

# וריאציות על מבנה מולקולרי

רותי שטנגר\*

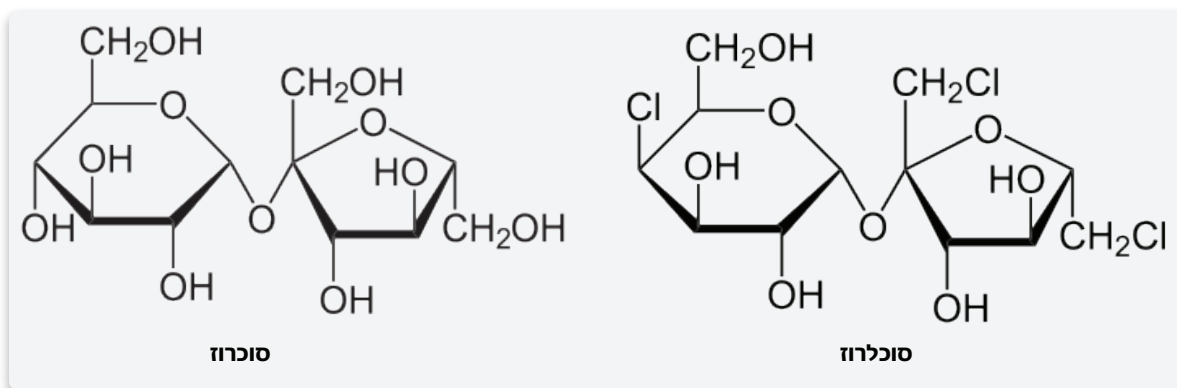
לזו. הסוכרלוז מורכב מטבעת פרוקטוז ומטבעת גלוקטוז, ובנוסף משלושה אטומי כלור המחליפים שלוש קבוצות הידרוקסיליות: על-פחמנים 1 ו-6 בפרוקטוז ועל פחמן 4 בגלוקטוז. החלפת קבוצות הידרוקסיליות באטומי כלור הופכת את מולקולת הסוכרלוז להידרופובית יותר ממולקולת הסוכרוז בחלקים מסוימים של המולקולה. לכן מולקולת הסוכרלוז נקשרת טוב יותר לקולטני הטעם, וסוכרלוז מתוק בערך פי 600 יותר מסוכרוז.

הקשר הגליקוזידי בין הגלוקוז ובין הפרוקטוז מתפרק בגופנו בעזרת אנזים מתאים, והחד-סוכרים המתקבלים נספגים ממערכת העיכול לכלי הדם. כל גרם של סוכרוז מספק לגופנו 4 קילוקלוריות.

שינויים במבנה של מולקולות מוכרות גורמים לשינויים במטבוליזם של מולקולות אלה בגוף. שינויים כאלה נעשים הן בתעשיית המזון, כדי לייצר תחליפים דלי קלוריות למצרכי מזון מוכרים, והן לצרכים רפואיים. במאמר זה נכיר מספר דוגמאות לחומרים כאלה, מתוך המגוון הרב של החומרים הקיימים בשוק.

הדוגמה המוכרת ביותר בקבוצת חומרים אלה היא תחליף הסוכר, סוקרלוז - ממתיק מלאכותי בעל מבנה הדומה מאוד למבנה הסוכרוז, והמוכר מאז שנות השבעים של המאה הקודמת.

הסוכרוז מורכב מטבעת פרוקטוז ומטבעת גלוקוז הקשורות זו



\* רותי שטנגר עוסקת בפיתוח חומרי לימוד במט"ח, המרכז לטכנולוגיה חינוכית, ויועצת מדעית ופדגוגית בפרויקט "טבע הכימיה" של פר"ח מטעם מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן למדע.



האולסטרה מוצקה בטמפרטורת החדר, וכאשר החומצות השומניות בלתי רוויות, האולסטרה נוזלית בטמפרטורת החדר.

מכיוון שאין בגופנו אנזים המתאים לפירוק קשרים אסטריים

אלה, מולקולות האולסטרה אינן מתפרקות בגוף אלא מופרשות ממנו, והחומר הוא נטול קלוריות- חלמו של כל אוהב אוכל.



בשנות התשעים מנהל התרופות האמריקני אישר

את השימוש באולסטרה בחטיפים מלוחים בלבד כמו חטיפי צ'יפס וקרקרים, ובשנת 2004 אושר השימוש בה גם להכנת פופקורן במיקרוגל.

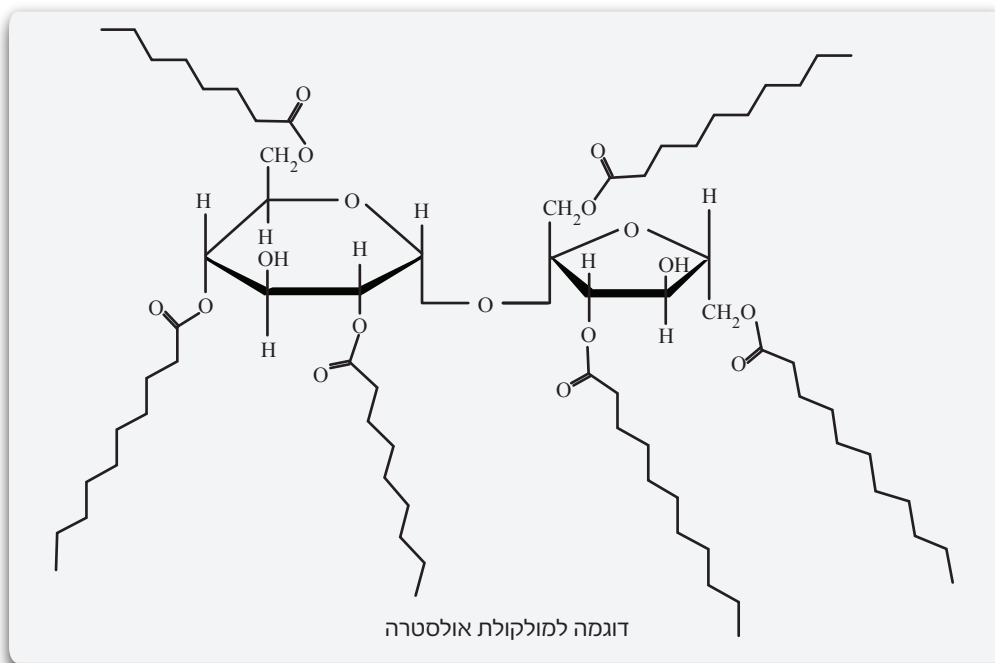
חסרונו הגדול של מוצר זה הוא שוויטמינים המתמוססים בשומן (K, E, D, A), מתמוססים היטב גם באולסטרה, מופרשים אתה מהגוף, וכתוצאה מכך נוצר חוסר בוויטמינים אלה בגוף. כדי לפתור בעיה זו חייב מנהל התרופות הפדרלי

לעומת זאת, הקשר הגליקוזידי בין הגלקטוז לפרוקטוז בסוכרלוז אינו מתפרק, ולכן רב הסוכרלוז מופרש מהגוף, והתרומה הקלורית שלו נמוכה מאוד.

גרם אחד של חלבונים או פחמימות מספק לגוף 4 קילוקלוריות, אך כל גרם של שומן מספק לגוף 9 קילוקלוריות. מסיבה זו יוצרו פיתוחים רבים להכנת חומרים שיחליפו שומנים ושמינים הנמצאים בשימוש בתעשיית המזון ויספקו לגוף פחות קלוריות.

תחליפי השומן מתחלקים למספר קבוצות: תחליפי שומן המבוססים על שומנים, תחליפי שומן המבוססים על חלבונים ותחליפי שומן המבוססים על פחמימות.

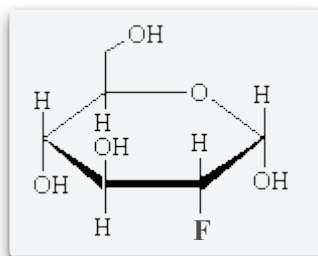
בשנות השישים של המאה הקודמת הצליחו מדענים במעבדות פרוקטור וגמבל ליצור תחליף שומן שנקרא אולסטרה (Olestra) או אולאן (Olean). מולקולות האולסטרה מורכבות מסוכרוז, ששש עד שמונה מהקבוצות ההידרוקסיליות שלו קשורות לחומצות שומניות בקשרים אסטריים. התחושה, הטעם והשימוש באולסטרה דומים מאוד לתחושה של שומן רגיל. כאשר החומצות השומניות קשורות לסוכרוז קצרות מאוד,



פזלי SA2 (SA2 Paselli) הוא דוגמה לתחליף שומן המבוסס על פחמימות. הוא מיוצר מעמילן שמקורו בתפוחי אדמה ושעבר הידרוליזה חלקית על ידי אנזימים. פזלי SA2 יוצר עם מים מרקם גילטיני שיכול להחליף שומן במגוון מאכלים בתחום רחב של טמפרטורות (מאפים, גלידות דלות קלוריות וגבינות) ובתחום רחב של pH - כמו ברוטבי סלט חומציים. מכיוון שריכוז החומר הנחוץ ליצירת המרקם הרצוי במזון הוא קטן, הערך הקלורי של פזלי SA2 נמוך מאוד.

שינויים במבנה המולקולרי של חומר היוצרים שינוי במטבוליזם של החומר בגוף, מיוצרים לא רק לצרכים דיאטטיים, אלא אף לשימושים רפואיים.

Fluorodeoxyglucose (FDG) הוא גלוקוז שהקבוצה ההידרוקסילית על פחמן מספר 2 שלו הוחלפה באטום פלואור רדיואקטיבי,  $^{18}\text{F}$ . FDG משמש בבדיקות הדמיה לאיתור תאים סרטניים בגוף.



FDG מוזרק לגוף ונכנס לתאי הגוף כמו גלוקוז רגיל, אך השינוי במבנה אינו מאפשר לתא להשתמש ב-FDG כמקור אנרגיה ליצירת פחמן דו-חמצני ומים. הקבוצה ההידרוקסילית על-פחמן 2 נחוצה למטבוליזם של הגלוקוז בתא, ומכיוון שקבוצה זו חסרה ב-FDG, הוא מצטבר בתא.

תאי סרטן צורכים כמות גדולה של גלוקוז, ולכן כמות ה-FDG המצטברת בהם גדולה. סריקה של הגוף לאחר הזרקת ה-FDG מראה את המקומות בגוף שבהם הצטבר ה-FDG בכמות גדולה בתאים.

זמן מחצית החיים של  $^{18}\text{F}$  הוא כשעתיים, ואז הוא הופך ל- $^{18}\text{O}$ . פרוטון נקלט מהסביבה המימית, ועל פחמן 2 של הגלוקוז מתקבלת שוב קבוצה ההידרוקסילית, המאפשרת את המשך פירוקו ופינויו מהתא.

להוסיף ויטמינים אלה למוצרים המכילים אולסטרה. מספר מחקרים מצביעים גם על יתרונות רפואיים אפשריים בשימוש בחומר זה לאוכלוסיות מסוימות, למשל, ירידה ברמת ה-LDL ("הכולסטרול הרע") בדם.

תחליף שומן אחר הוא הקפרינין (caprenin). שומן זה הוא טריגליצריד עם שלוש חומצות שומניות הוותות.

שתיים מהחומצות הן חומצות בעלות אורך שרשרת בינוני: חומצה קפרינית, C10:0, וחומצה קפרילית, C8:0. החומצה השלישית, חומצה פֶּהֶנִית, היא בעלת שרשרת ארוכה מאוד: C22:0. המטבוליזם של הקפרינין בגוף זהה לזה של טריגליצרידים אחרים, אך מכיוון שהספיגה של החומצה הפֶּהֶנִית בגוף מועטה, ולחומצות שומניות בעלות אורך בינוני ערך קלורי נמוך מזה של חומצות שומניות ארוכות (לגרם אחד של חומר), גם אחד של קפרינין מספק לגוף כ-5 קילוקלוריות במקום 9 קילוקלוריות.

הקפרינין דומה בתכונותיו לחמאת קקאו, ולכן מיועד להחליף חמאה זו בייצור ממתקים רכים.

בדומה לקפרינין, קיימים בשוק גם תחליפי שומן נוספים עם מבנה דומה: טריגליצרידים מלאכותיים עם מגוון של חומצות שומניות בינוניות וארוכות מאוד.

שיטה אחרת ליצירת תחליפי שומן בעלי ערך קלורי נמוך יותר, היא שימוש בפחמימות או בחלבונים שעברו טיפול מתאים. הערך הקלורי של תחליפים אלה הוא 4 קילוקלוריות לגרם במקום 9 קילוקלוריות לגרם.



סִימְפֵּלְס (Simplese) הוא דוגמה לתחליף שומן המיוצר מחלבון חלב או חלבון ביצה שעברו טיפול בחום וערבול נמרץ, ליצירת חלקיקי חלבון כדוריים מיקרוסקופיים ולקבלת תוצר בעל טעם ותחושה הדומים לשומן. סימפלס משמש כתחליף שומן דיאטטי בקינוחים, גלידה, גבינות, יוגורט ורטבים לסלט.



### מקורות:

1. Kirk-Othmer Food and Feed Technology, vol. 1, Wiley, 2008
2. Riaz Khan, Low Calorie Foods & Food Ingredients, Chapman & Hall, 1996
3. [http://en.m.wikipedia.org/wiki/Fludeoxyglucose\\_\(18F\)](http://en.m.wikipedia.org/wiki/Fludeoxyglucose_(18F))
4. <http://radiology.rsna.org/content/244/1/39.figures-only>
5. Flavio Nobili and Silvia Morbelli, [18F]FDG-PET as a Biomarker for Early Alzheimer's Disease, The Open Nuclear Medicine Journal, 2010, 2, pp. 46-52
6. <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/11/071101122822.htm>

FDG משמש בשנים האחרונות גם לאבחון מוקדם של אלצהיימר ומחלות דומות הגורמות לדמנציה. הזרקת FDG וסריקת מוח של אדם הנמצא במנוחה, מאפשרים מדידה כמותית של צריכת הגלוקוז ברקמות שונות במוחו בדקה.

אצל אנשים החולים באלצהיימר או במחלות דומות הבדיקה מגלה ירידה בצריכת הגלוקוז בחלק מהרקמות במוח. אצל אנשים חולי אלצהיימר השינוי בצריכת הגלוקוז חל ברקמות מסוימות במוח, ואילו אצל אנשים החולים במחלות אחרות עם תסמינים דומים, השינוי חל ברקמות אחרות במוח.



הבדיקה מאפשרת לקבוע אם החולה חולה באלצהיימר או במחלה אחרת, היא מאפשרת אבחון מוקדם של אלצהיימר ומחלות דומות וכן מעקב אחר יעילות השפעתן של תרופות שונות על התקדמות המחלה.

**הרבה בריאות לכולנו!**