יותר באזור הבטן, ונשים באזור הירכיים והישבן. האם מדובר ב"שריד אבולוציוני"? (נחזור לכך בהשמנת "תפוח" לעומת "אגס" בסעיף האנתרופומטריה.)

מנגנון פיזיולוגי / מחקרי

הקשר בין פחמימות לסרטונין, שהוצג לעיל כשאלה פתוחה, מוסבר בספרות כך: ארוחה עשירה בפחמימות מעלה אינסולין, שמכניס לשריר חומצות אמינו מסועפות ומשאיר את הטריפטופן בתחרות טובה יותר על מעבר מחסום דם-מוח; הטריפטופן הוא חומר המוצא לסרטונין (ראו בהמשך: טריפטופן ← סרטונין בסיכום מטבוליזם חומצות האמינו).

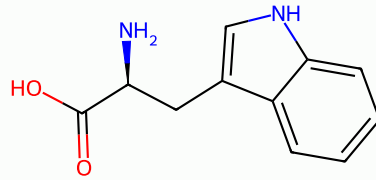
מגמות השמנה בארה"ב (BMI ≥ 30, BRFSS)

סדרת מפות של ה-CDC מראה את שיעור המבוגרים עם השמנה ($BMI \geq 30$) בכל מדינה בארה"ב לאורך השנים 1985-2008. ההתקדמות של קטגוריות המקרא ממחישה את המגפה:

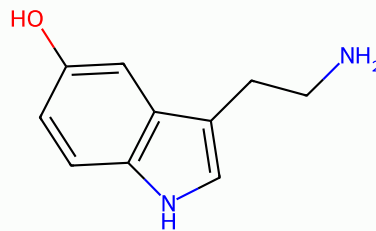
שנים	הקטגוריה הגבוהה ביותר שמופיעה במקרא
1990-1985	10%-14% (לצד $>10\%$)
1996-1991	15%-19%
2000-1997	$\leq 20\%$
2004-2001	20%-24%, $\leq 25\%$
2008-2005	25%-29%, $\leq 30\%$

דגש קליני / טיפ לימודי

בתוך כ-20 שנה עברה ארה"ב ממצב שבו באף מדינה לא היו יותר מ-14% מבוגרים עם השמנה, למצב שבו במדינות רבות 30% ויותר. מטבולית, כפי שנראה בסעיף "מאזן אנרגיה", ההשמנה היא תוצאה של עודף מצטבר קטן של אנרגיה הנאגרת כשומן.



טריפטופן ($C_{11}H_{12}N_2O_2$) – חומצת אמינו חיונית עם טבעת אינדול (שתי טבעות מאוחות, אחת עם חנקן). זה חומר המוצא לסרוטונין. הטריפטופן מתחרה עם חומצות אמינו גדולות אחרות (כמו לאוצין) על אותו נשא במחסום דם-מוח.



סרוטונין (5-הידרוקסיטריפטמין, $C_{10}H_{12}N_2O$) – נוצר מטריפטופן: נוספת קבוצת OH לטבעת ומוסרת הקבוצה הקרבוקסילית. השוואת שני המבנים מראה כמה שינויים קטנים הופכים חומצת אמינו מהמזון למוליך עצבי – וזה הבסיס לשאלה על קשר בין כמיהה לפחמימות לבין סרוטונין.



ההשערה (הרחבה) מאחורי השאלה "האם הכמיהה לפחמימות קשורה לסרוטונין?" – שרשרת מהמזון למוח. זו השערה מנגנונית; השאלה עצמה נותרת פתוחה.

🧠 טריק לזכירה

תפוח מול אגס: גבר = "תפוח" – השומן מתרכז בבטן (סביב האיברים, שומן ויסצרלי, מסוכן יותר). אישה = "אגס" – השומן בירכיים ובישבן (תת-עורי, פחות מסוכן). דמייני תפוח שהחלק העבה שלו באמצע, ואגס שהחלק העבה שלו למטה.

"פי 7-9" = שבוע-תשע: נשים מפתחות פי 7-9 יותר הפרעות אכילה מגברים.

✅ בדקי את עצמך

1. בכמה שנים מאוחר יותר מופיעה מחלת לב בנשים לעומת גברים, ובאיזו חומרה? (תשובה: כ-10 שנים מאוחר יותר, ובצורה חמורה יותר)
2. מה הקשר בין שינה למשקל? (תשובה: עודף משקל קשור לחוסר בשעות שינה)
3. מה הייתה הקטגוריה הגבוהה ביותר במפות BRFSS ב-2005-2008? (תשובה: $\leq 30\%$ מבוגרים עם $BMI \geq 30$)

⚡ אנרגיה: הגדרות, יחידות ותרמודינמיקה

השאלות המרכזיות בנושא האנרגיה: מהי אנרגיה? מאיפה היא מגיעה? היכן היא נאצרת בגוף? מהי התרומה האנרגטית של רכיבי המזון? איך מודדים אנרגיה? מהם צורכי האנרגיה? ומהו הרכב הגוף ואופן מדידתו? בסעיף זה נעסוק בהגדרות ובתרמודינמיקה, ובסעיפים הבאים בגלגול האנרגיה בתא ובצרכים.

הגדרה

אנרגיה = היכולת לבצע עבודה (או לייצר חום). זהו הבסיס לקיום גופנו, והגוף מפיק אנרגיה על ידי "שריפת" (חמצון) חומרי תזונה. האנרגיה יכולה להופיע בצורות שונות:

צורת אנרגיה	מקור	דוגמה בגוף
אנרגיה פוטנציאלית	נובעת ממיקום (גובה)	מפל ריכוזים של יוני H^+ משני צידי הממברנה הפנימית של המיטוכונדריה
אנרגיה קינטית	נובעת מתנועה	התכווצות שריר, תנועת מולקולות
אנרגיה חשמלית	נובעת מזרימה של חלקיקים טעונים	דחף עצבי, זרימת אלקטרונים בשרשרת הנשימה
אנרגיה כימית	אגורה בקשרים הכימיים	הקשרים בגלוקוז, בחומצות שומן וב-ATP
אנרגיית חום	תוצר לוואי של כל המרה	שמירה על חום הגוף, תרמוגנזה

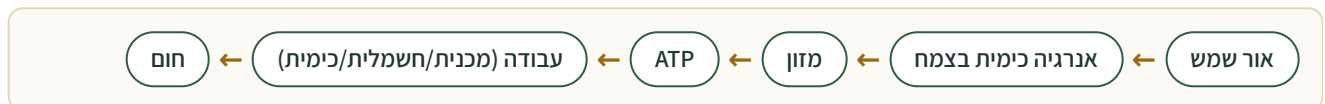
יחידות מדידה

- **ג'אול (J)** – יחידת האנרגיה הבסיסית במערכת SI; ג'אול אחד הוא העבודה הנעשית כאשר כוח של ניוטון אחד מזיז גוף (למשל ק"ג אחד) לאורך מטר אחד.
- **קלוריה (cal)** – יחידת מידה לחום ולאנרגיה: כמות אנרגיית החום הדרושה כדי להעלות את הטמפרטורה של גרם אחד של מים במעלת צלזיוס אחת (מ-15 ל-16 מעלות).
- **קילו-קלוריה (kcal)** = 1,000 קלוריות – היחידה המקובלת למדידת אנרגיה של מזון ("קלוריות" על תווית המזון הן למעשה קק"ל).

15 ← 16°C טווח הטמפרטורה בהגדרת הקלוריה	1 קק"ל = 1000 קל' יחידת האנרגיה של מזון	1 קל' = 4.18 J המרת קלוריה לג'אול
---	---	---

חוק שימור האנרגיה וגלגולי אנרגיה

אנרגיה אף פעם **לא נוצרת ולא נעלמת** – "אין יש מאין" – היא רק משנה את צורתה מסוג אנרגיה אחד לסוג אחר. בגוף זה מתבטא ב"גלגולי אנרגיה": אנרגיית השמש נאגרת בצמח כאנרגיה כימית (פחמימות), עוברת אלינו במזון, מומרת ב-ATP, ומשם לעבודה מכנית, חשמלית, כימית (בנייה), ובסוף לחום.



גלגולי אנרגיה – המחשה של חוק שימור האנרגיה.

האנרגיה החופשית של גיבס (G) ו-ΔG

האנרגיה שבמערכת או בתרכובת כימית נקראת "**האנרגיה החופשית של גיבס**" – **G**, כלומר האנרגיה האצורה בקשרים הכימיים שבין האטומים. **השינוי באנרגיה החופשית – ΔG** – מספק מידע שימושי על **הספונטניות** של תהליך כימי: האם יתרחש גם ללא תוספת אנרגיה. בהתאם, תגובות כימיות יכולות להיות משני סוגים: