



הקשר בין מוליכות חשמלית של חלב מעורב לבין נגיעות עטין

ע. שושני, ש. ברמן

המחלקה למדעי בע"ח, הפקולטה לחקלאות
האוניברסיטה העברית, רחובות

גורמים המכתיבים את חומרת הנזק לרקמת
ייצור החלב.

ניתן לזהות דלקת באמצעים שונים:

□ **בדיקות בקטריולוגיות** – בדיקות אלה נעשות
במעבדה על דגימות חלב אֶסֶפְטיות. הן נערכות
בתכיפות נמוכה יחסית, עלותן היא רבה
ולעתים אין בבדיקה אחת כדי להצביע בוודאות
מלאה על הפרות שבעטיניהן מצויים חידקים
פתוגניים.

□ **ספירת תאים סומטיים או מבחן גירוי עטין**
(CMT) – חדירת חידקים לעטין גורמת לגירוי
המערכת החיסונית ובעקבותיו נודדים לחלב
תאי דם לבנים שהם בעלי כושר בליעה של
החידקים. ניתן לספור תאים אלה במכשירים
שונים, כדוגמת ה־Fossomatic המותקן במעבדה
לביקורת החלב בביתן אהרון, אך גם תדירות
של ספירה זו נמוכה מכדי שאפשר יהיה
להתבסס עליה לצורך טיפול שוטף בדלקות.
בדיקה עקיפה יכולה להיעשות באמצעות
בדיקת CMT, אך גם בדיקה מעין זו אינה נעשית
בתדירות גבוהה ואינה מתאימה ליישום, גם
עקב סוביקטיביות הבדיקה.

□ **איבחון שינויים במרכיבי חלב שונים** –
התבססות החידק ברקמת העטין פוגעת בתאי
הנאדיות שבו. בנוסף לירידה הצפויה בתנובת
החלב, חלים גם שינויים אנזימטיים בחלב,
ברכיז המלחים – עליה בנתרן ובכלור וירידה
באשלגן, ירידה בלקטוז ועליה בחומציות.
כמובן, שינויים אלה ניתנים להבחנה במעבדה,
אך עלותן ופרק הזמן עד קבלת התוצאות אינם

דלקות עטין מסבות נזק כלכלי רב בעדרי
החלב. נזק זה נגרם בשל ירידה בתנובת החלב
ומפגיעה במרכיבי חלב חיוניים לתעשיית החלב.
ניתן לסווג את דלקות העטין לשתי קבוצות
עקרוניות:

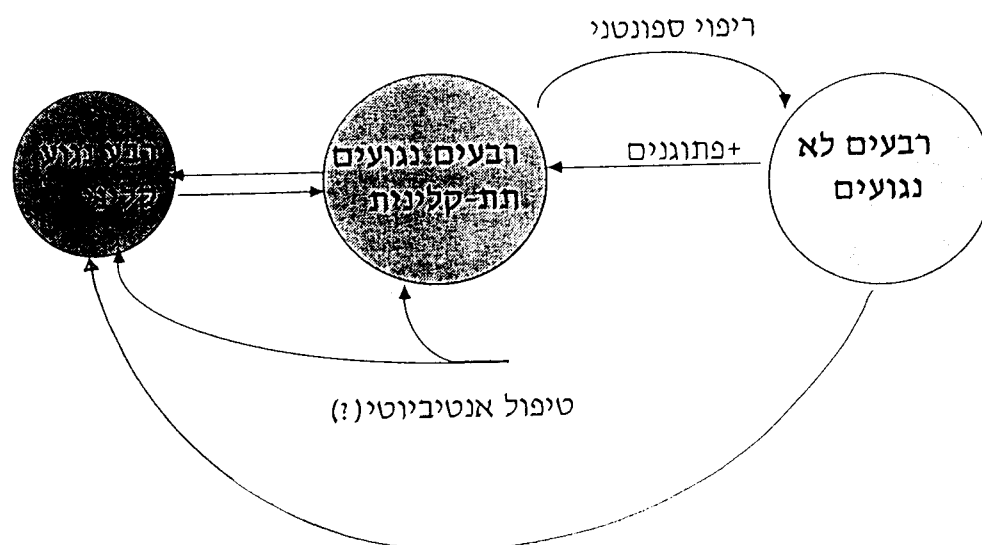
דלקת קלינית, זו דלקת המאופיינת בתופעות
הנראות לעין וקלות להבחנה, כגון נפיחות עטין,
חום עטין גבוה, אדמומיות וחלב מימי.

דלקת תת־קלינית, אשר בניגוד לדלקת
הקלינית, היא אינה מתבטאת בסימנים הנראים
לעין אך גורמת לירידה של 10%–20% בתנובת
החלב ולירידה באיכותו. חדירת חידק לעטין
אינה גורמת בהכרח לדלקת עטין, יתכן ריפוי
ספונטני. אך אם החידק נותר בעטין מתקיים
תהליך דינמי של מעבר ממופע אחד לשני וחוזר
חלילה (איור 1).

דלקות עטין תת־קליניות גורמות את עיקר
הנזק הכלכלי, כיון שבשל אופיה אין התייחסות
אליה מצד הרפתן בעת התפתחותה. עקב כך,
החידק הפתוגני מתרבה ברבע הנגוע באין מפריע
ומופץ לרביעים אחרים באותה הפרה ולעטיניהן
של פרות אחרות באמצעות מכונת החליבה
ובאמצעות ידי החולב. בשל כך מתפשטת
תופעה זו לפרות נוספות.

החידקים הפתוגניים, אשר גורמים לדלקות
עטין תת־קליניות, מסווגים לשתי קבוצות:
חידקים פתוגניים עיקריים וחידקים פתוגניים
משניים. ההבדל בין שתי קבוצות אלה הוא
במידת הנפיצות ובמשך הזמן לשהותם בעטין,

איור 1. דינמיקה של דלקות עטין.



עושים בדיקות אלה ישימות לניטור בריאות העטין. המתרחשים ברבע עטין אחד, על אף מיהול החלב של ארבעת הרבעים.

בעבודתנו נבחנו פרות בשלושה משקים שבהם מותקנת מערכת אפימילק. בשניים מן המשקים (אפיקים, שפייה) נלקחו דגימות חלב לאיבחון בקטרילוגי ולספירת תאים סומטיים בפרות, שנבחרו באקראי ביום מסוים ונתוני תגובת החלב וההתנגדות החשמלית נאגרו במשך 10 ימים שלפני יום הבדיקה וכן במשך 10 ימים שלאחר יום הבדיקה. במשק שלישי (צרעה) נבררו פרות, אשר מערכת אפימילק הגדירה אותן כחשודות בדלקות עטין בשל חריגה במוליכות החשמלית במשך שתי חליבות רצופות או חריגה בתגובת החלב בחליבה אחת וחריגה במוליכות החשמלית בחליבה שניה. החריגות הן סטיה שגודלה, הניתן להגדרה על ידי המשתמש, הוא מן הממוצע של 10 ימים הקודמים לאותה חליבה. מפרות אלה נדגמו דוגמאות חלב לאיבחון בקטרילוגי ובוצע מבחן CMT במשך 3 ימים לאחר הגדרתן כחשודות.

לעומת זאת, שינויים בריכוז האלקטרוליטים יכולים להימדד באמצעות השינויים שהם גורמים בהתנגדות החשמלית של החלב. מדד זה ניתן לבדיקה רציפה בכל חליבה של כל רבע עטין בנפרד באמצעות חיישנים המותקנים באשכול החליבה. בניסויים אחדים הוכח, שמוליכות חשמלית של חלב ברבעים בודדים אכן מאפשרת לזהות תהליך דלקתי, וזאת באמינות גבוהה ביותר. אמנם, בשלהי העשור הקודם פותחו מערכות כאלה, אך עלותן וכן קשיים טכניים הותירו מערכות אלה ככלים למחקר בלבד.

אפשרות אחרת היא למדוד המוליכות החשמלית של חלב מעורב של רבעים, דוגמת הפתרון של צח"מ, אפיקים. השאלה שעמדה לפנינו היתה, האם יצליח חיישן מעין זה להבחין בשינויי מוליכות הנגרמים עקב תהליכים דלקתיים (קליניות ותת-קליניות, כאחד)

עיקריים, נגיעות בחידקים פתוגניים משניים ופרות לא-נגועות. שלוש קבוצות הפרות שקובצו במיון זה לא נבדלו בתנובת החלב. יתכן, שהדבר נובע מכך, שכל פרה היתה בשלב אחר של התחלובה. בניגוד לכך היו ערכי ההתנגדות החשמלית נמוכים באופן מובהק ($p < 0.05$) בקבוצת הפרות הנגועות בחידקים פתוגניים ראשיים (טבלה 1).

מחקרים רבים מעידים על קשר ישיר בין הנגיעות הבקטריאלית של העטין לבין ספירת התאים הסומטיים בחלב. על אף שונות רבה בין פרות, השפעת המרחק מההמלטה וגיל הפרה, מקובל להניח שכאשר מספר התאים הסומטיים גבוה מ- 5×10^5 הוא מעיד בסבירות גבוהה על תהליך דלקתי בעטין. לכן, סף זה שימש לסיווג הפרות לפי שתי דרגות של גירוי עטין – גבוה ונמוך. מבחן CMT בוחן גירוי כל רבע בנפרד. איילכך, גירוי עטין גבוה הוגדר כאשר דרגת ה-CMT היתה גבוהה מ-2 באחד או יותר רבעים של העטין.

תנובת החלב לא היתה שונה באופן מהותי בין שתי דרגות הגירוי בפרות שנבחרו באקראי. לעומת זאת, ההתנגדות החשמלית היתה נמוכה בקבוצת הפרות עם דרגת גירוי גבוהה של העטין ($p < 0.05$) (טבלה 2). שוב נסייג לגבי הבדלים בתנובת החלב בין הקבוצות בשל מרחק שונה של הפרות מן ההמלטה בכל קבוצה. בפרות שנבדלו על ידי מערכת אפימילק הן תנובת החלב והן ההתנגדות החשמלית היו נמוכות

נתוני תנובת החלב והמוליכות החשמלית נאגרו בהתאם לנהוג במשקים הנ"ל.

אחת השאלות, ששאלנו את עצמנו בתחילת העבודה היתה, האם יש הצדקה לפיתוח מערכות המתריעות על חריגות בתנובת החלב, במוליכות ובפעילות הגופנית בהתייחס למאגר נתוני כל פרה בנפרד. ידוע זה מכבר, שקיימת שונות גדולה בין פרות בתנובת החלב. לא היה כל מידע בידינו לגבי השונות במוליכות החשמלית. הסתבר לנו, שאף במוליכות יש שונות גדולה ביותר בין פרות שונות (איור 2). איילכך, יש הכרח לבחון את החריגה מתוך ממוצעי אותה פרה בלבד, ולא להתייחס לממוצע של קבוצת פרטים.

מצאנו בפרות שנדגמו באקראי, ששינויים בתנובת החלב מיום ליום אינם מלווים גם בשינויים מתאימים במוליכות החשמלית. יתכן, שממצא זה נכון לגבי שינויים בתנובה על פני פרקי זמן קצרים, של 10–20 ימים ואילו שינויים במשך כל התחלובה יניבו תוצאות שונות. באוכלוסיית הפרות שנבדלו כחשודות על ידי מערכת אפימילק, שינויים בתנובת החלב מיום ליום היו מלווים הן בשינויים בממוצע המוליכות והן בשינויים במוליכות מיום ליום. קשר זה היה מובהק במבחן סטטיסטי.

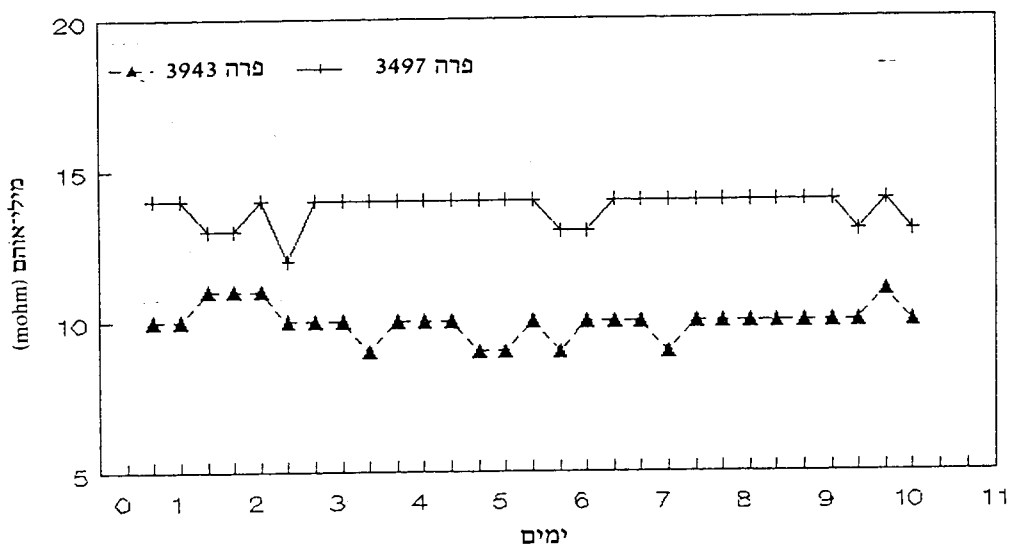
האם נוכחות פתוגנים בעטין גורמת לשינויים בתנובת החלב ובמוליכות החשמלית? הפרות סווגו ל-3 קטגוריות: נגיעות בחידקים פתוגניים

טבלה 1. נגיעות בקטריאלית.

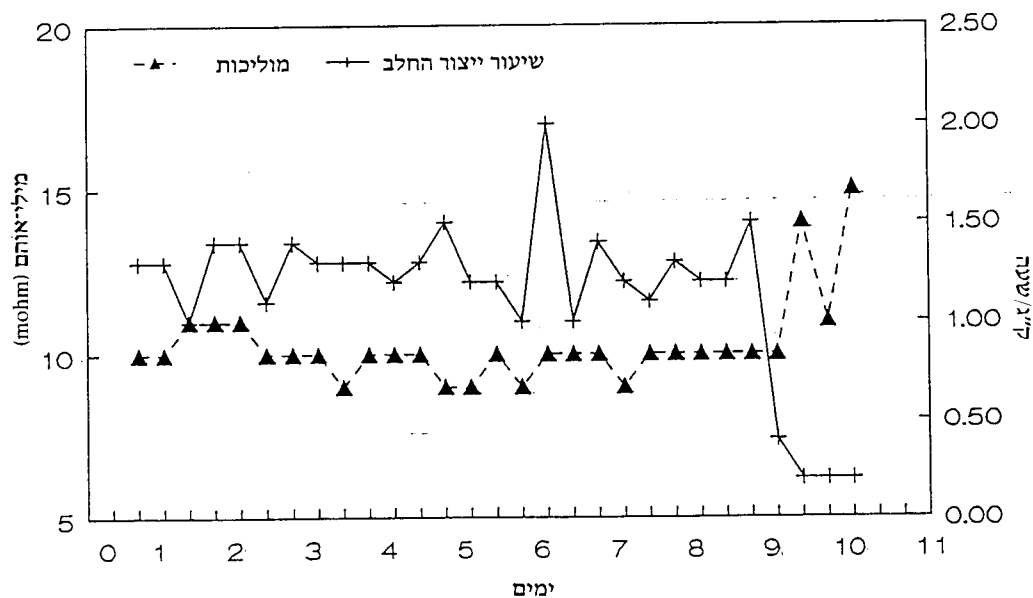
מדגם	פתוגנים עיקריים	פתוגנים משניים	פרות לא נגועות
תנובת חלב (ק"ג)			
אקראיות	36.9 ± 1.0 (N=16)	35.1 ± 1.9 (N=19)	30.7 ± 0.5 (N=45)
חשודות	25.6 ± 0.5 (N=8)	25.9 ± 0.5 (N=40)	25.3 ± 0.5 (N=19)
התנגדות חשמלית (ohm)			
אקראיות	$83.6 \pm 0.8^\circ$	88.8 ± 1.1	90.5 ± 0.7
חשודות	$72.2 \pm 0.5^\circ$	77.9 ± 0.5	77.7 ± 0.6

* מובהק כאשר $p < 0.05$

איור 2. מוליכות החלב בפרות רגילות (קב' צרעה).



איור 3. שיעור ייצור החלב ומוליכות (פרה 3943).



בקבוצת הפרות עם דרגת גירוי עטין גבוהה מושפעים מסוג הנגיעות ומדרגת גירוי ($p < 0.05$). תוצאות אלה מעידות, שערכי העטין. יש להמשיך ולבחון את הקשר בין ההתנגדות החשמלית של חלב מעורב ההתנגדות החשמלית לבין תגובת החלב.

טבלה 2. גירוי עטין.

תגובת חלב (ק"ג)		התנגדות חשמלית (ohm)		
גובה	נמוך	גובה	נמוך	
29.1 ± 0.3 (N = 29)	91.3 ± 2.1 °	84.8 ± 0.4		עדר א'
35.6 ± 1.2 (N = 5)	86.6 ± 0.7 °	81.3 ± 3.9		עדר ב'
25.2 ± 0.3 (N = 62)	84.9 ± 1.0 °	75.9 ± 0.3		עדר ג'
27.7 ± 0.2 (N = 57)				
36.0 ± 0.7 (N = 75)				
32.8 ± 1.4 ° (N = 5)				

* מובהק כאשר $p < 0.05$

חשמלית בשל סטיה מממוצע אותה פרה, הינו כיוון נכון בשל שונות גבוהה בתגובת החלב ובמוליכות החשמלית.

2. המוליכות החשמלית של חלב מעורב עולה בשל נוכחות חידקים פתוגניים עיקריים בעטין ובעת גירוי עטין גבוה.

3. תהליכי ייצור החלב אינם קשורים בהכרח בשינויים במוליכות החשמלית.

4. מערכת "אפמילק" מצליחה להתריע על תהליך דלקתי המתפתח בעטין, לפני כל בדיקה אחרת, באמצעות חריגה הן במוליכות והן בתגובת החלב.

5. זיהוי חיובי מוטעה של 27% מהפרות נובע כנראה מהסתמכות על נתון בודד גבוה אחד של מוליכות במהלך חליבה אחת, או מדרך הגדרת החריגות או אולי בשל הימצאות חלק מפרות אלה בייחוס.

נראה לנו, שלבדיקת המוליכות של חלב מעורב יש פוטנציאל יישומי רב. עם זאת, יש להמשיך ולבחון נושא זה, שכן מספר שאלות נותרו עדיין ללא מענה: מה השפעת המרחק מההמלטה והגיל על המוליכות החשמלית; כיצד ניתן לצמצם את זיהוי הפרות המוטעה (false positive); האם המערכת אינה מזהה פרות נגועות (false positive); האם התגובה לדלקת עטין בשל חדירת חידקים שונים לעטין, באמצעות שינויים במוליכות החשמלית, הינה זהה וכו'.



האם מערכת אפמילק מאתרת באמינות גבוהה נגיעות בחידקים פתוגניים באמצעות שינויים מחליבה לחליבה ומיום ליום בתגובת החלב ובמוליכות החשמלית?

תגובת החלב של הפרות, שנבררו כחשודות בנגיעות עטין על ידי מערכת זו, ירדה והמוליכות החשמלית עלתה סמוך מאד ליום ההתרעה (איור 3). תגובת החלב והמוליכות החשמלית נשארו ברמתן זו בתקופה שלאחר ההתרעה על ידי מערכת אפמילק והם נבדלו באופן מובהק ($p < 0.05$) מהערכים שלפני מועד ההתרעה.

73% מן הפרות אובחנו כנגועות בחידקים פתוגניים (20% מתוכן נגועות בחידקים פתוגניים ראשיים ו-53% נגועות בחידקים פתוגניים משניים). מכאן, ש-27% זוהו באופן מוטעה כנגועות. יתכן, שהדבר נובע מהתבססות מערכת אפמילק על ערך גבוה אחד בלבד של התנגדות חשמלית לצורך חישוב הממוצע וסטיה ממנו ו/או מעצם הגדרת החריגות. כל הפרות הנגועות בחידקים פתוגניים ראשיים ו-92% מן הפרות הנגועות בחידקים פתוגניים משניים היו עם דרגת גירוי עטין גבוהה.

מסקנות

1. בסיס עבודת מערכת אפמילק, שלפיו פרה מוגדרת כחשודה בתגובת חלב ובמוליכות