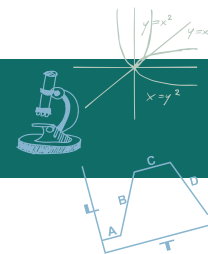
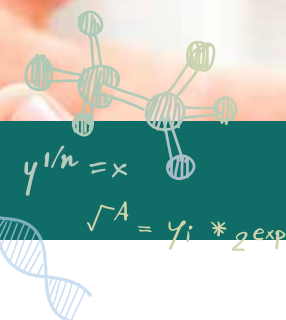


# ביורפואה חישובית סוכרת | לתלמיד



## חולה או לא חולה?

### אבחון מחלת הסוכרת

למרפאה של רופאת משפחה מגיע ד.כ., גבר בשנות ה-50 לחייו. הוא מספר שאימו חולת סוכרת וגם בני משפחה מצד אביו חולים במחלה ומביע חשש שאולי גם הוא. לדבריו יש עלייה בתכיפות במתן שתן, וגם בלילה הוא לפעמים מתעורר בשל כך, אבל מלבד זאת אין משהו מיוחד שהוא סובל ממנו. הוא מציג לרופאה את תוצאות בדיקת הדם האחרונה שביצע:

ריכוז גלוקוז בדם לאחר צום: 113 מיליגרם לדציליטר

הבדיקות מעלות ספק אצל הרופאה והיא מתקשה להחליט אם ד.כ. אכן חולה סוכרת ויש להוריד את ריכוז הגלוקוז בדמו. היא יודעת שאבחון מוטעה של אדם בריא כאילו היה חולה סוכרת עלול לסכן אותו, ולכן הרופאה מעוניינת להתייעץ עם מומחה לסוכרת.

בפעילות זאת תתבקשו ליעץ לרופאה בנוגע לאבחון הסוכרת של ד.כ.

### חלק א: מהי סוכרת?

אתם מתבקשים לראיין אנשים בסביבתכם הקשורים למחלת הסוכרת. תוכלו לקיים ראיונות עם חולי סוכרת, רופאי משפחה, רופאים במשפחה, תזונאים קליניים.

1. נסחו יחד, בכיתה, שאלות שהייתם מעוניינים לשאול בראיון. כמו כן, בקשו מהמראיינים שלכם בדיקות שנעשו בהקשר לסוכרת (בעילום שם, כמובן) והביאו אותן לכיתה.

2. מה למדתם מהראיונות על מחלת הסוכרת?

א. מהם התסמינים של המחלה?

ב. מהו המנגנון הפגוע בקרב חולי סוכרת?

ג. אילו בדיקות קיימות למחלה?

ד. אילו תרופות מקבלים החולים במחלה, ואילו הרגלים הם היו צריכים לשנות בהמלצת הגורמים המטפלים בהם?

3. התבוננו בסרטון המסביר מהי מחלת הסוכרת.

א. מה תוכלו להוסיף למה שלמדתם מהראיונות?

ב. תארו במילים שלכם את רצף האירועים שחל בגופו של אדם בריא לאחר ארוחה.

ג. בסרטון מדומה ההורמון אינסולין למפתח. האם לדעתכם הדימוי למפתח מתאים לאינסולין? אם כן, מדוע ואם לא – איזה דימוי אחר הייתם בוחרים לאינסולין ומדוע לדעתכם הוא מתאים יותר?



4. א. היפוגליקמיה היא מצב שבו ריכוז הגלוקוז בדם **נמוך מאוד**. היעזרו במידע על [היפוגליקמיה](#) כדי להסביר מדוע חושבת הרופאה שאבחון אדם בריא כחולה סוכרת הוא מסוכן.

ב. יש חולי סוכרת העונדים צמיד ובו פניה בנוסח:

**אני חולה סוכרת. אם התעלפתי שימו לי בפה קוביית סוכר שתמצאו בכיסי.**

מדוע חולי סוכרת צריכים ללכת עם ממתקים בתיק או בכיס?

## חלק ב: איך מאבחנים סוכרת?

אבחון נכון של מצב המטופל חשוב לרופאה: אם ד.כ. אכן חולה סוכרת, יש לטפל בהורדת ריכוז הגלוקוז בדם כדי למנוע את הסיבוכים הקשים מהמחלה; ואם הוא מאובחן כחולה סוכרת בטעות, עלול הטיפול לגרום להיפוגליקמיה. כדי לאבחן סוכרת נעזרים הרופאים בשלוש בדיקות: (1) ריכוז גלוקוז בדם, (2) המוגלובין מסוכר, ו-(3) העמסת סוכר.

### 1. ריכוז גלוקוז בדם



בבדיקה זאת מגיע הנבדק למעבדת בדיקות, לרוב בקופת החולים, לאחר לפחות 8 שעות צום לשם בדיקת דם. המבחנה עם הדם מועברת למעבדה. התוצאות מתקבלות ביחידות של משקל לנפח: מיליגרם לדציליטר (אלפיות גרם גלוקוז לכל עשירית הליטר).

5. א. איך הייתם בודקים מאיזה ריכוז של גלוקוז בדם כדאי להתנהג בזירות כדי למנוע סוכרת או לטפל במחלה?

הציעו דרך למצוא את המדדים שמאותתים לאנשים שהם עלולים לחלות בסוכרת אם לא יישמרו.

כדי לדעת מהם ערכי ריכוז גלוקוז בדם הגורמים למחלת הסוכרת נערך בעבר סקר נרחב באוכלוסייה. למשתתפים בסקר נערכו בדיקות דם, וכן נבדק האם הם סובלים מסיבוכים האופייניים למחלה. נמצא, שהסיבוכים הופיעו בקרב אנשים שבדיקות הדם שלהם הראו ערכי גלוקוז העולים על 125 מיליגרם לדציליטר. על פי הסקר נקבעו ערכי ריכוז הגלוקוז בדם המתאימים למצבי סוכרת שונים:

מצב בריאותי	ריכוז אופייני של גלוקוז בדם לאחר צום
בריאים	פחות מ-100 מיליגרם לדציליטר
<a href="#">טרומ סוכרתיים</a>	100-125 מיליגרם לדציליטר
סוכרתיים	126 ומעלה מיליגרם לדציליטר

ערכים אלה של רמות גלוקוז בדם משמשים עד היום כסטנדרט: ערכים שלפיהם יכולים רופאים לאבחן מצב של סוכרת. ב. בדיקת הדם של ד.כ. הראתה שריכוז הגלוקוז בדם לאחר צום היה 113 מיליגרם לדציליטר. כיצד הייתם

מאבחנים אותו על פי בדיקה זאת בלבד?

בדרך כלל רופאים לא מאבחנים סוכרת על פי בדיקה אחת בלבד של ריכוז גלוקוז בדם (או אפילו על פי יותר מבדיקה אחת). כדי להבין מדוע בדיקה זו אינה מספיקה בכדי לאבחן את ד.כ., נביט בדוגמה הבאה:

ריכוז בדם מיליגרם לדציליטר	תאריך
130	01-03-2018
75	02-03-2018
100	03-03-2018
150	04-03-2018
85	05-03-2018
90	06-03-2018
95	07-03-2018
105	08-03-2018
115	09-03-2018
100	10-03-2018
100	11-03-2018
150	12-03-2018
130	13-03-2018
135	14-03-2018
135	15-03-2018
65	16-03-2018
85	17-03-2018
85	18-03-2018
85	19-03-2018
100	20-03-2018
105	21-03-2018
130	22-03-2018
125	23-03-2018
120	24-03-2018
120	25-03-2018
110	26-03-2018
150	27-03-2018
113	28-03-2018
86	29-03-2018
88	30-03-2018
75	31-03-2018

לפניכם גיליון של מתנדב ובו תוצאות בדיקות של ריכוז גלוקוז בדם עם ההתעוררות בבוקר (מקביל לבדיקה לאחר צום) במשך חודש. לרוב, לא שולחים אדם לבצע בדיקות כל יום אלא אם כן הוא מאובחן כחולה ומבצע את הבדיקות הללו בבית.

ג. חשבו את הממוצע של ריכוז גלוקוז בדם עבור אדם זה. איזו מקבוצות האוכלוסיה (חולים, טרום-סוכרתיים, בריאים) מאפיין הממוצע שחישבתם?

ד. האם אתם יכולים על סמך הגיליון לאבחן אם האדם חולה סוכרת, טרום סוכרתי או בריא? הסבירו על פי מה קבעתם את האבחון.

ה. אם אתם מתלבטים – הסבירו מדוע. מה הייתם מציעים לעשות במקרה שקשה להחליט?

ו. כיצד היו הרופאים מאבחנים אדם זה אילו פנה לבדיקה בתאריך 5.3? כיצד היו מאבחנים אותו אילו פנה בתאריך 12.3? בתאריך 26.3? מדוע?

ז. אילו היה המתנדב מתבקש לבצע בדיקות של ריכוז הגלוקוז בדם רק ארבע פעמים במהלך החודש בפער של שישה ימים לפחות ביניהן:

1. הביאו דוגמא לצירופי ימים שבהם ממוצע הבדיקות היה מראה שהמתנדב חולה סוכרת.

2. הביאו דוגמא לצירופי ימים שבהם ממוצע הבדיקות היה מראה שהמתנדב טרום סוכרתי

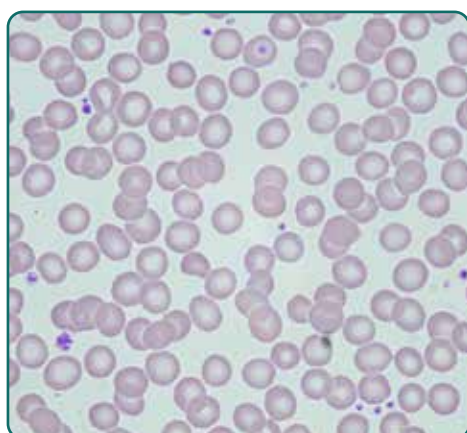
3. הביאו דוגמא לצירופי ימים שבהם ממוצע הבדיקות היה מראה שהמתנדב בריא.

ח. מהם לדעתכם היתרונות והחסרונות של ממוצע ריכוז גלוקוז בדם כמדד לאבחון סוכרת?

ט. בדרך כלל רופאים מפנים נבדקים לפחות לבדיקת ריכוז גלוקוז בדם אחת נוספת. כיצד יכולה בדיקה שנייה לעזור באבחון?

## 2. המוגלובין מסוכרר

בבדיקת הדם שביצע ד.כ. נבדק אחוז ההמוגלובין המסוכרר (A1C). תוצאות הבדיקה הצביעו על **5.7% המוגלובין מסוכרר**. תאי הדם האדומים עשירים בחלבון **המוגלובין**, הקושר חמצן. נוסף לחמצן, מולקולות המוגלובין קושרות גם מולקולות גלוקוז, ובמצב זה הן מכונות המוגלובין מסוכרר. נמצא, שככל שריכוז הגלוקוז בדם גבוה יותר, כך אחוז ההמוגלובין המסוכרר גבוה יותר.



6. א. כיצד נתון זה מתקשר לאבחון מחלת הסוכרת?

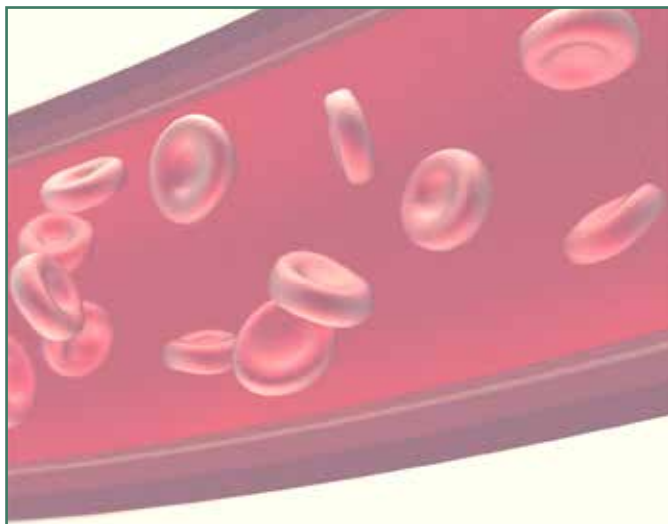
ב. הוסיפו לאיורים הבאים של כלי הדם את מולקולות ההמוגלובין והגלוקוז בדם של אדם בריא ושל אדם חולה בסוכרת.

סמנו באיור **מולקולות גלוקוז** כמשושים: ●

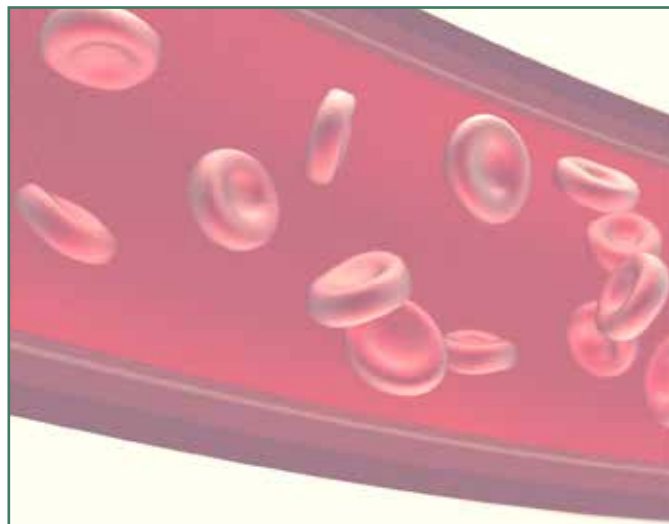
**מולקולות המוגלובין** כריבועים: □

**מולקולות המוגלובין מסוכרר** סמנו כ- ●□

**שימו לב:** מולקולות המוגלובין ומולקולות המוגלובין מסוכרר נמצאות בתאי הדם האדומים. גלוקוז נמצא לרוב מחוץ לתאים, בנוזל הדם.



**אדם בריא**



**חולה סוכרת**

בדיקת המוגלובין מסוכרר כוללת שני שלבים עיקריים:

בשלב הראשון בודקים כמה המוגלובין יש בדגימת הדם של הנבדק. המספר המתקבל כולל המוגלובין מסוכרר והמוגלובין לא מסוכרר. בשלב השני בודקים רק את כמות ההמוגלובין המסוכרר בדגימה.

ג. לאישה שנשלחה לבדיקת המוגלובין מסוכרר נמצאו סך הכל 13.4 גרם לדציליטר המוגלובין, ומתוכם 0.8 גרם לדציליטר היו המוגלובין מסוכרר. חשבו את אחוז ההמוגלובין המסוכרר של האישה.

ועוד נתון חשוב על בדיקת המוגלובין מסוכרר: תאי דם אדומים חיים לכל היותר 3 חודשים. כל עוד תא הדם עדיין חי מולקולות ההמוגלובין שסוכררו נשארות קשורות לגלוקוז. לכן, ביום שבו נלקחת דגימת הדם מתקבלת כמות המוגלובין המסוכרר שהצטברה בתאי הדם האדומים במשך שלושת החודשים האחרונים. אחוז ההמוגלובין המסוכרר נבדק בקרב אנשים בריאים ואנשים חולי סוכרת. על פי הסקר נקבעו הערכים המתאימים למצבי סוכרת שונים:

מצב בריאותי	אחוז ההמוגלובין המסוכרר האופייני
בריאים	פחות מ-5.7%
<a href="#">טרום סוכרתיים</a>	5.7-6.5%
סוכרתיים	6.5% ומעלה

בדומה לערכי רמת הגלוקוז בדם, גם ערכים אלה של אחוז המוגלובין מסוכרר משמשים כסטנדרט: ערכים שלפיהם יכולים רופאים לאבחן מצב של סוכרת.

ד. לאיזה אבחון מתאימה תוצאת הבדיקה של האישה הנ"ל?

ה. תוצאות הבדיקה של ד.כ. הצביעו על 5.7% המוגלובין מסוכרר. לאיזה אבחון מתאימה תוצאת הבדיקה?

ו. מה לדעתכם מוסיפה בדיקת המוגלובין מסוכרר על בדיקת ריכוז הגלוקוז בדם?

### 3. העמסת סוכר

בדיקת העמסת סוכר כרוכה באי-נוחות למטופל ולכן אם אין התלבטות או חשש אמיתי לגבי מטופל, לא נהוג לבקש בדיקה זו. הרופאה מתלבטת אם להפנות את ד.כ. להעמסת סוכר. לאחר שתלמדו על בדיקה זו עליכם לייעץ לרופאה אם כדאי להפנות אליה את ד.כ.

בבדיקה זאת עוקבים אחר היכולת של הנבדק לפנות גלוקוז מהדם. תחילה נוטלים דגימת דם מהנבדק. לאחר מכן, הנבדקים מתבקשים לבלוע נוזל מתוק מאוד המכיל כ-70 גרם גלוקוז (שווה ערך לכ-6 כפות סוכר). לאחר שעה, שעתיים ושלוש שעות (או מידי חצי שעה) נלקחת מהם שוב דגימת דם (בסך הכל לפחות ארבע בדיקות דם). בדיקת העמסת סוכר מספקת נתונים על מספר שלבים במסלול הגלוקוז בגוף לאחר בליעת הנוזל:

א. ספיגת הגלוקוז מהמעי לדם

ב. מעבר הגלוקוז מהדם לתאים בגוף

ג. פירוק הגלוקוז בתאים ויצירת אנרגיה זמינה לתהליכים מקיימי חיים

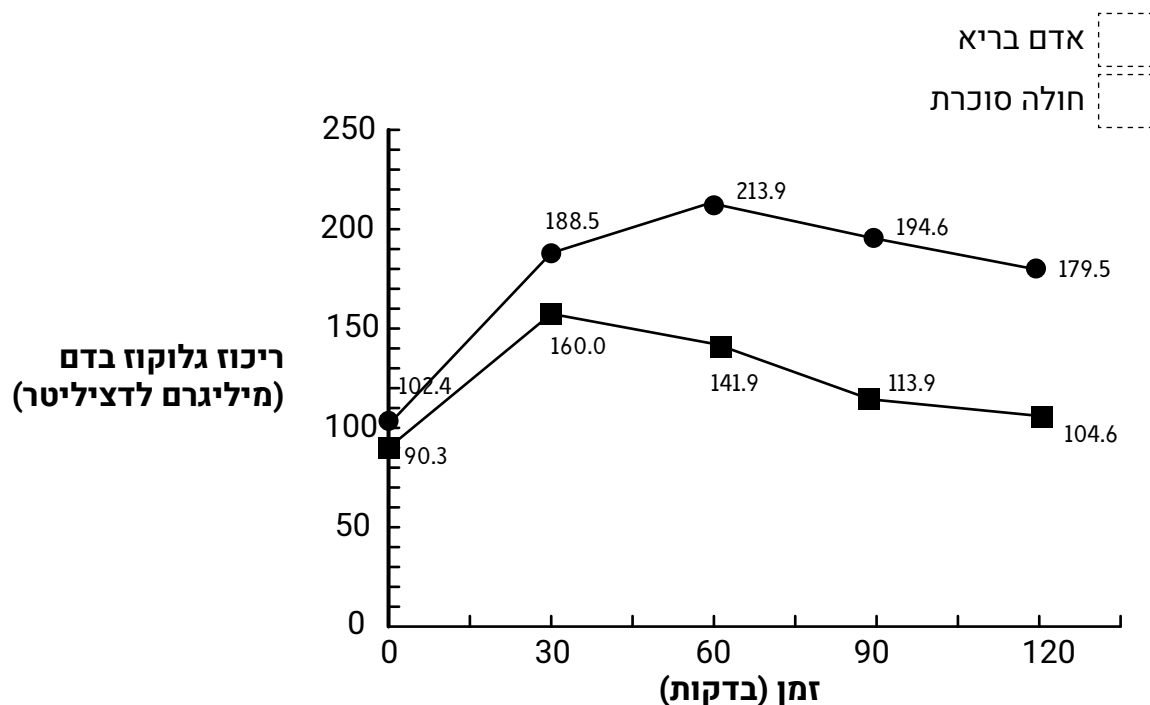
ד. חלק מהגלוקוז הופך בכבד לחומר התשמורת גליקוגן, ובתאי השומן לשומן

**כל השלבים מתרחשים בו זמנית בגוף:** גם לפני ארוחה קיים ריכוז מסוים של גלוקוז בדם, וחלקו נספג בתאי הגוף. כל העת, גם בין ארוחות, תאים משתמשים בגלוקוז להפקת אנרגיה. לאחר ארוחה נספגת כמות גדולה יותר של גלוקוז לדם, ריכוזו בדם עולה וכתוצאה מכך מוגברים גם שאר השלבים עד לחזרה לערכים הראשוניים של גלוקוז בדם.

7. א. איזה שלב (א-ד) יגרום לעליה של ריכוז הגלוקוז בדם?

ב. אילו שלבים (א-ד) יגרמו לירידה בריכוז הגלוקוז בדם?

דוגמה לתוצאות בדיקת העמסת סוכר מוצגת באיור הבא:

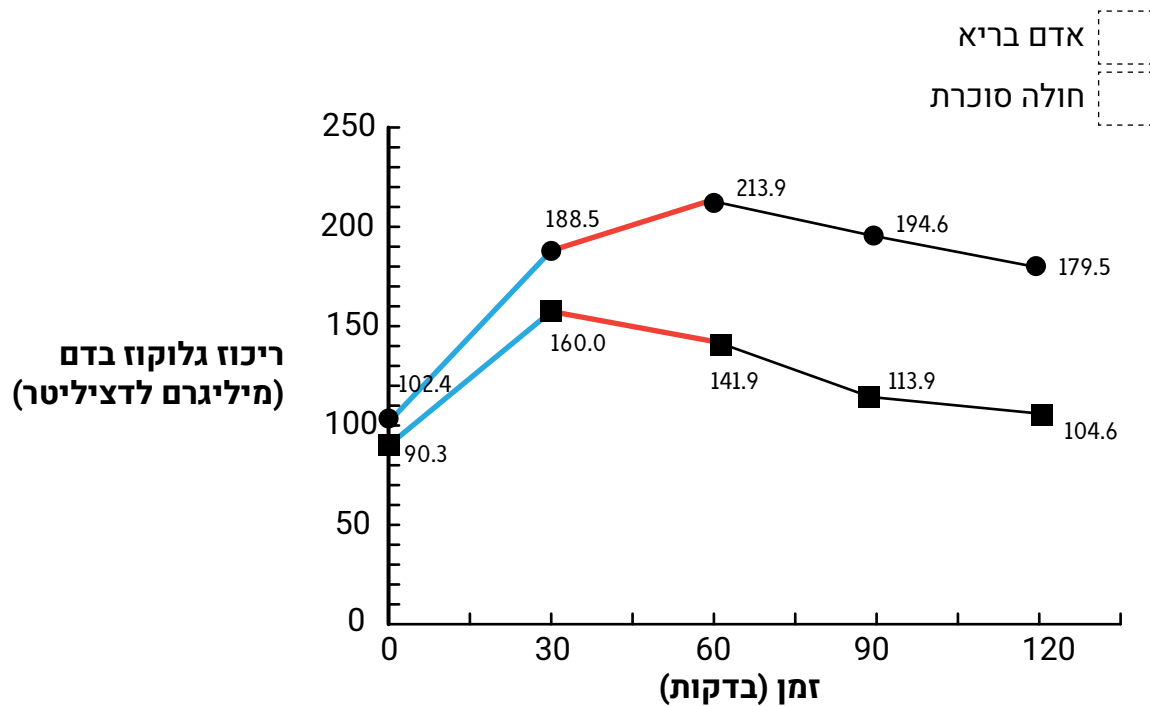


גרף 1: שינויים בריכוז גלוקוז בדם לאורך זמן בבדיקת העמסת סוכר של אדם בריא לעומת אדם חולה בסוכרת

בבדיקת העמסת סוכר מאובחן הנבדק כחולה סוכרת אם לאחר כשעה עולה ריכוז הגלוקוז בדמו מעל 200 מיליגרם לדציליטר, ונשאר שעה נוספת בין 140 ל-200 מיליגרם לדציליטר. ערכים נמוכים מ-140 מיליגרם לדציליטר לאחר כשעתיים הם תקינים.

8. היעזרו בנתונים אלה כדי להשלים את המקרא לגרף 1.

9. התבוננו במקטעים המסומנים בצבעים בגרף של חולה הסוכרת ובגרף של האדם הבריא.



- א. מה מתארים הקטעים הכחולים? איזה שלב מתהליך פינוי הגלוקוז מתרחש בשלב זה אצל אדם בריא?
- ב. מה מתארים הקטעים הכתומים? איזה שלב מתהליך פינוי הסוכר מתרחש בשלב זה אצל אדם בריא?
- ג. לאיזה קטע כחול יש שיפוע גדול יותר? הסבירו איך מצאתם.
- ד. מהם השיפועים של הקטעים? באילו יחידות חיבתם אותם?
- ה. מה המשמעות של שיפוע קטע בהקשר של הבדיקה של העמסת סוכר?
- ו. חישובו על הסבר אפשרי להבדל בשיפוע בין שני הקטעים הכחולים. היעזרו בשלבי תהליך פינוי הגלוקוז.
- ז. מה המשמעות של שיפוע חיובי? שלילי?
- ח. **שאלת אתגר:** מצאו פרק זמן שבו אצל אחד מהנבדקים השיפוע חיובי ואצל השני השיפוע שלילי. הציעו הסבר מדוע זה כך.
- ט. **שאלת אתגר:** בפרק הזמן שבין שעה לשעתיים לאחר העמסת הסוכר קצב פינוי הגלוקוז מהדם מתייצב אצל חולה הסוכרת ואצל הנבדק הבריא. נסו למצוא הסבר אפשרי לתופעה זו.
- י. **שאלת אתגר:** התבוננו בשני הקטעים הימניים של הגרף המתאר את ריכוז הגלוקוז בדם אצל האדם הבריא. איזה קטע מתאר ספיגת גלוקוז מהירה יותר לתאים?
10. לאור מה שלמדתם על בדיקת העמסת סוכר. האם הייתם ממליצים לרופאה לשלוח את ד.כ. לבדיקת העמסת סוכר? מהם השיקולים בעד ונגד?
11. אבחון סוכרת מתקיים אם אחת משלוש הבדיקות מראה ערכים של מחלת סוכרת לפחות פעמיים בשני מועדים שונים. הסבירו מדוע אי אפשר להסתפק באחת מהבדיקות (ריכוז גלוקוז בדם, המוגלובין מסוכרר, העמסת סוכר).

## חלק ג: אבחנה

חיזרו לנתונים של ד.כ.:

**ריכוז גלוקוז בדם לאחר צום:** 113 מיליגרם לדציליטר

**המוגלובין מסוכר:** 5.7% (A1C)

**העמסת סוכר:** 147 מיליגרם לדציליטר

12. היעזרו במידע שלמדתם על בדיקות לאבחון סוכרת כדי לענות על השאלות הבאות:

א. מה עשויה להיות האבחנה על פי נתוני הבדיקות של ד.כ.?

ב. הרופאה מתלבטת אם לטפל בד.כ. תרופתית או לא. מהן ההצדקות להתלבטות של הרופאה?

ג. לאילו נתונים הייתם מצפים אילו ד.כ. היה בריא?

ד. מהם הסיבוכים מהם ד.כ. עלול לסבול אם הוא אכן חולה בסוכרת?

ה. מדוע אבחון מוטעה של אדם כחולה סוכרת עלול לגרום למצבי סיכון?

13. רשמו לרופאה את חוות דעתכם המלומדת. היעזרו בתשובותיכם לשאלות אלה ובמה שידוע לכם על מחלת הסוכרת ועל בדיקות לסוכרת.

## חלק ד: אתם יכולים לעזור!

### איך מונעים בקהילה מקרי סוכרת

מצב של טרום סוכרת אמנם מקדים הופעת סוכרת, אבל יש סיכוי שהוא עדיין הפיך, וטיפול מתאים והתנהגות נכונה בשלב זה אולי ימנעו את הופעת המחלה! אתם יכולים להשתמש בידע שלמדתם עד כה על מחלת הסוכרת ועל הבדיקות שיש לבצע כדי לאבחן את המחלה; ובאבחון שעליו המלצתם לאדם עם חשד למחלה.

14. כיצד תוכלו לעודד רפואה מונעת של סוכרת בקהילה שלכם (הורים, סבים וסבתות, חברי צוות בית הספר, תלמידים). יש לכם רעיון?

### מקורות לגרפים ונתונים:

הגרף בעמוד 8 "תוצאות בדיקת העמסת סוכר":

Jung Won Yun et al. (2009): Abnormal glucose tolerance in young male patients with nonalcoholic fatty liver disease. Liver international: official journal of the International Association for the Study of the Liver 29(4):525-9

DOI:10.1111/j.14783231.2008.01920x



## 1. סוכרת נעורים

**בסרטון** מסבירים ילדים הלוקים בסוכרת נעורים (סוכרת מסוג 1) ובני משפחותיהם על המחלה וההתמודדות איתה לקראת מבצע התרמה לאגודה לסוכרת נעורים.

1. רשמו אילו מושגים הקשורים למחלה מועלים בסרטון.

2. השתמשו במושגים שצינתם כדי להסביר:

א. מהי הסיבה למחלה?

ב. מהי התוצאה של המחלה?

ג. אילו תסמינים מאפיינים את המחלה?

ד. מהו הטיפול במחלה?

3. מלאו את הטבלה הבאה כדי להשוות בין הידוע לכם על סוכרת מסוג 2 לידוע לכם על סוכרת מסוג 1.

סוכרת מסוג 2	סוכרת מסוג 1	
		הגיל בו מופיעה המחלה
		ערכי גלוקוז בדם
		הפרשת אינסולין
		מקום הפגיעה
		טיפול

4. על פי ההשוואה שעשיתם בין סוגי הסוכרת, איזה סוג סוכרת סביר שמאפיין את הגבר ד.כ. שהגיע למרפאה בתחילת הפעילות?

## 2. איך מודדים המוגלובין מסוכרר בדם?

### שלב א: כימות סך כל מולקולות ההמוגלובין מדגימת הדם

לוקחים דגימת דם מהנבדק, וממיסים את קרומי תאי הדם. כך משתחררות כלל מולקולות ההמוגלובין, המסוכרר ושאינו מסוכרר, לנוזל הדם. מערבבים את הנוזל עם חומרים שנקשרים לכלל מולקולות ההמוגלובין ומאפשרים לבדוק בליעה באורך גל מסוים בספקטרופוטומטר. בשלב זה קובעים כמה המוגלובין יש בסך הכל בדם (מסוכרר+לא מסוכרר).

### שלב ב: חיתוך הקצה המסוכרר של המוגלובין

מוסיפים למבחנה אנזימים שמפרקים את קצה ההמוגלובין שאליו מחובר הגלוקוז.

### שלב ג: כימות ההמוגלובין המסוכרר

מוסיפים למבחנה אנזימים מסוג אחר, שמפרקים את הקצה המסוכרר ויוצרים בתוך כך מולקולות של מי חמצן. כמו כן, מוסיפים למבחנה חומר שצבעו משתנה בהתאם לכמות מי החמצן. באמצעות ספקטרופוטומטר נמדדת הבליעה של הצבע שבתמיסה. המדידה מאפשרת לקבוע כמה מי חמצן נוצרו ולחשב בעזרת כמות זאת כמה המוגלובין מסוכרר היה בדגימת הדם.



