

# שינויים פיזיולוגיים ומטבוליים הנגרמים על ידי עקת חום

רן סולומון, אמבר מכון תערובת

מבוסס חלקית על מאמר בכתב עת אינטרנטי לרפתנים, שנכתב על ידי Catherine Delorme-Tetreault i- Marc-Antoine Guesthier

**הקדמת המחבר (ר. ס.):** עברה עלינו לאחרונה תקופה לא פשוטה של עומסי חום רציניים. מצאתי לנכון להעמיק ולהרחיב לגבי תופעות פיזיולוגיות/מטבוליות, הנגרמות והמשפיעות על פרות חלב גבוהות תנובה, הנמצאות תחת עומס חום. כללית – שימו לה להערות התחתית המבארות מושגים לא שגורים. חשוב לציין – בעבודות ראשוניות לפני כ-15 שנים, נמצא שהירידה בצריכת המזון של פרות בעת עומס חום, מסבירה רק כ-50% מהפגיעה ביצור; שאר ה-50% הוסברו בשינויים פיסיולוגיים ומטבוליים שעוברים על בע"ח תחת עומס חום. המחקרים מאז ניסו לאפיין שינויים אלו; מאמר זה מתייחס לחלקם.

השפעת עקת חום על ביצועי פרות חלב מתועדת היטב בספרות המקצועית והפופולארית (ואינה נשוא מאמר זה). הביטוי העיקרי הוא פגיעה ביצור החלב, בביצועי הפוריות והבריאות, ביעילות ההזנה וברווחיות יצור החלב. עוצמת הפגיעה במדדים אלו קשורה ביכולת האקלום של בע"ח, בשיעור עומס החום (טמפרטורה ולחות) ומשך עומס החום, וכמובן – בממשק הפגת עומס החום ברפת (ממשק הצינון; תנאי הרווחה בסככות, ועוד). כזכור, עקת חום בתקופת הקיץ עלולה להוביל לבעיות גם בסתיו ובחורף: פרות החוות עקת חום במהלך הקיץ (כפרות נחלבות אך גם כפרות יבשות) מראות בדרך כלל השפעות חוזרות ונשנות בחודשי הסתיו והחורף העוקבים.

עקת חום מוגדרת כמצב בו בע"ח חורג מסף הנוחות הטרמית שלו; נתונים מהעולם מראים שבעקבות ההתחממות הגלובאלית, מספר הימים בהם ה-THI חורג מסף הנוחות הטרמית, עלה בעשור האחרון, מה שמהווה אתגר רציני עבור בע"ח לשמור על טמפרטורת גופו בתחום הרצוי. כדי להתגבר על אתגר זה, פרת החלב עוברת התאמות ושינויים פיזיולוגיים, מטבוליים והתנהגותיים, האמורים להפחית את עקת החום. עם זאת, חלק מההתאמות הללו עלולות בסופו של דבר להשפיע לרעה על הבריאות, הרבייה ו/או היצרנות לטווח הארוך.

תגובות ההתאקלמות של הפרה לעומסי חום מחולקות לשני סוגים: א - תגובות קצרות טווח; ב - תגובות ארוכות טווח.

**עיקר התגובות קצרות הטווח הן:** עלייה בטמפרטורת הגוף; ירידה בצריכת המזון ועלייה בצריכת המים; הלחתה מוגברת; עלייה בדרישות מטבוליות; פגיעה בשיעור ההתעברות; ריור מוגבר (איבוד רוק), ירידה בהעלאת הגרה (הפחתת יצור הרוק) ובתקינות התנאים בכרס (הגברת הסיכון ל-SARA - חמצת תת קלינית); פגיעה בספיגת המזינים. כללית,

ירידה בתפוקת החלב ורכיביו (במיוחד באחוז החלבון) נצפתה במהלך היפר-תרמיה (עלייה בטמפרטורת הגוף), כפי שניתן לראות בטבלה (פרסומים מדעיים מחו"ל; טבלה מימין). בתנאי ישראל, במצבי עומס חום גבוה,

## השפעת עומס חום על מדדי יצור (פרסומים מחו"ל)

| רפרנסים               | יצור חלב (ק"ג) | % שומן | % חלבון |
|-----------------------|----------------|--------|---------|
| Rungruang et al. 2014 | -3.4           | 0.20   | -0.10   |
| Baumgard et al. 2011  | -6.2           | 0.28   | -0.12   |
| Zimbelman et al. 2010 | -0.1           | -0.17  | 0.13    |
| Wheelock et al. 2010  | -9.6           | 0.60   | -0.27   |
| Rhoads et al. 2009    | -10.6          | 0.34   | -0.13   |
| Schwartz et al. 2009  | -10.1          | 0.06   | -0.22   |

Source: Harvatine 2020 CNC proceedings

הפגיעה ביצור תלויה באינטנסיביות ממשק הצינון ברפת, בתנובה ההתחלתית ובהרכב העדר קודם לעומס החום (למשל שיעור הפרות הממליטות לתקופת עומס החום). בהכללה, נצפו ירידות של כ-25-30% בממשק

אפס-צינון (לשמחתנו, נדיר מאד כיום בישראל), כ-4-5% בממשקי צינון טובים, וכ-10% בממשקים הניתנים לשיפור.

תגובות התאקלמות הפרה לעומסי חום, ארוכות הטווח, מאופיינות בשינויים אנדוקריניים, באופן פרוספקטיבי ("בהסתכלות" של בע"ח קדימה) במטרה להפחית את ייצור החום המטבולי, ולהגביר את פיזור החום מהגוף.

**תגובות דלקתיות** - גורמי סטרס מגוונים עשויים לתרום למצב דלקת מערכתית (סיסטמית); גורמים אלו מוצגים באיור מימין: עקה חברתית הגורמת לשחרור קטקול-אמינים<sup>1</sup> (הורמונים ונוירו-טרנסמיטורים = מוליכים עצביים, המשחררים במצבי עקה ומסייעים בוויסות התגובה למצבי לחץ); דלקות לסוגיהן (עטין או רחם) משחררות איקוסנואידים<sup>2</sup> (בתהליך הדלקתי משפיעים על עוצמת ומשך הכאב, עליה בחום בגוף ועוד), וציטוקינים (חלבונים קטנים המהווים את בסיס התקשורת בין תאי מערכת החיסון. האחרונים מופרשים בעיקר על ידי תאי מערכת החיסון, אך



גם על ידי תאים אחרים, כמו תאי עצם ותאים של כלי דם).

כמצוין באיור, גם לעקת חום יש חשיבות כגורם דלקתי, ואכן, אחד השינויים הפיזיולוגיים החשובים שזוהו בתגובה לעקת חום היא העלייה בתגובות הדלקתיות. למרות שידוע לנו כי פגיעה במחסומי המעי אינה ייחודית לעקת חום, חדירה של תאי מערכת החיסון – ובפרט מקרופאג'ים – אל תוך המעי, נראית כסמן מפתח לעקת חום. מקרופאג'ים הם תאים של מערכת החיסון, הבולעים חיידקים ומפרישים מתווכים מעודדי דלקת וכן, אנטי-מיקרוביאליים. מחקרים שנעשו במעי של חזירים תחת עקת חום, הראו כי שלמות ותפקוד המעי עלולים להיפגע כתוצאה מעלייה בטמפרטורת הגוף. תופעת "המעי הדולף" המתוארת לעיל גורמת לפגיעה במחסום המעי, מסיבות כמו ירידה בצריכת מזון ואספקת מזינים, שינוי בקצב זרימת המעכל, או חמצת. אף שתהליך זה עשוי עדיין למלא תפקיד חשוב בתגובות הדלקת, מחקרים עדכניים מייחסים את הפגיעה במחסום המעי לחדירה של תאים הדומים למקרופאג'ים לתוך המעי. נראה כי שלמות מחסום המעי נפגעת, וייתכן כי הסיבה לכך היא חדירת תאי חיסון לאפיתל. הקשר לתגובה הדלקתית הוא בכך שחומרים רעילים ובקטריאליים (כמו LPS של חיידקי קולי שמתו) חודרים לדם דרך מחסום המעי הפגום והחדיר, וגורמים להפעלת תגובה דלקתית על ידי תאים דמויי מקרופאג'ים בזמן עקת חום. תהליך זה מפעיל תגובה חיסונית מווסתת, וגורם לגיוס מנגנוני הגנה נוגדי חמצון כדי לשמור על ההומאוסטזיס<sup>4</sup> של המערכת. לפיכך, תגובות דלקתיות עלולות להזיק למחסום האפיתל במהלך תקופת עקת חום. ויסות התגובה החיסונית בתקופה זו עשוי לסייע בהפחתת ההשפעות השליליות של עקת החום (להרחבה בנושא המעי הדולף והקשר עם עומס חום, נא [פנו לקישורית הבאה](#)).

**עקה חמצונית<sup>3</sup>**: עקת חום ידועה כגורם שמשפיע על הסטטוס החמצוני של בעלי חיים; באופן כללי, היא מגבירה את הייצור של רדיקלים חופשיים, מה שמוביל לעקה חמצונית – מצב של חוסר איזון בין רמת הרדיקלים החופשיים לרמת נוגדי החמצון, הניתנת לזיהוי בכל שלבי הייצור, כולל בפרות יבשות. מחקרים הראו עלייה מובהקת בנוכחות סמנים חמצוניים בפלזמה של פרות חלב בתקופת המעבר, שחוו עקת חום. בעת עקת חום, לעקה חמצונית יש השפעה שלילית על תפקודי מערכת החיסון והפוריות של הפרה: היא

גורמת לעלייה בשכיחות דלקות עטין, לרמות גבוהות יותר של תאים סומטיים בחלב, לירידה בפוריות, לעלייה בתמותת עוברים, לאצירת שליה ולהמלטות מוקדמות. חשוב מאוד להבטיח אספקה מיטבית של נוגדי חמצון לפרות חלב, כדי לסייע להן להתמודד עם עודף הרדיקלים החופשיים ולהפחית את ההשפעות השליליות של הסתגלות ממושכת לעקת חום; ואכן, מחקרים רבים הראו שתוספים שמגבירים את היכולת נוגדת החמצון של הפרה, גם משפרים את ביצועיה בתנאי עקת חום. נוגדי חמצון מסחריים רבים (כמו תמציות צמחים), או מוצרים עתירי ויטמין E, הוכחו כמשפרים את יכולת ההתמודדות החימצונית של פרות חלב, וכן צמצמו את ההשפעות השליליות של עקת חום.

**חלבון הלם חום (Heat Shock Proteins):** היפרטרות מעודפי החום (הלחתה), ירידה בצריכת המזון ובתנובת החלב, ועלייה בצריכת המים, הן דוגמאות לתגובות הסתגלות קצרות טווח לעקת חום, כפי שתואר קודם. אך כאשר שלב ההסתגלות הראשוני מסתיים והפרה "מתרגלת" לחום, מתפתחת הסתגלות ארוכת טווח לעקת חום. הסתגלות זו נגרמת משינויים בביטוי הגנים ובתגובה התאית, המביאים לשיפור ביעילות מסלולי האיתות (Signaling pathways), והתהליכים המטבוליים – תהליך שלעתים קרובות נובע מהפעלה של חלבוני הלם חום. חלבונים אלו הם חלבונים ספציפיים שהגוף מייצר כאשר תאים נחשפים לפרקי זמן קצרים לטמפרטורות הגבוהות מטמפרטורת הגוף הרגילה. שינוי זה במבנה המרחבי של החלבונים (אגרגציה חלבונית) עלול להשפיע באופן משמעותי על ביצועי הפרה. ניסויים הראו שעקת חום עלולה לגרום לאגרגציה של חלבונים, שמשמעותה, פגיעה בתפקוד החלבון. עם זאת, לא כל החלבונים מאבדים את מבנם, ויש קבוצות חלבונים הרגישות יותר לאגרגציה כתוצאה מעקת חום. בפרות חלב, נפוץ לראות ירידה בתכולת החלבון בחלב, ובתנובת החלב בעקת חום, ככל הנראה בשל תהליך האגרגציה הזה. הבנת המנגנונים שגורמים לחלק מהחלבונים להיות פחות רגישים לחום, עשויה להיות מפתח לצמצום אובדן יצור חלבון החלב בחודשי הקיץ. הבנה וויסות של שינויים פיזיולוגיים אלו והשפעתם על תגובת ההומאוסטזיס של הפרה יכולים לסייע בשיפור אסטרטגיות ההתמודדות עם עקת חום ברפתות חלב.

קיימות דרכים רבות לצמצום דלקת מערכתית בפרות, בעלות יחסית נמוכה. התאמות תזונתיות, החל בהרכב המנה וממשק האבוס, תוספים לשיפור הסטטוס החימצוני כמו נוגדי חמצון, וגורמים לשיפור התגובה החיסונית – הן מהאסטרטגיות היעילות והחסכוניות ביותר לתמיכה בפרות חלב עתירות תנובה בזמן עקת חום. וכמובן החשוב מכל – ממשק צינון והפגת חום מיטבי, פיזיולוגית וכלכלית. ככל שהטמפרטורות בעולם ממשיכות לעלות, חשוב למצוא דרכים חדשות וחדשניות לשיפור ביצועי הפרות בסביבה המעוררת עקה, כדי לשמר את הרמה היצרנית של הפרה, פריונה ובריאותה.

---

**1 - קטקולאמינים:** כמו אדרנלין, נוראדרנלין ודופמין; תפקידם העיקרי בעת עקה: הוא העלאת קצב הלב ולחץ הדם; הרחבת דרכי הנשימה; הגברת זרימת דם לשרירים; שחרור גלוקוז מהכבד לשם אספקת אנרגיה מהירה; עיכוב פעולות מערכת העיכול (בזמן סכנה). במילים אחרות – חלק מהתגובה של "הילחם או ברח".

**2 - איקסונואידים:** מולקולות שומניות המשמשות כמתווכים ביולוגיים כמו פרוסטגלנדינים טרומבוקסנים, ועוד; תפקידם העיקרי: ויסות תגובות דלקתיות וכאב; בקרת קרישת דם (טרומבוקסנים מעודדים קרישה); הרחבה או כיווץ כלי דם; ויסות חום הגוף; תפקוד מערכת החיסון; בקרת תנועתיות שרירים חלקים (כמו ברחם או בדרכי הנשימה).

**3 - עקה חמצונית (Oxidative Stress):** היא מצב שבו יש חוסר איזון בין רדיקלים חופשיים (מולקולות מחמצנות ורעילות) לבין נוגדי חמצון בגוף. בעת עקה חמצונית רדיקלים חופשיים הנוצרים באופן טבעי בתהליכים כמו נשימה, עלולים להתרבות במצבי עקה (כמו עומס חום), מחלה, חשיפה לרעלים, קרינה, תזונה לקויה ועוד.

**4 - הומאוסטאזיס:** מצב שבו הגוף שומר על סביבה פנימית יציבה ומאוזנת, למרות שינויים חיצוניים או פנימיים; דוגמאות להומאוסטאזיס – טמפרטורת גוף קבועה; רמות סוכר בדם תקינות; שיווי משקל בין חומצה לבסיס (pH); ויסות כמויות מים ומלחים בגוף.