

הפיזיולוגיה של המאמץ

מהלכה למעשה



— שחר ניס —

פרק 2.4

חומרי הדלק

למסלולי אספקת

האנרגיה

**התזונה כוללת את אבות המזון הבאים המשמשים
לבנייה ולשימור של תאים ורקמות בגוף ומהווים דלק
מטבולי לייצור ATP :**

- **חלבונים**
- **שומנים**
- **פחמימות**
- **ויטמינים**
- **מינרלים**

ויטמינים

- חומרים אורגניים הנחוצים לגוף האדם להבטחת פעילות מטבולית, לתפקוד מערכות, ליצירת הורמונים, לפעילות אנזימים ועוד.
- מחסור בוויטמינים עלול לשבש את מהלכם התקין של תהליכים שונים.
- הגוף אינו מסוגל לייצר בעצמו את הוויטמינים. המקור הבלעדי לאספקתם הוא המזון.
- הוויטמינים נחלקים לשתי קבוצות:
- ויטמינים מסיסים בשומן (A, D, E, K)
- ויטמינים מקבוצת B וויטמין C המסיסים במים

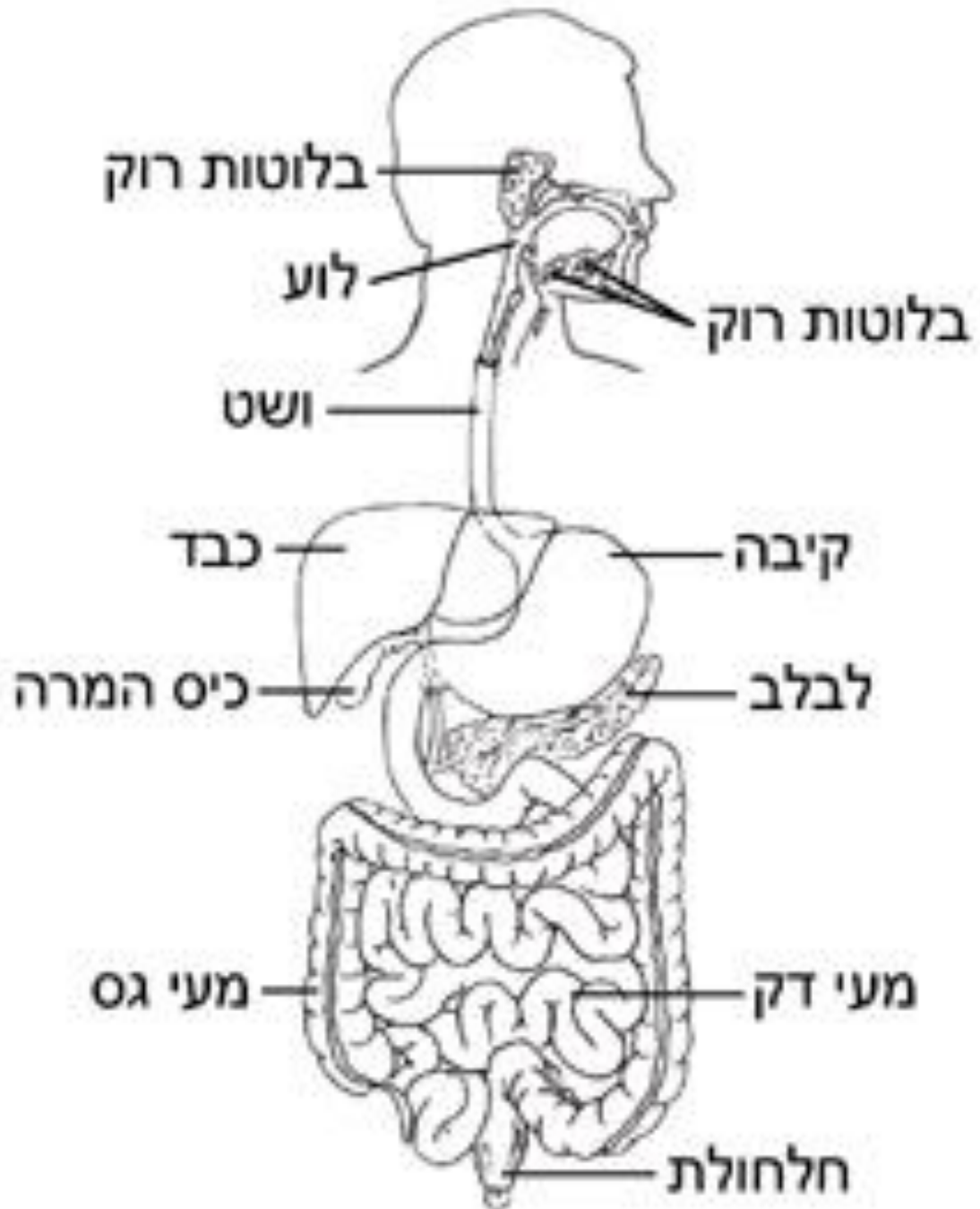
מינרלים

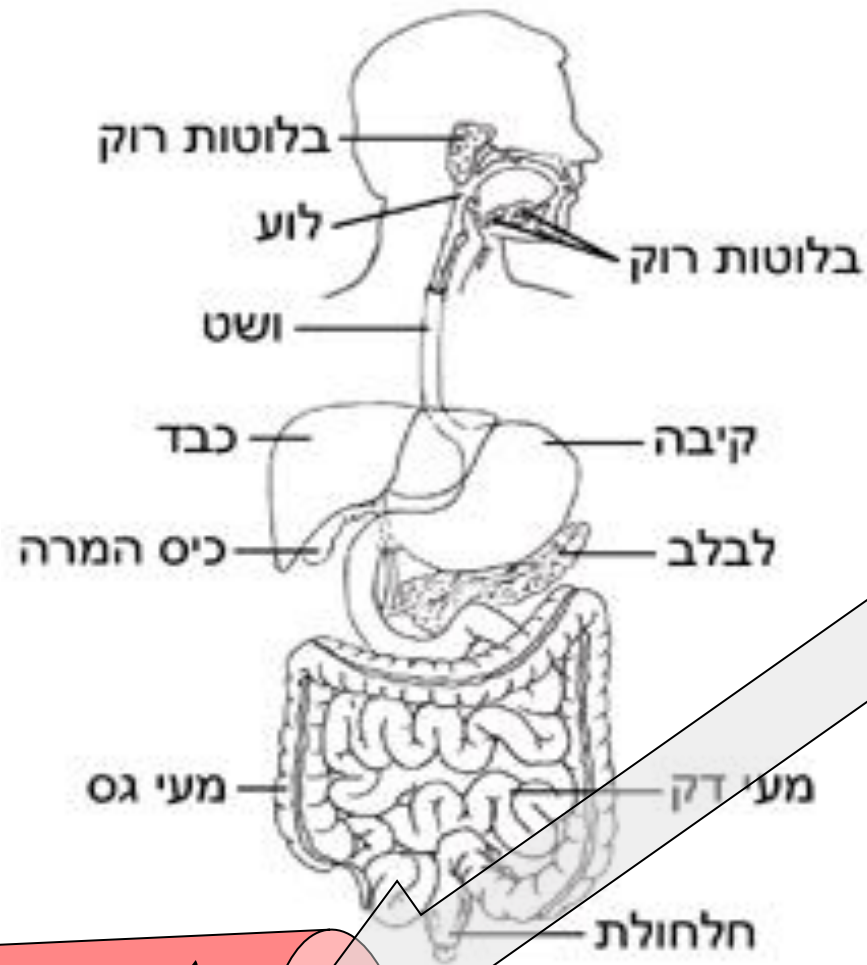
- יסודות (אטומים) בעלי תפקידי מפתח בגוף.
- משתתפים בבניית השלד, השיניים, העור, השיער, תאי הדם האדומים, איזון משק המים ועוד.
- בין המינרלים החשובים: אשלגן, נתרן, סידן, זרחן, כרום, אבץ, מגנזיום, ברזל ויוד.
- רמות הצריכה של המינרלים נקבעו בקצובה מומלצת המתעדכנת מדי מספר שנים.

הפעולות הבאות המתרחשות במערכת

העיכול מאפשרות את קליטת המזון לגוף:

- הובלה - תנועת המזון בצינור העיכול עקב התנועתיות שיוצרת הדופן השרירית.
- הפרשה - הפרשת נוזלים ממיסים ואנזימים מפרקים לתוך צינור העיכול המסייעים לפעולות ההובלה והעיכול.
- פירוק (עיכול) - פירוק המזון ליחידות קטנות.
- ספיגה - העברת יחידות המזון הקטנות מחלל המעי אל מחזור הדם, המוביל אותן לתאים.





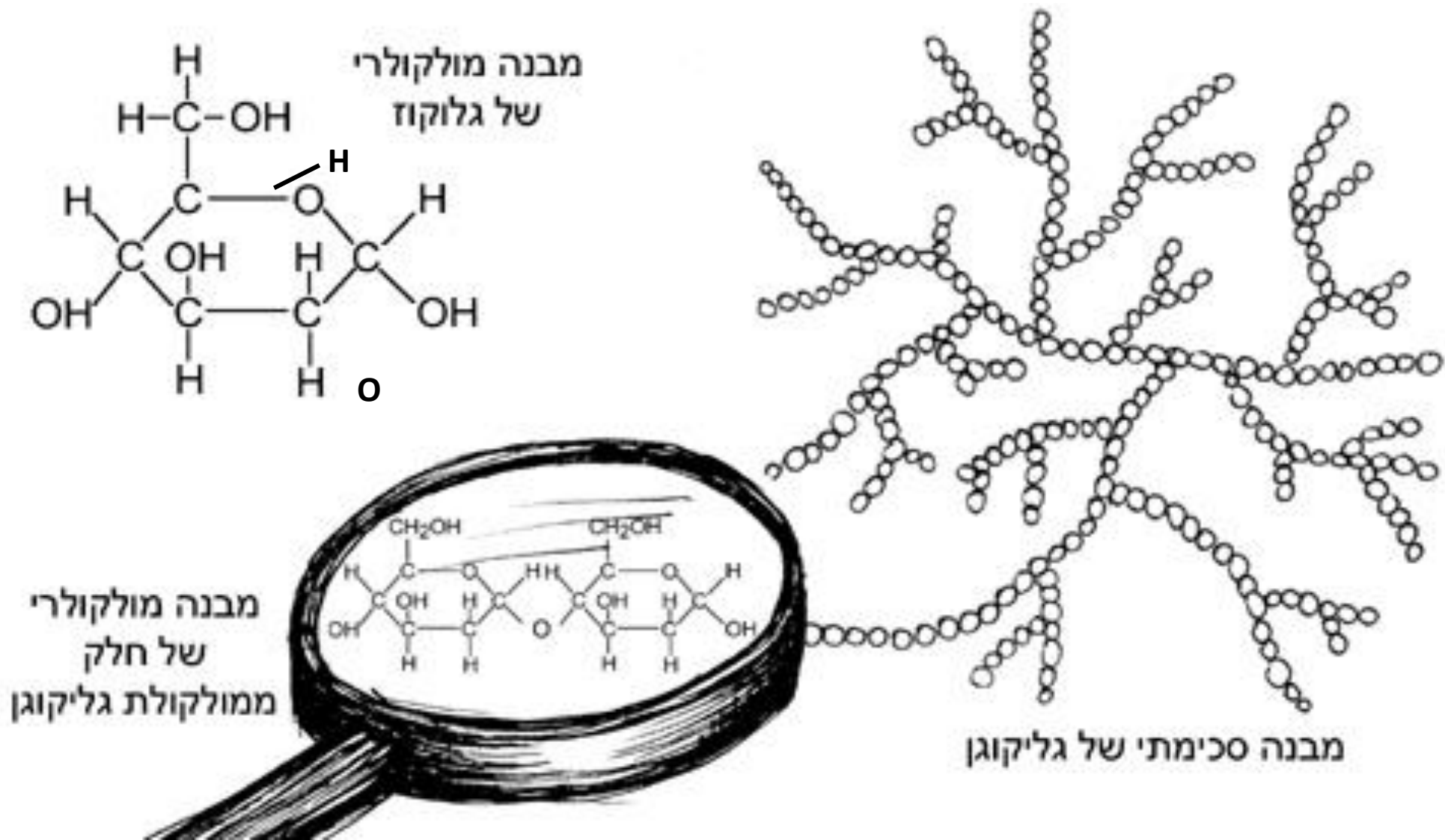
חטיף בריאות		
זריקת אנרגיה מהנה וטעימה להתחלת היום		
בחטיף – 20 גר'	ב – 100 גר'	סימון תזונתי
77	382	אנרגיה (קלוריות)
0.8	4	חלבונים (גרם)
12	60	סה"כ פחמימות (גרם)
1.6	8	סיבים תזונתיים (גרם)
2.8	14	שומנים (גרם)
0.9	4.5	שומן רווי (גרם)
75	375	נתרן (מ"ג)

**הדלקים המטבוליים נספגים
למערכת הדם לאחר שעברו
תהליך של פירוק לאבני-היסוד**

**גלוקוז
חומצות שומן + גליצרול
חומצות אמיניות**

הפחמימות כדלק מטבולי

- יחידת המבנה הבסיסית של הפחמימות היא CH_2O
- תפקידן העיקרי של הפחמימות הוא לספק אנרגיה (4.1 קלוריות/גרם פחמימה)
- הפחמימות מצויות בעיקר במזונות שמקורם בצומח
- הפחמימות מופיעות במזון בשלוש צורות:
 - חד-סוכר - מולקולה הכוללת 6 אטומי פחמן, 6 אטומי חמצן ו- 12 אטומי מימן. גלוקוז הוא חד-סוכר.
 - דו-סוכר - תצמיד של שני חד-סוכר.
 - רב-סוכר - שרשראות ענק של אלפי מולקולות של גלוקוז המחוברות יחד. עמילן - חומר התשמורת העיקרי בצמחים. גליקוגן - חומר תשמורת באדם ובבעלי חיים.
- כל הפחמימות שנצרכות במזון הופכות בגוף לגלוקוז. בגוף הפחמימות יכולות להימצא כגלוקוז בזרם הדם או כגליקוגן, בכבד ובשרירים.



מבנה הגלוקוז (C₆H₁₂O₆) והגליקוגן

תגובה גליקמית

- מהירות העלייה ורמת השיא של הגלוקוז בדם בעקבות אכילת פחמימות.
- מדד (אינדקס) גליקמי - מדד לתגובה הגליקמית. משקף את השינוי ברמת הגלוקוז בדם בפרק זמן של שעתיים לאחר צריכת מנת מזון מסוימת, המכילה 50 גרם פחמימות, בהשוואה לעלייה ברמת הגלוקוז לאחר צריכת 50 גרם גלוקוז נקי. המדד הגליקמי של הגלוקוז הנקי מוגדר כ- 100%.
- הפחמימות מסווגות ל- 3 דרגות של מדד גליקמי:
 - פחמימות בעלות מדד גליקמי גבוה (מעל 70) - דבש, לחם מחיטה מלאה, אורז לבן
 - פחמימות בעלות מדד גליקמי בינוני (בין 40 ל- 70) - תירס, בננות, צימוקים
 - פחמימות בעלות מדד גליקמי נמוך (עד 40) - פסטה, מוצרי חלב, עדשים

גלוקוז בדם

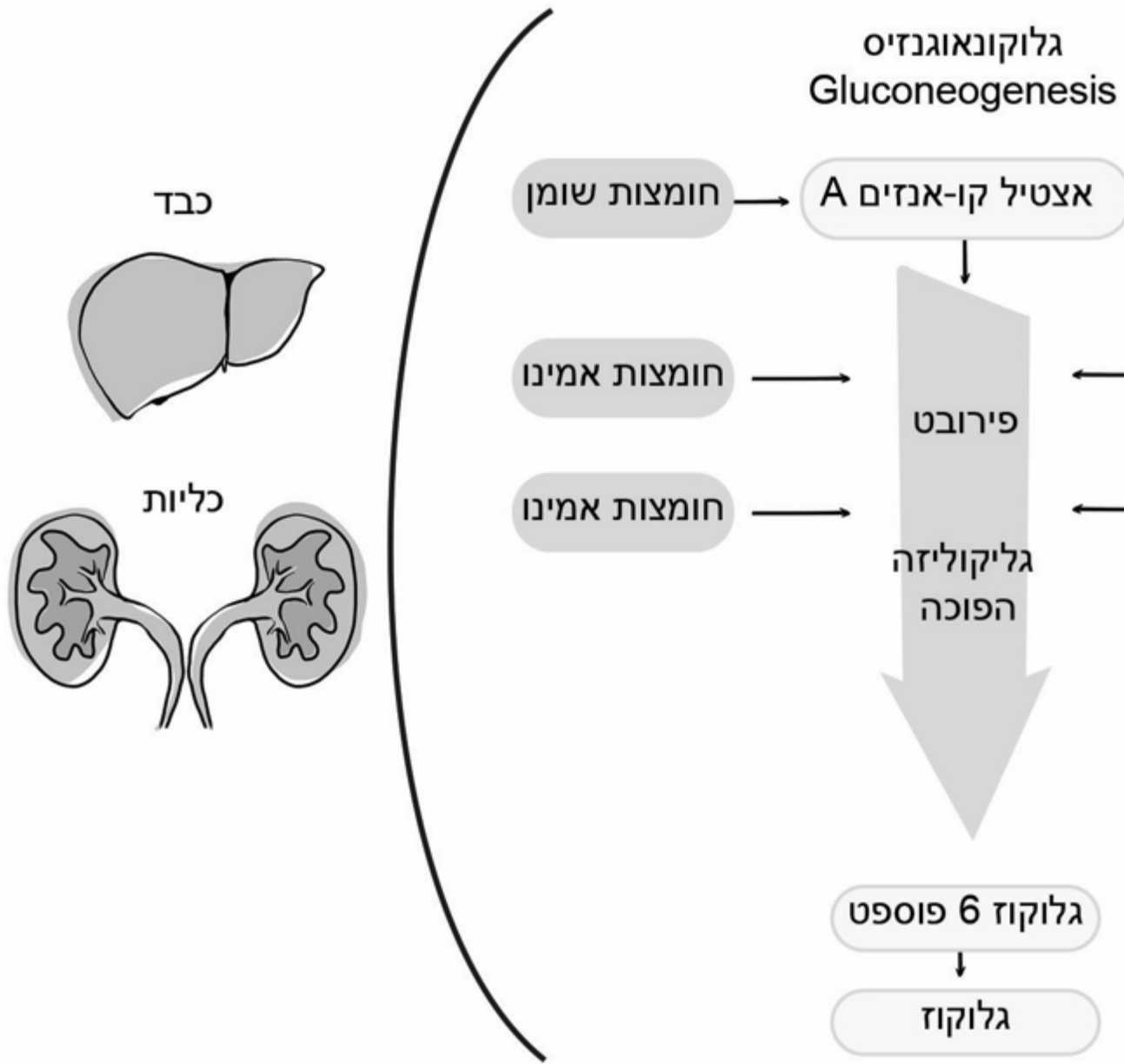
- רמת הגלוקוז 80 - 120 מ"ג/100 מ"ל דם. מערכת הדם הכוללת כ - 5 ל' דם (4 - 6 גר' גלוקוז).
- גלוקוז מהווה מקור אנרגיה עיקרי למוח ולמערכת העצבים, לתאי הדם האדומים ולתאי ליבת יותרת הכליה. שמירה על רמה תקינה שלו בדם חיונית להומאוסטזיס.
- היפוגליקמיה - ירידה ברמת הגלוקוז בדם אל מתחת לסף התחתון של טווח הנורמה. תגרום סחרחורת, חולשה, תחושת רעב, עצבנות, רעד, דופק מהיר, הזעה מרובה, חיוורון ובלבול. במקרים קיצוניים ניתן להגיע לאיבוד הכרה ולמוות.
- היפרגליקמיה - רמת גלוקוז בדם בצום הגבוהה מ- 126 מ"ג/100 מ"ל דם מוגדרת כמחלת סוכרת.
- רמת הגלוקוז בדם תלויה בכמות הפחמימות בתזונה ובאינדקס הגליקמי שלהן. היא מווסתת על-ידי הכבד, שמאחסן כ- 100 גר' גליקוגן.
- כאשר מחסני הפחמימות (גליקוגן בכבד וגליקוגן בשריר) מלאים, יהפוך עודף הגלוקוז שמגיע בתזונה לשומן ברקמת השומן.

גלוקונאוגנזה - "גליקוליזה הפוכה"

ייצור גלוקוז בכבד ובכליות. מתרכבות שאינן פחמימות:

- חומצות אמינו שמקורן בפירוק החלבונים בשרירים
- לקטט שמקורו במטבוליזם האנאירובי-לקטי בשרירים ובתאי הדם האדומים
- גליצרול שמקורו בטריגליצרידים שברקמת השומן.

התהליך חיוני לשמירת רמת גלוקוז בדם לטובת תאים ורקמות שהגלוקוז הוא מקור האנרגיה הבלעדי שלהם.



גליקוגן בשריר

- משמש באופן ישיר כדלק מטבולי.
- כל גרם גליקוגן נאגר יחד עם 2.7 גרם מים. מעט יותר מקלוריה אחת לכל גרם מאוחסן.
- כמות הגליקוגן נטו (ללא מים), הנאגרת בשריר אצל לא-ספורטאים, כ- 15 גרם לכל ק"ג שריר. לגבר במשקל 70 ק"ג יש כ- 28 ק"ג שרירים (40% ממשקל הגוף), סך כל הגליקוגן בשרירים הוא כ- 420 גרם.
- הגליקוגן שבשריר אינו יכול להעלות באופן ישיר את רמת הגלוקוז בדם.

גלוקוז כמקור אנרגיה - סיכום

• גלוקוז בדם: 24 קלוריות (120 מג"/100 מ"ל דם, 6 גרם/5 ליטר דם * 4 קל"/גר')

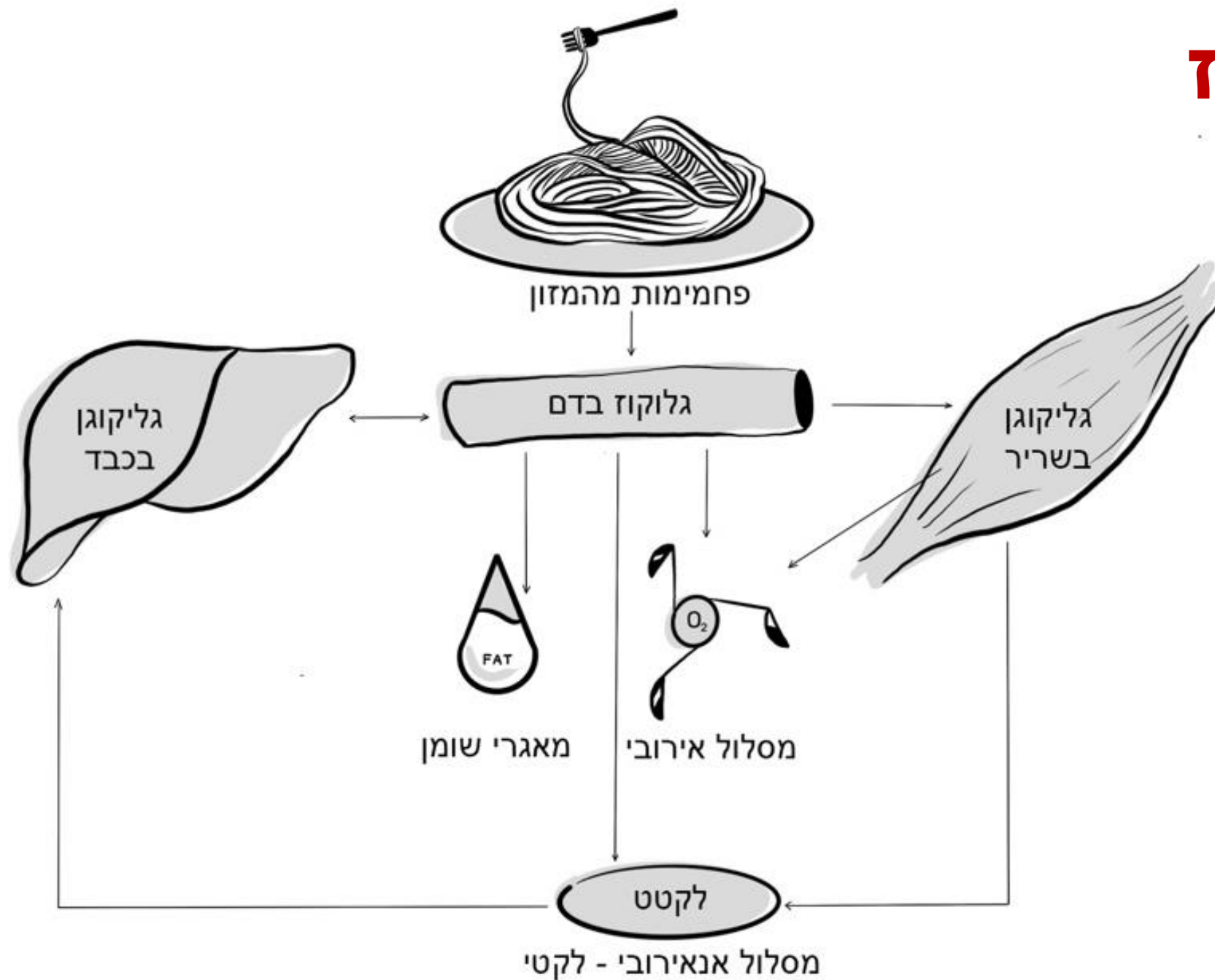
• נוזל בין תאי: 56 קלוריות (14 גר' * 4 קל"/גר')

• גליקוגן בכבד: 400 קלוריות (100 גר' * 4 קל"/גר')

• גליקוגן בשריר: 1680 קלוריות (28 ק"ג * 15 גר'/ק"ג * 4 קל"/גר')

סה"כ: כ- 2,200 קלוריות

מסלולי הגלוקוז בגוף האדם



הלקטט כדלק מטבולי

- לקטט שנוצר בגליקוליזה האנאירובית בסרקופלזמה של סיב שריר יכול להיות מנוצל על ידי המיטוכונדריה של אותו הסיב ולהתפרק בתהליך האירובי.
- לקטט שנוצר בסיב שריר מסוים יכול לעבור לסיב שריר סמוך ושם להיות מנוצל כדלק מטבולי בתהליך האירובי.
- לקטט יכול לעבור באמצעות זרם הדם לשרירים ולאברים אחרים (לב, כבד וכיליה) ושם להיות מנוצל על ידי התאים כדלק מטבולי במסלול האירובי.
- חלק מהלקטט מועבר לכבד באמצעות זרם הדם ושם הופך לגלוקוז בתהליך גלוקונאוגנזה שנקרא מעגל קורי.
- שימוש בלקטט כדלק מטבולי מהווה כ- 65% מפינוי הלקטט בזמן מאמץ. 35% הנותרים עוברים גלוקונאוגנזה במעגל קורי.

השומנים כדלק מטבולי

השומנים בגוף האדם מחולקים לקבוצות הבאות:

סטרואידים - כוללים את הכולסטרול ונגזרותיו. הכולסטרול מהווה מרכיב יסוד של הורמונים,

מלחי מרה, קרומי תאים ועוד. הכולסטרול נישא בדם באחת משתי הצורות:

- **ליפופרוטאינים בעלי צפיפות נמוכה - LDL (Low Density Lipoprotein)** - סוג של

כולסטרול הנוטה לשקוע בדפנות כלי הדם ולגרום להיצרותם עד כדי סתימתם המוחלטת, ולכן

נקרא "הכולסטרול הרע".

- **ליפופרוטאינים בעלי צפיפות גבוהה - HDL (High Density Lipoprotein)** - סוג של כולסטרול

המונע את שקיעת ה"כולסטרול הרע" בכלי הדם על-ידי נשיאתו לכבד וסילוקו באמצעות מיצי

המרה, ולכן נקרא "הכולסטרול הטוב".

חומצות שומן (חופשיות)

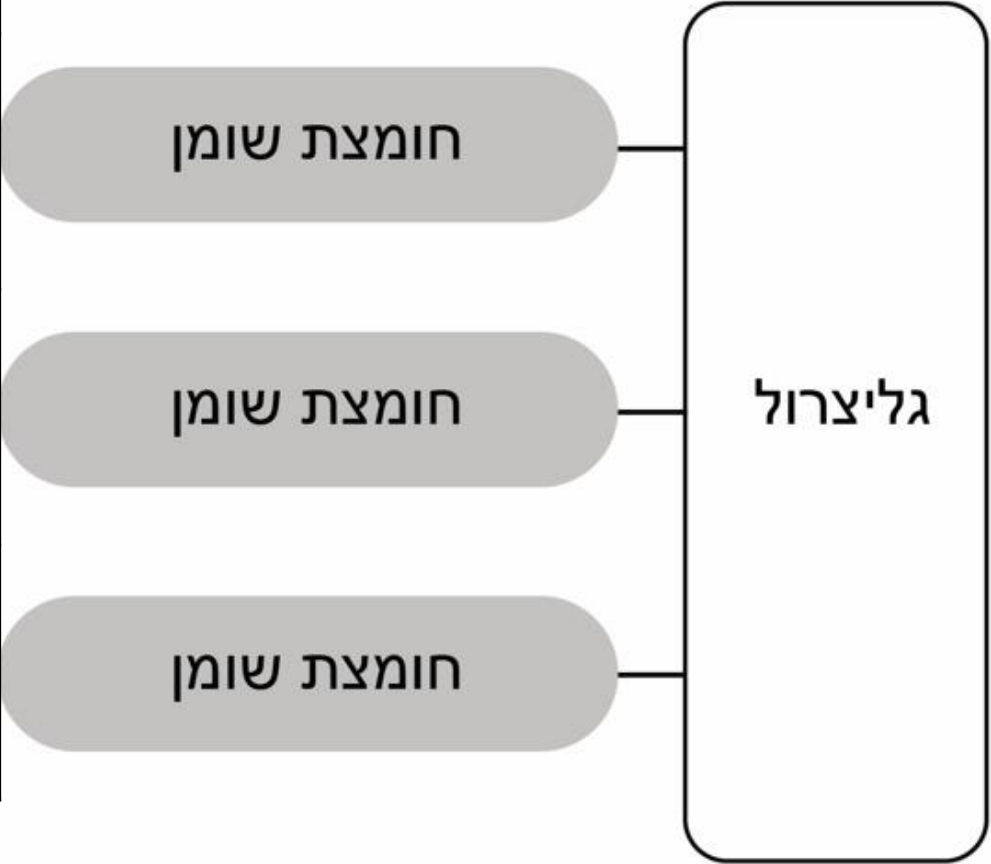
- מורכבות משרשרת של אטומי פחמן, קשורות בדרך כלל לגליצרול (טריגליצרידים) או לתרכובות כגון כולסטרול ושומנים מורכבים.
- מבחינים ב- 4 סוגים של חומצות שומן:
 - חומצות שומן רוויות
 - חומצות שומן חד-בלתי-רוויות
 - חומצות שומן רב-בלתי-רוויות - בקבוצה זו נכללות גם חומצות שומן מסוג אומגה 3 ואומגה 6. צריכת אומגה 3 קשורה לירידה בסיכון לחלות במחלות לב וכלי דם..
 - חומצות שומן טרנס - מקורו בתהליך התעשייתי של עיבוד המזון, שבו מקשים שומן צמחי שנמצא במצב צבירה נוזלי בטמפרטורת החדר. הקשיית השומן מאפשרת הארכת חיי המדף של המזון ושימוש נוח יותר בתהליכי הבישול והאפייה. שומן טרנס המיוצר בתעשייה נחשב לשומן המזיק ביותר לבריאות (פי 2 מצריכת שומן רווי).
 - החומצה הלנולאית והחומצה הלינולנית נקראות חומצות שומן חיוניות, מאחר שאינן מיוצרות בגוף וחייבות להתקבל ממקור מזון.

טריגליצרידים

- מוכרים במונח העממי "שומן". מהווים את המרכיב השומני העיקרי במזון.
- הטריגליצרידים מורכבים מגליצרול ו- 3 חומצת שומן.
- סוג ח. השומן השלטת בטריגליצרידים הוא שמסוג את השומן לרווי או בלתי-רווי.
- השומן הרווי מעלה את רמות הכולסטרול הכללי בדם ואת רמות ה-LDL המגבירים את הסיכון להתפתחות מחלות לב וכלי דם.
- שומן חד-בלתי-רווי גורם לירידה ברמות ה-LDL ואינו פוגע ברמות ה-HDL.
- השומן הרב-בלתי-רווי גורם להורדת רמת הכולסטרול הכללי ורמת ה-LDL, אך גם להורדת רמת ה-HDL.

טריגליצריד

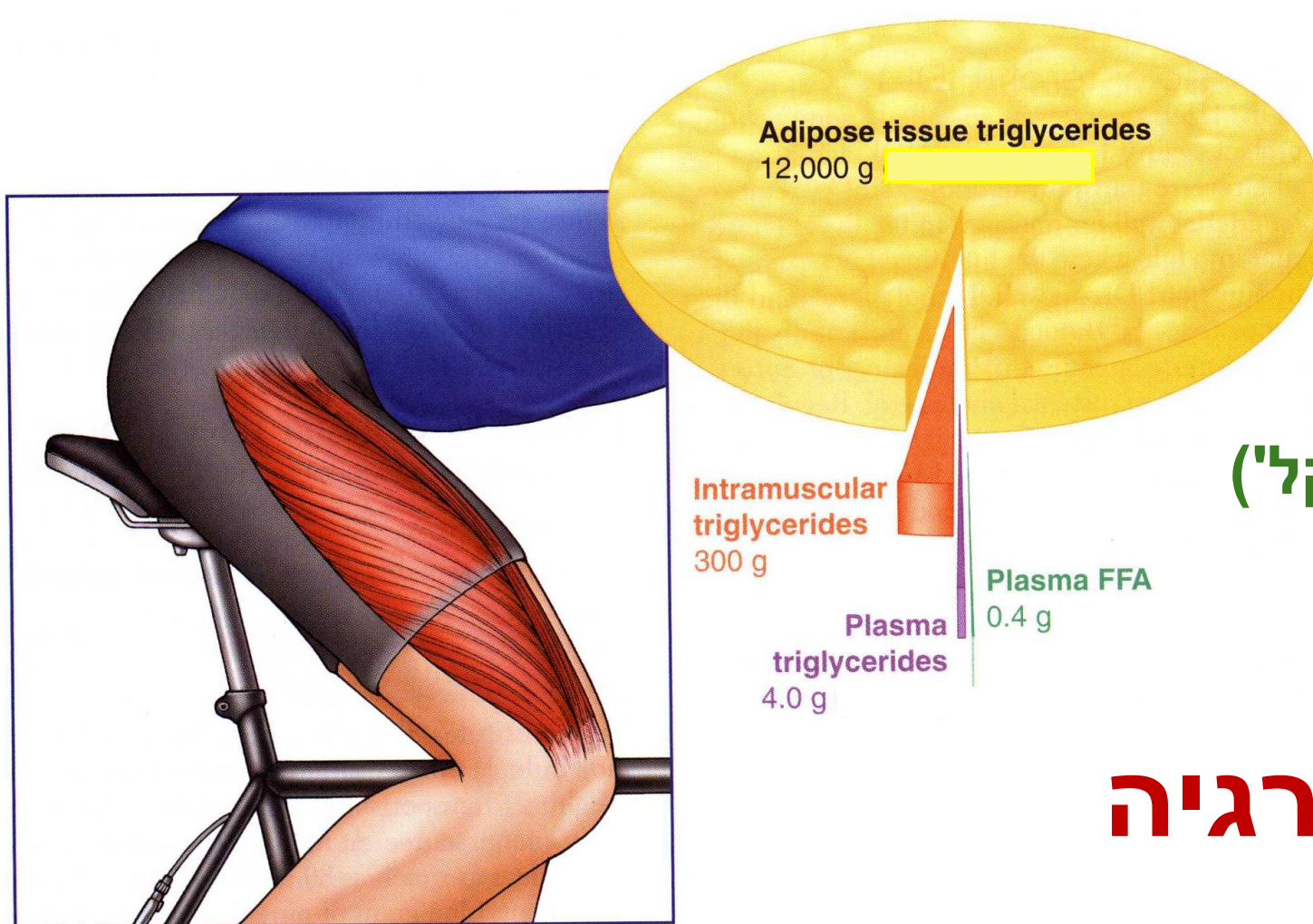
שומן רב בלתי רווי	שומן חד בלתי רווי	שומן רווי
ח. שומן רוויה	ח. שומן רוויה	ח. שומן רוויה
ח.שומן רב בלתי רוויה	ח.שומן חד בלתי רוויה	ח.שומן חד בלתי רוויה
ח.שומן רב בלתי רוויה	ח.שומן חד בלתי רוויה	ח. שומן רוויה



שומנים מורכבים

כוללים את הפוספוליפידים והגליקוליפידים שמהווים מרכיב בקרומי התאים, ואת הליפופרוטאינים שמסייעים בנשיאת השומנים בסביבה המימית של הדם.

- חומצות השומן המאוחסנות ברקמת השומן כטריגליצרידים הן מאגר האנרגיה הגדול ביותר של הגוף.
- גרם חומצת שומן נקי מכיל אנרגיה בשיעור של 9.4 קלוריות.
- מכל גרם חומצת שומן בצורתה המאוחסנת ניתן להפיק כ- 7 קלוריות.

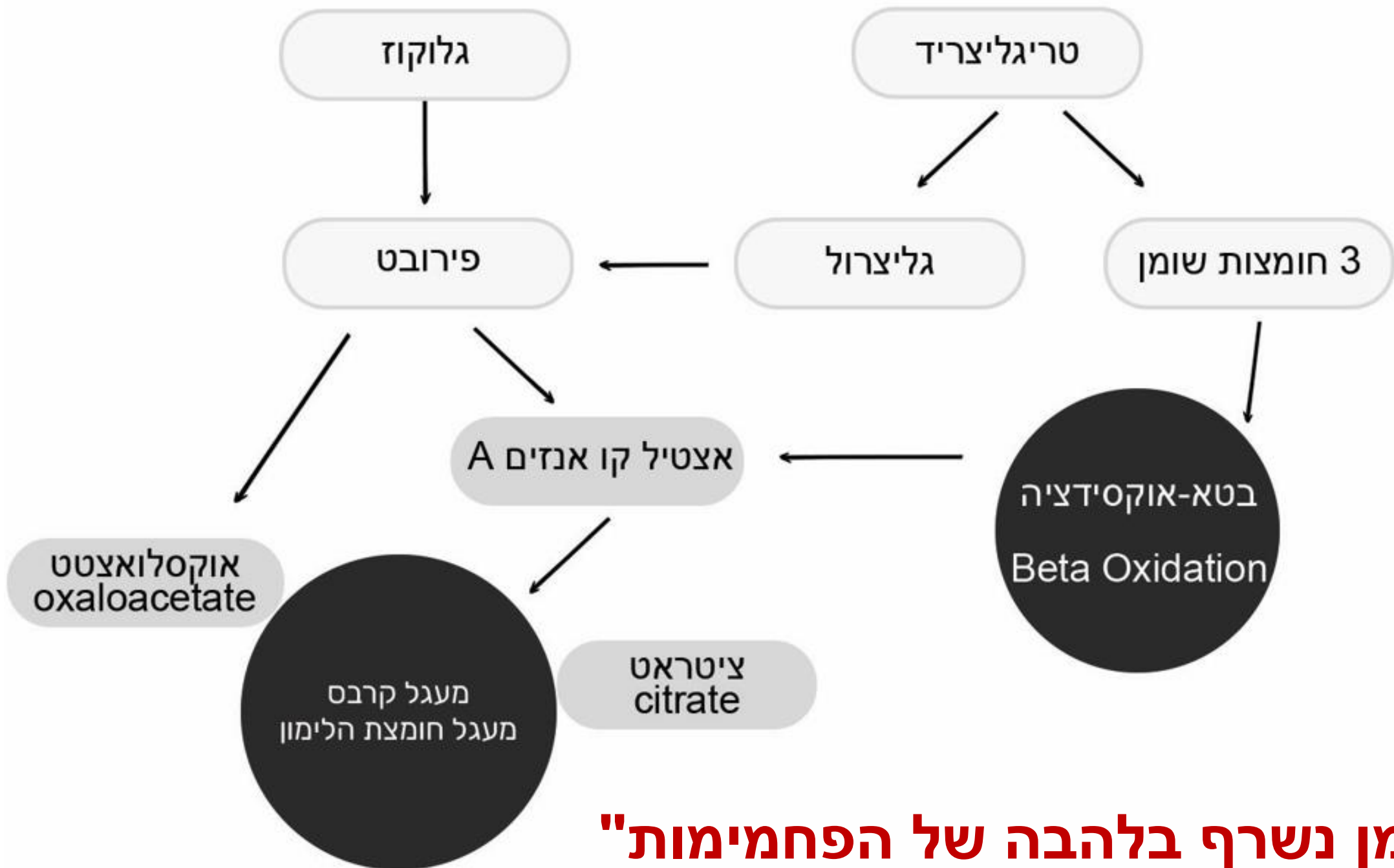


משקל הספורטאי 80 ק"ג

% שומן - 15% (12 ק"ג שומן)

84,000 קלוריות (12,000 גר' * 7 קל')

השומנים כמקור אנרגיה



"השומן נשרף בלהבה של הפחמימות"

$(3 * 147) + 19 = \text{ATP } 460$ טריגליצריד

147 ATP

חומצת שומן 18 C

147 ATP

חומצת שומן 18 C

147 ATP

חומצת שומן 18 C

גליצרול

19 ATP

החלבונים כדלק מטבולי

- החלבון מהווה בממוצע 12% - 15% ממסת הגוף ו- 20% - 25% ממסת השרירים.
- חלק מהחלבונים מבניים כמו בשרירים, בגידים ובעצמות. אחרים חלבונים תפקודיים כמו הורמונים, אנזימים ונוגדנים.
- החלבון בנוי מחומצות אמיניות. קיימות 20 חומצות אמיניות מתוכן תשע חיוניות שהגוף אינו יכול לייצרן בעצמו וחייב לקבלן במזון.
- איכות החלבון נקבעת על-פי הסוג והכמות של החומצות האמיניות החיוניות הנמצאות בו ומבוטאת על ידי מדד הנקרא הערך הביולוגי של חלבון. חלבון המכיל את כל החומצות האמיניות החיוניות בכמות הדרושה לאדם, יהיה בעל ערך ביולוגי 100. הערך הביולוגי של ביצה הוא 96 ושל חלב - 89.

החומצות האמינו (חלבון) אינן מהוות דלק מטבולי שכיח. הן ישמשו

כדלק למסלול האירובי בארבעת המצבים המיוחדים הבאים:

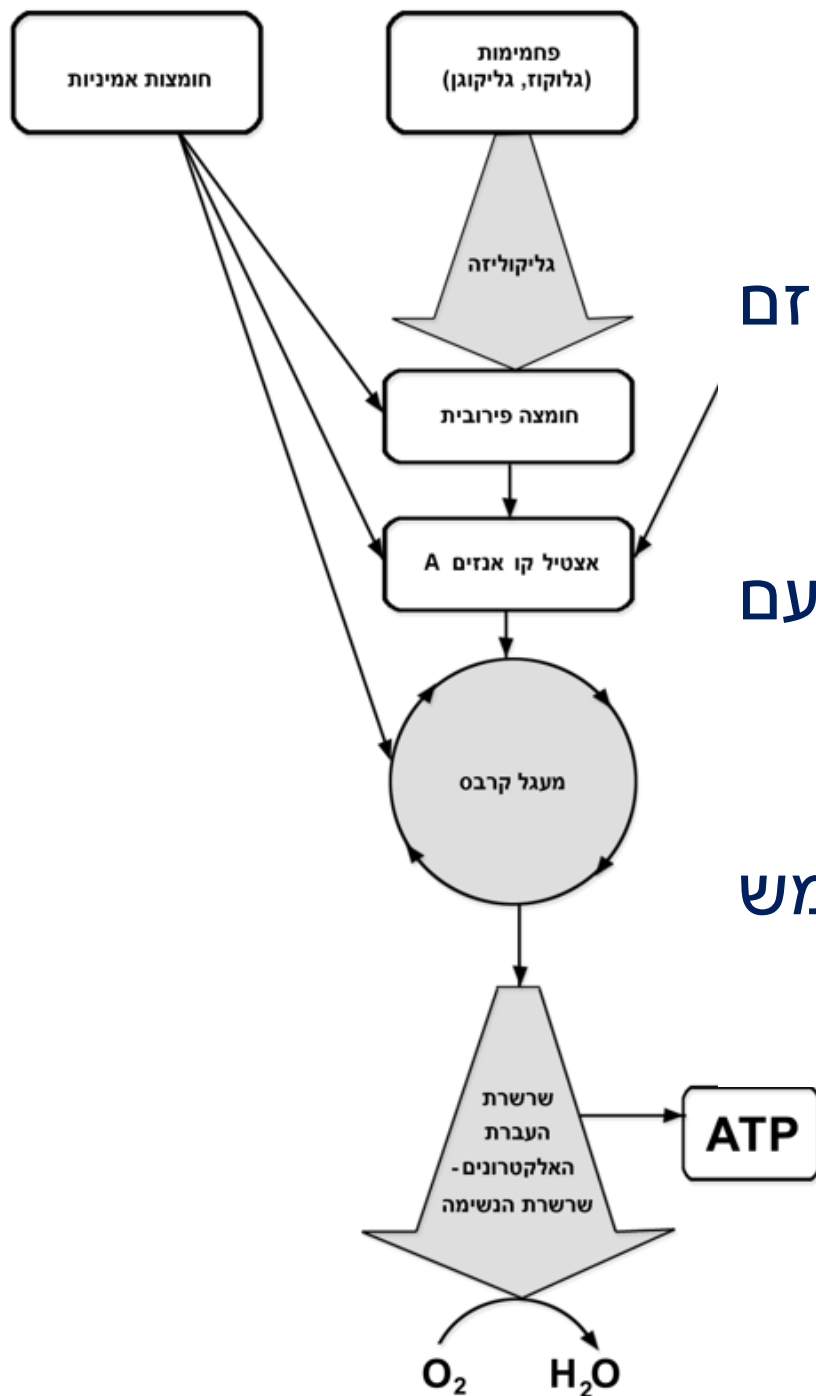
- כאשר ניזונים מדיאטה עשירה בחלבונים ויש עודף חומצות אמיניות ורמה נמוכה יחסית של גלוקוז וחומצות שומן.
- בצום ממושך מאוד (למעלה משבועיים) הגוף מפרק את חלבוני השריר לצורך הפקת אנרגיה.
- במאמצים גופניים ממושכים ועצימים עד כ- 10% מהאנרגיה מקורה בפירוק חלבון.
- כאשר יש פגם בהפרשת אינסולין ו/או בקולטנים לאינסולין הגורמים להפחתה ואף להפסקה של קליטת גלוקוז בתאים.

החלבונים במטבוליזם האירובי

• מכל גרם של חומצה אמינית ניתן להפיק במטבוליזם האירובי כ- 4.3 קלוריות.

• תהליך הפקת האנרגיה מחומצה אמינית לאחר תגובה עם חומצה פירובית נקרא מעגל גלוקוז-אלנין.

• חומצות אמינו יכולות להפוך גם לחומצות שומן ולשמש כדלק מטבולי.

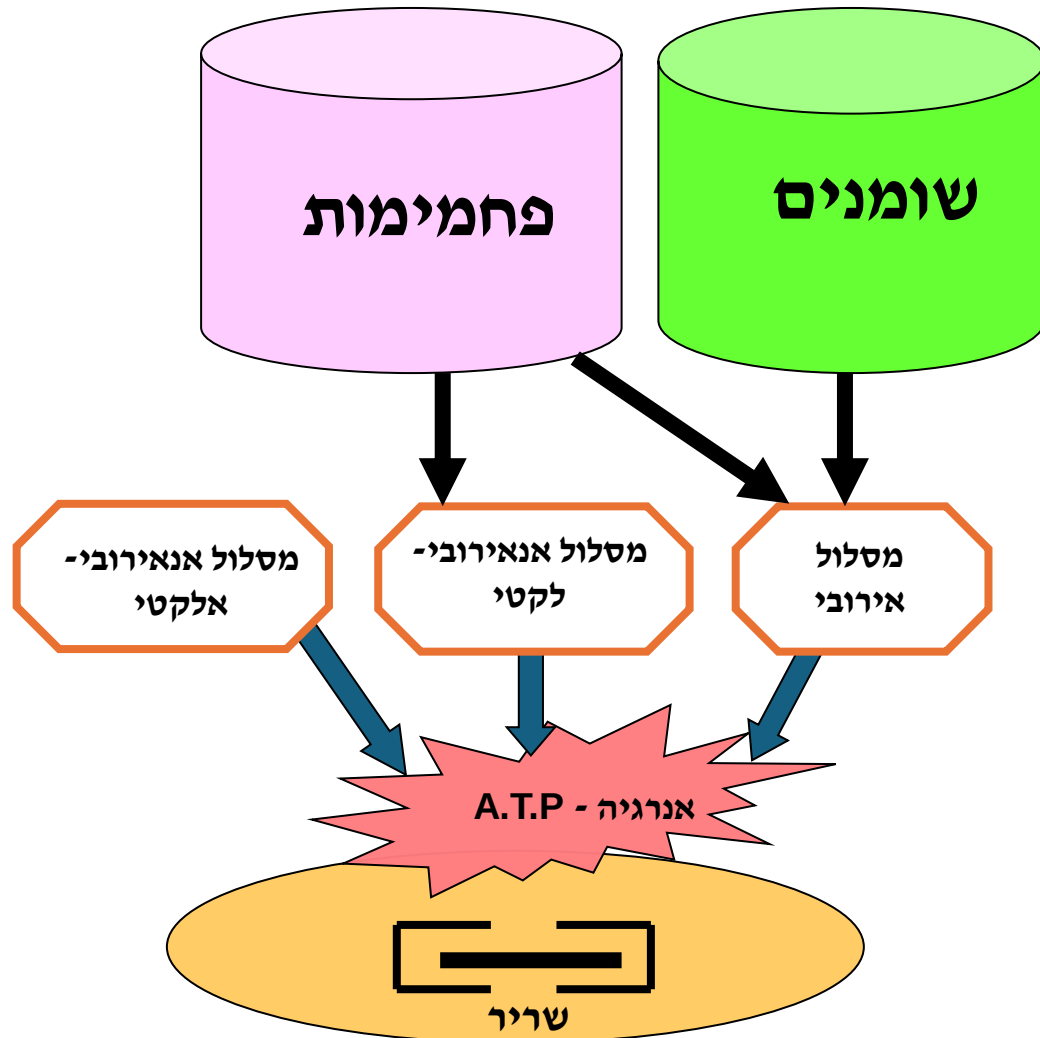




מעגל גלוקוז-אלנין

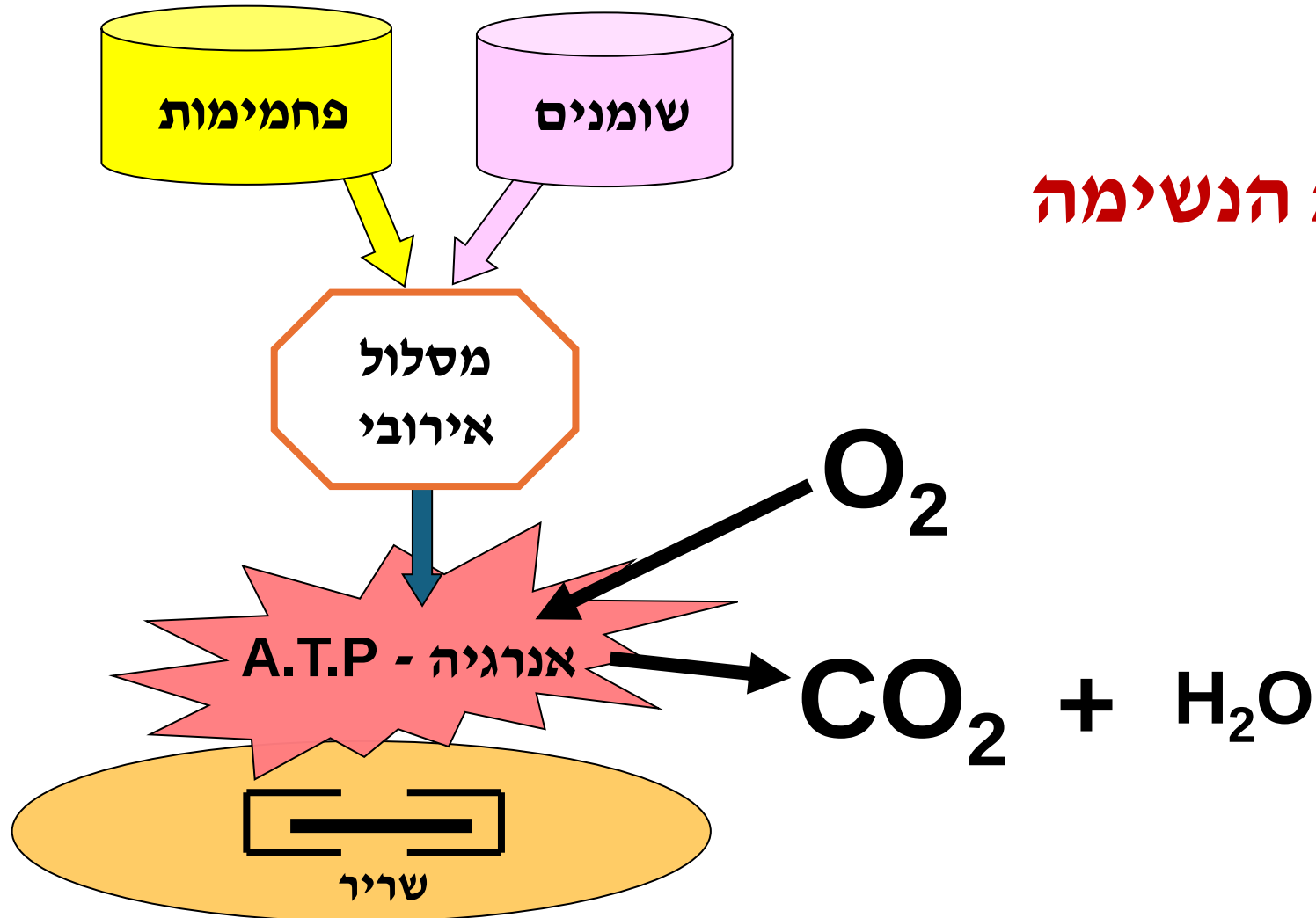
דלקים מטבוליים למסלול האירובי

איך יודעים את הרכב הדלק?



מסלול אירובי

דלק מטבולי (פחמימות/שומנים) + O_2 ← $ATP + CO_2$ + מים



$$\text{מנת הנשימה} = \frac{CO_2}{O_2}$$

$$\text{מנת הנשימה} = \frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$$



$$\text{מנת הנשימה} = 1 \quad (6/6)$$



$$\text{מנת הנשימה} = 0.7 \quad (18/26)$$

מנת הנשימה והרכב הדלק המטבולי התואם

התרומה היחסית באחוזים של הדלקים המטבוליים לצורך הפקת ה- ATP		מנת הנשימה VCO_2 / VO_2
שומנים	פחמימות	
100%	0%	0.70
83%	17%	0.75
67%	33%	0.80
50%	50%	0.85
33%	67%	0.90
17%	83%	0.95
0%	100%	1.00

מנת הנשימה, הרכב הדלק המטבולי התואם ושווי הערך הקלורי

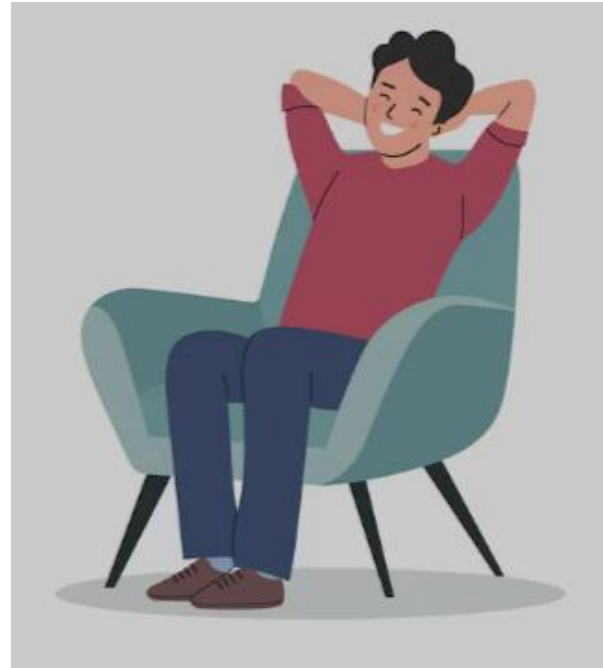
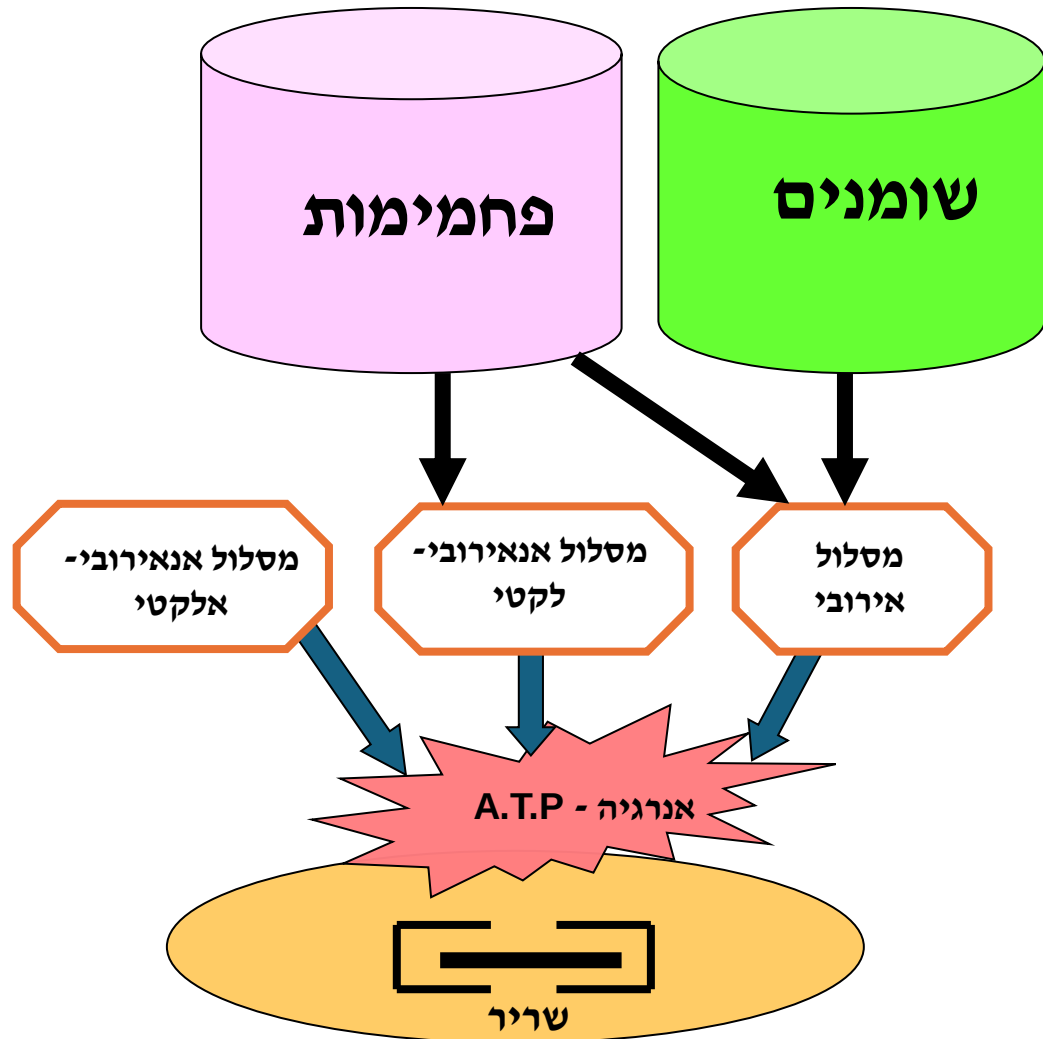
שווי הערך הקלורי (קל"/ליטר חמצן)	הרכב הדלק המטבולי (גרם/ליטר חמצן)		הרכב הדלק המטבולי (אחוזים)		מנת הנשימה $\text{VCO}_2 / \text{VO}_2$
	שומנים	פחמימות	שומנים	פחמימות	
4.686	0.496	0.000	100.0	0.0	0.707
4.690	0.491	0.012	98.9	1.1	0.71
4.702	0.476	0.051	95.2	4.8	0.72
4.714	0.460	0.090	91.6	8.4	0.73
4.727	0.444	0.130	88.0	12.0	0.74
4.739	0.428	0.170	84.4	15.6	0.75
4.750	0.412	0.211	80.8	19.2	0.76
4.764	0.396	0.250	77.2	22.8	0.77
4.776	0.380	0.290	73.7	26.3	0.78
4.788	0.363	0.330	70.1	29.9	0.79
4.801	0.347	0.371	66.6	33.4	0.80
4.813	0.330	0.413	63.1	36.9	0.81
4.825	0.313	0.454	59.7	40.3	0.82
4.838	0.297	0.496	56.2	43.8	0.83
4.850	0.280	0.537	52.8	47.2	0.84
4.862	0.263	0.579	49.3	50.7	0.85

מנת הנשימה, הרכב הדלק המטבולי התואם ושוי הערך הקלורי

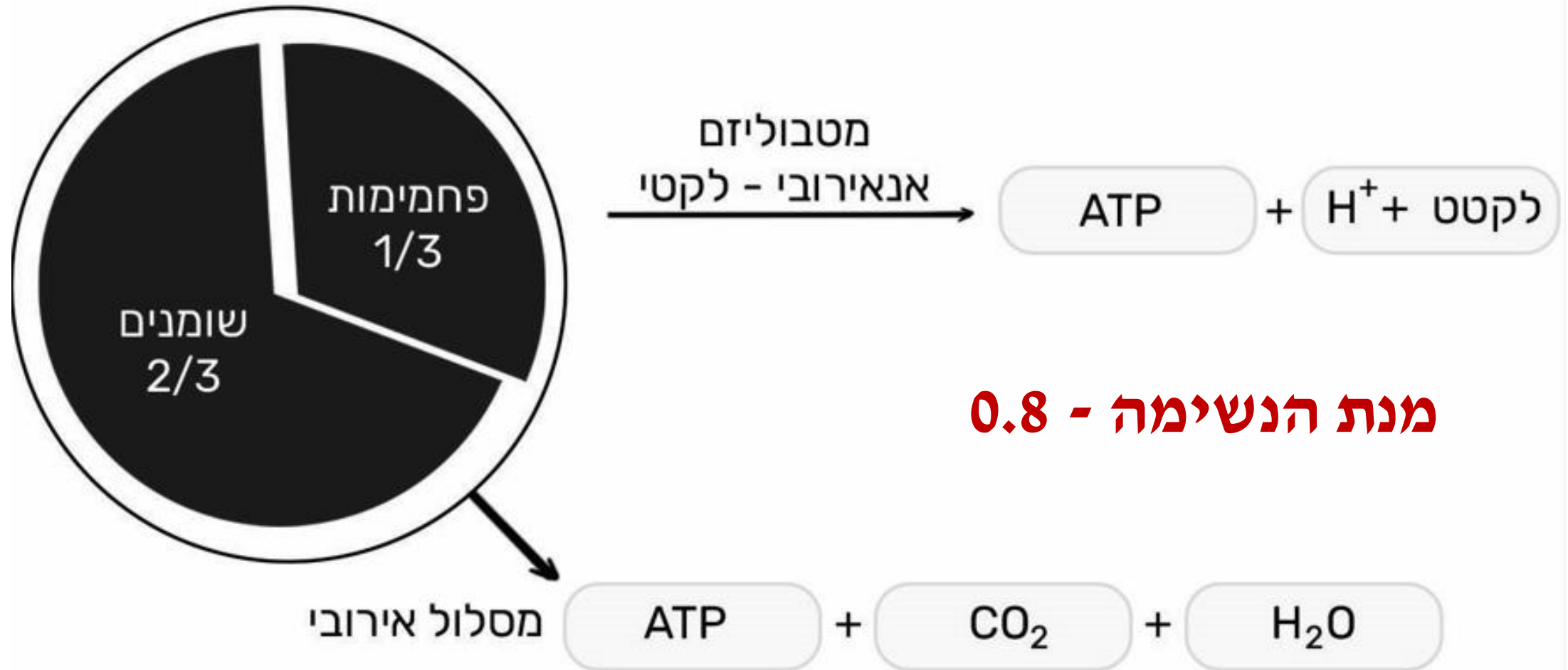
שוי הערך הקלורי (קל"/ליטר חמצן)	הרכב הדלק המטבולי (גרם/1ליטר חמצן)		הרכב הדלק המטבולי (אחוזים)		מנת הנשימה VCO ₂ / VO ₂
	שומנים	פחמימות	שומנים	פחמימות	
4.875	0.247	0.621	45.9	54.1	0.86
4.887	0.230	0.663	42.5	57.5	0.87
4.899	0.213	0.705	39.2	60.8	0.88
4.911	0.195	0.749	35.8	64.2	0.89
4.924	0.178	0.791	32.5	67.5	0.90
4.936	0.160	0.834	29.2	70.8	0.91
4.948	0.143	0.877	25.9	74.1	0.92
4.961	0.125	0.921	22.6	77.4	0.93
4.973	0.108	0.964	19.3	80.7	0.94
4.985	0.090	1.008	16.0	84.0	0.95
4.998	0.072	1.052	12.8	87.2	0.96
5.010	0.054	1.097	9.6	90.4	0.97
5.022	0.036	1.142	6.4	93.6	0.98
5.035	0.018	1.186	3.2	96.8	0.99
5.047	0.000	1.231	0.0	100.0	1.00

דלקים מטבוליים למסלול האירובי

מה הרכב הדלק במנוחה?



הרכב הדלק המטבולי במנוחה

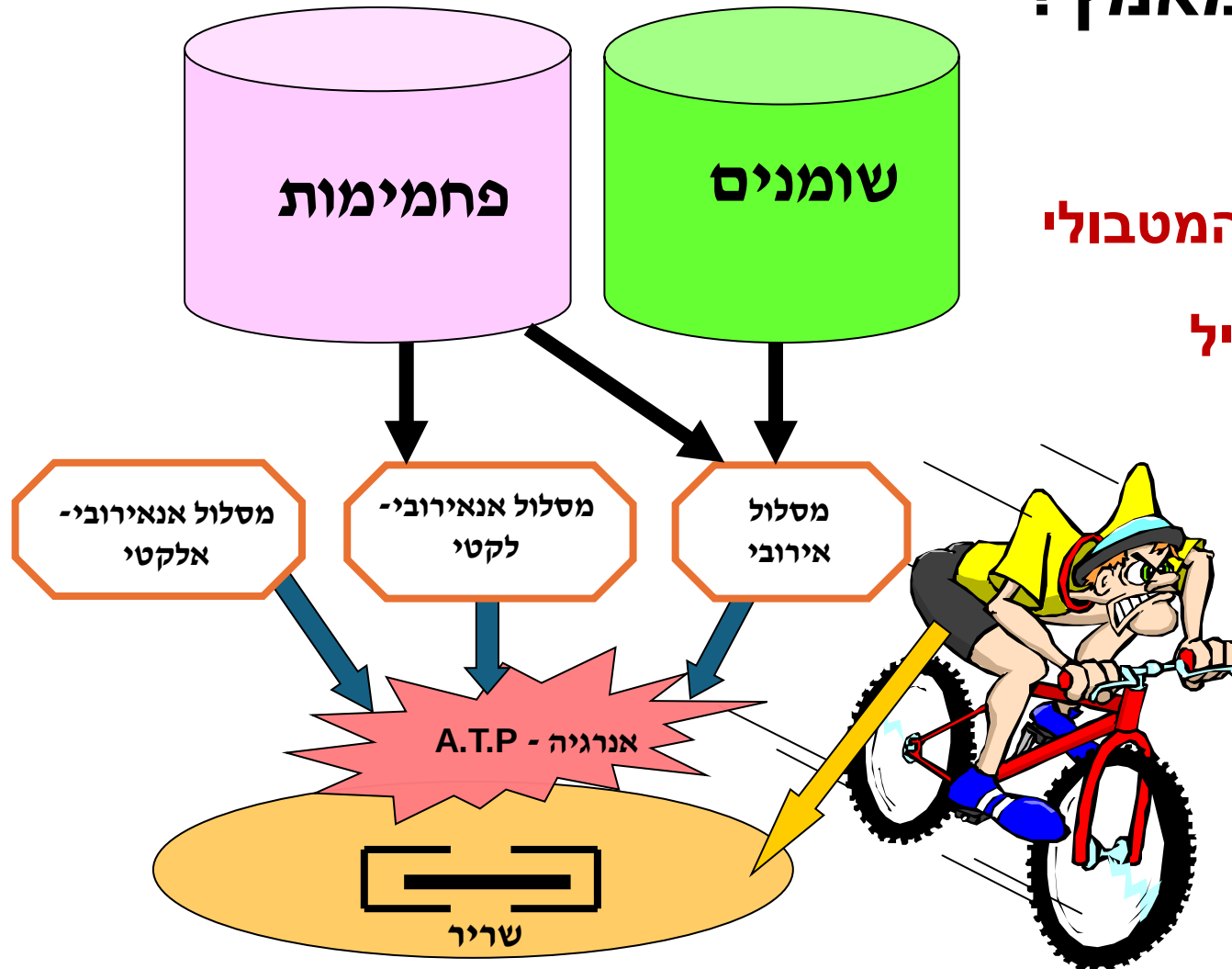


מנת הנשימה - 0.8

דלקים מטבוליים למסלול האירובי

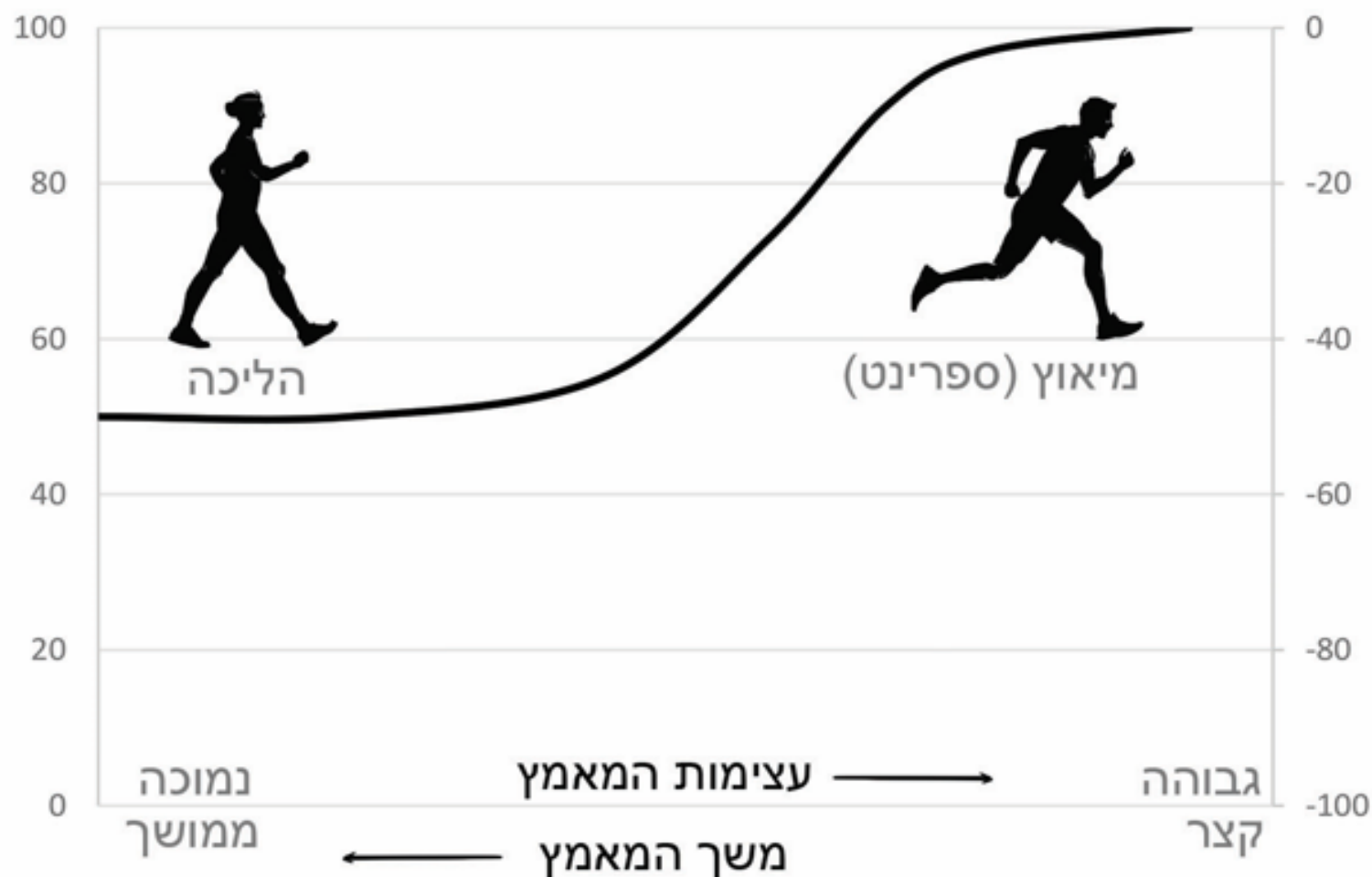
מה קובע את הרכב הדלק בעת מאמץ?

- עצימות ומשך המאמץ
- התזונה של האדם הפעיל/זמינות הדלק המטבולי
- רמת הסבולת הממושכת של האדם הפעיל



הרכב הדלק במאמץ מדורג

חלקן היחסי (%) של הפחמימות בהרכב הדלק המטבולי

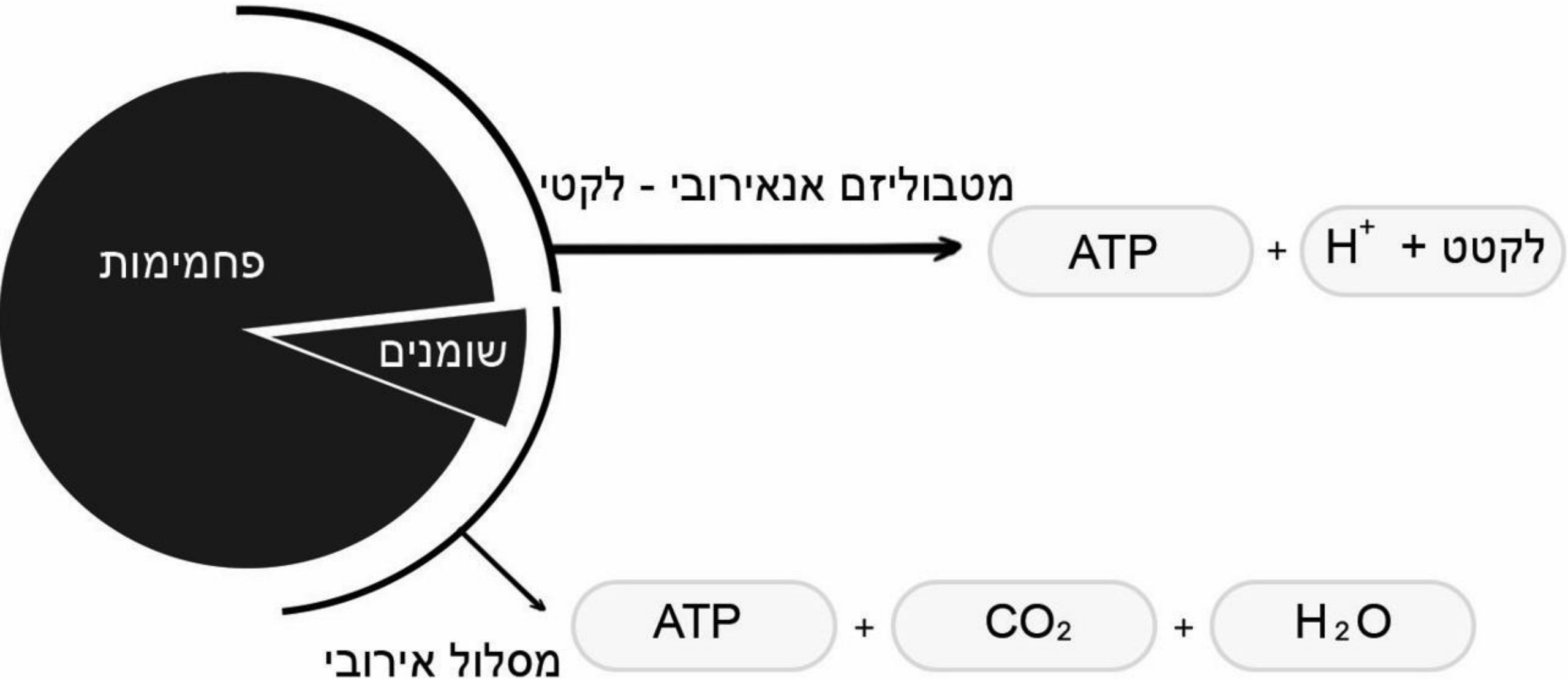


חלקם היחסי (%) של השומנים בהרכב הדלק המטבולי

העלייה בחלקן היחסי של הפחמימות בהרכב הדלק המטבולי עם התגברות עצימות המאמץ נובעת מ:

- ההספק האנרגטי של המסלול האירובי גדול יותר כאשר הוא מפרק פחמימות. עם העלייה בעצימות המאמץ עולה גם ההספק אנרגטי, ולכן המטבוליזם האירובי נוטה יותר לכיוון הפחמימות.
- במאמצים עצימים הולכת וגוברת תרומתו של המסלול האנאירובי-לקטי באספקת האנרגיה לתאי השריר המעורבים. הדלק הבלעדי של מסלול זה הוא הפחמימות.
- המעורבות של המטבוליזם האנאירובי-לקטי במאמץ עצים מעלה את החומציות ופוגעת בתפקודו של האנזים ליפאז. ירידה בפעילות האנזים מפחיתה את הניוד של חומצות השומן מרקמת השומן ואת זמינותן לתאי השריר.
- במאמץ עצים חלה עלייה בזרימת הדם לשרירים הפועלים וירידה בזרימת הדם לאיברים שאינם פעילים, וביניהם רקמת השומן. הקטנת זרימת הדם לרקמת השומן מפחיתה את יכולת הניוד של חומצות השומן מרקמת השומן לרקמת השריר ואת השימוש בהן כדלק מטבולי.

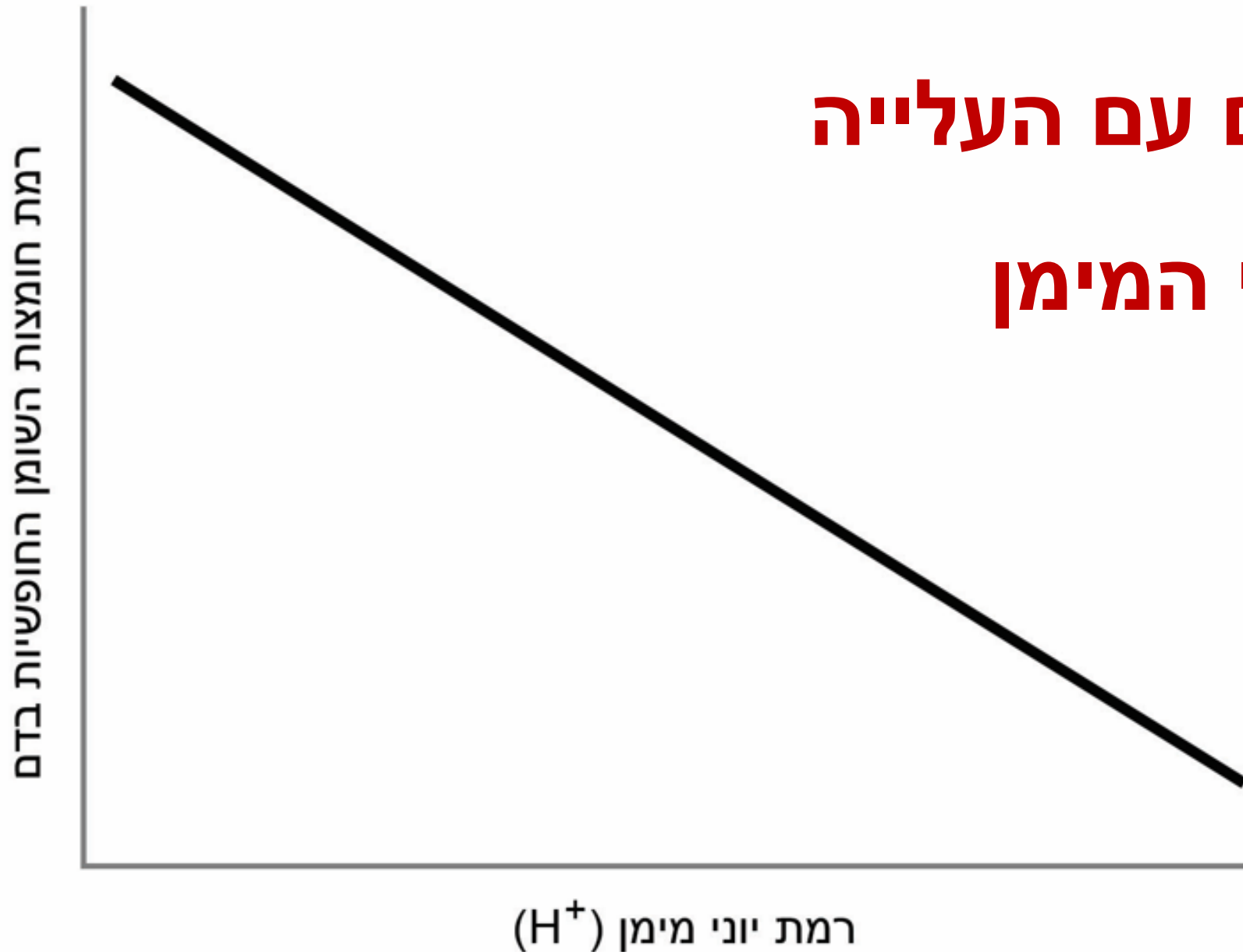
הרכב הדלק המטבולי בזמן מאמץ בעצימות גבוהה



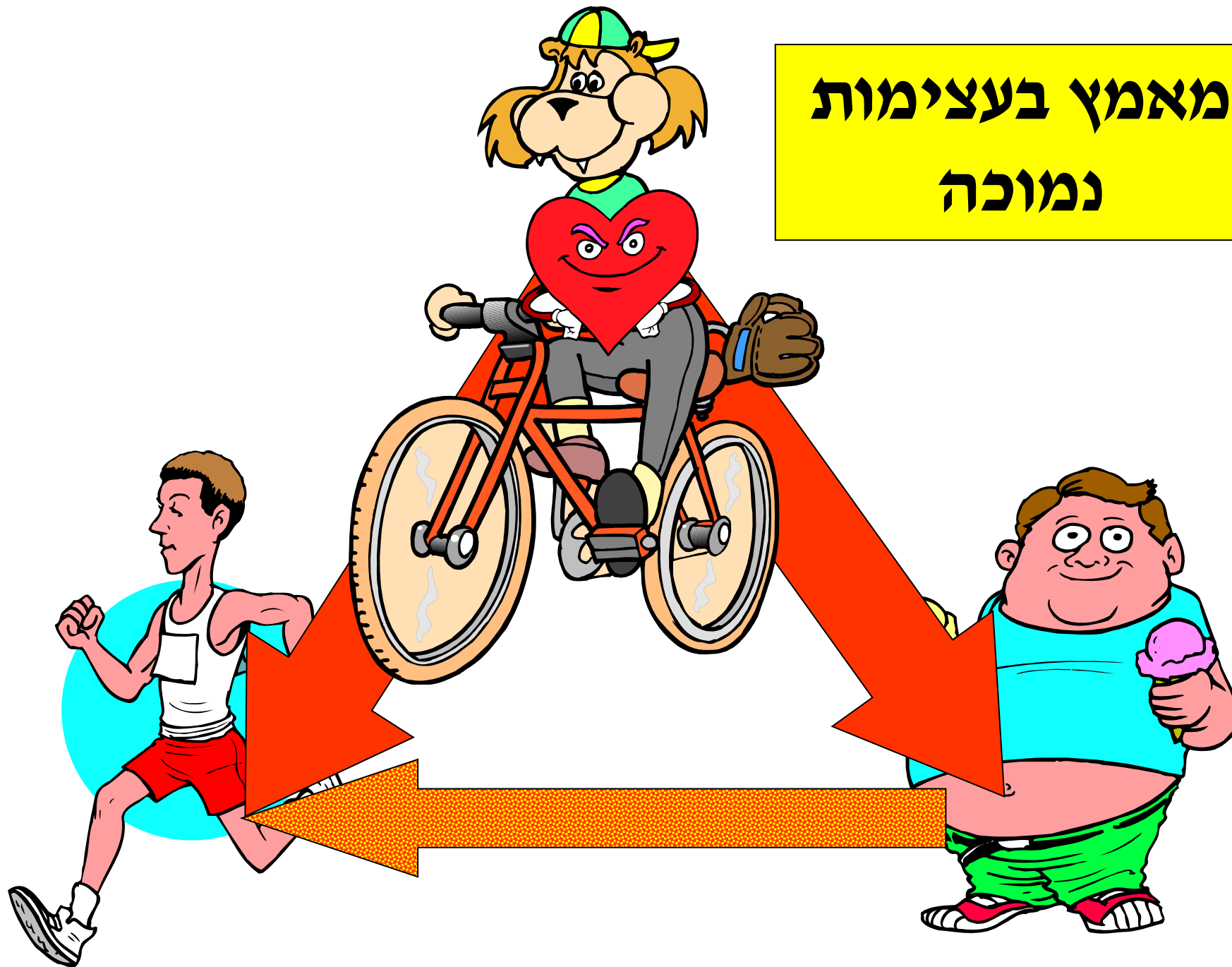
השינוי ברמת חומצות השומן

החופשיות בדם עם העלייה

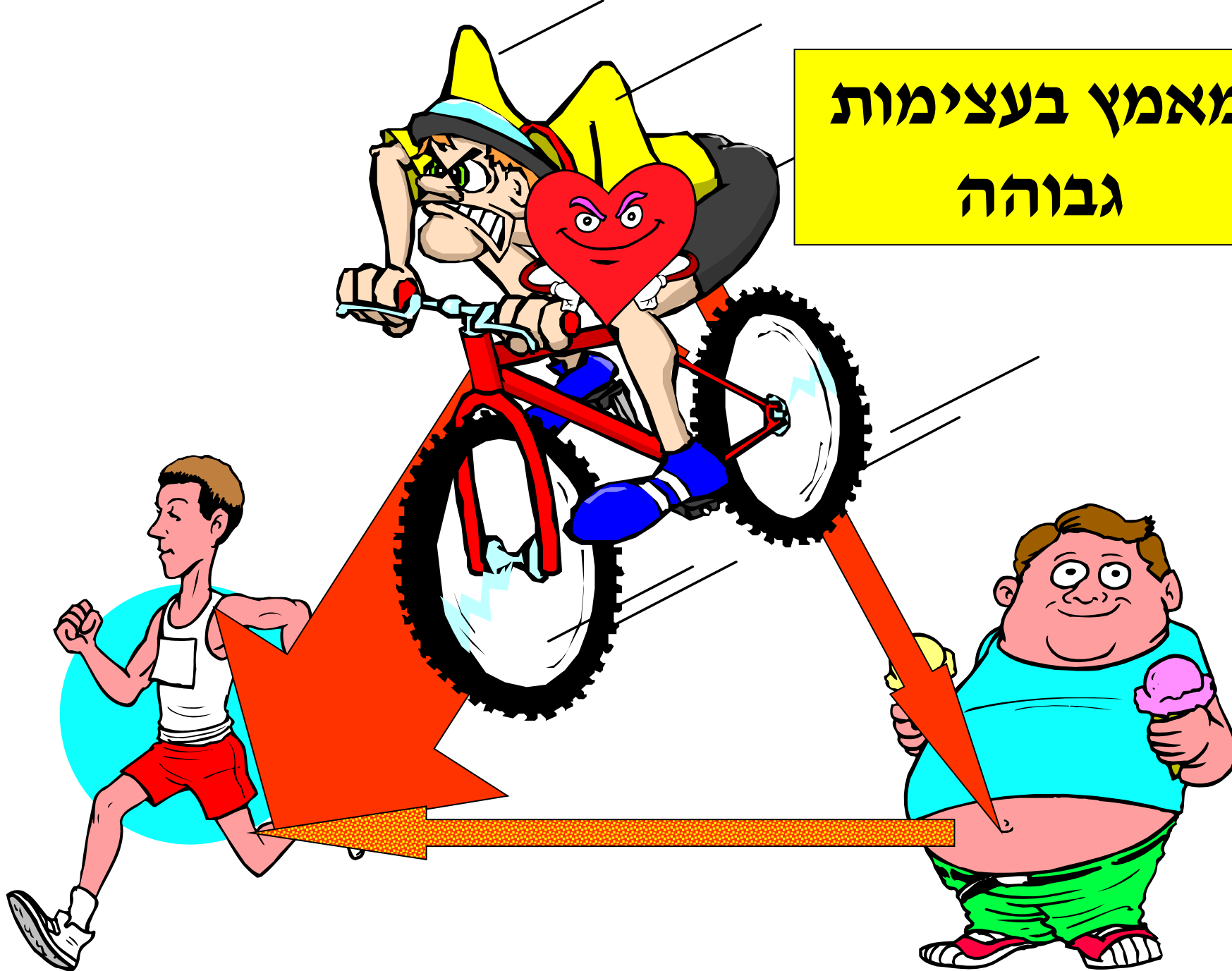
ברמת יוני המימן



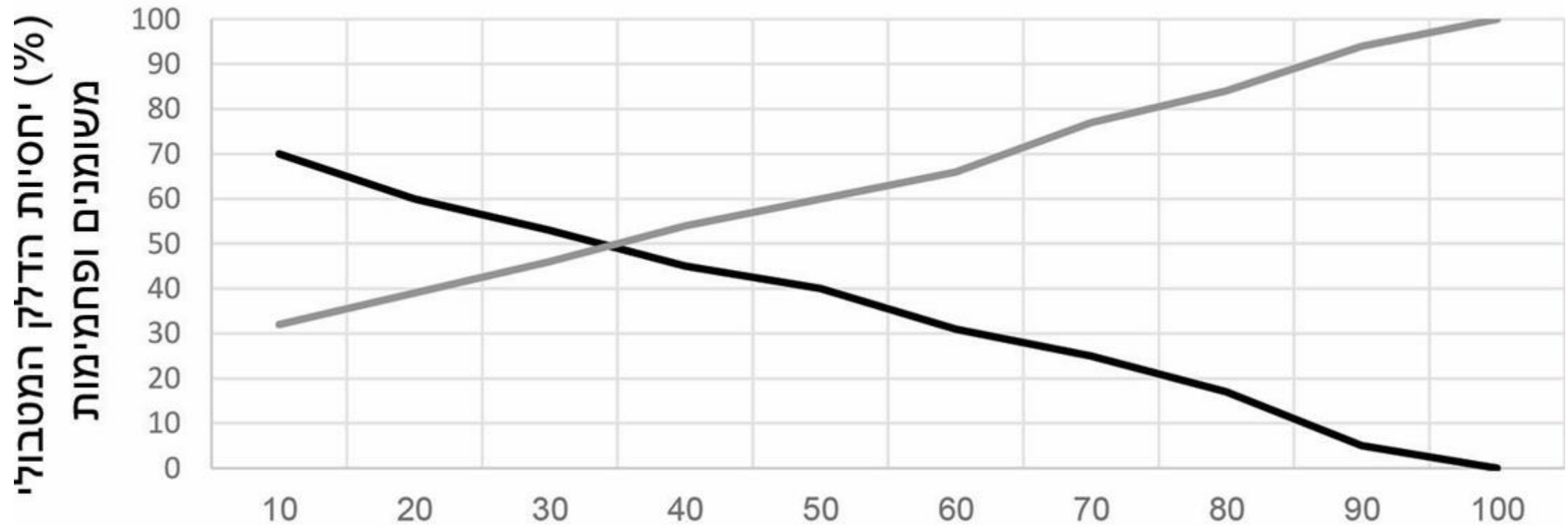
מאמץ בעצמות נמוכה



מאמץ בעצימות גבוהה



עצימות המאמץ ונקודת החצייה של הרכב הדלק המטבולי



עצימות מאמץ, אחוז מהיכולת האירובית המרבית (% מצח"מ)

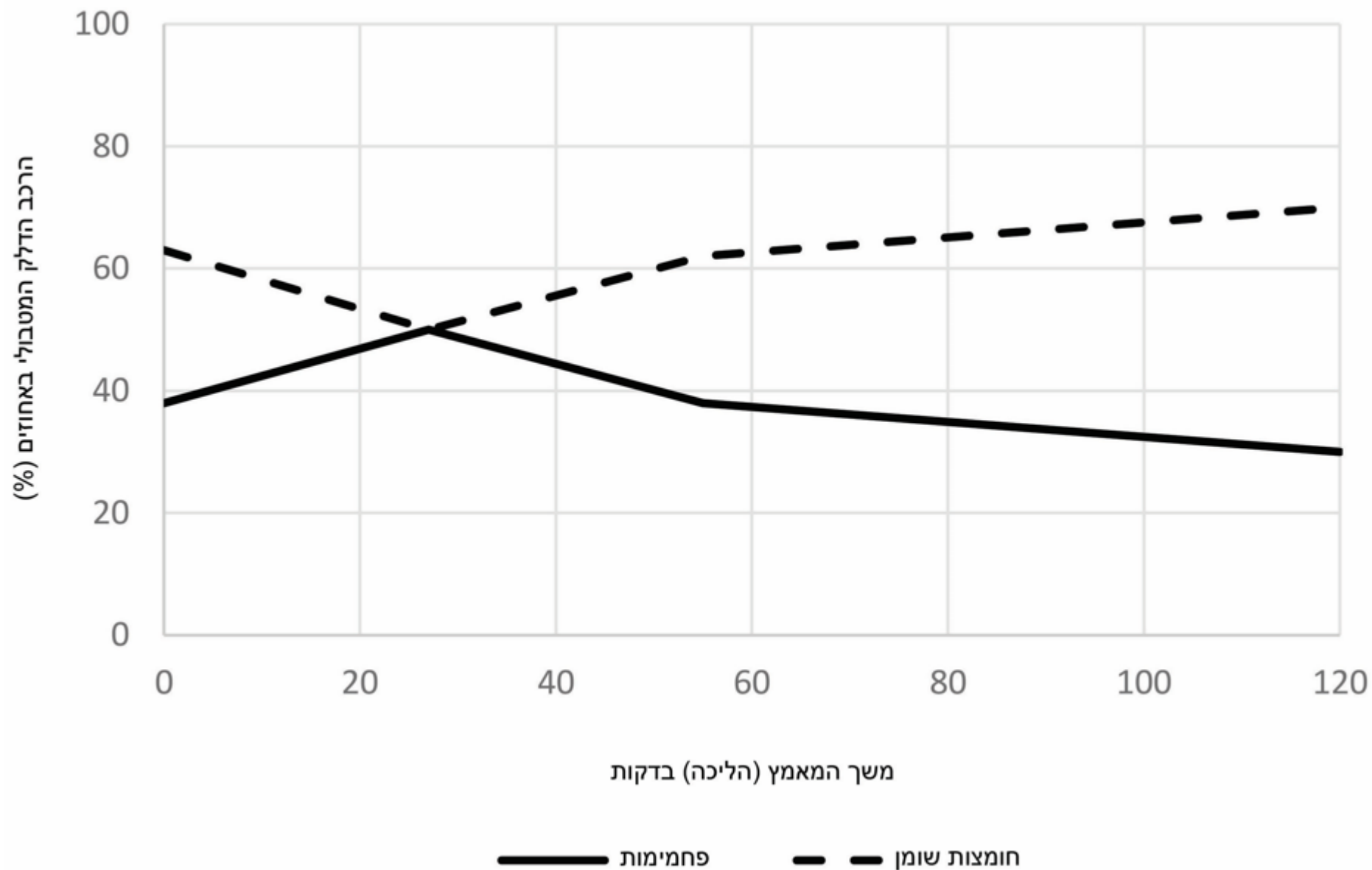
שומנים פחמימות

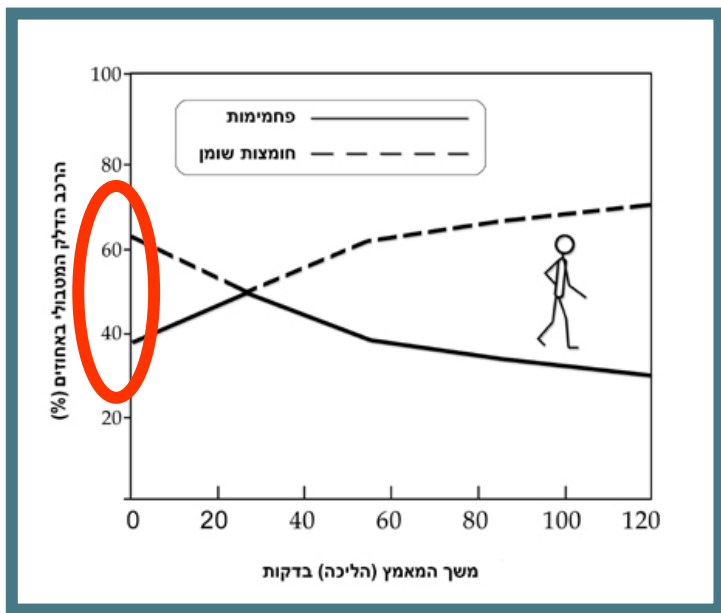
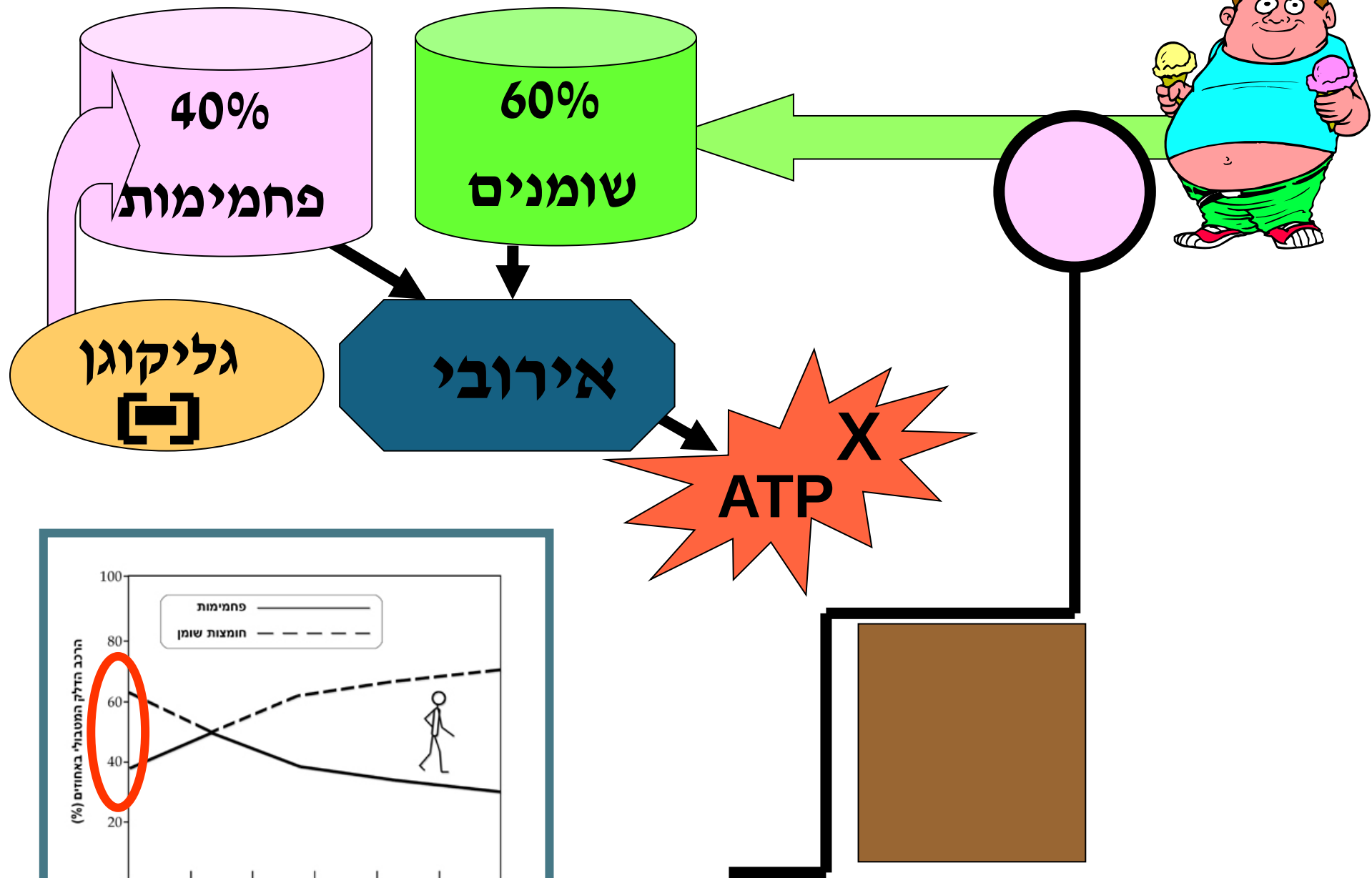
סיכום

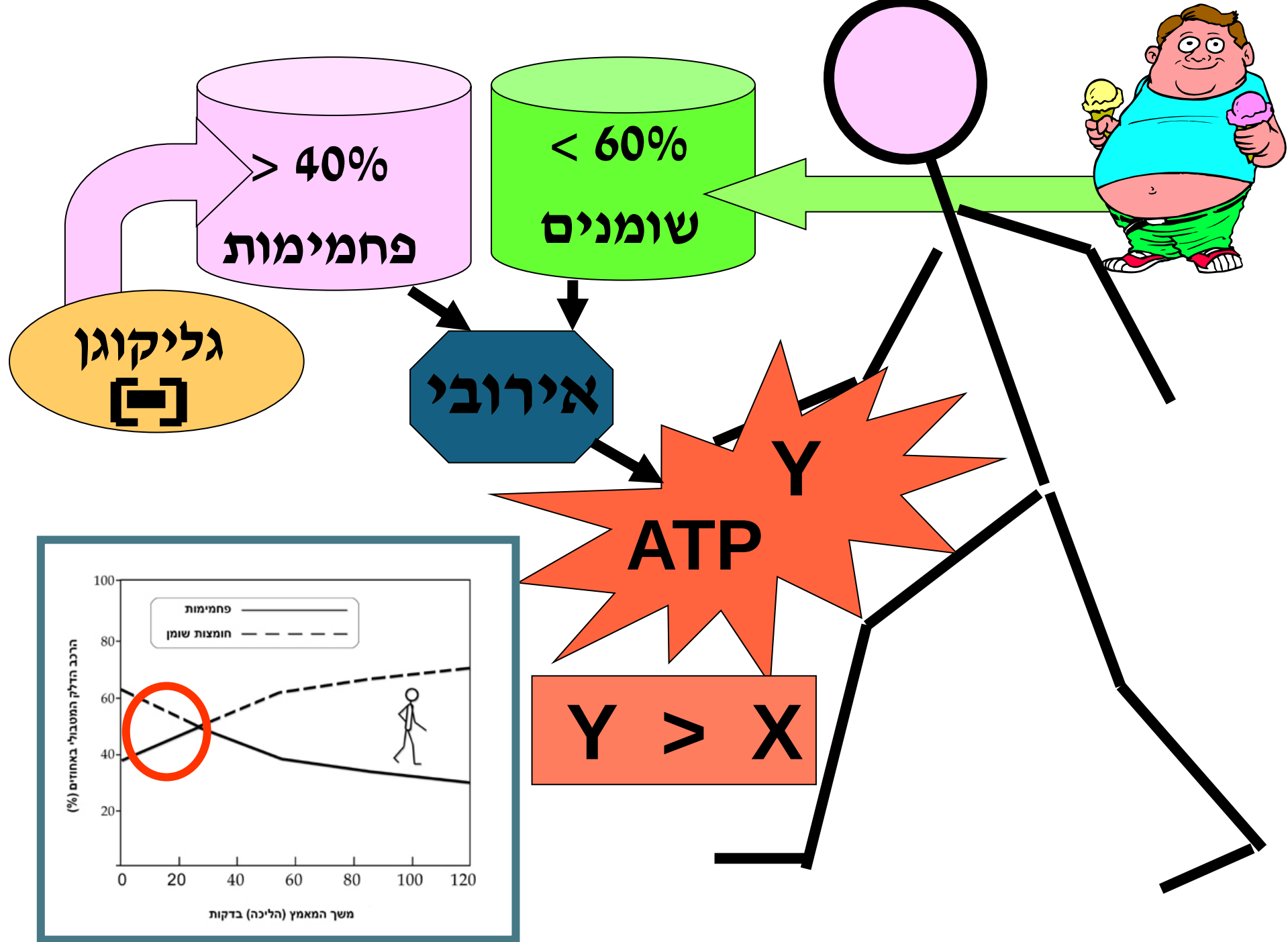
העלייה בחלקן היחסי של הפחמימות והירידה בחלקם של השומנים
בהרכב הדלק המטבולי עם העלייה בעצימות המאמץ נובעים מ:

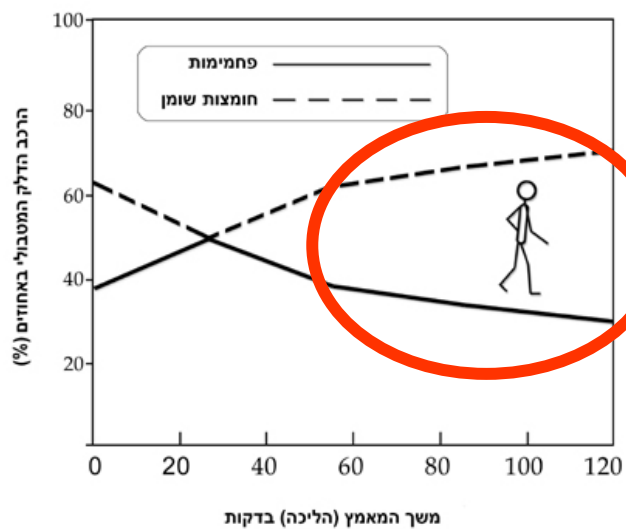
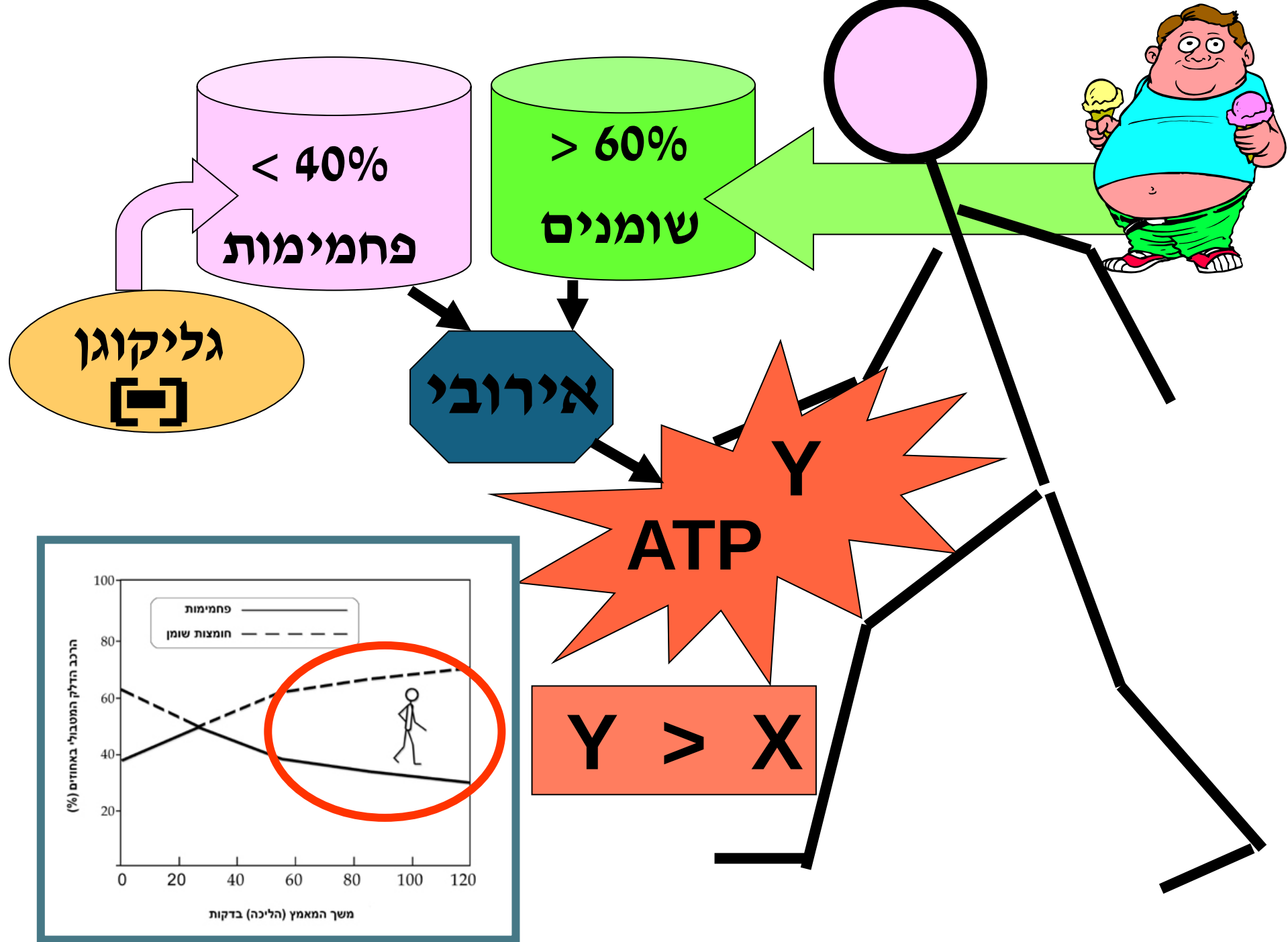
- צורך בהספק אנרגטי יותר גבוה
- עלייה במטבוליזם האנאירובי-לקטי (מפרק רק פחמימות, עלייה בחומציות מפחיתה ניווד שומנים)
- ירידה בהספקת דם לרקמת השומן שמפחיתה את ניווד חומצות השומן

הרכב הדלק המטבולי בזמן מאמץ ממושך בעצימות נמוכה קבועה

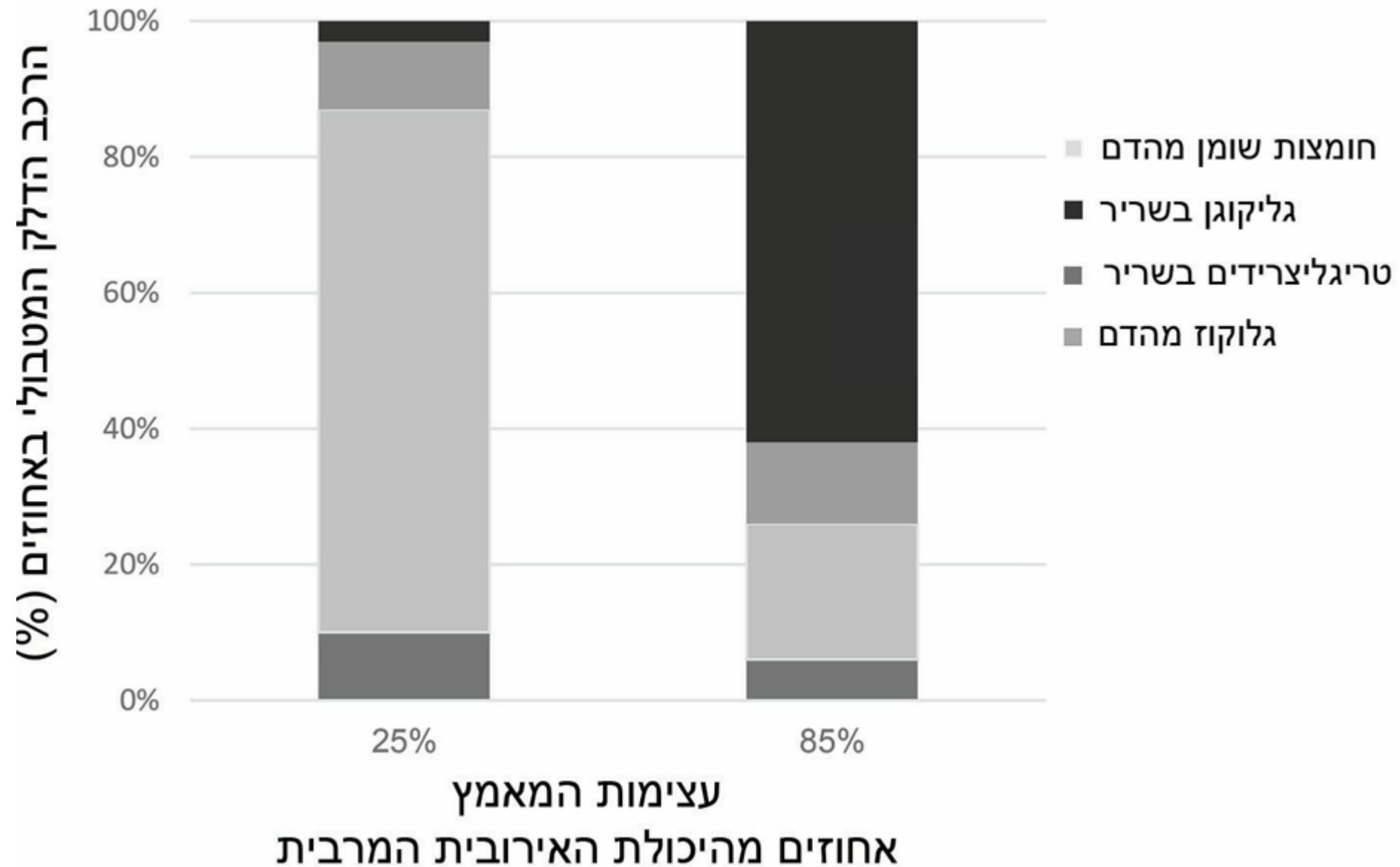




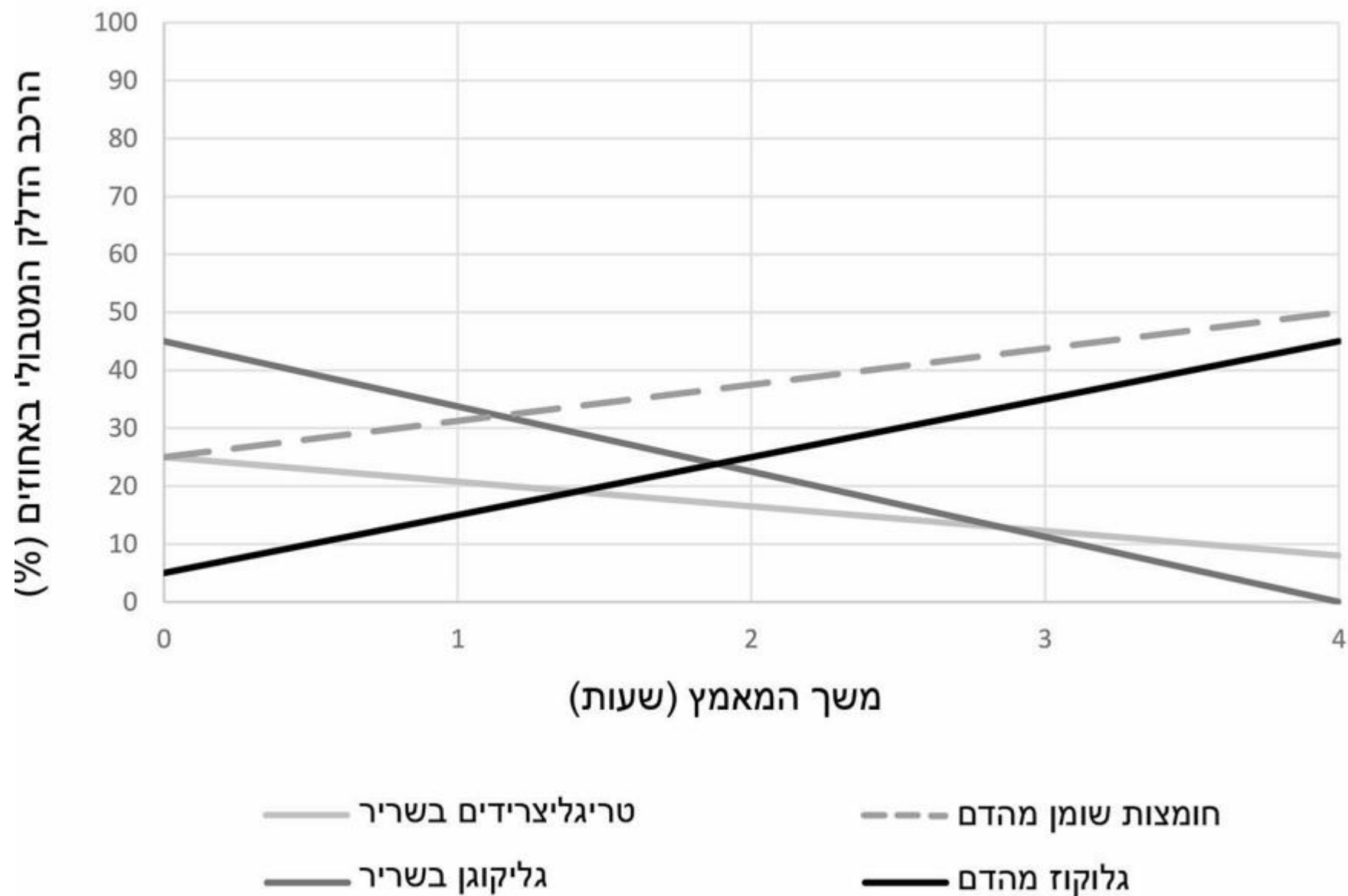




תרומתם היחסית של חומרי הדלק להרכב הדלק המטבולי במהלך מאמצים בעצימויות שונות



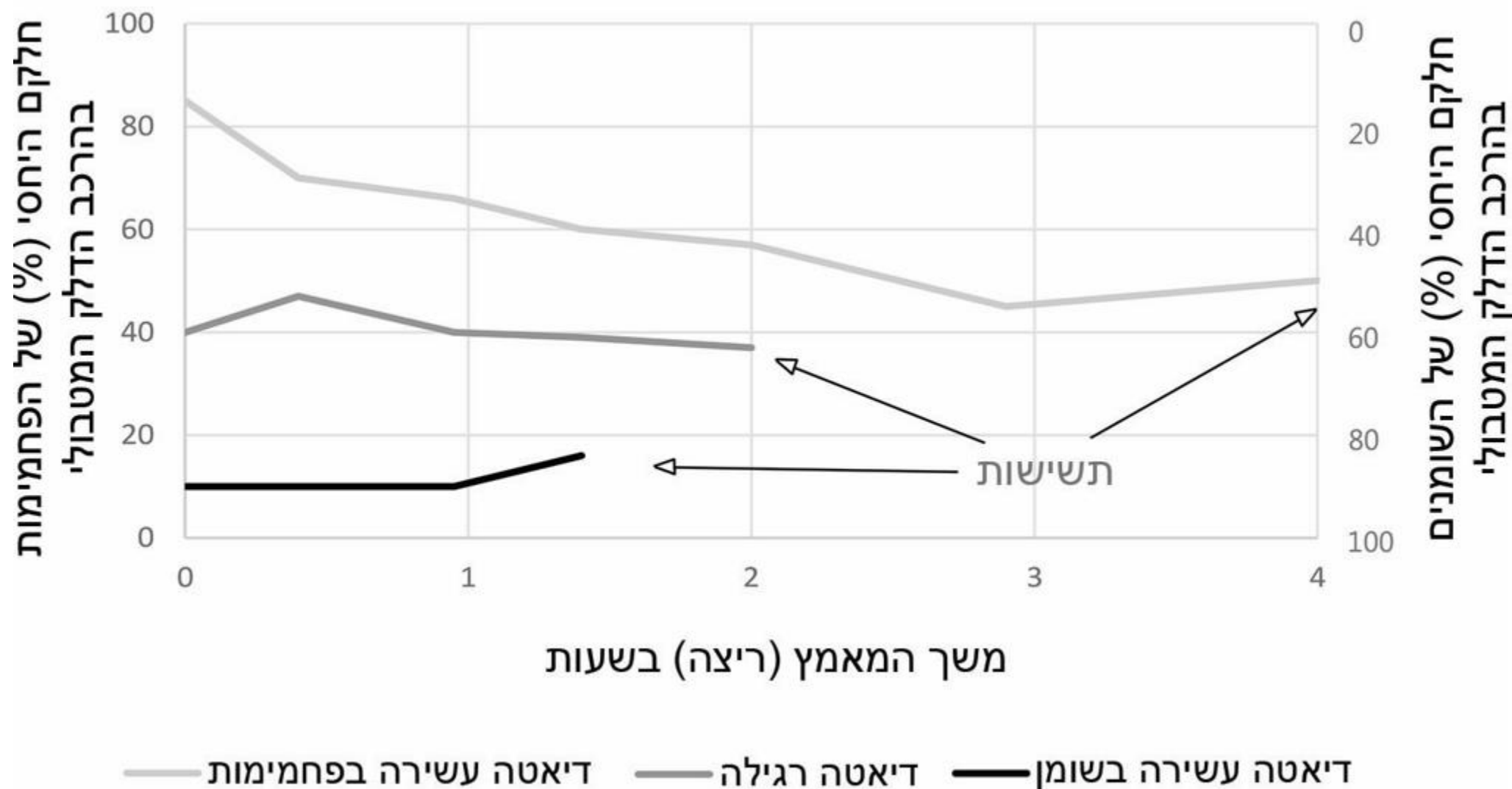
תרומתם היחסית של הסובסטרטים להרכב הדלק המטבולי במהלך מאמץ
בעצימות של 65% - 75% מהיכולת האירובית המרבית שנמשך ארבע שעות



התזונה של האדם הפעיל/זמינות הדלק המטבולי

- תזונה רגילה (נקראת גם תזונה מעורבת) כוללת כ- 40% פחמימות, 30% שומן ו- 30% חלבון.
- תזונה דלת פחמימות
- תזונה עשירת פחמימות

השפעת התזונה על הרכב הדלק המטבולי במאמץ ממושך

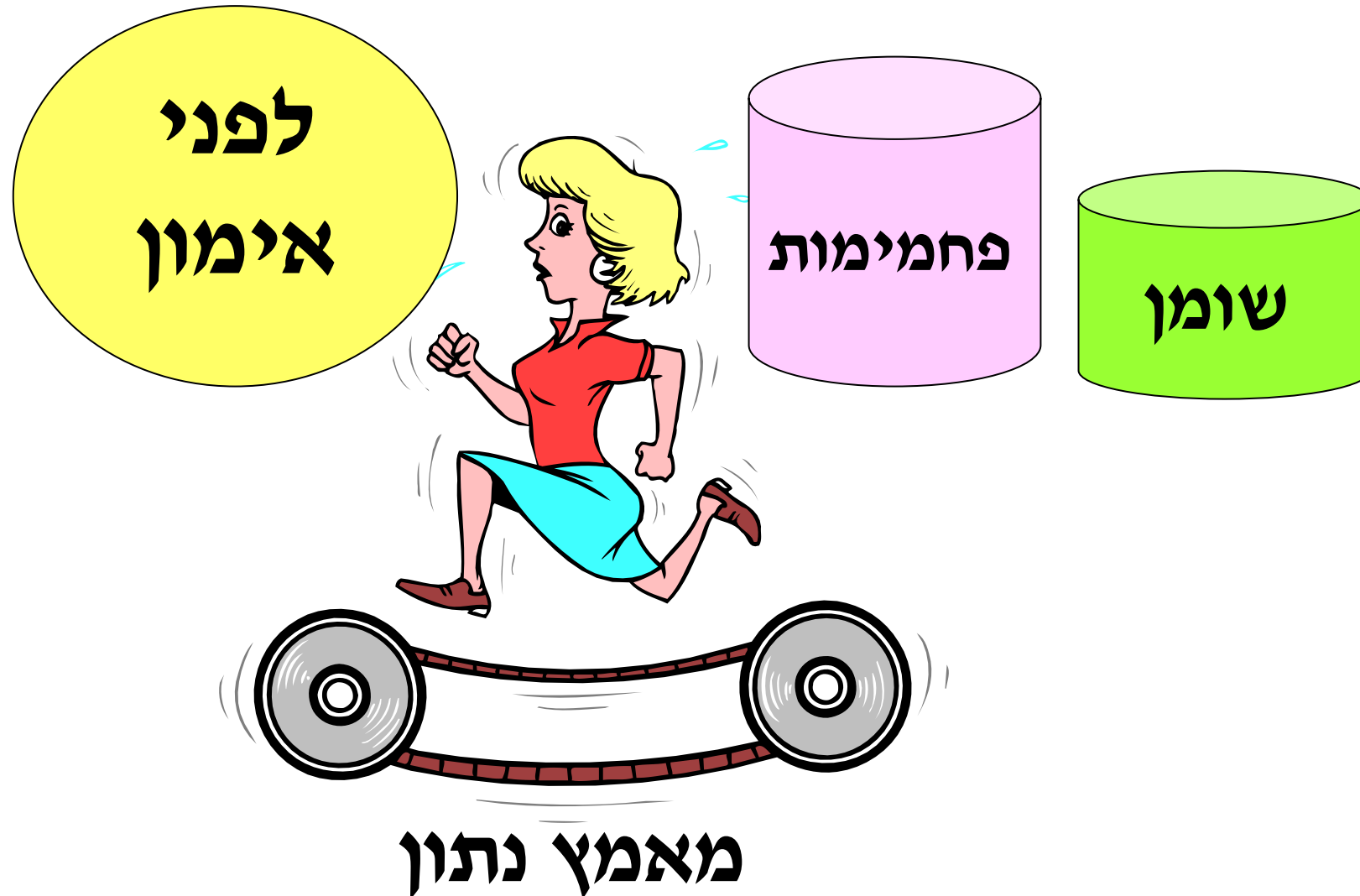


רמת הסבולת הממושכת של האדם הפעיל

ככל שהאדם הפעיל בכושר אירובי טוב יותר כך הוא יעשה שימוש רב יותר בחומצות שומן כדלק מטבולי בזמן מאמץ בעצימות נתונה. השינוי נובע מהתאמות שריריות ברמת המיטוכונדריה והאנזימים שמאפשרות הפקת הספק אנרגטי גדול יותר מהשומנים.

מה הרווח הנובע מהשינוי הנ"ל?

השפעת אימון אירובי על הרכב הדלק המטבולי



השפעת אימון אירובי על הרכב הדלק המטבולי



שני חברים יצאו לדרך - לצייד.....



שני חברים יצאו לדרך - לצייד.....



כאשר אריה רודף אחריך ואחרי חבר.....
אתה לא צריך להיות יותר מהיר מהאריה...
אתה צריך להיות יותר מהיר מהחבר.....

רמת סוכר אופטימלית
70-110 מ"ג / 100 מ"ל דם

בקרת רמת הגלוקוז
בדם במנוחה

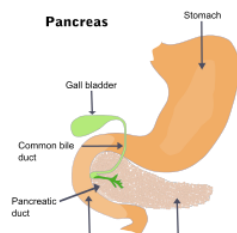
רמת
הסוכר
בדם



אכילת פחמימות

רמת סוכר גבוהה
שחרור אינסולין

תאי בטא בלבלב



רמת סוכר אופטימלית
70-110 מ"ג / 100 מ"ל דם



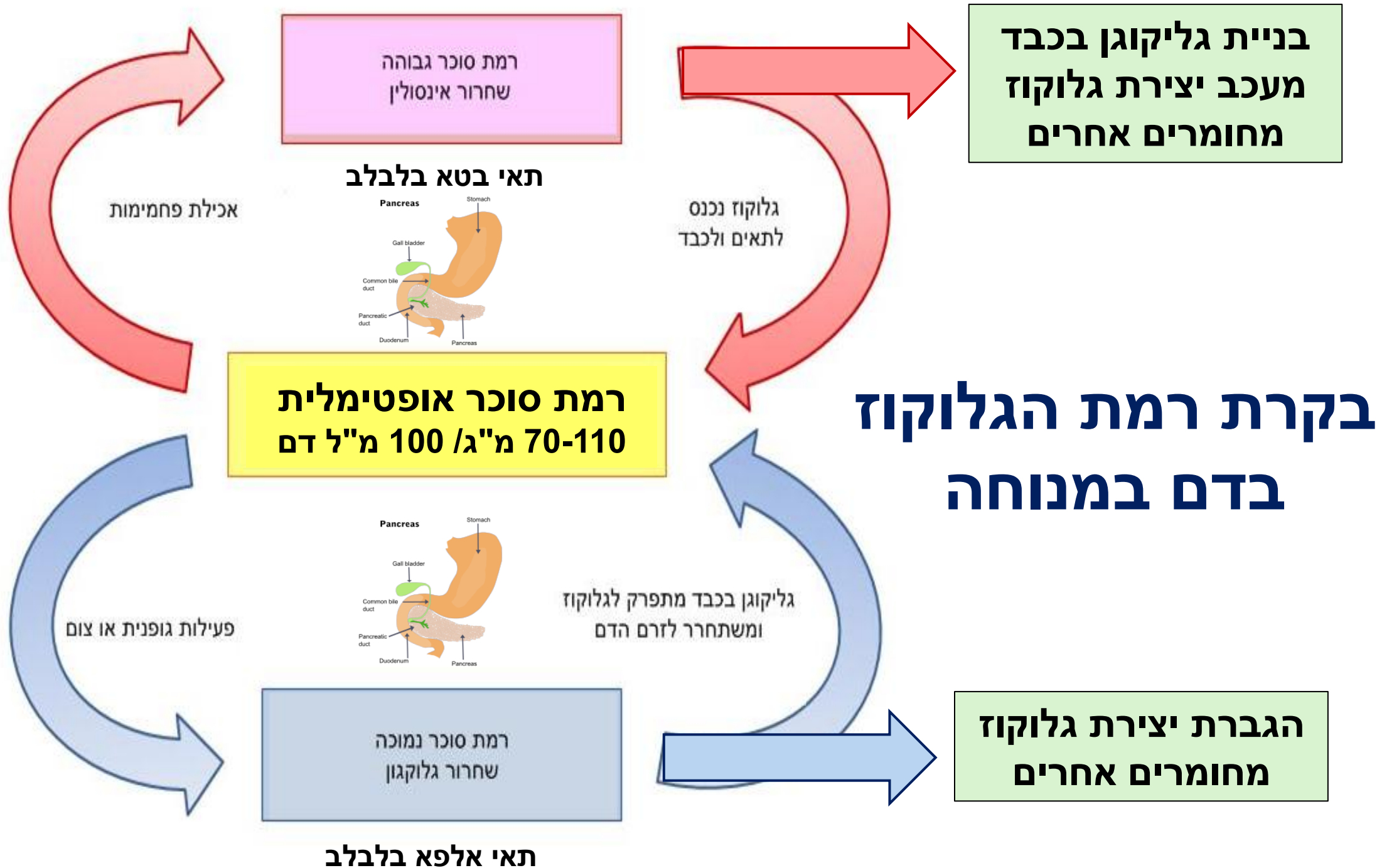
גלוקוז נכנס
לתאים ולכבד

בניית גליקוגן בכבד
מעכב יצירת גלוקוז
מחומרים אחרים

בקרת רמת הגלוקוז
בדם במנוחה



רמת
הסוכר
בדם

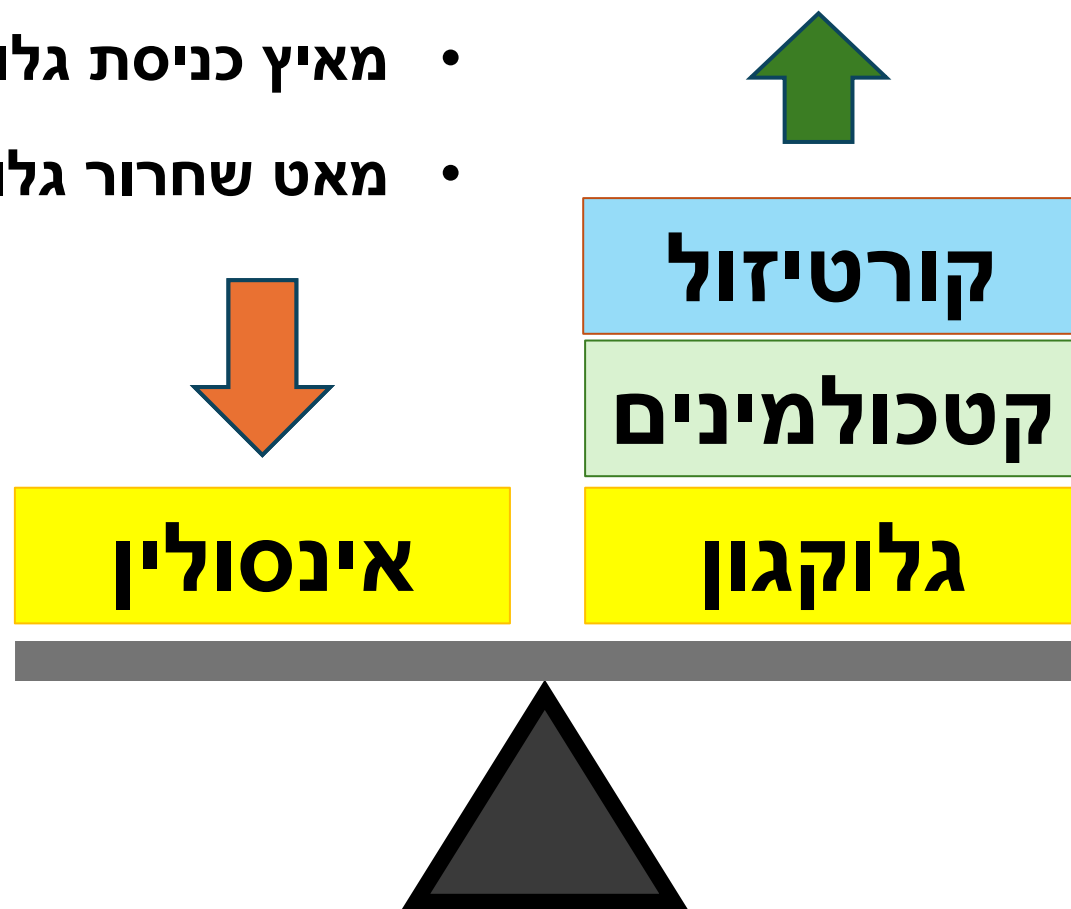


שמירה על רמת הגלוקוז בדם במקביל לאספקת דלקים מטבוליים למסלולי ייצור האנרגיה בתאי השריר בזמן מאמץ מתרחשת באמצעות התהליכים הבאים:

- פירוק של גליקוגן הכבד ושחרור של גלוקוז מהכבד לדם
- ניווד של חומצות שומן מרקמת השומן לתאי השריר
- בנייה מחדש של גלוקוז בכבד מחומצות אמיניות, מלקטט ומגליצרול (גלוקונאוגנזה)
- הפחתה בכניסת גלוקוז מהדם לתאים והאצה בשימוש בחומצות שומן כדלק מטבולי חלופי
- פירוק של גליקוגן בשריר לצורך הפקת אנרגיה

שמירה על רמת הגלוקוז בדם במקביל להגברת המטבוליזם של גלוקוז בשרירים בעת מאמץ

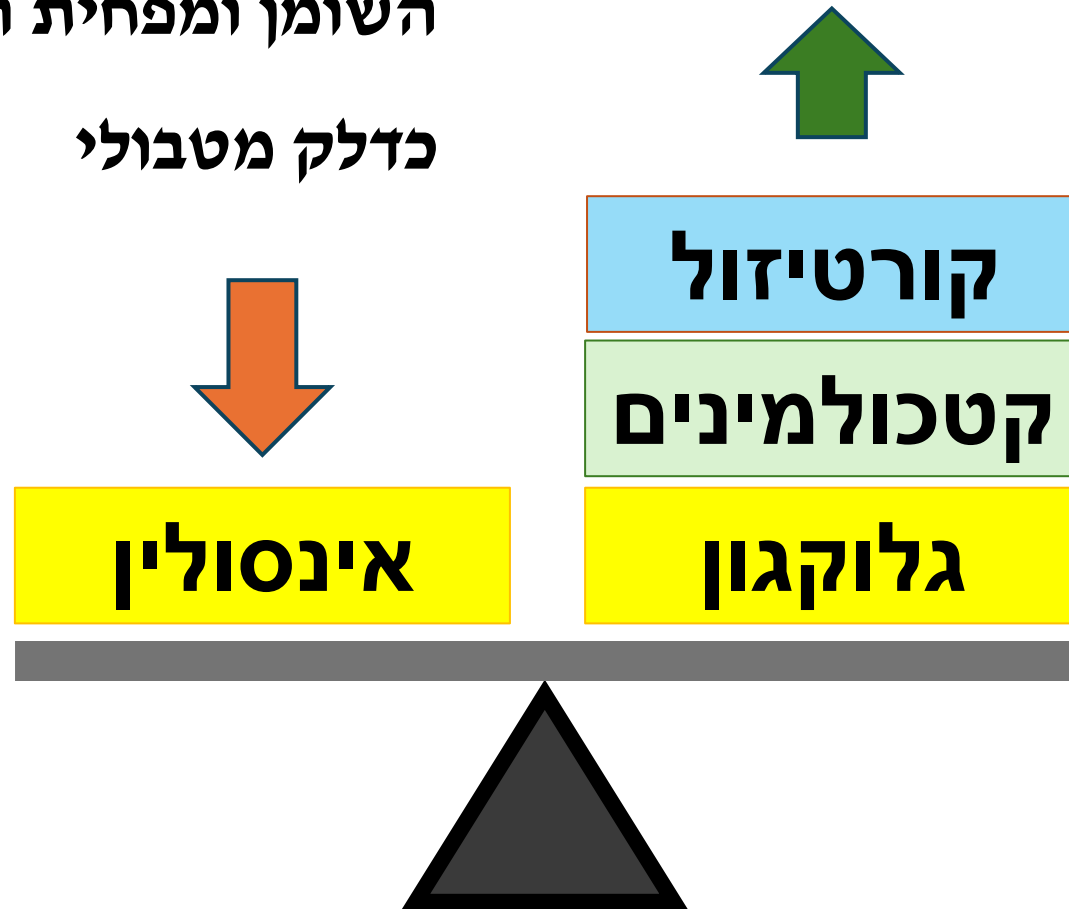
- מאיץ כניסת גלוקוז לתאים
- מאט שחרור גלוקוז מהכבד



- בנייה מחדש של גלוקוז בכבד
- הגברת פירוק גליקוגן בכבד
- הגברת פירוק גליקוגן בשרירים

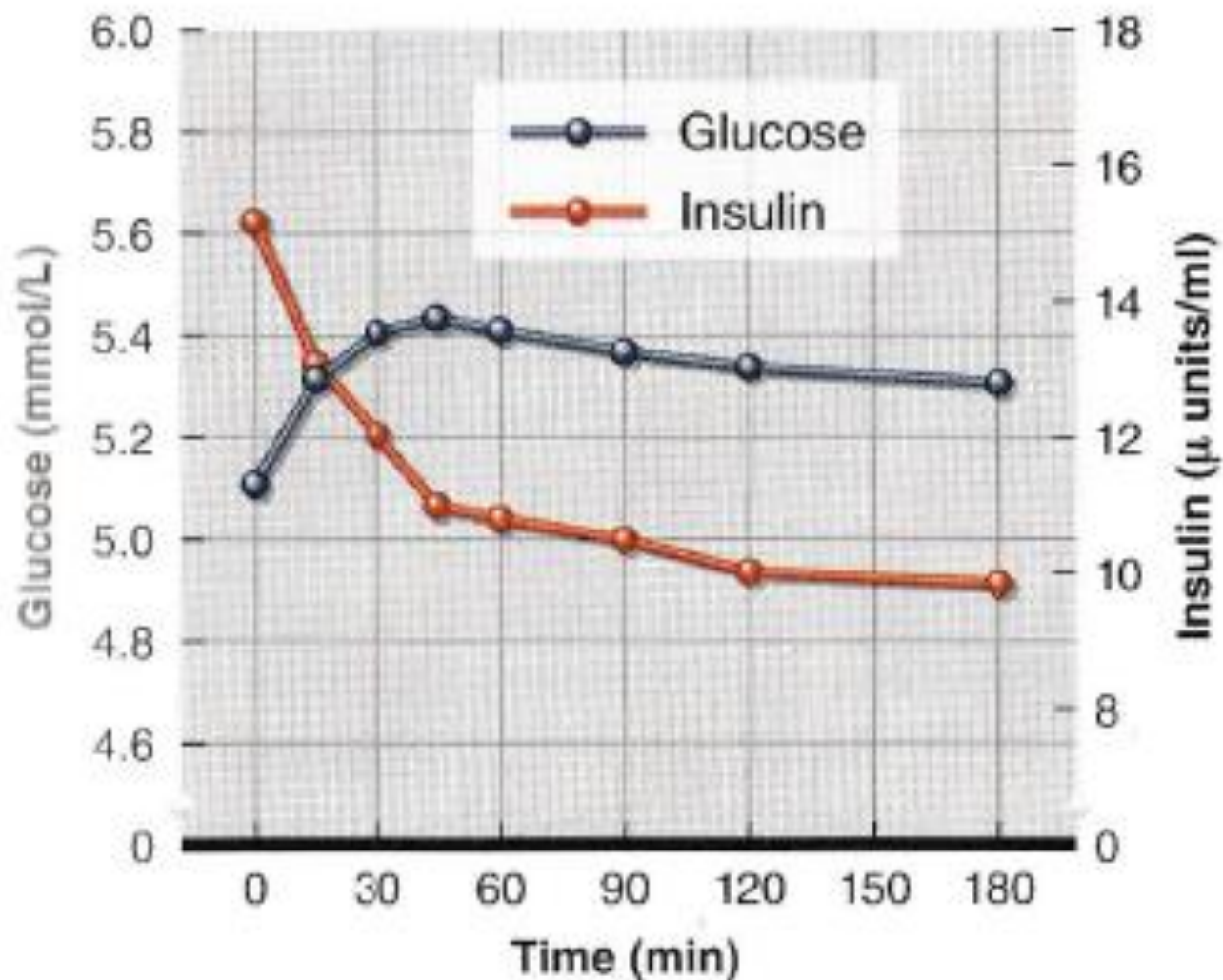
הגברת ניוד חומצות השומן והשימוש בהן כדלק מטבולי

מאט ניוד ח. שומן מרקמת
השומן ומפחית השימוש בהן
כדלק מטבולי



מגבירים ניוד ח. שומן
מרקמת השומן והאצת
השימוש בהן כדלק מטבולי

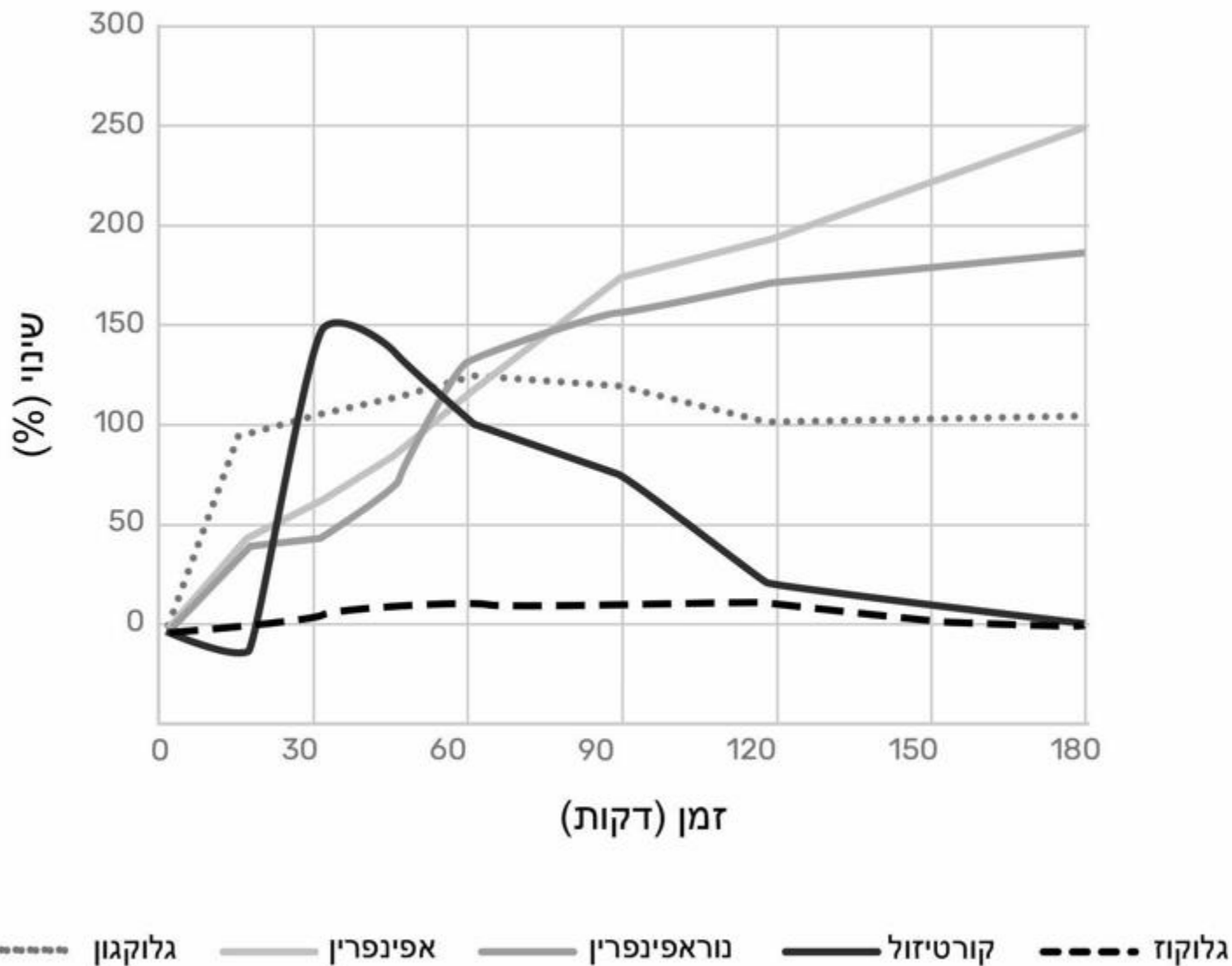
השינוי בדם ברמת הגלוקוז ורמת האינסולין במהלך 3 שעות של רכיבה בעצימות של 65% מהצח"מ



- הירידה ברמת האינסולין מאפשרת האצת פרוק גליקוגן בכבד והאצת ניווד חומצות השומן ~ שמירה על רמת גלוקוז תקינה בדם תוך הגברת המטבוליזם השרירי של גלוקוז וחומצות שומן.
- הגברת הרגישות של הרצפטורים לאינסולין מאפשרת כניסת נאותה של גלוקוז לתאי השריר (אי עלייתו בדם) למרות ירידה ברמת האינסולין.

השינוי בפלזמה של: אפינפרין, נור אפינפרין, גלוקגון, קורטיזול וגלוקוז

במהלך 3 שעות של רכיבה



מינון מומלץ של אבות המזון לספורטאים

צריכת פחמימות

- למתאמנים לשיפור הכושר הגופני ולספורטאים חובבים: 3-5 גרם/ק"ג משקל גוף
- לספורטאים מקצועיים: 5-7 גרם/ק"ג משקל גוף בימים בעצימות נמוכה - בינונית ו- 7-12 גרם/ק"ג משקל גוף בימים בעצימות בינונית - גבוהה.
- לקראת תחרויות במאמצים ממושכים: העמסת פחמימות בשיעור של 10 גרם/ק"ג משקל גוף/יום בטווח של 24-72 שעות לפני התחרות

צריכת שומנים - סך השומן 15-30% מכמות הקלוריות.

צריכת חלבונים:

- **למתאמנים לשיפור הכושר הגופני:** 0.8-1 גרם/ק"ג גוף.

- **לספורטאי סבולת וכוח מקצועיים:** 1-1.5 גרם/ק"ג גוף למתאמנים 2-3

שעות ביום ו-1.5-2 גרם/ק"ג גוף למתאמנים 3-6 שעות ביום. צריכת החלבון

של ספורטאי סבולת מיועדת לסינתיזת מיטוכונדריה וכדלק מטבולי מסייע.

ספורטאי כוח צורכים חלבון לבניית חלבוני שריר בשל הנזק השרירי

המתרחש בזמן מאמץ ממושך בעצימות גבוהה.

עיתוי אכילה של ספורטאים ביחס למועד האימון:

ארוחה לפני אימון

עיתוי: 3-4 שעות לפני האימון (מי שמתאמן בשעות הבוקר מוקדמות יותר על ארוחה זו)

מטרות:

- שמירה על רמה תקינה של גלוקוז בדם
- אחסון מרבי של גליקוגן בשרירים ובכבד
- שמירה על נוחות במערכת העיכול
- אספקת נוזלים למניעת התייבשות

מאפיינים: ארוחה עיקרית (בוקר או צהריים), הכוללת פחמימות בעלות אינדקס גליקמי נמוך ובינוני, חלבון, עשירה בנוזלים ודלה בשומן.

דוגמה למרכיבי הארוחה: ארוחת בוקר: חביתה + סלט + גבינה + לחמנייה. ארוחת צהריים: פסטה + חזה עוף בתנור + ירקות מבושלים.

ארוחה בסמוך לאימון

עיתוי: 5-10 ד' לפני האימון

מטרה: תגבור בפחמימות זמינות לפני תחילת האימון

מאפיינים: ארוחת ביניים כתגבור לארוחה ה'גדולה' שנאכלה 3-4 ש' לפני האימון, או ארוחה יחידה לפני מאמץ שמבוצע בשעת בוקר מוקדמת. הארוחה כוללת פחמימות בעלות אינדקס גליקמי גבוה ומים.

דוגמה למרכיבים: חטיף דגנים דל בשומן ובסיבים תזונתיים, פרוסת לחם + ריבה, תמרים ומים
(כשעה לפני האימון מומלץ לשתות שתי כוסות)

צריכת מזון במהלך אימון

מטרה: שמירה על רמת גלוקוז בדם וחיסכון בגליקוגן השריר.

מאפיינים: צריכת מזון במהלך אימון מומלצת כאשר מבצעים מאמץ ממושך (90 ד' ומעלה), בעצימות גבוהה. כמו בארוחה שבסמוך לאימון, גם זו תושתת על פחמימות בעלות אינדקס גליקמי גבוה תוך צמצום כמויות של חלבונים, שומנים וסיבים תזונתיים.

דוגמה למרכיבי המזון: משקה ספורט, ג'ל אנרגיה, סוכריות אנרגיה, חטיף דגנים דל בשומן ובסיבים תזונתיים ותמרים.

ארוחה בסיום אימון

עיתוי: בסמוך לסיום האימון ולא יאוחר מ-90 ד' מסיומו

מטרות:

• חידוש מאגרי הגליקוגן בשרירים ובכבד

• תיקון נזקים בשרירים וברקמות.

מאפיינים: ארוחה עיקרית (בוקר, צהריים או ערב). מומלץ שארוחה זו תכיל פחמימות בכמות שלא תפחת מ-1 גר' פחמימה/ק"ג משקל גוף. היחס בין כמות (גרם) הפחמימות לחלבונים יהיה 3-4:1. אכילת הפחמימות תסייע בחידוש מאגרי הגליקוגן בכבד ובשרירים ותגביר את הפרשת ההורמון אינסולין, שמכניס את חומצות האמינו שנמצאות בחלבון לתאי השריר ובכך תורם לתיקון נזקי השריר.

דוגמה למרכיבי הארוחה: ארוחת בוקר/ערב: לחם + ביצה + גבינה 5% + סלט ירקות + אבוקדו. ארוחת צהריים/ערב: בשר ומוצריו + פסטה/אורז/תפוחי אדמה + ירקות מבושלים + טחינה. בארוחה יש להשלים את חסר הנוזלים בהתאם להפרש במשקל הגוף בין השקילה שלפני ואחרי האימון.

דגשים בתזונת ספורטאים צעירים:

- היעילות המכנית הנמוכה של צעירים גורמת לעלות אנרגטית גבוהה יותר של פעילות נתונה.
- תזונת צעירים צריכה להיות עשירה בפחמימות, מתונה בשומנים ולספק כמות נאותה של חלבונים.
- אכילה מוגברת של חטיפים אצל צעירים עלולה לגרום לויתור על ארוחות, למחסור באבות המזון ולפגיעה בבריאות השן.
- ספורטאי בגיל ההתבגרות צריך 1.7 גרם חלבון לכל ק"ג גוף. בדרך כלל תוספת זו מגיעה תוך צריכת המזון המוגברת הנובעת מהצרכים האנרגטיים המוגברים.
- צעירים העוסקים בספורט עלולים לפתח התנהגויות אכילה מסוכנות. הבעיה נפוצה בעיקר בקרב ספורטאים העוסקות בענפי ספורט, שבהם המראה החיצוני קובע כגון התעמלות וריקוד. חשוב לאתר את הבעיה מיד עם הופעתה.

מחלת הסוכרת (Diabetes mellitus - זרם של שתן מתוק)

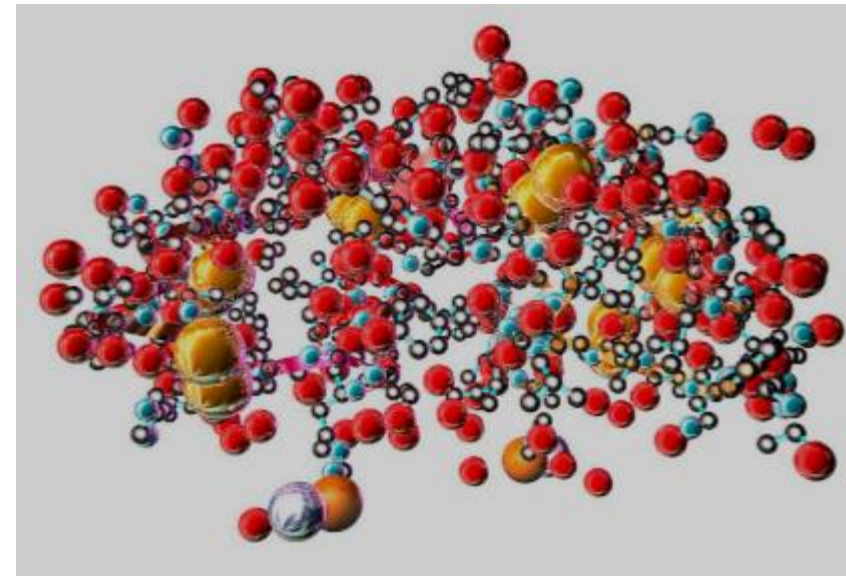
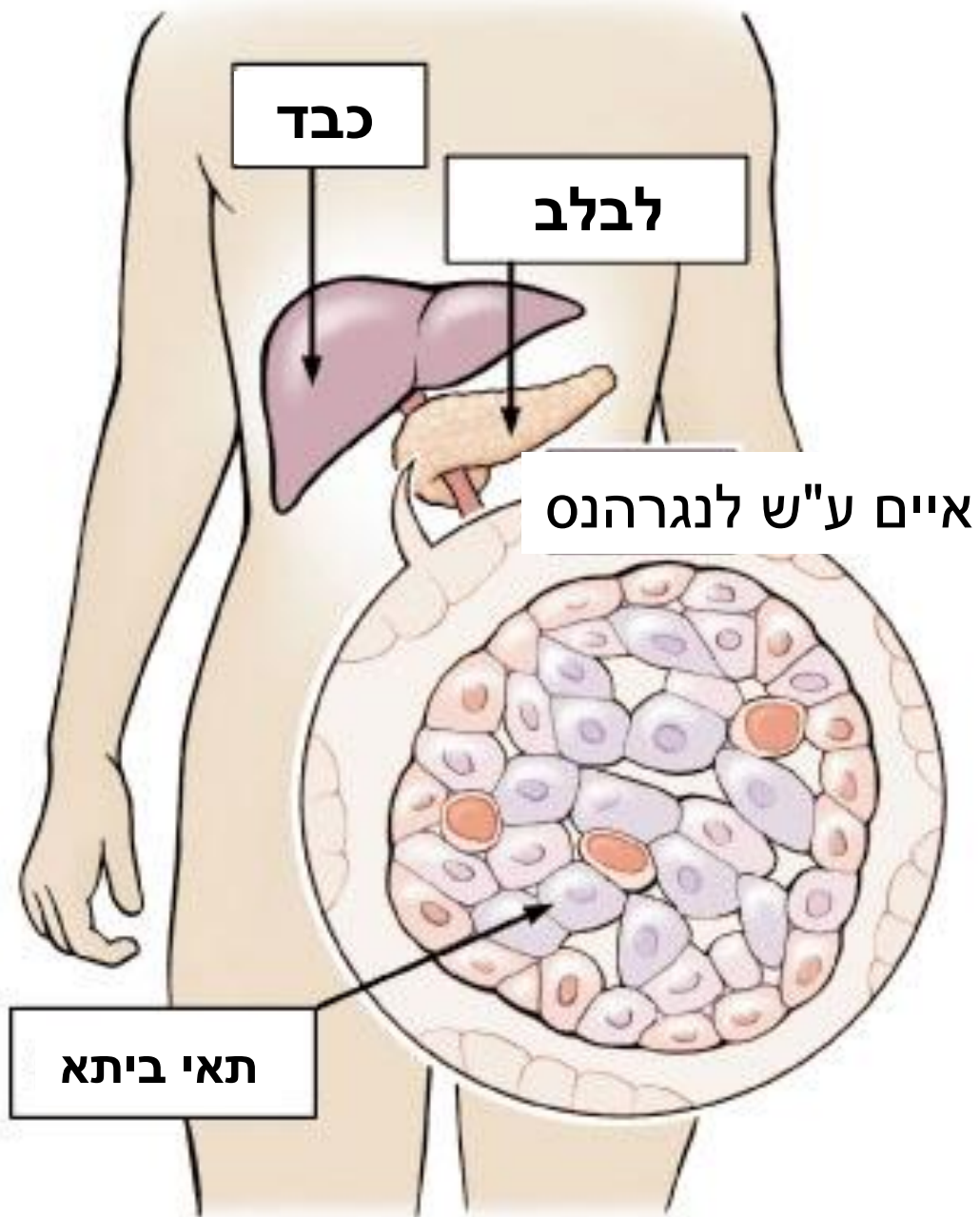
- סוכרת היא מחלה מטבולית המאופיינת ברמת גלוקוז בדם בצום הגבוהה מ-126 מ"ג/100 מ"ל דם (היפרגליקמיה, Hyperglycemia).
- המחלה נובעת מפגיעה בהפרשת האינסולין, או בפעולת האינסולין, או בשניהם יחד הגורמים לאי-תקינות בחילוף החומרים של הגלוקוז ולעלייה ניכרת ברמתו בדם.

בלוטת הלב

אינסולין הוא חלבון המופרש מתאי

ביתא מהאיים על שם לנגרהנס

(Langerhans) שבלבל.



שני סוגים של מחלת הסוכרת

סוכרת מסוג 1 (Diabetes mellitus type 1) - מכונה גם סוכרת

**התלויה באספקת אינסולין חוץ-גופית, (IDDM - Insulin Dependent)
(Diabetes Mellitus**

סוכרת מסוג 2 (Diabetes mellitus type 2) - מכונה גם סוכרת שאינה

**תלויה באספקת אינסולין חוץ-גופית (NIDDM – Non Insulin)
Dependent Diabetes Mellitus).**

סוכרת מסוג 1 (סוכרת נעורים)

- שכיחות גבוהה של התפרצות המחלה בגילאי 5 - 7 שנים ובגיל ההתבגרות.
- נובעת מפגיעה בתאי ביתא שמפסיקים לייצר ולהפריש את ההורמון אינסולין.
- ההפסקה בהפרשת האינסולין מתאי ביתא מתבטאת בסימנים הבאים:
- עלייה בריכוז הגלוקוז בדם - עלייה בלחץ האוסמוטי של הדם שגורמת למעבר מים מתוך התאים לדם, להתייבשות הרקמות, להשתנה מרובה, לאובדן גלוקוז בשתן, להתייבשות ולתחושת צימאון.
- חולשה, עייפות ותחושת רעב עקב מחסור בגלוקוז להפקת אנרגיה בתאים.
- עלייה בהעברת שומנים מרקמת השומן לתאים לייצור האנרגיה.
- עלייה בחומציות הדם - השימוש המוגבר בשומנים יוצר גופי קטון שגורמים לעלייה בחומציות הדם.
- שימוש מוגבר בחלבונים לצורך הפקת אנרגיה - המחסור בגלוקוז מאיץ את השימוש בחלבונים כחומר דלק שגורם לדלדול רקמות, לירידה במשקל, לכאבים, לבחילה ולהרגשת צימאון.

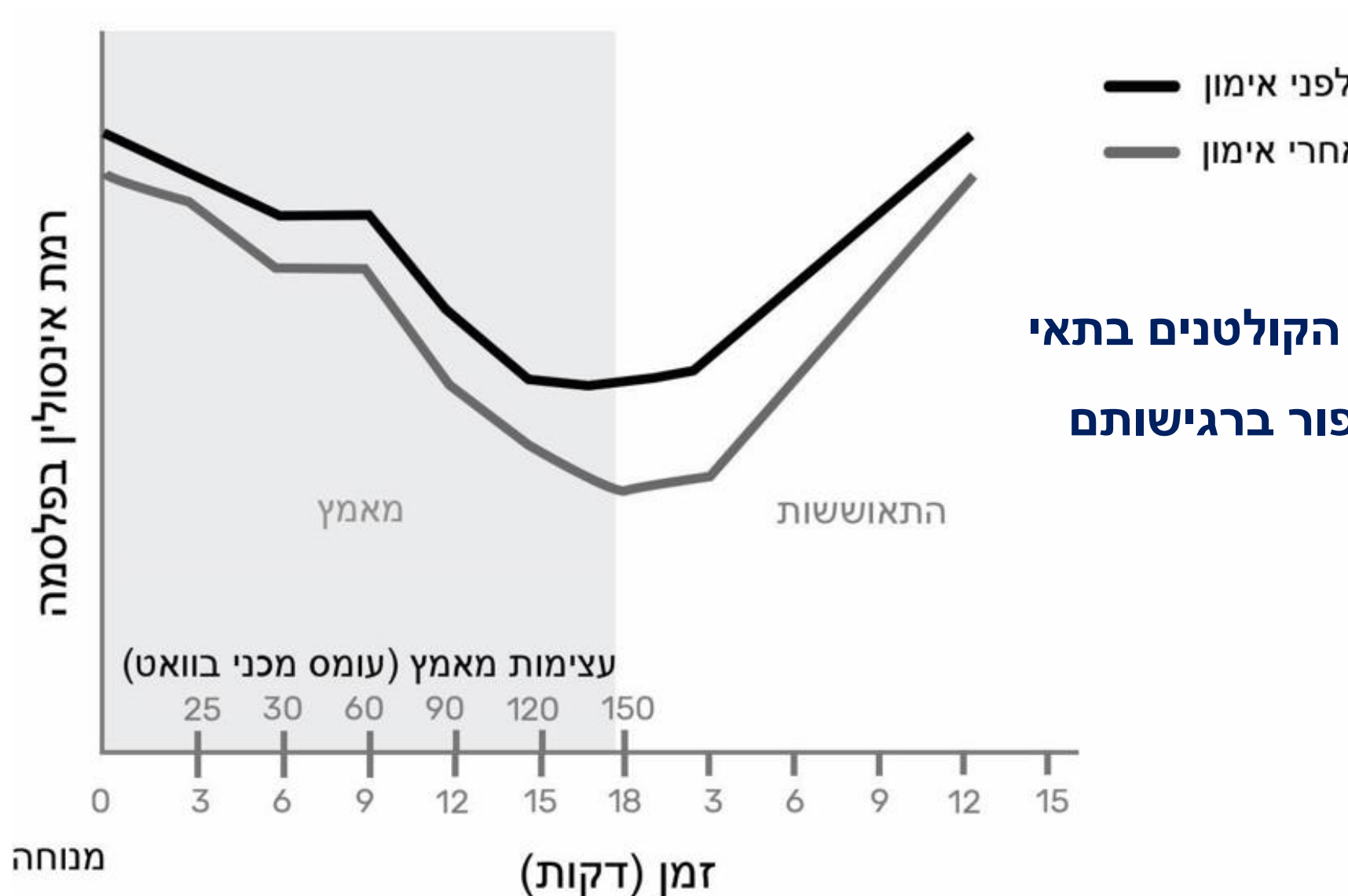
רמות גבוהות של גלוקוז בדם עלולות לגרום לסיבוכים הבאים:

- טרשת עורקים שתפגע בזרימת הדם שעלולה לגרום לנמק ברקמות ולנזקים לעור ולמפרקים, להפרעות חמורות בראייה, בתפקודי הלב ובכליות.
- פגיעה בכושר הקרישה של הדם
- הפחתה ביכולת התנגדות הגוף לזיהומים
- בעיות במערכת השתן
- נזק בעצבים (נוירופתיה) - נוירופתיה פריפרית הינה פגיעה במערכת העצבים הפריפרית, המעצבבת בעיקר את הגפיים התחתונות והעליונות ומאופיינת בירידה בתחושה. נוירופתיה אוטונומית הינה פגיעה במערכת העצבים האוטונומית, שמעצבבת את האיברים הפנימיים השונים כמו מערכת העיכול, הלב, שלפוחית השתן, מערכת המין וכו'.

השפעותיה החיוביות של הפעילות הגופנית על חולי סוכרת מסוג 1:

- עלייה במספר הקולטנים לאינסולין בתאי המטרה ושיפור רגישותם לאינסולין.
- שיפור בתפקוד מערכת הדם ועלייה ביכולת של המסלול האירובי להפיק אנרגיה מחומצות שומן בשרירים.
- שיפור בפרופיל השומנים בדם - ככל שהיכולת האירובית טובה יותר, כך רמות הכולסטרול והליפופרוטאינים בעלי הצפיפות הנמוכה (LDL) נמוכות יותר.
- שיפור בדימוי העצמי ובהרגשה הכללית - הדבר חשוב מאוד בקרב ילדים חולי סוכרת המתמודדים עם החרדות והמגבלות של חיים עם מחלה כרונית.

השפעת אימון על רמת האינסולין בדם בעת מאמץ מדורג ובתהליך ההתאוששות



עלייה במספר הקולטנים בתאי
המטרה ושיפור ברגישותם

היפוגליקמיה בחולי סוכרת

- ירידה ברמת הסוכר בדם אל מתחת ל-80 מ"ג/100 מ"ל דם, עקב העלאת הרגישות של התאים לאינסולין.
- סימנים ותסמינים: רעד, עצבנות וחרדה, דופק מהיר, הזעה מרובה, חיוורון, רעב מוגבר, הרגשה של נימול סביב הפה, סחרחורת ובילבול, בעיות בשיווי משקל, ישנוניות, כאב ראש, טשטוש בראייה, דיבור לא ברור ואף אובדן הכרה.
- ירידה חדה ברמת הסוכר אצל חולים עם רמות סוכר גבוהות עלולה לגרום לאותם סימנים ותסמינים של היפוגליקמיה שצוינו לעיל.
- הסיכון להיפוגליקמיה קיים במהלך המאמץ ולאחריו, והוא עשוי להימשך עד 48 שעות לאחר המאמץ.

סוכרת מסוג 2 (סוכרת מבוגרים)

- מתפתחת בדרך כלל באופן איטי ואופיינית לגיל מבוגר (מעל 40)
- גורמי סיכון: גנטיקה, חוסר פעילות גופנית, השמנה בטנית ('השמנת תפוח') ולחץ נפשי
- הקטנת הרגישות של תאי בטא לעליה ברמת הגלוקוז בדם והפחתה בכמויות האינסולין המופרשות מהם
- פגיעה ו/או ירידה משמעותית במספר הקולטנים לאינסולין שנמצאים בתאי המטרה שבגוף המובילים לחוסר תגובה להורמון (תנגודת לאינסולין).
- בשונה מסוכרת מסוג 1, בסוכרת מסוג 2 נצפות לעיתים קרובות רמות גבוהות של אינסולין.
- כמו בסוכרת מסוג 1, רמות הגלוקוז הגבוהות בדם גורמות במשך הזמן למחלה טרשתית של כלי הדם ולפגיעה במערכת העצבים, בכליות וברשתית העין.
- סוכרת המלווה בלחץ דם גבוה, השמנה ויתר שומנים בדם מהווה גורם סיכון משמעותי להתפתחות מחלת לב כלילית, שבץ מוחי ומחלה כלייתית.

טיפול בסוכרת מסוג 2 מיועד לשלוט על רמת הגלוקוז בדם וכולל:

- תזונה דלת-סוכר
- תרופות
- פעילות גופנית
- הזרקת אינסולין במצבים של ירידה בהפרשת אינסולין מתאי ביתא שבלבלב וכאשר ישנה הפחתה במספר הקולטנים לאינסולין בתאי המטרה.

השפעותיה החיוביות של הפעילות הגופנית בהיבט המניעתי והטיפול

של סוכרת מסוג 2:

- שיפור הכושר הגופני
- מסייעת בהפחתת מסת שומן עודפת המהווה גורם להתפתחות המחלה
- גורמת לירידה ברמת שומני הדם ובלחץ הדם, שמעצימים את רמת הסיכון של סוכרת כגורם למחלת לב טרשתית.
- כמו בסוכרת מסוג 1 פעילות גופנית מעלה את רגישות הקולטנים לאינסולין ומאפשרת איזון טוב יותר של ערכי הגלוקוז בדם היכול לדחות ואולי אף למנוע את הופעת הסוכרת
- גורמת להפחתת הלחץ והמתח הנפשי שתורמת לאיזון רמת הגלוקוז בדם.
- תורמת לתחושת החיוניות והערך העצמי (Well-being).

המלצות לפעילות גופנית לחולים בסוכרת מסוג 2:

- סוג: סבולת ממושכת
- עצימות: בינונית (50% - 70% מההספק האירובי המרבי - צח"מ).
- משך: 20 - 60 דקות
- תדירות: יומימית.
- אימון המשלב אירובי וכוח הינו בעל השפעה חיובית גדולה יותר על ההמוגלובין המסוכרר (HbA1c) מאשר אימון אירובי בלבד ואימון כוח בלבד.

דגשים בהנחיית חולי סוכרת מסוג 1 ומסוג 2 בביצוע תכנית אימון גופני:

- חולי סוכרת מחויבים בהערכה רפואית טרם התחלה של תכנית אימון.
- החולים יקפידו על פרקי זמן קבועים של אימון גופני, ארוחות ונטילת תרופות.
- למניעת היפוגליקמיה, הזרקת האינסולין תיעשה באזורים שבהם השרירים פחות פעילים. אימון בהשגחה וזמינות של ממתק או חטיף עשיר בפחמימות יפחיתו את הסיכונים הכרוכים בהיפוגליקמיה.
- למניעת היפרגליקמיה (רמת גלוקוז מעל 300 מ"ג/100 מ"ל דם), אין לבצע פי"ג כאשר רמת הסוכר בדם עולה על 250 מ"ג/100 מ"ל דם בנוכחות קטוזיס או כאשר רמת הגלוקוז בדם עולה על 300 מ"ג/100 מ"ל דם גם בהעדר קטוזיס.

- יש לבצע ניטור עצמי של רמת הסוכר בדם לפני הפעילות ולאחריה. רצוי ללמוד את תגובת רמת הסוכר בדם לצורות שונות של פעילות (סוג, עצימות, משך).
- להקפיד על שימוש בנעליים מתאימות, לבדוק את מצב כפות הרגליים בכל יום ולאחר פעילות, לשמור על היגיינה ולטפל באופן נאות בבעיות ברגליים.
- בנוכחות נירופתיה אוטונומית יש להימנע מביצוע מאמץ בתנאים קיצוניים של חום או קור.
- חולים עם רטינופתיה סוכרתית (Diabetic Retinopathy), הגורמת לדימום בכלי דם ברשתית העין, נמצאים בסיכון גבוה ועליהם להימנע מביצוע פי"ג מאומצת שמעלה את לחץ הדם, מביצוע פעולת ולסלווה ומפעילויות הכרוכות בטלטול הגוף

אמצעים ארגוניים

כל חומר או טיפול שמטרתו לשפר ביצועים גופניים ספורטיביים מעל ומעבר לאפקט של האימון.

- אמצעים תזונתיים (תוספי מזון, משקאות ספורט וכד')
- אמצעים פרמקולוגיים (תרופות וסמים)
- אמצעים פיזיולוגיים (עירויי דם)
- אמצעים פסיכולוגיים (היפנוזה, דמיון מודרך ועוד)
- אמצעים מכניים וביומכניים (ביגוד והנעלה, ציוד ומכשור)

מלחי בסיס (נתרן בי קרבונט - sodium bicarbonat)

- נתרן ביקרבונט סותר חומצה (בופר) וגורם להפחתת החומציות בנוזל החוץ תאי ולעלייה ב-pH.
- צריכת נתרן בי קרבונט מאריכה את משך הזמן בו ניתן להתמיד במאמץ עצים נתון עד להגעה לסף ההתעייפות החומצי או שמאפשרת העלאת עצימות המאמץ שניתן להתמיד בו בפרק זמן נתון.
- השפעתו הארגוגנית של נתרן ביקרבונט הוכחה במאמצים אנאירוביים מרביים שנמשכים 1 עד 7 דקות כמו: ריצת 800 מטר ורכיבת אופניים במסלול - וולודרום למרחק 4 ק"מ.
- העשרת נתרן ביקרבונט עלולה לגרום תופעות לוואי חמורות במערכת העיכול כמו התכווצויות, הקאות ושלשולים.

בטא אלנין (B alanine)

- חומצה אמינית שמשמשת לבניית חלבון בשם קארנוזין (carnosine) שנמצא בריכוז גבוה בשרירים ובתאי עצב ומשמש כבופר תוך תאי ליוני מימן שנוצרים בעת מאמצים עצימים.
- מתיימרת לגרום לתגובת בופר והורדת החומציות במדור התוך תאי.
- אין עדויות מחקריות חד משמעיות לגבי השפעתה.
- ישנן עדויות שצריכת בטא אלנין גורמת לעקצוץ של העור.
- יש צורך במחקרים נוספים בכדי לדעת האם התוסף אכן יעיל ובאיזה מנגנון הוא פועל, והאם העמסה של בטא אלנין גורמת לתופעות לוואי נוספות וסיכונים.

ליאוצין (leucine)

- חומצה אמינית חיונית בעלת החשיבות הרבה ביותר בבניית מסת שריר.
- צריכת ליאוצין או HMB שהינו מטבוליט (תוצר פרוק) של ליאוצין, מהווים מאץ לסינתזת חלבון שריר והם בעצמם מרכיב בחלבונים החדשים שנבנים. לאור זאת, רואים בליאוצין וב - HMB תוספי תזונה שתכונותיהם הארגוניות יכולות לחקות את האפקט האנבולי של תכשירים לא חוקיים.
- יש צורך במחקרים נוספים לצורך קבלת תמונה ברורה אודות הפוטנציאל האנבולי של תיסוף ליאוצין ו- HMB.
- המחקרים הקיימים מראים שהסיכונים בצריכת ליאוצין ו- HMB קטנים או שאינם קיימים כלל.

קריאטין (creatine)

- חומר ארגוני נפוץ במיוחד בקרב ספורטאים שמשתתפים בספורט קבוצתי (כדורגל, כדורסל, רוגבי וכד') ובפעילויות שמערבות מאמצים חוזרים בעצימות גבוהה (פיתוח גוף, מאוצים עד 800 מטר וכד').
- הגדלת כמויות הקריאטין בשרירים מיועדת להעלות את רמת הקריאטין פוספט וע"י כך לשפר את יכולת מיחזור ה-ATP של המסלול האנאירובי אלקטי. שיפור זה אמור להגדיל את ההספק האנאירובי המרבי (מבחן וינגייט) וכן לסייע בהתאוששות ממאמץ בעצימות גבוהה.
- קריאטין משמש גם כבופר תוך תאי שמסייע בוויסות מאזן חומצה - בסיס.

ממצאים אודות צריכת התוסף קריאטין שנמצאו במחקרים מדעיים:

- עלייה בתכולת הקריאטין פוספט בשריר אצל חלק מהאנשים (לא אצל כולם!!!)

- עשוי לגרום לשיפור הביצוע במאמצים קצרים בעצימות והספק גבוהים, ובמיוחד במאמצים חזרתיים שנמשכים 30 עד 150 שניות כל מאמץ.
- לא נמצא שיפור בכוח האיזומטרי המרבי ובהספק האירובי המרבי (צח"מ)
- גורם לעלייה במשקל בימים הראשונים של הצריכה שמיוחסת לספיחת מים לתאי השריר הנלווית לאגירת הקריאטין.
- כאשר נלקח בשילוב עם אימון התנגדות יתרחש שיפור גדול יותר בכוח, שייתכן ונובע מהעלייה ביכולת להתאמן בעצימויות יותר גבוהות שמיוחסת לקריאטין. קריאטין הוא בין התוספים הבודדים שיחד עם אימון כוח מביאים לעלייה במסה הרזה ובכוח השרירים.
- בהקשר של שיפור הביצועים הספורטיביים המחקרים אינם חד משמעיים. הציפיות הגבוהות לשיפור הביצועים הספורטיביים עולות על האפקט הארגוני האמיתי של העמסת קריאטין.
- לא נמצאו תופעות לוואי וסיכונים בריאותיים לשימוש בקריאטין במשך פרק זמן קצר ובמינון נכון. אין עדיין מספיק מידע על סיכונים בריאותיים בטווח הקצר והארוך של צריכת קריאטין במשך פרקי זמן ארוכים.

מיץ סלק - ניטרט (nitrate)

- יון ניטרט (NO_3^-) הינו מולקולה שנמצאת בכל הצמחים. בקטריה על הלשון ואנזימים נוספים בגוף הופכים ניטרט לניטריט (NO_2^-). התאים מסוגלים אח"כ להפוך ניטריט לניטריק אוקסייד (NO – nitric oxide). ל- NO חלק מהותי במגוון תפקודים בגוף כמו: בקרה על זרימת הדם, פעולת המיטוכונדריה ועוד.

- ישנם מחקרים שתומכים באפקט הארגוגני האירובי של צריכת ניטרט באנשים לא מאומנים או בעלי כושר בינוני. האפקט של צריכת ניטרט הינו קטן יותר מאשר האפקט של השיפור בכושר. במחקרים בהם השתתפו אנשים מאומנים מאוד לא נמצאו רווחים מצריכת ניטרט.
- שתיית מיץ סלק במשך שבוע לפני מאמץ מאתגר או אפילו מספר שעות לפני המאמץ, הביאה לעליה ברמת הניטרט בפלסמה, ירידה בלחץ הדם במנוחה, ירידה קלה בצריכת החמצן במאמץ תת מרבי נתון ושיפור במשך הזמן של ביצוע מאמץ בעצימות נתונה עד תשישות.

- נראה שצריכה חד פעמית של מיץ סלק לפני מאמץ יכולה גם להיות ארגוגנית.
- ההנחה היא שצריכת ניטרט מגבירה את יצירת NO שמשפרת את יעילות המיטוכונדריה ביצירת ATP ומפחיתה את צריכת החמצן בעוד הביצוע הספורטיבי משתפר.
- המנגנון המדויק שבו צריכת ניטרט משפרת את יכולת ביצוע המאמץ עדיין לא ברור.
- יש צורך במחקרים נוספים לאושש את ממצאי המחקרים הקודמים, להבין טוב יותר את מנגנון הפעולה של ניטרט, לאמוד את הקשר שבין מנה ותגובה בהקשר של ניטרט, ולגבש המלצות לצריכת מיץ סלק לטובת השפעה ארגוגנית.
- צריכה של ניטרט אינה כרוכה בסיכונים בריאותיים ובתופעות לוואי פרט לאנשים עם מחלת לב שצורכים תרופות מרשם (ניטרוגליצרין , nitroglycerine) שמשפיעות גם הן על המטבוליזם של NO.
- ישנו מעט מאוד מידע על תופעות לוואי אפשריות לאחר צריכת כמויות גדולות של ניטרט.



- הסוכנות העולמית למניעת סמים בספורט - WADA (World Anti Doping Agency) קבעה שחומרים ופעולות שמתיימרים להיות ארגוגניים, יכללו ברשימת החומרים האסורים והפעולות האסורות (Performance enhancing drugs – PEDs) אם הם עונים על 2 מ-3 הקריטריונים הבאים:
- ישנן עדויות מדעיות או רפואיות שלחומר או לפעולה יש פוטנציאל לשפר ביצוע ספורטיבי.
 - ישנן עדויות מדעיות או רפואיות שהשימוש בחומר או בפעולה גורם לסיכון בריאותי לספורטאי.
 - הסוכנות העולמית למניעת סמים בספורט קבעה שהחומר או הפעולה מפרים את רוח הספורט.

חומרים ממריצים (מעוררים, stimulants)

- למשפחת הסמים הממריצים משתייכים אפדרין, קוקאין והשכיחים ביותר - האמפטמינים.
- מיועדים לגרום שיפור בערנות ובריכוז המנטלי, דחיית העייפות, הגברת קצב הלב וזרימת הדם לשרירים, זירוז הפעילות של כל מערכות הגוף שמגביר את קצב המטבוליזם, הגדלת הביטחון העצמי והאגרסיביות מתוך כוונה להגביר את היכולת התחרותית. פעילותם דומה לפעילות מערכת העצבים הסימפטטית.
- אמורים לסייע לרוץ מהר יותר, להדוף, ליידות ולהטיל רחוק יותר, לקפוץ גבוה ורחוק יותר, לדחות את הופעת תחושת העייפות (העלאת סף תחושת העייפות) שתאפשר לספורטאי לדחוף את עצמו למאמץ שמעבר לגבול התשישות וסימני האזהרה הנורמליים.

מחקרים הראו שצריכת אמפטמינים קשורה בהשפעות הבאות:

- ירידה במשקל
- שיפור בזמן תגובה, ביכולת האצה ובמהירות
- שיפור בחוזק, בהספק (כוח מתפרץ) ובסבולת שריר
- ייתכן שיפור בסבולת אירובית אבל לא בצח"מ
- השגת דופק מרבי גבוה יותר ורמת שיא של לקטט גבוהה יותר בעת ההגעה לתשישות
- שיפור בריכוז
- שיפור בקואורדינציה של המוטוריקה העדינה

תסמינים לשימוש באמפטמינים ותופעות לוואי:

- אי-שקט פסיכומוטורי, הפרעות בשינה, אופוריה, פעילות-יתר, תוקפנות, חוסר תיאבון, שטף דיבור, חשדנות, פראנויה, מצבי דיכאון, עצבנות חריגה, חרדה, עלייה בלחץ הדם, הגברת קצב הלב, הפרעות קצב בלב, נזק לכלי דם במוח, פסיכوزה, במקרים קיצוניים גם התכווצויות והפרעות נשימתיות ואפילו מוות.
- העלאת סף תחושת העייפות עלולה להביא את הספורטאי למאמץ שמעבר לפעולת מנגנוני ההגנה הפיזיולוגיים האישיים שתוצאותיו עלולות להיות פגיעות חום והלם (ירידה פתאומית בלחץ הדם) חמורות וסיכון בריאותי.

קפאין (caffeine)

- שייך לקבוצת החומרים המעוררים. בשנת 2004 הוסר מרשימת החומרים האסורים לשימוש.
- מגרה את מערכת העצבים המרכזית. פועל כחומר מעורר, מגביר ריכוז, דוחה עייפות, משפר מצב רוח, מאפשר חשיבה מהירה, מקצר זמן תגובה ומגביר פעילות מוטורית ויכולת שרירית.
- מאיץ שחרור וניוד של ח. שומן מרקמת השומן. העלייה בזמינות ח. שומן חוסכת בגליקוגן, דוחה את דלדולו ומעכבת את ההתעייפות ואת התשישות במאמצי סבולת ממושכת.
- מקטין את תחושת המאמץ הסובייקטיבית בעצימות נתונה. כתוצאה מכך הספורטאי יכול להגיע לעצימות גבוהה יותר באותה תחושת מאמץ סובייקטיבית.
- קפאין הגדיל את משך הזמן עד הגעה לתשישות במאמץ נתון והקטין את משך הזמן של מעבר מרחק נתון.
- קפאין גרם לשיפור גם במאמצים קצרים, בפעילויות שדורשות כוח ובמשחקי ספורט קבוצתיים.

- קפאין מצוי בקפה, בתה, בשוקולד ובמשקאות קלים כגון קולה. ניתן להשיג קפאין גם בצורת טבליות ולצרוך אותו בכמויות גדולות.
- המינון של קפאין שנצרך לפני המאמץ וקשור עם שיפור ביכולת הוא 3 מיליגרם/ק"ג משקל גוף שהם כ- 200 מיליגרם לספורטאי ששוקל 70 ק"ג. כמות זו דומה לכמות הקפאין שנמצאת בכוס גדולה של קפה חזק.
- אנשים שלא רגילים לצרוך קפאין, שרגישים לקפאין או שצורכים קפאין בכמות גדולה עלולים לחוש בתופעות הלוואי הבאות: עצבנות, חוסר מנוחה, רעד, הגברת קצב הלב, נדודי שינה, התעוררות יתר של מערכת העיכול, הגברת ייצור השתן במנוחה (לא במאמץ) שעלולה לגרום למאזן נוזלים שלילי והתמכרות.
- הפסקה פתאומית בצריכת קפאין אצל המורגלים בצריכתו תגרום לתופעות גמילה שיתבטאו בתשישות, בכאבי ראש, בעצבנות-יתר, חוסר שקט במערכת העיכול ובחוסר מוטיבציה.

סטרואידים אנאבוליים (Anabolic Steroids)

- דומים במבנה הכימי שלהם להורמון המין הזכרי טסטוסטרון. הם מחולקים לשתי קבוצות: סטרואידים טבעיים אנדוגניים כמו טסטוסטרון, וסטרואידים סינתטיים כמו נאנדרולון.
- גורמים להתפתחות תכונות זכריות (אנדרוגני) ומגרים בנייה של רקמת שריר (אנבולי).
- הוכחו באופן ברור כבעלי השפעה ארגוגנית.
- השימוש נעשה במגוון רחב של ענפי ספורט כמו רכיבה על אופניים, בייסבול, פיתוח גוף, ריצות קצרות, הרמת משקולות, הדיפת כדור ברזל, יידוי פטיש ועוד.
- קשר חזק של מנה - תגובה נמצא בינם למסת הגוף הרזה, למסת השרירים, ולשיפור בכוח.
- שימוש מתמשך או מחזורי בסטרואידים אנאבוליים מביא להפחתה במסת השומן, מגביר את היכולת להתאמן קשה יותר ובנפח אימונים גדול יותר, תורם להאצת ההתאוששות, לזירוז תיקון נזקי השריר ונזקי הרקמות, וגורם לעלייה במסה ובכוח של השרירים.

- **תופעות לוואי וסיכונים רפואיים לגברים ולנשים:** פגיעה בתפקודי הכבד, גידולים סרטניים בכבד, נזק ללב (הגדלה פתולוגית), נזק לעורקים הכליליים, התקף לב, הפרעות קצב בלב, עלייה ברמת השומנים בדם, עלייה ברמת הכולסטרול הרע (LDL), ירידה משמעותית ברמת הכולסטרול הטוב (HDL), העלאת הסיכון להתפתחות קרישי דם, עלייה בלחץ הדם, פצעי אקנה, בעיות התנהגותיות של אגרסיביות ואלימות המשפיעות גם על תפקוד שכלי וכן בעיות נפשיות כפראנויה או מניה דפרסיה.
- **תופעות לוואי ייחודיות לנשים, הנגרמות עקב הגברת ההשפעה האנדרוגנית:** אובדן המחזור החודשי, הפרעות בביוץ, שינויים מבניים באיברי המין, הקטנת השדיים, התקרחות, צמיחת שיער בפנים, עלייה במסת השרירים ושינויים בקול. חלק משינויים אלה אינם הפיכים.
- **תופעות לוואי שכיחות בקרב גברים:** כמות זרע נמוכה, עקרות, התקשות והקטנה של האשכים, הגדלת בלוטת הערמונית ועלייה בסיכון לפתח סרטן הערמונית, אין-אונות וגדילת שדיים עקב הפרשה מוגברת של הורמון המין הנשי אסטרוגן. חלק משינויים אלה הפיכים, אך עלולים להימשך זמן רב.

הורמון הגדילה (Human Growth Hormone)

6 הפעולות ה"טבעיות" של הורמון הגדילה שמופרש מההיפופיזה בהתאם לשעון

הביולוגי ונראות, לכאורה, כעשויות לסייע בשיפור הביצועים הספורטיביים:

- גירוי לסינתיזת חלבונים בשריר
- גירוי לגדילת עצמות ארוכות לאורך אם טרם הסתיימה גדילתן.
- גירוי לסינתיזה של גורם גדילה דמוי אינסולין (IGF1).
- הגברת פרוק רקמת השומן שהופכת את חומצות השומן ליותר זמינות ומפחיתה במסת השומן
- מעלה את רמת הגלוקוז בדם
- מאץ החלמה לאחר פציעות שלד - שריר

ממצאי מחקרים:

- מתן הורמון גדילה למבוגרים מעל גיל 60 גרם לעלייה במסת הגוף הרזה, לירידה במסת השומן ולעלייה בצפיפות העצם.
- במחקרים עם צעירים נמצאו מעט רווחים משמעותיים שכללו: עלייה בסינתיזת קולגן והפחתה במסת השומן. לא נמצאה השפעה משמעותית אם בכלל על מסת השריר וכוח השריר.
- להורמון הגדילה אין השפעה אנבולית וארגוגנית על ספורטאים צעירים ובריאים. להורמון אין את אותו אפקט אנבולי כמו לטסטוסטרון פרט למקרים של אנשים עם מחסור בהורמון גדילה.

תופעות לוואי:

- אקרומגליה (ענקות) המתבטאת בגידול יתר של איברים, עצמות ורקמות חיבור.
- התארכות אצבעות הידיים והרגליים, חולשת שרירים ומפרקים, סוכרת, יתר לחץ-דם, דלקת בשריר הלב, הפרעות במחזור החודשי, אין אונות, ירידה בתשוקה המינית ובתוחלת החיים.

חומרים משתנים (Diuretics)

- ספורטאים משתמשים בהם כדי להפחית במהירות את משקל גופם לפני תחרויות, שבהן מתחרים על-פי קבוצות משקל כמו האבקות, ג'ודו, הרמת משקולות ועוד.
- משמשים לטשטוש עקבות של שימוש בחומרים אסורים אחרים. הגדלת נפח השתן תגרום להקטנת ריכוזם היחסי של המטבוליטים, שנוצרו בגופו של הספורטאי כתוצאה משימוש בחומרים אסורים, ותקשה על גילויים.

תופעות לוואי:

- התייבשות, הפרעות במאזן האלקטרוליטים, הפרעות בוויסות חום, התעייפות, כיווצי שרירים, תשישות, כאבי בטן, כאבי שרירים ופגיעה בתפקוד הלב (הפרעות קצב ואף דום לב).

חומרים חוסמי ביתא (beta blockers)

- קבוצת חומרים שחוסמים רצפטורים מסוג בטא אדרנרגיק (Adrenergic) ועל ידי כך מונעים מנוראפינפרין להיקשר לרצפטור שעל תאי המטרה שלו.
- מניעת ההתקשרות של נוראפינפרין מפחיתה את הטונוס הסימפטטי וגורמת לרגיעה ולהורדת קצב פעימות הלב במנוחה, במאמץ תת מרבי ובמאמץ מרבי.
- נפוצים בעיקר בקרב ספורטאים המשתתפים בענפים המחייבים ריכוז ושקט, כגון קליעה למטרה באקדח וברובה, גולף, ותחרויות חץ וקשת.

תופעות לוואי:

- גרימת הצרות של דרכי הנשימה בחולי אסטמה
- כשל של הלב באנשים עם בעיות בתפקוד הלב
- ירידה בלחץ דם, הפרעות שינה, דיכאון, כאבי ראש, כאבי שרירים, הפרעות במערכת העיכול ועוד.

סימום דם (העשרת דם - blood doping)

- פעולה שמיועדת לשפר את יכולת נשיאת החמצן בדם ע"י הגדלת כמות תאי דם האדומים. בהעשרת דם נכללים : עירוי של דם או תאי דם אדומים והזרקת אריתרופויטין (erythropoietin), הורמון-חלבון שמיוצר באופן טבעי בכליה ומגביר ייצור של תאי דם אדומים במח העצם.
- עירוי דם נעשה על-ידי הוצאת כמות של דם (לא פחות מ- 900 מ"ל) מהספורטאי עצמו או ממישהו אחר עם אותו סוג דם ושמירתה בהקפאה. לאחר פרק זמן מסוים (5 - 10 שבועות), בסמוך לתחרות, מוחזר הדם בעירוי לספורטאי במטרה להגדיל את נפח הדם.
- משפר את המטבוליזם האירובי ואת הצח"מ, ועמם את משך זמן הריצה על מסילה במאמץ נתון עד לתשישות ואת הביצועים במאמצי סבולת בינונית וממושכת: ריצה למרחקים ארוכים, רכיבה על אופניים, תריאטלון ועוד. לדוגמה, בריצת 10 ק"מ יש לצפות להישג המהיר ב- 60 שניות מהתוצאה ללא העשרת דם.

סיכונים:

- העלייה בכמות תאי הדם האדומים הופכת את הדם לסמיך ומאטה את זרימתו עם סיכון להיווצרות קרישי דם ועצירה מוחלטת. עצירה בעורקים הכליליים המזינים את שריר הלב עלולה לגרום לאוטם ולמוות. עצירת הדם למוח תוביל לשתוקים ואף למוות.
- כאשר עושים שימוש באריתרופויטין אין אפשרות לדעת כמה תאי דם יוצרו. הדבר שם את האתלט בסיכון גבוה מפאת האפשרות לעלייה משמעותית בצפיפות הדם והבעיות הנלוות.
- הסיכון שבהעשרת דם, גם מבלי לקחת בחשבון את החוקיות והאתיות שבדבר, עולה בכל קנה מידה על היתרונות שגלומים בתהליך.
- איתור השימוש באריתרופויטין נעשה באמצעות בדיקות דם. במטרה לשלוט ולמנוע את העמסת הדם איגודי ספורט שונים כמו איגוד האופניים המקצועניים אינם מאפשרים לספורטאי להתחרות אם ההמטוקריט שלו מעל 50%.

Blood doping : infusions, erythropoietin and artificial blood

E Randy Eichner¹

Affiliations + expand

PMID: 17465616 DOI: 10.2165/00007256-200737040-00030

Abstract

As science marches on, athletes and coaches march close behind. Researchers have long been interested in how red cell mass and blood volume affect exercise capacity. Interest in blood doping soared after the 1968 Mexico City Olympics. Studies in the 1970s and 1980s suggested that transfusing red cells could speed endurance performance. Diverse athletes of the time were accused of blood doping. In the late 1980s, recombinant human erythropoietin (EPO) began to supplant transfusion for doping. EPO use is a suspect in nearly 20 deaths in 4 years in European cyclists. In the

EPO use is a suspect in nearly 20 deaths in 4 years in European cyclists.

transfusion is back in vogue and some athletes may have infused artificial blood. Tests for detecting artificial blood also exist, but it seems it will take widespread, year-round, unannounced, out-of-competition testing and stern penalties to deter blood doping.

