

# מבנים מקרו-מולקולרים בחלב: מסתכלים על המבנה ולא רק בהרכבו

ד"ר נורית ארגוב-ארגמן\*

**בשנים האחרונות מחלחלת לתודעתם של אנשי המקצוע בתחום התזונה והרפואה, העובדה כי החלב הוא נוזל מורכב, אשר קשה עד בלתי אפשרי לחקותו באמצעים טכנולוגיים מעבדתיים. אחת הדוגמאות הברורות ביותר לייחודו של החלב הן מבחינת הרכבו והן מבחינת המבנה הייחודי של השומנים, החלבונים והסוכרים שבו, הם ההבדלים הפיזיולוגיים והקוגניטיביים בין תינוקות יונקים לתינוקות הניזונים מתחליפי חלב •**

## יתרון פיזי קוגניטיבי לתינוקות שינקו

על אף שחל מאמץ אדיר מצד תעשיית המזון לייצר תחליפי חלב שיהיו דומים ככל הניתן לחלב אם, מחקרים שנעשו בעשרות השנים האחרונות מצביעים על יתרון פיזיולוגי וקוגניטיבי לתינוקות שינקו לעומת תינוקות שניזונו מתחליפי חלב. מעניין לדעת כי בעוד שחלק מהיתרונות רלוונטיים לשנות החיים הראשונות של פעוטות כמו ירידה באירועי תחלואה, ישנם מחקרים המצביעים על יתרונות לטווח הארוך, ועל כך שתינוקות שינקו הם בעלי סיכוי נמוך יותר ללקות בבגרותם במחלות לב ומחלות מטבוליות, כולל סכרת סוג 2, בהשוואה לתינוקות שהוזנו בתחליפי חלב. ההכרה בייחודיות החלב בכלל ובחלב אם בפרט, הובילה לפרסום הנחיות חד משמעיות של ארגון הבריאות העולמי (ה-WHO) הקוראות לאמהות ברחבי העולם להניק את ילדיהן באופן בלעדי, מלידה עד גיל שישה חודשים (מאתר ארגון הבריאות העולמי). כמו כן, ההכרה בייחודיות החלב הובילה להקמת בנקי חלב אם ברחבי העולם, וגם בישראל התקבלה לאחרונה החלטה לפתוח בנק חלב אם. כאן המקום לציין שהמבנים המקרו-מולקולריים הייחודיים הנמצאים בחלב אם, נמצאים בחלב ממקורות שונים, החל מחלב פילים, דרך עטלפים ועד בקר וצאן. לכן, היתרונות הנמצאים בחלב קיימים גם בחלב מסחרי, שזמין לנו כצרכנים. כמובן שקיימים הבדלים בין יונקים ממינים שונים,

\* המחלקה למדעי בעלי חיים, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית'. האוניברסיטה העברית.



**קשה עד בלתי אפשרי לחקות את המבנים המקרו-מולקולריים בהם מרכיבים אלו מצויים בחלב**

בשנים האחרונות נמצא כי למבנה בו מופרש שומן החלב השפעה נרחבת על תהליכי עיכול וספיגת המזון, חילוף החומרים המופעל לאחר ארוחה והגנה מפני מחוללי מחלות במערכת העיכול. כמו כן, מבנה שומן החלב מעורב בבקרה על פעילות מערכת החיסון ולכן הוא עשוי להשפיע על התפתחות אלרגיות

אולם הבסיס לאותם מבנים ייחודיים הקיימים בחלב משותף ליונקים שונים. לכן, יש לנצל דמיון זה על מנת להבין ולהעצים את יתרונותיו של החלב על בריאותנו.

### **מדוע לא ניתן לייצר באופן טכנולוגי תחליף שימלא את מקומו של חלב האם?**

התשובה לשאלה זו מצויה לאו דווקא במרכיבי החלב הכללים, כגון חלבון, שומן, פחמיות, ויטמינים ומינרלים, אלא במבנה בהם מרכיבים אלו מופרשים לחלב. בעוד שמאוד קל לייצר מזון אשר יכיל בתוכו ריכוז חלבון, שומן ולקטוז הדומים לאלו המצויים בחלב, קשה עד בלתי אפשרי לחקות את המבנים המקרו-מולקולריים בהם מרכיבים אלו מצויים בחלב. מסתבר, שלמבנה המקרו-מולקולרי יש חשיבות גדולה לקצב מעבר החלב במערכת העיכול, לקצב העיכול, לקצב הספיגה, ולמטבוליזם של המזון לאחר שנספג למערכת הדם. כל זה יכול להשפיע על מגוון רחב של מערכות בגופנו, החל בכבד, שרירים, מערכת החיסון, מערכת הדם ואף מערכת העצבים המרכזית. לאור האמור לעיל, דרוש מחקר אינטנסיבי ומעמיק אשר יאפיין את המבנים המקרו-מולקולריים של רכיבי החלב וישפוך אור על המנגנונים השולטים במבנים אלו. מכיוון שכיום אין באפשרותנו לייצר באופן מלאכותי מבנים דומים בעלי השפעה זהה על גופנו ובריאותנו, יש לחקור כיצד ניתן ליעל את ייצור החלב בבעל החיים עצמו, לשמר מבנים אלו בתהליך עיבוד החלב (כגון פיסטור, הומוגניזציה וכו') ולהעשיר את החלב במבנים מקרו מולקולריים המשפיעים באופן חיובי על בריאותנו.

### **המבנים הייחודיים ביותר בחלב**

אחד המבנים המורכבים והייחודיים ביותר בחלב הוא המבנה של השומן. על מנת להבין את המורכבות, תחילה יש להבדיל בין מבנה המקרו-מולקולרי לבין הרכב השומן. ישנם מחקרים רבים, שפורסמו לאורך עשרות שנים על הרכב

השומן בחלב, על העובדה שמרביתו של השומן הוא רווי, על מיעוט חומצות השומן המועילות מסוג אומגה 3 בחלב ועוד. אולם, חומצות שומן לא מופרשות לחלב כחומצות חופשיות אלא כחלק ממבנה שנקרא בועית שומן החלב. מבנה זה הוא כה ייחודי אשר עד היום, הוא נותר בלתי ניתן לחיקוי באמצעים טכנולוגיים. אלה אחד ההבדלים העיקריים בין תחליפי חלב לחלב עצמו, ולכן אין דרך לספק לתינוקות שאינם יונקים את יתרונות מבנה השומן כפי שהוא מופיע בחלב אם, אלא דרך שימוש בשומן שמקורו בחלב מיונקים אחרים. בשנים האחרונות נמצא כי למבנה בו מופרש שומן החלב השפעה נרחבת על תהליכי עיכול וספיגת המזון, חילוף החומרים המופעל לאחר ארוחה והגנה מפני מחוללי מחלות במערכת העיכול. כמו כן, מבנה שומן החלב מעורב בבקרה על פעילות מערכת החיסון ולכן הוא עשוי להשפיע על התפתחות אלרגיות. מכיוון שלמבנה זה כל כך הרבה יתרונות

לתינוקות ופעוטות, אין זה מפתיע שמחקרים רבים בשנתיים האחרונות מצביעים על יתרון בריאותי של מבנה שומן החלב גם למבוגרים.

## מבנה שומן החלב

שומן החלב מופרש במבנה של בועיות המורכבות מגרעין של טריגליצרידים ומעטפת תלת שכבתית שעיקרה מולקולות ליפידיות הנקראות פוספוליפידים. נשאלת השאלה: מה זה מיוחד במבנה זה?

מסתבר כי למעטפת בועית שומן החלב משמעות בילוגית ובריאותית רחבת היקף. בסדרת מחקרים שפורסמו לאחרונה, נמצא כי תוספת של מעטפת בועיות השומן לתחליף חלב מסחרי במהלך השנתיים הראשונות לחיי תינוקות, הורידה באופן משמעותי את מספר מחלות החום, את מספר מיקרי השלשולים וקצרה את משכם וכן העלתה את רמות ה-IQ לרמות דומות לאלה של תינוקות יונקים. למעטפת בועית שומן החלב נמצאה השפעה גם במבוגרים הלוקים בהשמנת יתר: נמצא כי תוספת של מעטפת בועית שומן החלב לדיאטה הורידה מדדי דלקת בדם ושיפרה את הרכב השומנים בדם. לאחר ארוחה (כולסטרול "טוב" וכולסטרול "רע"), מחקרים נוספים הראו כי תוספת של ממברנה של בועיות שומן משפיעה לטובה על המיקרוביום, אוכלוסיית החיידקים במערכת העיכול וקשורה להתפתחות של מחלות שונות ומגוונות. מורכבות המבנה של שומן החלב איננה מסתכמת במבנה של המעטפת הפוספוליפידית מסביב לגרעין של טריגליצרידים. מסתבר, שבכל רגע נתון מופרשות לחלב בועיות שומן בגדלים שונים; למעשה, בחלב ניתן למצוא בועיות שומן בעלות קוטר המתפרש מכמה מאות ננומטרים ועד ליותר מ-15 מיקרומטרים. בועיות שומן בעלות קוטר שונה נבדלות ביניהן גם בהרכב השומן ובהרכב החלבונים, בעיקר, בועיות שומן קטנות יותר עשירות בממברנה המועילה. לכן הבנה של התהליכים המבקרים את גודל בועיות השומן יכול לקדם את הבנת התהליכים היכולים להעשיר את החלב בממברנת בועיות השומן ובכך לשפר את הרכב החלב והשפעתו על הבריאות. שני מאפיינים אלו של שומן החלב-א) המבנה של מעטפת פוספוליפידית מסביב לגרעין של טריגליצרידים ו-ב) טווח הגדלים העצום של בועיות השומן בחלב, הופך את שומן החלב לאחד האתגרים הגדולים של תעשיית המזון באופן כללי ושל תעשיית המזון לתינוקות בפרט.

למרות שהמחקר על מעטפת בועית שומן החלב ומשמעותה לבריאות מבוגרים וצעירים עדיין בחיתוליו, ניתן כבר לקבוע

באופן חד משמעי שהוא מוכיח את חשיבותו של מבנה המזון שלנו, מעבר להרכב רכיביו הבודדים. ההבנה כי למבנה של המזון השפעה על בריאותנו תוביל את הרפואה ותעשיית המזון לפתח מזונות מקדמי בריאות אשר בפיתוחם יושם דגש על המבנה. לאור האמור לעיל, החלב הינו, ללא ספק, סטנדרט הזהב של מבנה אידאלי של מזוננו.

## נקודה נוספת למחשבה – על מעטפת בועית שומן החלב כתחליף לחומרים המייצבים בתעשיית המזון

באופן היסטורי ואירוני במידת מה, מעטפת בועית שומן החלב כלל לא נכללה בתחליפי חלב לתינוקות בגלל ההנחה כי התפקיד שלה הינו יצירת תחליב- כלומר מניעת איחוי טיפות שומן זו עם זו ומניעת היפרדותן מהפאזה המימית. במקום מעטפת בועיות השומן הוספו לתחליפי החלב מייצבים ממקור צמחי, כגון לציטין סויה. לחילופין בתעשיית המזון (גלידות ומוצרי חלב, בארה"ב ובאירופה בעיקר) יש שימוש נרחב בחומרים מייצבים על בסיס פחמימות. מאמרים שהתפרסמו לאחרונה הראו כי חומרים אלו פוגעים במבנה מערכת העיכול ובהרכב אוכלוסיית חיידקי המעי (מיקרוביום). בעיקר נראה כי חומרים אלו פוגעים ביכולתם של חיידקים קומנסלים, מועילים, להתבסס במעי. כך בעצם נפגע האיזון בין חיידקים קומנסליים לחיידקים מחוללי מחלות, מצב אשר נקשר בשנים האחרונות להתפתחות מחלות מטבוליות. מנגד, מעטפת בועית שומן החלב מורכבת מחומרים אשר משפיעים באופן חיובי על תפקוד מערכת העיכול, והרכב המיקרוביום. כאמור, המקור היחיד הידוע כיום למעטפת בועית שומן החלב, הוא החלב עצמו, ממגוון מיני היונקים.

## סיכום

שומן החלב הוא יותר מסך חלקיו; עדויות חדשות מצביעות על חשיבות המבנה בו השומן מופיע בחלב. ככל הנראה למבנה זה השפעות קצרות וארוכות טווח על התפתחות קוגניטיבית ופיזיולוגית וכן על מדדים שונים של בריאות, כגון דלקות, שלשולים, מחלות חום ועוד. מחקרים בנושא זה מתמקדים כעת בשלושה מישורים:

א) המשך בירור מגוון ההשפעות של ממברנת בועית שומן החלב על בריאותינו (ילודים, צעירים ומבוגרים)

ב) בחינת המשמעות הביולוגית של הרכב שונה וריכוז שונה של מעטפת בועית השומן בחלב (הנגזר משינוי בקוטר בועית השומן בחלב)

ג) כיצד ניתן להגביר את השימוש במעטפת בועית שומן החלב כחומר מייצב בתעשיית המזון. ▲