



משרד החינוך

# מערכת שידורים לאומית

# חינוך גופני מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק א' – חומרי הדלק למסלולי אספקת אנרגיה

שם המורה : אוסנת מרקוזה

# מה נלמד היום

- מבנה ואופן הפעולה של מערכת העיכול
- הדלקים המטבוליים – פחמימות, שומנים וחלבונים
- התרומה היחסית של הפחמימות והשומנים להפקת ה-ATP במסלול האירובי במנוחה

# חומרי הדלק לעבודת השרירים

## הקדמה

- פחמימות ושומנים הם הדלקים המטבוליים העיקריים אותם צורך הגוף בתזונה, לצורך הפקת ATP.
- חלבונים מפורקים במסלול האירובי לצורך אספקת אנרגיה, רק במצבי מצוקה



# מבנה ואופן הפעולה של מערכת העיכול

- מערכת העיכול מתחילה בפה ומסתיימת בפי הטבעת

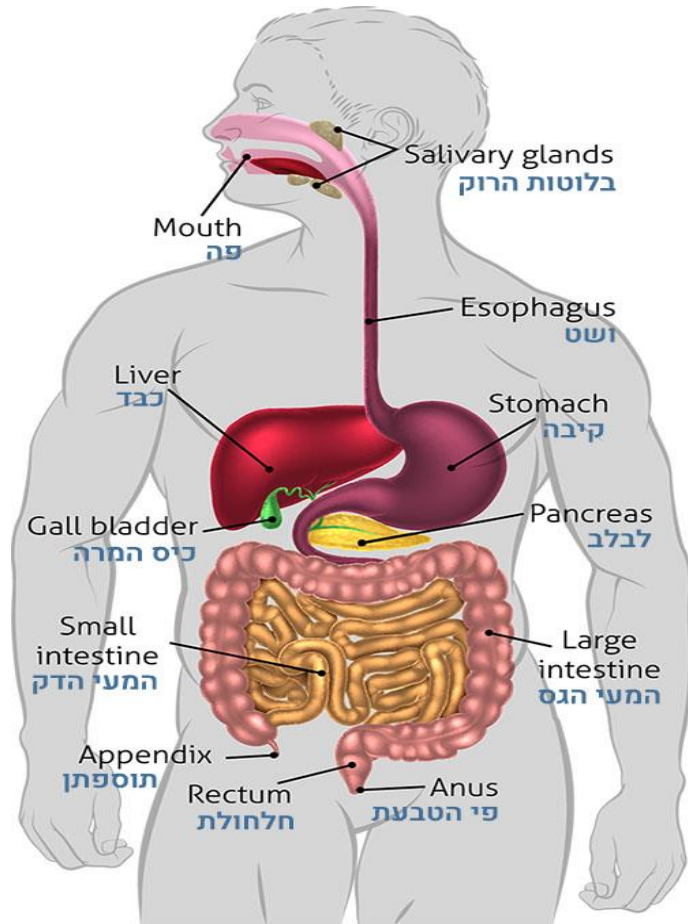
- מה מאפשר את קליטת המזון בגוף:

הובלה בצינור המזון

הפרשת נוזלים ממסים ואנזימים

פירוק המזון ליחידות קטנות

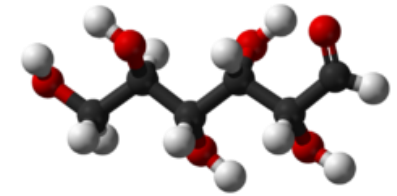
ספיגת יחידות המזון לדם ומשם לתאים



# אבני היסוד של הדלקים המטבוליים

נכנסים לסרקופלסמה דרך ממברנת (קרום) תא השריר.

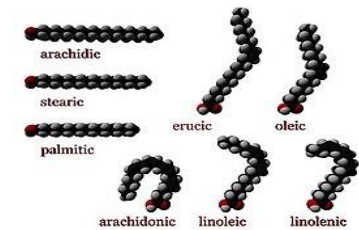
- פחמימות (סוכרים) – גלוקוז



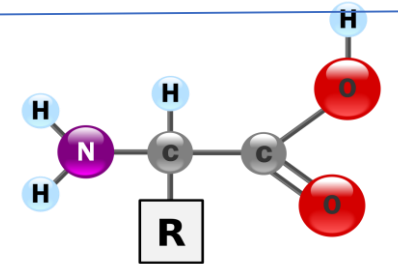
במאמץ משמשים כדלק מטבולי

במנוחה, חלק קטן משמש כדלק מטבולי,  
והרוב מאוחסן

- שומנים – חומצות שומן



- חלבונים (פרוטאינים) – חומצות אמיניות – אבן-בניין לחלבון המרכיב את קרום התא, אנזימי התא, מיופיברילים ועוד.



# פחמימות כדלק מטבולי נקלטות לגוף האדם, בצורת עמילן ותאית, ממזונות שמקורם בצומח".

## גלוקוז בדם

- מ-1 גרם של גלוקוז ניתן להפיק 4.2 קלוריות
- רמת הגלוקוז בדם נעה בין 65-110 מ"ג לכל דציליטר דם (הומאוסטזיס), והיא תלויה בתזונה.
- היפוגליקמיה – ירידה ברמת הגלוקוז בדם אל מתחת לערכים הנורמליים, תביא לתחושת רעב ועייפות, סחרחורת, איבוד הכרה ולעיתים עד מוות.
- היפרגליקמיה – עודף גלוקוז בדם, יאוחסן בצורת גליקוגן בכבד ובשריר. אם מחסני הגליקוגן בגוף מלאים, הגלוקוז יאגר כשומן ברקמת השומן.



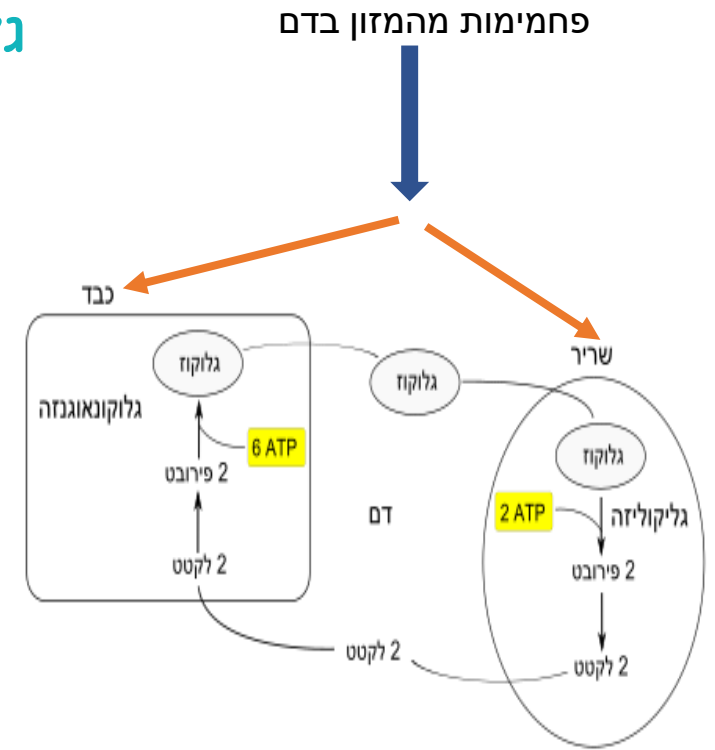
# פחמימות כדלק מטבולי (המשך)

## גליקוגן בשריר ובכבד

- כל גרם גליקוגן נאגר יחד עם 2.7 גרם מים
- בממוצע, כ-15 גרם גליקוגן "נטו" נאגר בכל ק"ג שריר, ובכל הגוף יש בממוצע כ-300 גרם.
- רק גליקוגן מהכבד יכול להעלות את רמת הגלוקוז בדם. גליקוגן מהשריר עושה זאת בעקיפין
- חומצת החלב (נקרא גם לקטט), שנוצרת בשרירים במאמצים עצימים, עוברת בדיפוזיה לדם ומשם תגיע גם אל הכבד.
- בכבד תשמש חומצת החלב כ:

חומר דלק למסלול האירובי או  
תהפוך לגליקוגן שיאוחסן בכבד או  
תומר לגלוקוז שיחזור לזרם הדם

- כל התהליך מכונה מעגל קורי



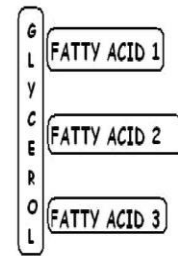


# שומן כדלק מטבולי

## שומן מאוחסן ברקמת השומן כטריגליצרידים = גליצרול + 3 חומצות שומן

- מ-1 גרם של שומן ניתן להפיק כ-7 קלוריות. 1 גרם שומן נקי מכיל 9.5 קלוריות.
- השומן = מאגר האנרגיה של הגוף. נאגר כמעט ללא הגבלה
- ריצת מרתון בודדת צורכת כ- 2500 קלוריות (בגופו של רץ מרתון בממוצע יש כ-7 ק"ג שומן השווים 50,000 קלוריות")
- שומן מתפרק ע"י אנזימים ברקמת השומן. חומצות השומן נכנסות לזרם הדם (בעזרת הורמונים), ומשם לתא השריר. גליצרול מגיע לכבד דרך הדם ומשמש כדלק מטבולי, או הופך לגלוקוז.
- קפאין מגביר את ניווד חומצות השומן בדם, ולכן גם את חלקן היחסי בדלק המטבולי.
- חומצת חלב מעכבת את פירוק רקמת השומן ואת ניווד חומצות השומן בדם.

## טריגליצרידים



## Triglyceride

# מנת הנשימה (R-respiratory exchange ratio)

$VCO_2/VO_2$  Respiratory Exchange Ratio (RER)

- מדד שבאמצעותו ניתן לזהות מהו הדלק המטבולי העיקרי בו השתמש הגוף לצורך הפקת אנרגיה במסלול האירובי
- היחס, בין נפח הפחמן הדו-חמצני שנפלט (ממעגל קרבס) לבין נפח החמצן שנצרך, שונה כאשר מפרקים שומנים לעומת פחמימות
- ככל שנשתמש יותר בפחמימות, כך תעלה מנת הנשימה, ולהפך לגבי שומן.
- במנוחה – האנרגיה מגיעה ברובה ע"י המסלול האירובי, לפי החלוקה הבאה:  
2/3 משומנים ו- 1/3 מפחמימות.

RER	FAT%	CARB%
1.00	0	100
.98	6	94
.96	12	88
.94	19	81
.92	26	74
.90	32	68
.88	38	62
.86	47	53
.84	53	47
.82	62	38
.80	68	32
.78	74	26
.76	81	19
.74	88	12
.72	94	6
.70	100	0

## שאלת חשיבה

- מה תמליצו לרצי מרתון לאכול לפני הריצה, פחמימות פשוטות או פחמימות מורכבות? נמקו את תשובתכם.



# חינוך גופני מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק ב' – חומרי הדלק למסלולי אספקת אנרגיה

שם המורה : אוסנת מרקוזה



# מה נלמד היום

- תרומתם היחסית של חומרי הדלק להפקת ATP במאמץ
  - חלבון כדלק מטבולי
  - מעורבות המערכת ההורמונלית בוויסות הרכב הדלק המטבולי
- 

# תרומתם היחסית של חומרי הדלק להפקת ATP במאמץ

נקבעת ע"י שלושה גורמים עיקריים

- עצימות ומשך המאמץ
- התזונה של האדם הפעיל
- רמת הסבולת הממושכת של האדם הפעיל



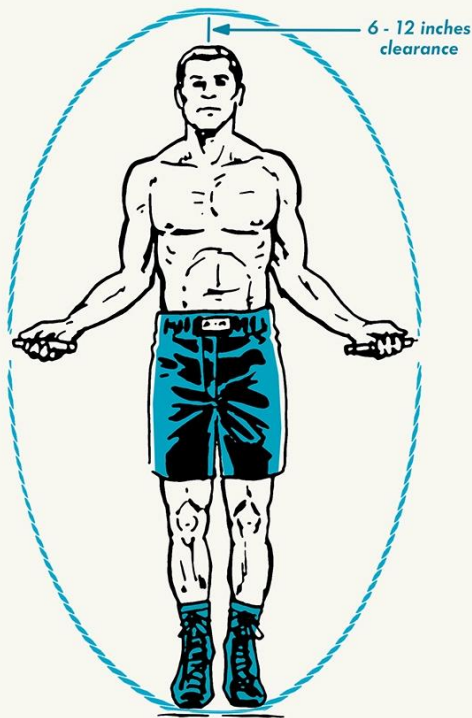
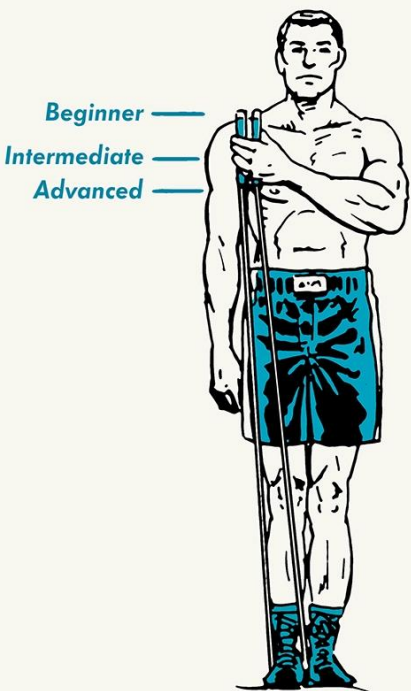


# עצימות ומשך המאמץ

ככל שעצימות המאמץ עולה וככל שמשך המאמץ קטן,

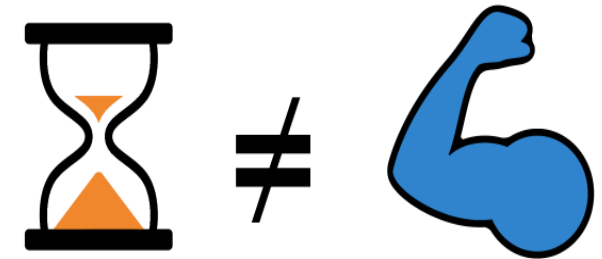
- כך תעלה תרומתן היחסית של הפחמימות בהרכב הדלק המטבולי.

Measure the Right Length of Jump Rope



- כמה זמן ניתן, לדעתכם
- להתמיד במאמץ קשה?

- **3 סיבות** לעלייה בתרומה היחסית של פחמימות, עם העלייה במשך ועצמת המאמץ:



Effort vs. Duration

# 1. פחמימות נחשבות לדלק מטבולי איכותי יותר משומן



## שווי ערך קלורי

- לרשותינו 1 ליטר חמצן.

- כמות הקלוריות שיתקבלו מפירוק פחמימות ושומנים במסלול האירובי, תוך שימוש בליטר 1 של חמצן, היא:





# המסקנות מהערכים של שווי ערך קלורי:

## ניתנות להבנה מכמה כיוונים:

- בשימוש של 1 ליטר חמצן, נקבל 5.05 קלוריות מפחמימות ו-4.69 קלוריות משומן
- 1 ליטר חמצן יספיק לפירוק של כ-1.2 גרם פחמימות
- 1 ליטר חמצן יספיק לפירוק של כ-0.67 גרם שומנים
- כדי להפיק משומנים כמות זהה של קלוריות, נזדקק לכ-7% יותר חמצן
- כלומר,
- תהליך פירוק השומנים צורך יותר חמצן מאשר תהליך פירוק הפחמימות!

## 2. במאמצים עצימים, הולכת וגוברת תרומתו של המסלול האנאירובי-לקטי באספקת אנרגיה

הדלק המטבולי היחיד בו משתמש מסלול זה הוא פחמימות.

- תוצר הלואי של הגליקוליזה הוא חומצת חלב, שתגרום ל:
- הפחתה בניוד חומצות שומן בדם, והפחתה בזמינותן לתאי השריר (לצורך ייצור ATP)
- קצב הניוד המהיר ביותר של חומצות שומן לדם, יהיה במאמץ בעצימות של כ- 25% מהיכולת האירובית המרבית.
- ככל שתעלה עצימות המאמץ, כך יפחת חלקן של חומצות השומן בדלק המטבולי.
- מאמץ עצים מאוד (במשך שניות בודדות), יקבל את רוב האנרגיה מהמסלול האנאירובי-אלקטי.

# 3. בעת מאמץ עצים, יופנה רוב הדם לשרירים הפועלים

## זרם הדם לאיברים לא פעילים, כמו רקמת השומן, יפחת משמעותית

- זרימת דם מוקטנת לרקמת השומן, תפחית את היכולת לניוד חומצות שומן, מרקמת השומן אל תאי השריר.
- בתחילת מאמץ ממושך בעצימות נמוכה, יורדת תרומתן של חומצות השומן לייצור ATP, ועולה תרומתן של הפחמימות.
- רק לאחר כ-25 דקות במאמץ הנ"ל, יהוו חומצות השומן את הדלק המטבולי העיקרי.
- ככל שיימשך המאמץ, כך תעלה חשיבותן של מאגרי הפחמימות (גליקוגן) שבשריר ב:

מניעת התעייפות

סיומת (finish) בסוף הריצה

# לסיכום ההשוואה בין תרומת הפחמימות והשומנים כדלק המטבולי

ניתן לומר כי:

• במאמצים בעצימות נמוכה (25% מהיכולת האירובית המרבית), יהוו חומצות השומן את הדלק המטבולי העיקרי



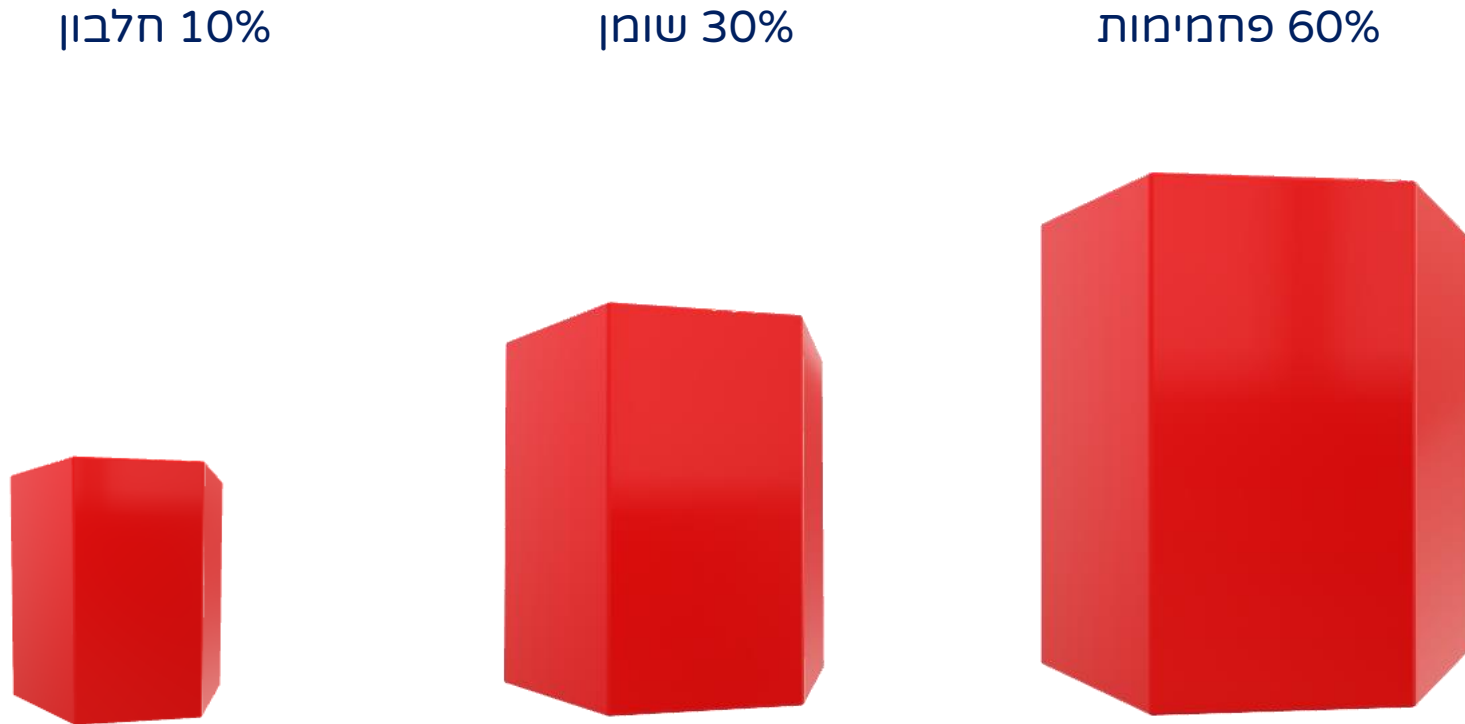
• במאמצים בעצימות גבוהה (85% מהיכולת האירובית המרבית), יהוו הפחמימות (גליקוגן) את הדלק המטבולי העיקרי



# התזונה של האדם הפעיל

משפיעה על הרכב הדלק המטבולי שייעשה בו שימוש לצורך הפקת אנרגיה

• 1. תזונה "רגילה" (מעורבת) כוללת:



נבדקים שאכלו דיאטה זו היו מסוגלים לרוץ במשך שעתיים, לפני שחשו בתשישות (שנבעה מדלדול מאגרי הגליקוגן)

# התזונה של האדם הפעיל (המשך)

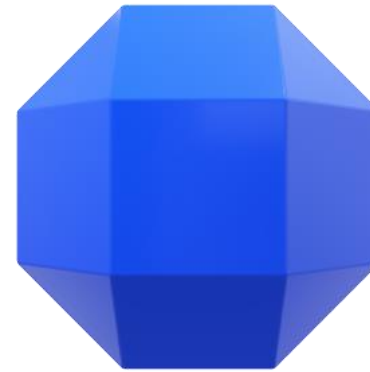
## 2. דיאטה עשירה בשומן וענייה בפחמימות

- לאחר מספר ימים של דיאטה כנ"ל, הגוף העדיף להשתמש בשומן כדלק מטבולי, אפילו בתחילת המאמץ.

פחמימות



שומן

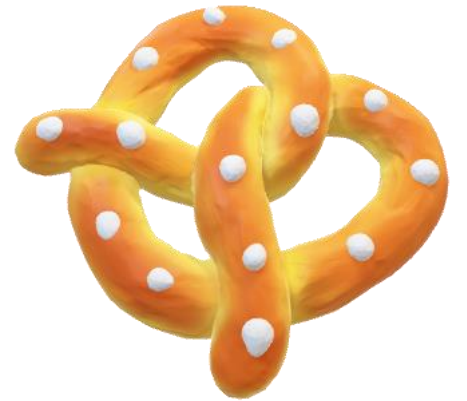


- נבדקים שאכלו דיאטה זו היו מסוגלים לרוץ במשך 85 דקות (35 דקות פחות מאשר בדיאטה מעורבת), לפני שחשו בתשישות (שנבעה מדלדול מאגרי הגליקוגן, שלא היו מלאים מלכתחילה)

# התזונה של האדם הפעיל (המשך)

## 3. דיאטה עשירה בפחמימות

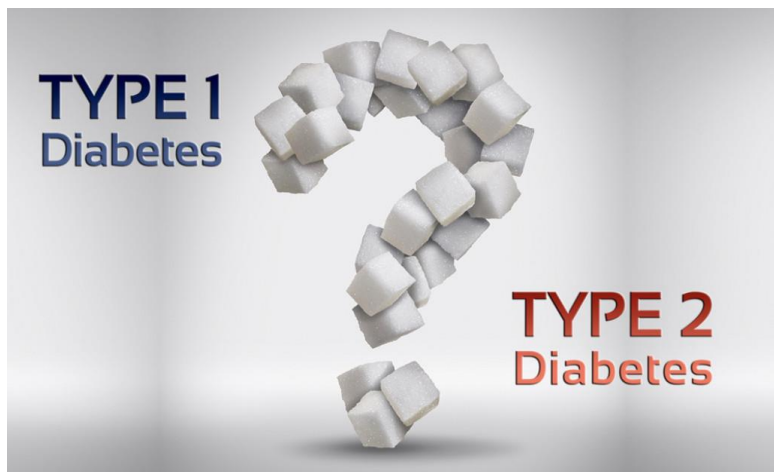
- הביאה לשימוש נרחב יותר בהן כדלק מטבולי, ובפרט בתחילת המאמץ
- גם כאשר יש זמינות של פחמימות, ככל שהמאמץ מתמשך יעדיף הגוף להשתמש בשומן
- נבדקים שאכלו דיאטה זו היו מסוגלים לרוץ במשך ארבע שעות, לפני שחשו בתשישות
- (שנבעה מדלדול מאגרי הגליקוגן)
- אפקט האינסולין – כאשר נצרכו פחמימות פשוטות (זמינות) סמוך לפני מאמץ ממושך, נצפתה צריכה מרובה של פחמימות ואילו הזמן עד לתשישות התקצר.



# רמת הסבולת הממושכת של האדם הפעיל

ככל שתעלה רמת הסבולת הממושכת, כך ייעשה שימוש רב יותר בחומצות שומן

- העדפת המטבוליזם של חומצות שומן, יביא לחיסכון בגליקוגן
  - ככל שיישמר הגליקוגן בשריר, כך תידחה ההתעייפות
- השפעות נוספות על הרכב הדלק המטבולי:
- מצב בריאותי (למשל סוכרת)





# חלבון כדלק מטבולי

## משמש כדלק מטבולי ב-4 מצבים:

- כשהתזונה עשירה בחלבונים ונוצר בגוף עודף של חמצות אמיניות
- בעת צום (של מעל לשבועיים), יפורקו חלבוני השריר לצורך הפקת אנרגיה
- במאמצים גופניים עצימים 5% מהאנרגיה מגיעה מפירוק חלבונים
- כאשר יש פגם בהפרשת אינסולין ובקליטת גלוקוז בתאים



# חלבון כדלק מטבולי (המשך)

## מעגל גלוקוז-אלנין

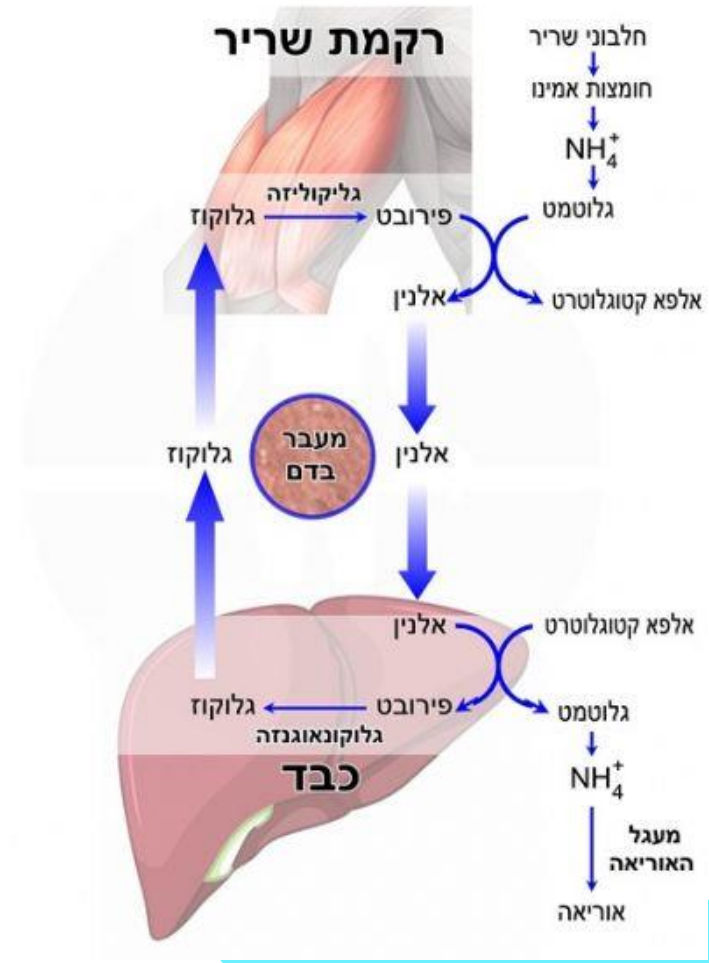
- התהליך בו מופקת אנרגיה מחומצה אמינית, לאחר תגובה עם חומצה פירובית
- כאשר חומצה אמינית מגיבה יחד עם חומצה פירובית, נוצרות 2 חומצות: חומצת קטו (אשר הגוף מפרק במעגל קרבס ליצירת אנרגיה) חומצה אמינית הנקראת אלנין, שיוצאת לזרם הדם ומגיעה לכבד, ושם הופכת לחומצה פירובית גלוקוז.

### לחומצה הפירובית ייתכנו 3 גורלות:

תגובה עם חומצה אמינית והפיכתה לחומצת קטו ואלנין

הפיכה לחומצת חלב במטבוליזם האנאירובי-לקט

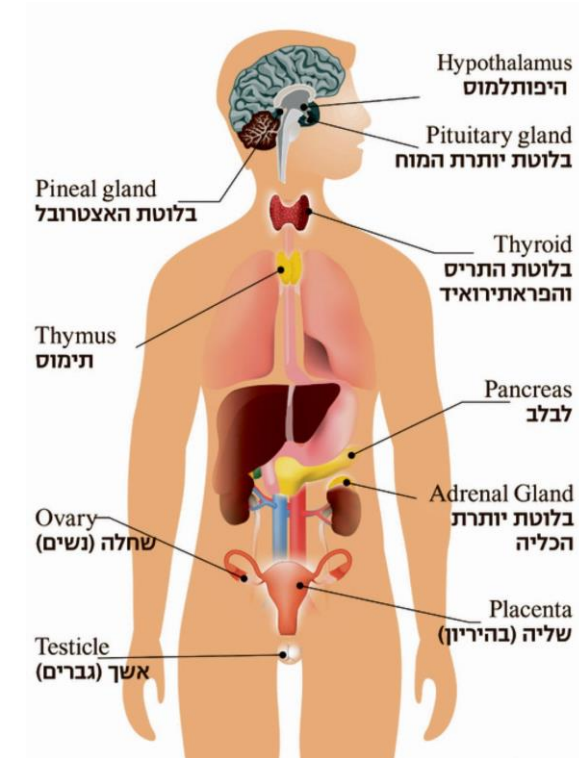
כניסה למעגל קרבס לתהליך האירובי (גורל שכיח)



# מעורבות המערכת ההורמונלית בוויסות הרכב הדלק המטבולי

התהליכים הבאים מאפשרים אספקת חומרי דלק לייצור אנרגיה, ושמירת רמת הגלוקוז בדם:

- פירוק של גליקוגן הכבד ושחרור של גלוקוז מהכבד לדם
- ניווד של חומצות שומן מרקמת השומן אל תאי השריר
- בנייה מחדש של גלוקוז בכבד מחומצות אמיניות, חומצת חלב וגליצרול
- הפחתה בכניסת גלוקוז מהדם לתאים והאצה בשימוש בחומצות שומן כדלק מטבולי
- פירוק של גליקוגן בשריר לצורך הפקת אנרגיה
- ההורמונים קורטיזול, הורמון הגדילה, אפינפרין, נוראפינפרין, תירוקסין, אינסולין וגלוקגון מעורבים בוויסות המטבוליזם של אבות המזון



# מערכת הורמונלית (המשך)

## קורטיזול – הורמון סטרואידי

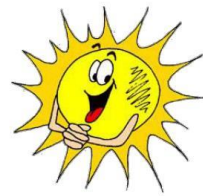
- מפרש מבלוטת יותרת הכליה
- מאיץ ניווד חומצות שומן מהשומן לדם
- מאיץ ניווד חומצות אמיניות מהרקמות לכבד כדי להופכן לגלוקוז
- רמתו עולה בעת מאמץ גופני
- מכונה "הורמון הסטרס", חלק מתגובת "הילחם או ברח" של המערכת הסימפתטית



# מערכת הורמונלית (המשך)

## הורמון גדילה – מופרש מבלוטת יותרת המוח

- בניית חלבונים ברקמות
- מפחית צריכת גלוקוז ומגביר ניווד חומצות שומן לדם
- מאיץ תהליכי בנייה של גלוקוז בכבד
- ככל שהמאמץ המבוצע עצים יותר, כך תעלה רמת הורמון הגדילה בדם



גדילה והתפתחות

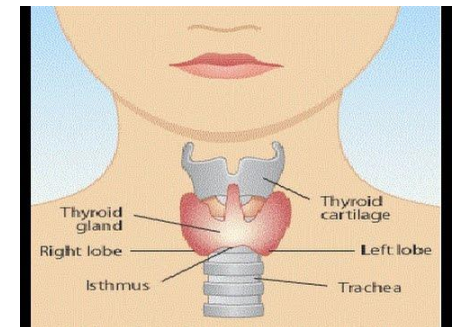
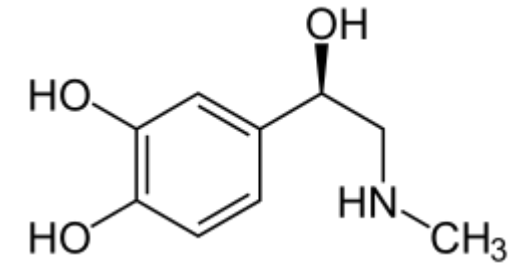


# מערכת הורמונלית (המשך)

אפינפרין ונוראפינפרין – מופרשים מליבת יותרת הכליה ומעורבים ב:

- פירוק גליקוגן בשריר לצורך הפקת אנרגיה
- פירוק גליקוגן בכבד ושחרור גלוקוז מהכבד לזרם הדם
- ניווד חומצות שומן מרקמת השומן לדם
- האטה בצריכת גלוקוז מהדם ע"י הרקמות
- ככל שמשך המאמץ יעלה, כך תעלה רמתם בדם
- תירוקסין – מופרש מבלוטת התריס
- מגביר את הקצב המטבולי ואת יכולת הפעולה של הורמונים אחרים

אדרנלין



# מערכת הורמונלית (המשך)

## אינסולין – מופרש מהלבלב בתגובה לעליית רמת הגלוקוז בדם

- מעורב בתהליכי הכניסה והאחסון של גלוקוז בשריר ובכבד

- מעכב ניווד חומצות שומן לדם

- ככל שמשך המאמץ עולה, תרד רמת האינסולין בדם

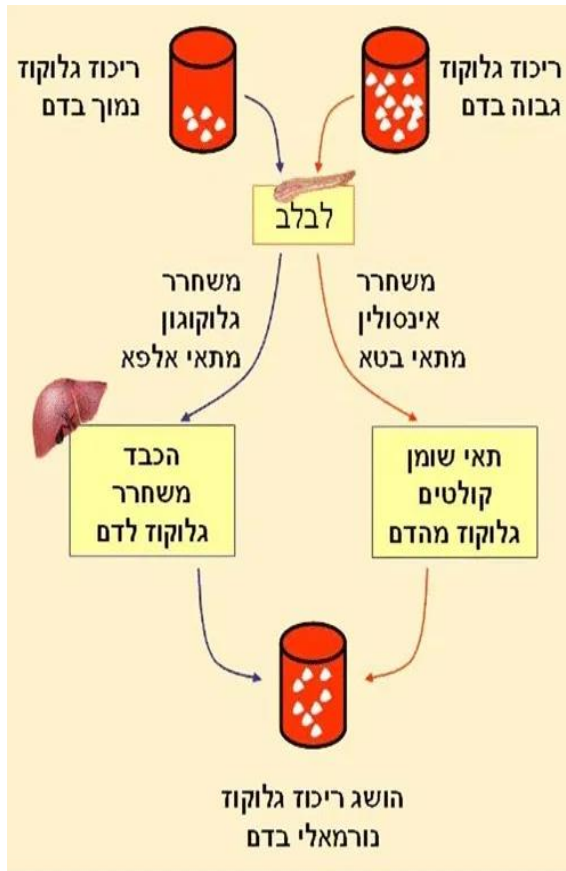
בזמן מאמץ ממושך בעצימות לא גבוהה, מתאפשרת שמירה על רמה תקינה של גלוקוז בדם תוך המשך ניצול מיטבי של חומצות שומן חופשיות כדלק מטבולי

- גלוקגון – מופרש מהלבלב ופועל בניגוד לאינסולין**

- גורם לשחרור של גלוקוז מהכבד לדם

- מאיץ את תהליכי בניית הגלוקוז בכבד

- מאיץ ניווד חומצות שומן אל זרם הדם





## מטלת סיכום

- [https://www.youtube.com/watch?v=wxzc\\_2c6GMg&list=RDCMUCsooa4yRKGN\\_zEE8iknghZA&start\\_radio=1&t=1](https://www.youtube.com/watch?v=wxzc_2c6GMg&list=RDCMUCsooa4yRKGN_zEE8iknghZA&start_radio=1&t=1)
- צפו בסרטון אודות השפעת הפחמימות על בריאות גופינו וכתבו לפחות עובדה
- חדשה אחת אותה למדתם מהסרטון.





מדינת ישראל  
משרד החינוך



## נוהל שימוש ביצירות מוגנות בזכויות יוצרים ואיתור בעלי זכויות

השימוש ביצירות במהלך שידור זה נעשה לפי סעיף 27א לחוק זכות יוצרים, תשס"ח. 2007-אם הינך בעל הזכויות באחת היצירות, באפשרותך לבקש מאיתנו לחדול מהשימוש ביצירה, זאת באמצעות פנייה לדוא"ל [rights@education.gov.il](mailto:rights@education.gov.il)