



التیام

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳۳۲۹۱

eltiam.ivsa@yahoo.com

http://eltiamjournal.ir/

معمای سه بعدی آسایش، تنش گرمایی، لنگش (آتل) در گاوشیری

شکستن چرخه لنگش: مدیریت یکپارچه آسایش و استرس گرمایی با مدل «سه گانه آتل»

ریحانه سنگ تراش^۱، احمدرضا محمدنیا^{۲*}

۱: دامپزشک، گروه تحقیق و ترویج آسایش مهتران ایرانیان، مشهد، ایران

۲: گروه علوم درمانگاهی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

mohamadnia@um.ac.ir*



<https://doi.org/10.61882/eltiamj.12.2.5>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲



کپی‌رایت © مجله التیام: دسترسی آزاد؛ کپی‌برداری، توزیع و نشر برای استفاده کامل با ذکر منبع آزاد است، © نویسندگان. ناشر: انجمن جراحی دامپزشکی ایران.

چکیده

زمینه و نوع مطالعه: آسایش گاوهای شیری بر سلامت، تولید و طول عمر مفید دام اثر تعیین کننده دارد. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در درک مکانیسم‌های بیماری‌زایی، لنگش همچنان یکی از چالش‌های مهم صنعت گاو شیری در جهان است و به طور میانگین حدود ۲۲٪ از گاوها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که عوامل رفاهی و محیطی نقش کلیدی در بروز جراحات غیرعفونی بافت شاخی سم (CHL) در گاو شیری دارند در این مطالعه مروری مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

هدف: معرفی سه گانه آتل (آسایش، تنش گرمایی، لنگش) و بررسی ارتباط پیچیده و دوطرفه میان این عوامل

روش کار: مطالعه مروری با استفاده از منابع منتشر شده در زمینه آسایش، تنش گرمایی و لنگش در گاوهای شیری در مجلات و همایش‌های معتبر ملی و بین‌المللی انجام شد.

نتایج: آسایش و تنش گرمایی نه تنها از طریق رفتار گاو (نظریه فشار) بلکه از مسیرهای فیزیولوژیک و ژنومی، پاتوفیزیولوژی لنگش را تحت تأثیر قرار می‌دهند. لنگش نیز با تغییر رفتار حیوان، تشدید تنش گرمایی و کاهش آسایش، چرخه معیوبی ایجاد می‌کند. از آنجایی که هر یک از این سه رخداد روی دیگری اثر گذار است یافتن نقطه آغازین توقف چرخه‌ها در هر گله و در هر جغرافیا متفاوت است که نیازمند مطالعه روند مدیریتی و محیطی آن ناحیه است.

نتیجه‌گیری نهایی: از آنجایی که هر یک از رخدادهایی مانند لنگش یا تنش گرمایی در نهایت منجر به کم شدن یا از بین رفتن آسایش گاو می‌شوند، ارائه چارچوبی جامع برای درک روابط بین این رخدادهای و تأکید بر راهکارهای مدیریتی مبتنی بر آسایش دام منجر به کنترل موفقیت‌آمیز جراحات بافت شاخی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: لنگش، آسایش، تنش گرمایی، جراحات بافت شاخی، سه گانه آتل، گاوشیری

ضرورت نگاه یکپارچه به آسایش، تنش گرمایی و لنگش (سه گانه آتل) و در نگاهی بزرگ تر سه گانه تاس (تنش گرمایی، آسایش، سلامت)

لنگش یکی از مهم ترین نگرانی های رفاهی و اقتصادی در صنعت گاو شیری است که بیشتر ناشی از جراحات اندام های حرکتی و به ویژه سم است و اثرات آن در کاهش تولید شیر، کیفیت زندگی دام، افزایش حذف اجباری و افزایش هزینه های درمانی مشهود است. در تغییر سیستم های مدیریتی از تالی استال و نگهداری آزاد به فری استال و تولید بیشتر شیر به ازای هر گاو، شیوع لنگش به دلیل مواجهه بیشتر با سطوح سخت بتنی و راهروهای آغشته به کود، همچنان بالا است (۱).

در دهه اخیر روشن شده است که لنگش صرفاً نتیجه یک عامل منفرد نیست؛ بلکه مجموعه ای از فشارهای محیطی، تغذیه ای و مدیریتی در بروز آن نقش دارند. هم زمان، افزایش دمای محیط و گرمایش جهانی سبب شده است که تنش گرمایی به عنوان مؤثرترین عامل زمینه ساز با تغییر در رفتار گاو، تغییرات متابولیک و افزایش آسیب های بافت شاخی مطرح شود (۲).

برای دستیابی به یک مدیریت کل نگر، در این مقاله، لنگش را در خلأ بررسی نمی کنیم، بلکه آن را به عنوان نقطه کانونی یک الگوی سه گانه معرفی می کنیم. بر این اساس سه گانه آسایش، تنش گرمایی، لنگش (آتل) به عنوان چارچوبی نوین برای تحلیل بیماری های اندام حرکتی گاو معرفی می شود. این مدل تأکید می کند که لنگش نه یک رویداد منفرد، بلکه نتیجه نهایی تعامل پیچیده میان آسایش دام، آسیب بافت شاخی و چالش های حرارتی است.

این مدل تلفیقی نشان می دهد که هرگونه اختلال در آسایش (نظیر کاهش استراحت، تراکم جایگاه، بستر نامناسب یا تهویه ناکافی) بودجه بندی زمانی گاو را تغییر داده و زمینه بروز جراحات انگشتی را فراهم می کند. از سوی دیگر، تنش گرمایی نیز با تغییر رفتار (افزایش ایستادن و کاهش نشخوار و استراحت) فشار بیشتری بر اندام حرکتی وارد می کند. درک این چارچوب برای مدیریت و کنترل موفقیت آمیز جراحات بافت شاخی حیاتی است (جدول ۱).

عامل تأثیرگذار	تأثیر بر...	مکانیسم اصلی و فیزیولوژیک	پیامد در بافت شاخی
آسایش ناکافی	لنگش	رفتاری: افزایش زمان ایستادن (نظریه فشار)	افزایش وزن گیری و کوفتگی کوریوم
تنش گرمایی	لنگش	سلولی: فعال شدن MMPS و استرس اکسیداتیو	کاهش کیفیت بافت شاخی و زمینه سازی جراحات بافت شاخی
لنگش	آسایش	رفتاری/فیزیولوژیک: درد، تغییر الگوهای رفتاری (نظریه لنگ بمان)	تحلیل بالشتک انگشتی و افزایش آسیب پذیری
لنگش	تنش گرمایی	رفتاری: کاهش تمایل برای حرکت به سمت محل های خنک شده	تشدید افزایش دما و عدم دفع مؤثر گرما

جدول ۱: خلاصه برهم کنش های پیچیده در بیان نقش متقابل اجزای سه گانه آتل؛ درک روابط چندسویه بین سه ضلع سه گانه، ضرورت تدوین برنامه های کنترلی موفق همیشه این پرسش ذهن بسیاری از تولید کنندگان و نگارندگان را به خود مشغول می کند که در این برهم کنش نقطه آغازین کجاست؟ پرسشی که شاید در هر اکوسیستم

ایجاد نمود. تمرکز بر لنگش و آنچه در لنگش می‌گذرد گام اول است و امید است در شماره‌های دیگری از این نشریه بتوان بر روی تنش گرمایی و آسایش نیز بیشتر تمرکز نمود.

بهتر از پاتوفیزیولوژی هر یک از این رخدادها است. در این مقاله تلاش می‌گردد تا در حد مقدمات نگارندگان بر این قسمت‌ها تکیه شود تا بتوان درک درست‌تری از این چرخه



تصویر ۱: اقدامات فوری برای شکستن چرخه لنگش (سه‌گانه آتل)

کربوهیدرات‌ها نسبت داده می‌شد (۳). اگرچه این مسیر هنوز مطرح است، اما امروزه مسیرهای شایع‌تر با اهمیت بیشتر شناسایی شده‌اند:

- اثر زایمان (Parturition Effect): تغییرات هورمونی حوالی زایمان، باعث فعال شدن آنزیم‌های ماتریکس‌متالوپروتئیناز (MMPS) می‌شود. این آنزیم‌ها ظرفیت حمایتی بافت همبند (که استخوان بند سوم را از دیواره سم آویزان نگه می‌دارد) را کاهش داده و ساختار سم را مستعد آسیب می‌کنند (۴).

- یکپارچگی لایه چربی بالشتک انگشتی (Digital Cushion): یکپارچگی لایه چربی بالشتک انگشتی در گاوهایی که نمره وضعیت بدنی (BCS) پایینی دارند (کمتر از ۲ تا ۲/۵ از ۵)، کاهش قابل توجهی می‌یابد. این لایه که نقش ضربه‌گیر را در سم دارد، در گاوهای لاغر تحلیل رفته و باعث افزایش فشار بر کوریوم در زیر استخوان بند سوم می‌شود (۵، ۶).

لنگش و جراحات بافت شاخی: پاتوفیزیولوژی به‌روز

لنگش در گاوها بیشتر با منشا سم رخ می‌دهد و به دو دسته کلی با منشأ عفونی (مانند گندیدگی سم و درماتیت انگشتی) و منشأ غیر عفونی (جراحات بافت شاخی سم) طبقه‌بندی می‌شود. جراحات بافت شاخی شامل خونریزی کف سم، زخم کف سم، جراحات خط سفید و نکروز نوک پنجه هستند. شیوع این جراحات بسته به سیستم نگهداری متفاوت است: در گله‌های چراگاهی، جراحات خط سفید شایع‌تر هستند، در حالی که در فری استال‌ها، خونریزی و زخم کف سم با افزایش شکم‌زایش شیوع بیشتری می‌یابند (۱).

نکات کلیدی در درک بیماری‌زایی جراحات بافت شاخی سم

در گذشته، جراحات بافت شاخی عمدتاً به لامینایتیس و اسیدوز شکمبه‌ی ناشی از تغذیه بیش از حد با

خوبی تغذیه شده باشد، از شرایط ناخوشایندی مانند درد، ترس و فشار روانی رنج نبرد و بتواند رفتارهایی را که برای وضعیت جسمی و روانی اش اهمیت دارند، بروز دهد.» (۱۲).

• **پیوند سلامت و آسایش:** در گذشته، ارزیابی آسایش حیوانات عمدتاً بر پیشگیری از عوامل منفی مانند درد، ترس، استرس، ناکامی (frustration) و بیماری‌ها متمرکز بود. در چند دهه گذشته، دامداران و دامپزشکان، سلامت جسمی و عملکرد بالای تولید را شاخص اصلی رفاه می‌دانستند. با این حال، شواهد علمی نشان دادند که آسایش حیوان مفهومی فراتر از سلامت و بهره‌وری است و نبود بیماری به‌تنهایی به معنای رفاه مطلوب نیست (۱۲). مقررات اتحادیه اروپا نیز بر پیوند میان سلامت و آسایش حیوان تأکید دارد: **سلامت بهتر موجب رفاه بهتر حیوان می‌شود و بالعکس.** شرایط استرس‌زا و وضعیت روانی حیوان نقش مهمی در تضعیف ایمنی دام، به‌ویژه در برابر باکتری‌های فرصت‌طلب، ایفا می‌کنند (۱۳).

• **مفهوم آسایش مثبت:** علم رفاه حیوان سال‌ها بر حذف عوامل منفی (درد و رنج) متمرکز بود (۱۱). اما امروزه، مفهوم آسایش مثبت بر ایجاد تجربه‌های مثبت برای حیوان تأکید دارد. آسایش به عنوان یک فرایند تطبیقی در نظر گرفته می‌شود؛ حیوانی که بتواند فرایند تطبیق با محیط اطرافش را به درستی مدیریت کند، از سطح خوبی از آسایش برخوردار است (۱۴).

امروزه، تأمین آسایش مطلوب نه تنها در برگیرنده نبود رنج (Negative Welfare) بلکه ایجاد تجربه‌های مثبت (Positive Welfare) است.

• **التهاب و آگزوستوزیس:** التهاب و رشد زائده‌های استخوانی دائمی (آگزوستوز) در استخوان بند سوم، خطر تداوم التهاب و عود مجدد ضایعات را افزایش می‌دهد. این تغییرات ساختاری، دلیل اصلی خطر بالای عود لنگش در گاوهای با سابقه ضایعات قبلی هستند (۷).

هر یک از این مسیرها نهایتاً منجر به وارد آمدن نیروهای نامناسب بر کوریوم، کبودی و آسیب به اپی‌تلیوم زایای کف سم و در نتیجه، اختلال در تولید بافت شاخی سالم می‌شوند. مبنای پاتوژنیک و هیستوپاتولوژیک رخداد جراحات انگشتی بویژه جراحات بافت شاخی در سایر مقالات این شماره به جزئیات بیشتر مرور شده است. همچنین جزئیات بیشتر از آناتومی و هیستوپاتولوژی انگشتان گاو قبلاً توسط میرحاج و صادقی (۸) مرور شده است.

اضلاع تأثیرگذار: آسایش و تنش گرمایی بر لنگش

لنگش یک رویداد منفرد نیست، بلکه حاصل شکست سازوکار تطبیقی دام با محیط است. اینجاست که دو ضلع دیگر سه‌گانه آتل، یعنی آسایش و تنش گرمایی، نقشی کلیدی پیدا می‌کنند.

الف) آسایش گاو: از «پنج آزادی» تا «تئوری فشار»

آسایش گاو (Cow Comfort) مفهوم چندبعدی و فراتر از سلامت است. رایج‌ترین تعاریف آسایش بر پایه دو مفهوم شکل گرفته‌اند: نخست، مفهوم سنتی «پنج آزادی» که توسط شورای رفاه حیوانات مزرعه بریتانیا در سال ۱۹۷۹ ارائه شد (۹) و دوم، دیدگاه چندبعدی سلامت جسمی و روانی حیوان که توسط فریزر و همکاران در سال ۱۹۹۷ و ۲۰۰۸ مطرح گردید و در منابع به آن اشاره شده است (۱۰). بر اساس این مفاهیم سازمان جهانی بهداشت دام (OIE) آسایش حیوان را این‌گونه تعریف می‌کند: «آسایش حیوان، وضعیت جسمی و روانی آن در ارتباط با شرایطی است که در آن زندگی می‌کند و می‌میرد. حیوان زمانی دارای آسایش مطلوب است که سالم، راحت، ایمن و به

آسایش گاو با بهره‌گیری و پایش شاخص‌های مختلف قابل ارزیابی است و روند تغییرات آن نشانگر روند تغییرات فاکتورهای خطر آسایش است.

ارزیابی آسایش در سطح گله نه تنها به عنوان ابزار مشاوره برای دامداران، بلکه به عنوان منبعی ارزشمند برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و بخشی کلیدی از طرح‌های تضمین کیفیت محصولات دامی برای مصرف‌کنندگان است. در سال‌های اخیر، به‌ویژه در کشورهای غربی، نگرانی عمومی نسبت به آسایش حیوانات روندی رو به افزایش داشته است. در این جوامع، بخش قابل‌توجهی از مصرف‌کنندگان بیش از آنکه صرفاً به قیمت توجه کنند، تحت تأثیر ملاحظات اخلاقی و اجتماعی قرار می‌گیرند. آگاهی نسبت به تأثیر رفاه حیوانات بر سلامت و بهره‌وری آن‌ها و پیامدهای مثبت این موضوع بر سلامت عمومی، منجر شده تا استانداردهای آسایش در دامداری بیش از پیش اهمیت یابد (۱۷).

با افزایش سطح آگاهی عمومی، ارتباط بین آسایش گاو شیری با سلامت جامعه، امنیت غذایی و حفاظت از محیط‌زیست بیش از گذشته درک می‌شود. در نتیجه، رفاه گاو شیری به بخشی جدایی‌ناپذیر از مفهوم کیفیت شیر تبدیل شده است و پایش مستمر آن، تضمینی مضاعف برای مصرف‌کنندگان فراهم می‌آورد که محصولات خریداری‌شده از حیواناتی سالم و مطابق با اصول استاندارد دامپروری به‌دست آمده است. مصرف‌کنندگان این گروه تمایل دارند برای محصولات دامی باکیفیت، که با رعایت کامل موازین رفاه حیوان تولید شده‌اند، بهای بیشتری بپردازند (۱۸).

از دید اقتصادی، ارزیابی آسایش گاو از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا نخست، امکان شناسایی دقیق کاستی‌ها و در گام بعد، فراهم‌سازی بستر اصلاح آن‌ها را مهیا می‌کند. رفع این نواقص نه تنها توسعه کامل ظرفیت‌های ژنتیکی و

شاخص‌های ارزیابی و اهمیت اقتصادی آسایش

روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسایش حیوانات وجود دارد که شامل شاخص‌های محیطی (نوع سیستم نگهداری، بستر، تهویه جایگاه، کیفیت آب و خوراک، شدت نور و غیره) و شاخص‌های مبتنی بر حیوان که با رفتار، سلامت و فیزیولوژی دام در ارتباط است، هستند (۱۳).

سه شاخص آسایش دام (Cow Comfort Index: CCI)، (Stall Usage Index: SUI) و (Stall Standing Index: SSI) برای ارزیابی آسایش گاو در جایگاه‌های فری‌استال مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کنار این‌ها شاخص‌هایی مانند ارزیابی اسکور مفصل خرگوشی و زانو، اسکور بهداشتی، اسکور بدنی، اسکور حرکتی، اسکور بستر و برخی دیگر اسکورها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که در منابع مختلف به آنها پرداخته شده است (۱۵).

برای بدست آوردن پاسخ منطقی به هریک از شاخص‌های بالا، نیاز به درک درست از آسایش دام، ارزیابی و پایش مداوم آن است. به طور سنتی هر یک از این شاخص‌ها به تنهایی گویای تغییراتی در سطح گله بوده‌اند. تمامی شاخص‌های آسایش به بررسی ارتباطی که گاو در محیط خود می‌سازد، می‌پردازند. این ارتباط بین گاو، محیط، نیاز به تولید و گاو بان‌ها (Stockpersons) است.

به طور کلی پالایش درک ما از آنچه باید در طی ارزیابی رفاه دام در نظر گرفته شود مهم است. حرفه دامپزشکی و صنایع وابسته به آن بنابر ذات کار خود رفاه را به سلامت و تولید محدود می‌کنند و تنها این دو عامل را کافی می‌دانند هر چند که کافی نیستند. هر چند اثر سلامت بر قابلیت تولید اهمیت بالایی دارد ولی سلامت درست و عوارض حاصل از آن نباید تنها با قابلیت تولید حیوان ارزیابی گردد. به عبارت دیگر تنها داشتن سلامت مولفه رفاه کامل نیست و باید به گاو اجازه داده شود تا رفتارهای حیوانی خود را به شکلی که آرامش و آسایش ایجاد کند، انجام دهد (۱۶).

• فرضیه «لنگ شو، لنگ بمان (Get-lame, Stay-lame) این فرضیه، نقش دوگانه آسایش در

دینامیک لنگش گله را توضیح می‌دهد (۱):

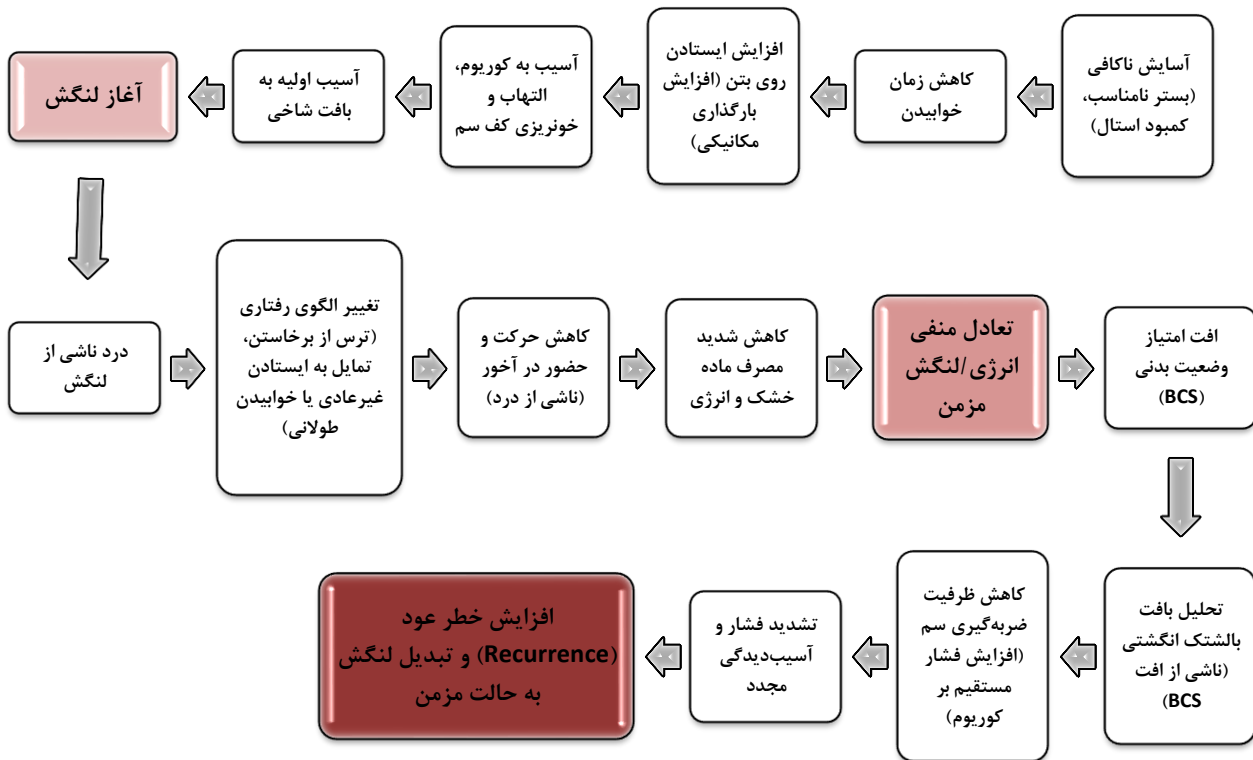
○ لنگ شو (Get Lame): کاهش تنها ۲ ساعت در زمان خوابیدن روزانه در اوایل شیردهی، یک عامل خطر قوی برای بروز لنگش در مراحل بعدی است. این کمبود زمان استراحت، فشار بر کوریوم را طولانی کرده و آسیب‌پذیری آن را افزایش می‌دهد.

○ لنگ بمان (Stay Lame): گاوهای لنگ رفتار خود را تغییر می‌دهند، برای برخاستن و خوابیدن دچار مشکل می‌شوند و ممکن است برای مدت طولانی به صورت غیرعادی بایستند (افزایش وزن روی سم) یا بخوابند (زمان ناکافی برای تغذیه). هر دو وضعیت دوره لنگش را طولانی کرده و خطر عود را افزایش می‌دهند.

تولیدی دام را تضمین می‌نماید، بلکه موجب ارتقای فناوری‌های به‌کاررفته در صنعت گاو شیری نیز می‌شود. تحقق آسایش دام در سطح گله عمدتاً با بهره‌گیری از سامانه‌های جایگاه و پرورش متناسب با سلامت و نیازهای رفتاری دام و همچنین با اجرای شیوه‌های صحیح و اصولی مدیریت دامداری امکان‌پذیر است (۲).

تئوری فشار: شاهی بر ارتباط آسایش و لنگش

تئوری فشار (Pressure Theory) به طور مستقیم نقش آسایش گاو و استراحت کافی در کاهش وزن‌گیری بیش از حد بر سم (بافت شاخی) را برجسته می‌کند. در بسیاری از مطالعات افزایش زمان ایستادن، به‌ویژه بر سطوح سخت بتنی، یک عامل خطر مهم در رخداد جراحات بافت شاخی است (۱).



تصویر ۲: چرخه معیوب لنگش و تأثیر بر آسایش و بالشتک انگشتی: این تصویر نشان می‌دهد که چگونه یک دوره لنگش اولیه می‌تواند از طریق تغییرات رفتاری و فیزیولوژیک، خود را تشدید کرده و به لنگش مزمن تبدیل شود.

پاسخ به تنش گرمایی در گاو، زنجیره‌ای از تغییرات را در چهار سطح پیشرونده شامل رفتاری، فیزیولوژیکی، سلولی و ژنومی ایجاد می‌کند (۲۲). این تغییرات به صورت مستقیم و غیرمستقیم سلامت بافت شاخی سم را متأثر می‌سازند.

پاسخ‌های رفتاری و فیزیولوژیک (مداخله در آسایش)

- **پاسخ رفتاری:** در دماهای بالا، گاو برای افزایش دفع محسوس گرما مدت بیشتری می‌ایستد. این کاهش در زمان استراحت (تا بیش از ۲ ساعت در روز در دماهای بالا) به طور مستقیم تئوری فشار را فعال کرده و وزن‌گیری روی کوریوم را افزایش می‌دهد.

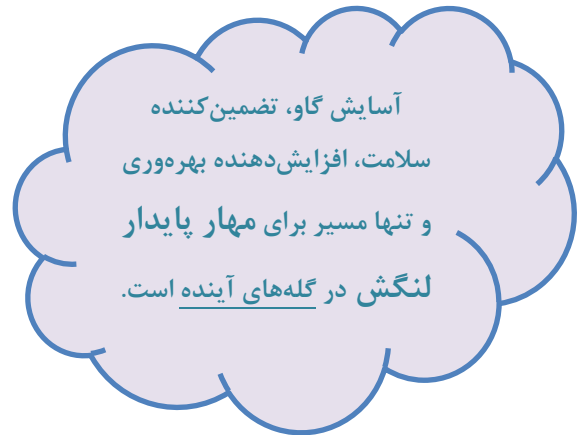
- **پاسخ فیزیولوژیک:** فعال شدن مکانیسم‌های دفع گرما منجر به افزایش مصرف انرژی و علائمی مانند افزایش دمای مرکزی تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش نرخ تنفس (بیش از ۸۰ تنفس در دقیقه) می‌شود (۲۳).

پاسخ‌های ژنومی و سلولی (آسیب مستقیم به بافت سم)

در صورت ناکافی بودن پاسخ‌های حاد فیزیولوژیک، آسیب در سطح سلولی آغاز می‌شود که سلامت کوریوم (بافت زایای سم) را به خطر می‌اندازد:

- **پاسخ ژنومی (افزایش HSPs):** هنگام افزایش دمای بدن، سیستم عصبی مرکزی تغییراتی در الگوی بیان ژن‌ها ایجاد می‌کند. مهم‌ترین مسیر، افزایش بیان پروتئین‌های شوک حرارتی (HSP70) است که به سلول‌ها کمک می‌کنند تا آسیب ناشی از گرما را کاهش دهند. اگر این پاسخ ناکافی باشد، سلول‌های کوریوم دچار استرس اکسیداتیو و التهاب می‌شوند (۲۴).

- **پاسخ سلولی:** در سطح سلول، استرس گرمایی موجب تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و از بین رفتن ساختار پروتئین‌های حساس به دما می‌شود. این فرآیندها به صورت مستقیم سلامت سلول‌های کوریوم و خون‌رسانی موضعی به بافت شاخی را مختل کرده و زمینه



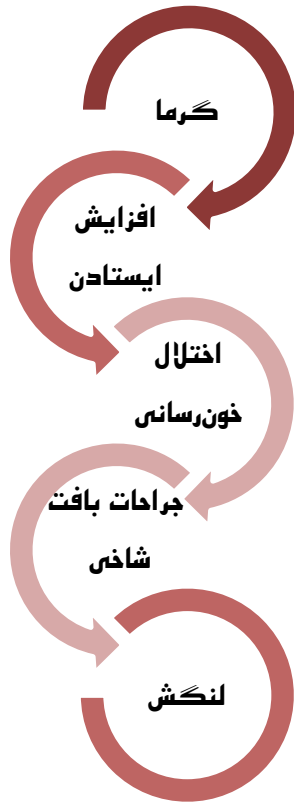
(ب) تنش گرمایی: یک بحران فیزیولوژیک با اثرات مخرب

تنش گرمایی یک وضعیت پیچیده ناشی از قرارگیری در معرض محرک‌های حرارتی شدید است و زمانی رخ می‌دهد که دمای محیط از محدوده آسایش حرارتی (منطقه حرارتی خنثی) فراتر رود (۱۹). تعامل یا برهم کنش گرما و رطوبت یکی از مولفه‌های اندازه‌گیری حس گاو از گرما است که در سال‌های گذشته بر اساس شاخص THI در فرمول‌های متعدد گفته شده است (۲۰). این شاخص میزان اثرگذاری دما را ارزیابی می‌کند. برای گاوهای پرتولید (بیش از ۳۵ کیلوگرم شیر در روز)، مقدار شاخص دما و رطوبت (THI) کمتر یا مساوی ۶۸ به‌عنوان محدوده قابل‌قبول در نظر گرفته می‌شود (۲). گاوها به شکل ویژه به گرما حساس هستند زیرا ظرفیت تعریق کم، تولید متابولیک بالا و سطح بدن محدود دارند. در چنین شرایطی دام با مکانیسم‌های جبرانی نظیر افزایش تنفس، کاهش مصرف خوراک، افزایش جریان خون محیطی و تغییر رفتار تلاش می‌کند حرارت اضافی را دفع کند. بنابراین تنش گرمایی نه تنها سلامت بلکه آسایش کل گله را به طور جدی تهدید می‌کند. این سلب آسایش، با افزایش زمان ایستادن، اختلال در فیزیولوژی سم و خطر بیماری‌های متابولیک، مستقیماً به لنگش می‌انجامد (۲۱).

مسیرهای فیزیولوژیک و مولکولی تأثیر

تنش گرمایی بر سم

پاسخ فیزیولوژیک و رفتاری به تنش گرمایی



را برای آسیب‌پذیری بیشتر سم در برابر فشارهای مکانیکی فراهم می‌کنند (۲۵).

این وضعیت در نهایت منجر به کاهش خون‌رسانی موضعی، کمبود اکسیژن و مواد مغذی در کورיום می‌شود. اختلال در تولید بافت شاخی سالم، زمینه را برای بروز جراحات بافت شاخی سم بخصوص زخم کف سم و جراحات خط سفید، فراهم می‌کند.

به این ترتیب، استرس گرمایی نه تنها آسایش گاو را کاهش می‌دهد (با کاهش زمان خوابیدن برای افزایش دفع محسوس گرما)، بلکه از طریق مکانیسم‌های زیر به طور مستقیم زمینه‌ساز لنگش می‌شود (۲۱):

• اضافه‌بار مکانیکی بر لایه‌های شاخی

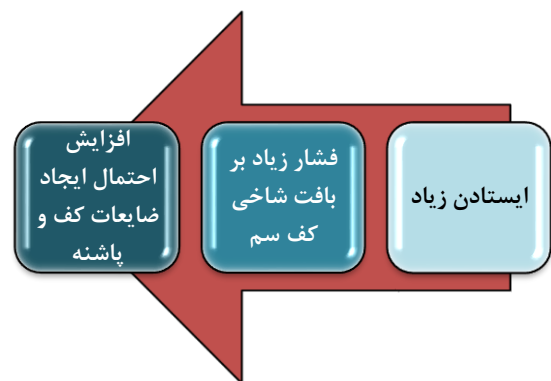
ایستادن طولانی روی بتن داغ یا خیس (ناشی از تمایل به دفع گرما) باعث افزایش فشار مکانیکی بر بافت شاخی کف سم شده و ایجاد جراحات کف و پاشنه را تسریع می‌کند.

• کاهش اکسیژن رسانی به بافت شاخی

مطالعات اخیر نشان می‌دهند که کاهش جریان خون به ناحیه پاشنه و کف در ایستادن‌های طولانی، اکسیژن‌رسانی به بافت شاخی را مختل می‌کند و شرایط ایجاد خون‌ریزی کف سم، جراحات پاشنه و زخم‌های خط سفید را فراهم می‌آورد.



تصویر ۳: چرخه معیوب لنگش: تاثیر لنگش بر کاهش آسایش



ج) چرخه معیوب: تاثیر لنگش بر آسایش و تنش گرمایی

همان‌طور که آسایش و تنش گرمایی بر لنگش تأثیر می‌گذارند، لنگش نیز خود یک عامل تشدیدکننده برای دو ضلع دیگر سه‌گانه آتل است و یک چرخه معیوب (Vicious Cycle) ایجاد می‌کند:

لنگش و کاهش آسایش

لنگش، با ایجاد درد و ناراحتی، رفتارهای طبیعی گاو را مختل می‌کند. همان‌طور که در فرضیه «لنگ بمان» اشاره شد، گاوهای لنگ در برخاستن و خوابیدن دچار مشکل می‌شوند. این تلاش مضاعف برای حرکت، به‌طور مستقیم سطح آسایش حیوان را کاهش و کیفیت زندگی او را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. تغییرات رفتاری ناشی از لنگش (مانند کاهش زمان تغذیه و نشخوار) منجر به افت امتیاز وضعیت بدنی (BCS) و تولید شیر می‌شود. از آنجا که کاهش BCS با تحلیل بالشتک انگشتی همراه است، لنگش باعث کاهش ضربه‌گیری سم و در نتیجه، تشدید جراحات بافت شاخی می‌شود.

لنگش و تشدید تنش گرمایی

گاوهای لنگ، به دلیل درد، تمایل کمتری به حرکت دارند. در فصل گرما، این کم‌حرکی به چند دلیل بر تشدید تنش گرمایی اثر می‌گذارد:

- ایستادن کمتر در مناطق خنک‌شده: گاوهای لنگ با زحمت و تأخیر بیشتری خود را به آخور و محل‌های خنک‌شده (مانند فن‌ها و آب‌پاش‌ها) می‌رسانند.
- اختلال در تغذیه و نوشیدن آب: کاهش زمان حضور در آخور، منجر به کمبود آب و مواد مغذی مورد نیاز برای تنظیم حرارت و ترمیم بافتی می‌شود.
- تغییرات رفتاری: لنگش با تغییر الگوی خوابیدن، توانایی حیوان را برای دفع گرما در طول شب مختل می‌کند، که این خود، تنظیم دمای مرکزی بدن را دشوارتر می‌سازد.

راهکارهای مدیریتی مبتنی بر سه‌گانه آتل

۱- کاهش بار گرمایی محیط: نخستین گام برای

شکستن چرخه لنگش

تنش گرمایی نقطه آغاز بسیاری از تغییرات رفتاری و فیزیولوژیک است که در نهایت منجر به افزایش وزن وارد شده بر کوریوم و پایین آمدن کیفیت بافت شاخی می‌شود. فراهم کردن ریزاقلیم (Microclimate) مناسب در جایگاه در تابستان با هدف حفظ THI در محدوده قابل قبول، مهم‌ترین راهبرد است.

• نازل‌ها و طراحی سیستم آب‌پاشی پشت گاو

استفاده از آب برای خنک‌کردن گاوها به فراوانی در چند ساله اخیر مرسوم بوده است. نگاهی ساده به انواع روش‌های خنک‌سازی گاو راهکاری برای استفاده بهینه از آب برای خنک‌سازی به ما می‌دهد. در خنک‌سازی گاو دو مفهوم کلی وجود دارد. اول اینکه آیا ما تصمیم داریم که هوایی که گاو در آن قرار دارد را خنک کنیم و دوم اینکه آیا تصمیم داریم خود گاو را خنک کنیم. در بیشتر مواقع دامداران عملاً در حال خنک‌سازی هوای اطراف گاو هستند که راه مناسبی نیست و در بیشتر موارد پاسخی به‌همراه ندارد. بنابراین باید بیشتر به خنک کردن گاو توجه کرد (۱۶).

به طور کلی گاو به روش‌های همرفتی (Convection)، تابش (Radiation)، تبخیر (Evaporative) و هدایت (Conduction) خود را خنک می‌کند و تمرکز ما بیشتر بر روش همرفتی است (۱۹). سه نوع نازل متداول برای اسپری کردن آب روی پشت گاو وجود دارد (۱۶):

• نازل‌ها با قطرات ریز (مه‌پاش (Fogger)): این

نازل‌ها قطراتی به اندازه در حدود ۵۰ میکرون ایجاد می‌کنند که این قطرات به سختی به پشت دام می‌رسند و در هوا تبخیر شده و گرمای هوا را می‌گیرند. در حقیقت مه‌پاش‌ها قطرات آب را آنقدر کوچک می‌کنند که بدون خیس شدن بدن، احساس خنکی ایجاد شود. استفاده از این نازل‌ها در شرایط کم‌آبی و رطوبت پایین خیلی از نقاط

پشت گاو ریخته می‌شود، دنبال شود و اولین قطراتی که از پشت یا چین تهیگاه شروع به افتادن بر زمین کردند نشانگر زمان توقف پاشش آب است. مجدداً در زمانی که رنگ پوست گاو به رنگ خشک برگشت نشانگر زمانی است که باید دوباره پاشش آغاز شود. این سیکل در نواحی مختلف ایران تا یک به ده (یک دقیقه پاشش آب، ۹ دقیقه عدم پاشش) ممکن است، متفاوت باشد (۱۶).

تهویه فعال (Active Ventilation)

استفاده از فن‌های با دبی بالا، به‌ویژه در ردیف‌های آخور و روی استال، موجب کاهش نرخ تنفس و حفظ زمان نشخوار می‌شود؛ دو شاخص مبتنی بر حیوان که مستقیماً در سه‌گانه آتل به عنوان پیامدهای تنش گرمایی دخیل هستند.

استفاده از فن و نازل‌های آب با ایجاد خنک‌سازی تبخیری مؤثر، دمای سطح بدن را تا چند درجه کاهش داده و موجب افزایش چشمگیر زمان خوابیدن در روزهای گرم می‌شوند. این افزایش زمان استراحت، شدت فشار مداوم بر سم را کاهش می‌دهد و خود به قطع چرخه لنگش کمک می‌کند.

سایه و بازطراحی سقف

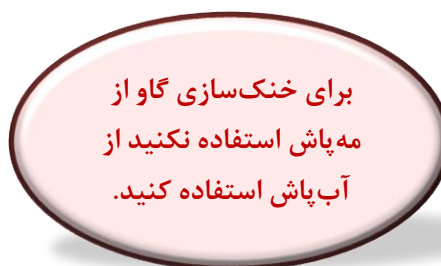
سقف‌های عایق، جریان مناسب هوا و جلوگیری از ایجاد نقاط داغ (Hot Spots) در فری‌استال، از ایجاد مناطق پرخطر برای رفتارهای گرمایی (مثل ازدحام در کنار فن‌ها) جلوگیری می‌کند و یکنواختی آسایش حرارتی را بالا می‌برد.

۲- بهبود آسایش و تقویت رفتار استراحت: محور اصلی جلوگیری از جراحات بافت شاخی در سه‌گانه آتل

براساس نظریه فشار، استراحت ناکافی یکی از قوی‌ترین عوامل تشدیدکننده جراحات بافت شاخی است. هرچه گاو زمان کمتری بخوابد، مدت طولانی‌تری وزن خود را روی

ایران کارایی چندانی ندارد و منجر به اتلاف نسبتاً زیاد آب می‌شود.

• نازل‌ها با قطرات متوسط (آب‌پاش (Mister)): اندازه قطرات در این نوع نازل‌ها ۵۰-۱۰۰ میکرون است که قابلیت رسیدن به دام و خیس کردن آن را دارند و در حقیقت خیس کردن سطحی کنترل شده ایجاد می‌کنند و به طور کلی برای خنک‌سازی همرفتی (Convection Cooling) مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از این نوع نازل‌ها در شرایط ایران توصیه می‌شود.



• نازل‌ها با قطرات درشت (دوش، Sprinkles)

(Soaker): اندازه قطرات در این نازل‌ها تقریباً اندازه قطره معمولی آب است (بسته به نوع آن ۱/۸۴-۰/۳۵ میلی‌متر) و برای خیس کردن کامل و خنک‌کاری شدید مناسب است.

برای خنک‌سازی با بهره‌گیری از روش همرفتی باید امکان تبخیر آب از سطح پوست وجود داشته باشد و برای رسیدن به این منظور نباید آب به طور مداوم بر پشت دام ریخته شود. تنظیم زمان پاشش، ارتفاع و زاویه نازل‌ها برای حفظ آسایش بدون ایجاد لغزندگی، ضروری است.

به طور کلی بدست آوردن چرخه عدم تداوم پاشش آب کار آسانی نیست چرا که هر دامداری ممکن است با دامداری دیگر متفاوت باشد. این تفاوت‌ها بسته به شدت رطوبت ناحیه، شدت گرما، میزان جریان هوا، اندازه نازل، فشار پشت آن، کیفیت آب مورد استفاده و برخی از دیگر عوامل متفاوت هستند. بدست آوردن این رخداد نیازمند بررسی حداقل هفته‌ای یک بار است به گونه‌ای که آب‌پاش روشن شود، آبی که بر

زمان‌هایی که گاو برای شیردوشی خارج از استال است به کمتر از ۳ تا ۳/۵ ساعت در روز، زمان کافی برای استراحت را برای گاو فراهم می‌کند (۲۷، ۲۸).

۴- پایش لحظه‌ای رفتار و آسایش: فناوری‌های نوین

در خدمت سه‌گانه آتل

برای نخستین‌بار، فناوری‌ها این امکان را به گاوداری‌ها می‌دهند که ابعاد سه‌گانه آتل را به‌صورت زنده و مداوم پایش کنند. استفاده از داده‌های مبتنی بر رفتار (Behavioral-Derived Data) موجب ارتقای دقت تشخیص و مداخله به‌هنگام می‌شود.

• سنسورهای شتاب‌سنج (Accelerometers)

این ابزارها رفتارهای کلیدی مانند زمان خوابیدن، ایستادن، نشخوار و فعالیت روزانه را ثبت می‌کنند. کاهش زمان استراحت یا افزایش ایستادن، اولین نشانه شکست آسایش و آغاز حرکت چرخه لنگش است (۲۹).

• سیستم‌های هشداردهی لنگش

(Early Detection)

نرم‌افزارهای هوش مصنوعی با تحلیل گام‌برداری، تقارن حرکت و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، لنگش را قبل از قابل‌مشاهده شدن شناسایی می‌کنند. این قابلیت، نقطه مداخله سریع برای جلوگیری از پیشرفت جراحات بافت شاخی و تبدیل آن به لنگش مزمن است (۳۰).

• اینترنت اشیا و داده‌محوری

اتصال سنسورها به سامانه‌های دامداری، نمودارهای زمانی THI، نرخ تنفس و الگوهای استراحت را ایجاد کرده و امکان ردیابی چرخه لنگش در زمان واقعی را برای مدیران فراهم می‌کند (۳۱).

۵- بازنگری برنامه‌های تغذیه در گرما: کاهش بار

متابولیک و بهبود شرایط متابولیک سم

تنش گرمایی مصرف ماده خشک را کاهش می‌دهد و این موضوع باعث افت امتیاز بدنی (BCS) و تحلیل بالشتک انگشتی می‌شود. این تغییر مستقیم یکی از مهم‌ترین نقاط تقابل بین تنش گرمایی و لنگش در سه‌گانه آتل است. برای

سم‌ها تحمل می‌کند، در نتیجه فشار مکانیکی بر روی کوریوم افزایش یافته و کیفیت بافت شاخی کاهش می‌یابد.

• بهبود طراحی استال

مطالعات نشان می‌دهد که استفاده زیاد از آب به معنی خنک‌سازی بهتر نیست. پیدا کردن چرخه پاشش-خشک‌شدن (چرخه عدم تداوم پاشش آب) مهم‌تر از حجم آب مصرفی است.

عرض کافی استال‌ها، طول مناسب، داشتن فضای کافی برای برخاستن و خوابیدن و ارتفاع مناسب میله گردن، امکان حرکت طبیعی گاو را فراهم می‌کند و منجر به افزایش خوابیدن و کاهش تداخل اجتماعی می‌شود. از طرفی استفاده از بستر مناسب مانند ماسه، خاک اره‌ی فرآوری‌شده یا بسترهای عمیق، رابطه مستقیمی با افزایش مدت و کیفیت استراحت دارد. بستر سخت باعث درد و مقاومت برای خوابیدن می‌شود، که مستقیماً ضلع آسایش سه‌گانه آتل را تضعیف می‌کند (۲۶).

• کاهش تراکم (Overstocking)

تراکم بالا موجب رقابت در ورودی‌ها، تأخیر در دسترسی به استال و افزایش زمان ایستادن می‌شود. این وضعیت در سه‌گانه آتل یک پیامد دوجانبه ایجاد می‌کند، از یک طرف آسایش کاهش می‌یابد و از سوی دیگر ایستادن بیش‌ازحد منجر به جراحات بافت شاخی و لنگش می‌شود (۱).

۳- حداقل کردن راه‌رفتن روی بتن سخت: کاهش بار

مکانیکی مزمن بر سم

رفت‌وآمد طولانی روی سطوح سخت، به‌ویژه بتن داغ، بار مکانیکی وارد بر کوریوم را افزایش داده و زمینه را برای خونریزی و زخم کف سم فراهم می‌کند. این عامل یکی از مؤلفه‌های کلیدی لنگش در سه‌گانه آتل است.

کاهش طول مسیر حرکت، حذف پیچ‌های تند و کاهش لغزندگی، باعث کاهش تنش حرکتی و خستگی پاها می‌شود. این شیوه، علاوه بر کاهش آسیب سم، رفتار طبیعی و آرامش دام را نیز بهبود می‌دهد. به علاوه محدود کردن

۸- مدیریت لنگش: مبتنی بر برنامه‌های مراقبت از**لنگش**

با توجه به آنچه در پاتوفیزیولوژی تنش گرمایی و عدم آسایش آورده شد بیش از هر چیزی در رخداد لنگش انتظار رخداد از هم‌گسیختگی بافت شاخی (Claw horn disruption: CHD) می‌رود که خود زمینه‌سازی بسیار مهم در رخداد جراحات بافت شاخی در گله است که در مقالات دیگر این مجموعه به آن پرداخته شده است. در اینجا تنها به این نکته بسنده می‌کنیم که تمامی روش‌های کنترلی و درمانی که برای این جراحات در نظر گرفته می‌شوند بدون مختل کردن چرخه آتل عملاً منجر به نتیجه جدی نمی‌شوند و تنها با این روش‌ها می‌توان از شدت آن‌ها کاست.

راهکارهای مدیریتی تنها زمانی مؤثرند که سه ضلع مدل آتل به‌صورت هم‌زمان هدف قرار گیرند. مدیریت گرما بدون بهبود استراحت، یا اصلاح بستر بدون کنترل بار حرارتی، نمی‌تواند چرخه لنگش و جراحات بافت شاخی را متوقف کند. مدل آتل چارچوبی فراهم می‌کند که بر اساس آن، مدیریت لنگش از یک مداخله تک‌بعدی به یک سیستم مدیریت یکپارچه تبدیل شود؛ سیستمی که بر پایه آسایش، رفتار طبیعی، فیزیولوژی گرمایی و سلامت سم استوار است.

۷ اقدام فوری برای شکستن چرخه لنگش**(سه‌گانه آتل)**

برای کنترل مؤثر لنگش و جراحات بافت شاخی، باید سه ضلع مدل آتل (آسایش، تنش گرمایی و لنگش) به صورت هم‌زمان مدیریت شوند. این اقدامات، اولویت‌های مدیریتی برای قطع چرخه معیوب و حفظ سلامت سم در گله هستند:

جبران کاهش مصرف خوراک، انرژی جیره باید افزایش یابد تا BCS حفظ شود و بالشتک انگشتی تحلیل نرود. ارائه بخش بیشتری از جیره در شب، دمای مرکزی بدن را کمتر بالا می‌برد و باعث کاهش تنش حرارتی می‌شود. از طرفی ویتامین E و سلنیوم در خنثی‌سازی ROS ناشی از گرما، عاملی که در سلامت کوریوم موثر است، نقش مهمی دارند (۳۲، ۳۳).

۶- افزایش دسترسی به آب: ساده‌ترین اما مؤثرترین**مؤلفه آسایش در گرما**

گاوهای دچار تنش گرمایی باید آب بیشتری بنوشند تا تبخیر پوستی و تنفسی جبران شود. کاهش دسترسی به آب نه تنها تنش گرمایی را تشدید می‌کند، بلکه رفتار استراحت را نیز مختل کرده و بار مکانیکی بر سم‌ها را بالا می‌برد. در فری‌استال‌ها طول آب‌خوری باید حداقل ۵ سانتی‌متر به ازای هر گاو و آب خنک، تازه و با جریان مناسب در دسترس گاوها باشد. از طرفی در تابستان، آلودگی آب‌خوری‌ها یکی از دلایل کاهش مصرف آب است که به‌طور غیرمستقیم تنش گرمایی و به تبع آن سه‌گانه آتل را تشدید می‌کند (۳۴).

۷- برنامه‌ریزی سم‌چینی درمانی و پیشگیرانه

سم‌چینی باید به عنوان یک ابزار مدیریتی کلیدی برای کاهش فشار بر بافت شاخی آسیب‌دیده و توزیع مناسب وزن به کار رود. تشخیص زود هنگام و درمان سریع ضایعات (بخصوص در گاوهای تازه‌زا یا دارای سابقه قبلی) می‌تواند چرخه «لنگ بمان» را بشکند (۳۵، ۳۶).

اولویت	تمرکز	اقدام عملی فوری
۱	آسایش: ارتقاء استراحت	اطمینان حاصل کنید که گاوها حداقل ۱۱ تا ۱۲ ساعت در روز، روی بستر مناسب (نرم، خشک و عمیق) استراحت می‌کنند. فشار تراکم (Overstocking) را به سرعت کاهش دهید.
۲	تنش گرمایی: کاهش بار حرارتی	سیستم خنک‌سازی (فن و آب‌پاش) را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که نرخ تنفس گاوها در روزهای گرم به کمتر از ۶۰ تنفس در دقیقه برسد.
۳	لنگش: تشخیص زودهنگام	از پایش‌های مبتنی بر رفتار یا امتیازدهی حرکتی (Locomotion Score) استفاده کنید تا لنگش را در مراحل اولیه (اسکور ۱ یا ۲) قبل از پیشرفت جراحات بافت شاخی، شناسایی و درمان کنید.
۴	تغذیه: حفظ BCS	در تابستان، جیره را از نظر انرژی و مواد مغذی (بویژه بیوتین و روی) به دقت تنظیم کنید تا افت امتیاز وضعیت بدنی (BCS) و در پی آن، تحلیل بالشتک انگشتی را متوقف سازید.
۵	مدیریت زمان	محدودیت زمان خارج از استال برای شیردوشی، واکسیناسیون یا انتظار را به کمتر از ۳ تا ۳/۵ ساعت در روز برسانید تا زمان خوابیدن به خطر نیفتد.
۶	سم‌چینی پیشگیرانه	سم‌چینی را برای گاوهای در معرض خطر و در حوالی زایمان (زمان اوج فعال شدن MMPS) با هدف توزیع مناسب وزن و کاهش فشار بر پاشنه اجرا کنید.
۷	خنک‌سازی موضعی	دسترسی آسان و بدون مانع به آب خنک و تازه را در آخورها و مناطق خنک‌سازی تضمین کنید.

جدول ۲: ۷ اقدام فوری برای شکستن چرخه لنگش (سه‌گانه آتل)

نتیجه‌گیری

ترکیب یافته‌های علمی درباره آسایش، لنگش و تنش گرمایی نشان می‌دهد که این سه حوزه نمی‌توانند به‌صورت جداگانه مدیریت شوند. مدل «سه‌گانه آتل» با رویکردی سیستماتیک، امکان برنامه‌ریزی یکپارچه برای کنترل عوامل خطر، بهبود رفتار استراحت، پیشگیری از جراحات بافت شاخی و کاهش لنگش را فراهم می‌کند. استفاده از راهکارهای خنک‌کاری مبتنی بر تبخیر، بهینه‌سازی طراحی فری‌استال‌ها، کاهش زمان ایستادن و کاربرد فناوری‌های

نوپن پایش رفتار، می‌تواند به‌طور چشمگیری سلامت و عملکرد گله را بهبود بخشد. این مدل می‌تواند نقشه راهی عملی برای گاو‌داری‌های صنعتی، خصوصاً در مناطق گرمسیر باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی را در این پژوهش شناسایی نکردند.

منابع

1. Cook NB, Jelinski M, Erickson SE. Implications for Lameness Control in Cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2025;41(3):395-406.. doi:10.1016/j.cvfa.2025.06.005.
2. Rahaman I, Samanta R, Ghosh C, Datta S. Dairy cattle welfare assessment-importance and significance: A review. *J Pharm Innov*. 2021;10:226-31.
3. Nocek JE. Bovine acidosis: implications on laminitis. *Journal of dairy science*. 1997;80(5):1005-28.. doi:10.3168/jds.s0022-0302(97)76026-0.
4. Knott L, Tarlton J, Craft H, Webster A. Effects of housing, parturition and diet change on the biochemistry and biomechanics of the support structures of the hoof of dairy heifers. *The Veterinary Journal*. 2007;174(2):277-87.. doi:10.1016/j.tvjl.2006.09.007.
5. Lim P, Huxley J, Willshire J, Green M, Othman A, Kaler J. Unravelling the temporal association between lameness and body condition score in dairy cattle using a multistate modelling approach. *Preventive veterinary medicine*. 2015;118(4):370-7. doi:10.1016/j.prevetmed.2014.12.015.
6. Bicalho RC, Machado V, Caixeta L. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. *Journal of dairy science*. 2009;92(7):3175-84.. doi:10.3168/jds.2008-1827.
7. Newsome R, Green MJ, Bell N, Chagunda M, Mason C, Rutland CS, et al. Linking bone development on the caudal aspect of the distal phalanx with lameness during life. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(6):4512-25.. doi:10.3168/jds.2015-10202.
8. Mirhaj M, Sadeghi MA. Applied Anatomy and Histology of the bovine hooves and limbs. *Eltiam*. 2022;15(2):14.. dor:20.1001.1.24235695.1400.8.2.7.3.
9. Council FAW. Five Freedoms, Press statement. Farm Animal Welfare Council, London, UK. 1979.
10. Fraser D, Weary DM, Pajor EA, Milligan BN. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Animal welfare*. 1997;6(3):187-205.. doi:10.1017/S0962728600019795
11. Fraser D. Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2008;50(Suppl 1):S1.
12. Wagner K, Brinkmann J, Bergschmidt A, Renziehausen C, March S. The effects of farming systems (organic vs. conventional) on dairy cow welfare, based on the Welfare Quality® protocol. *Animal*. 2021;15(8):100301.. doi:10.1016/j.animal.2021.100301
13. Ventura G, Lorenzi V, Mazza F, Clemente GA, Iacomino C, Bertocchi L, et al. Best farming practices for the welfare of dairy cows, heifers and calves. *Animals*. 2021;11(9):2645.. doi:10.3390/ani11092645
14. Lawrence AB, Vigors B, Sandøe P. What is so positive about positive animal welfare?—a critical review of the literature. *Animals*. 2019;9(10):783.. doi:10.3390/ani9100783
15. Sangtarash R. Cow comfort, a basis for lameness control. *Eltiam*. 2019;11(2):78.. dor: 20.1001.1.24235695.1398.6.2.5.7
16. Ahmadreza Mohamadnia RS. Control of Lameness in Cows Through Heat Stress Management and Welfare Improvement. proceedings of the symposium on Dairy Herd Health and Production, 31 December-2 January, Mashhad, Iran. 2026:15.
17. Broom DM. Attempts to cope with the environment. *Acta Agric Scand Sec A Anim Sci Suppl*. 1996;27:22-8.
18. Sundrum A, Rubelowski I. The meaningfulness of design criteria in relation to the mortality of fattening bulls. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*. 2001;51(S30):48-52.. doi:10.1080/090647001316923054.
19. Oliveira CP, Sousa FCd, Silva ALd, Schultz ÉB, Valderrama Londoño RI, Souza PARd. Heat stress in dairy cows: impacts, identification, and mitigation strategies—a review. *Animals*. 2025;15(2):249.. doi:10.3390/ani15020249
20. Dash S, Chakravarty A, Singh A, Upadhyay A, Singh M, Yousuf S. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary world*.

- 2016;9(3):235.
doi:10.14202/vetworld.2016.235-244
21. Herbut P, Hoffmann G, Angrecka S, Godyń D, Vieira FMC, Adamczyk K, et al. The effects of heat stress on the behaviour of dairy cows—a review. *Annals of Animal Science*. 2021;21(2):385-402.. doi: 10.2478/aoas-2020-0116.
 22. Scerri TM, Lomax S, Clark CEF. Bovine heat stress management: current amelioration approaches and the case for a novel mitogenomic strategy. *Frontiers in Animal Science*. 2023;4:1169743.. doi:10.3389/fanim.2023.1169743
 23. Becker C, Collier R, Stone A. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of dairy science*. 2020;103(8):6751-70.. doi:10.3168/jds.2019-17929
 24. Kim W-S, Ghassemi Nejad J, Roh S-G, Lee H-G. Heat-shock proteins gene expression in peripheral blood mononuclear cells as an indicator of heat stress in beef calves. *Animals*. 2020;10(5):895.. doi:10.3390/ani10050895
 25. Belhadj Slimen I, Najar T, Ghram A, Abdrrabba M. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2016;100(3):401-12.. doi:10.1111/jpn.12379.
 26. McPherson S, Vasseur E. The effects of bedding, stall length, and manger wall height on common outcome measures of dairy cow welfare in stall-based housing systems. 2020.
 27. Dippel S, Dolezal M, Brenninkmeyer C, Brinkmann J, March S, Knierim U, et al. Risk factors for lameness in freestall-housed dairy cows across two breeds, farming systems, and countries. *Journal of dairy science*. 2009;92(11):5476-86.. doi:10.3168/jds.2009-2288
 28. Griffiths BE, Grove White D, Oikonomou G. A cross-sectional study into the prevalence of dairy cattle lameness and associated herd-level risk factors in England and Wales. *Frontiers in veterinary science*. 2018;5:65.. doi:10.3389/fvets.2018.00065
 29. Pongsanun K, Apirak T, Aekaluck L, Sanphet C, Chaidate I. Classification of individual dairy cow behaviors using accelerometer, gyroscope, and integrated sensor models. *BMC Veterinary Research*. 2025;21(1):677.. doi:10.1186/s12917-025-05092-1
 30. Lavrova AI, Choucair A, Palmini A, Stock KF, Kammer M, Querengässer F, et al. Leveraging accelerometer data for lameness detection in dairy cows: a longitudinal study of six farms in Germany. *Animals*. 2023;13(23):3681.. doi:10.3390/ani13233681
 31. Lemmens L, Schodl K, Fuerst-Waltl B, Schwarzenbacher H, Egger-Danner C, Linke K, et al. The combined use of automated milking system and sensor data to improve detection of mild lameness in dairy cattle. *Animals*. 2023;13(7):1180.. doi:10.3390/ani13071180
 32. Osorio J, Batistel F, Garrett E, Elhanafy M, Tariq M, Socha M, et al. Corium molecular biomarkers reveal a beneficial effect on hoof transcriptomics in periparturient dairy cows supplemented with zinc, manganese, and copper from amino acid complexes and cobalt from cobalt glucoheptonate. *Journal of dairy science*. 2016;99(12):9974-82.. doi:10.3168/jds.2015-10698
 33. Blowey R, Chesterton N. Effect of footbath width on faecal contamination by cattle. *The Veterinary Record*. 2012;170(24):628.. doi: 10.1136/vr.e4100
 34. Singh AK, Bhakat C, Singh P. A review on water intake in dairy cattle: associated factors, management practices, and corresponding effects. *Tropical Animal Health and Production*. 2022;54(2):154.. doi:10.1007/s11250-022-03154-2.
 35. Sangtarash R, Faezi M. Hoof trimming as a part of lameness control in dairy farms. *Eltiam*. 2021;8(2):1-13.. dor: 20.1001.1.24235695.1400.8.2.2.8
 36. Mohamadnia A. Cattle functional and corrective hoof trimming (Fundamentals and methods). *Eltiam*. 2021;8(2):98-111.. dor: 20.1001.1.24235695.1400.8.2.3.9.

Abstracts in English

Three-dimensional triad of Heat stress, Comfort, and Lameness (HCL) in dairy cows: Breaking the lameness cycle through integrated management of comfort and heat stress using the "HCL Triad" model

Reyhaneh Sangtarash¹, Ahmadreza Mohamadnia^{2*}

1. Asayesh Mehtaran Group, Mashhad, Iran.

2. Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinay Medicine, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
mohamadnia@um.ac.ir*

Background: Comfort of dairy cows has a decisive effect on their health, production, and productive lifespan. Despite significant advances in understanding pathogenic mechanisms, lameness remains one of the major challenges of the global dairy industry, affecting on average about 22% of cows. Since welfare and environmental factors play a key role in the occurrence of non-infectious claw horn lesions (CHL) in dairy cows, these factors have been examined in this review study.

Objective: To introduce the "HCL triad" (Heat Stress, Comfort, Lameness) and investigate the complex and bidirectional relationship between these factors.

Methods: A review study was conducted using published sources in the field of comfort, heat stress, and lameness in dairy cows from reputable national and international journals and conferences.

Results: Comfort and heat stress affect the pathophysiology of lameness not only through cow behavior (pressure theory) but also through physiological and genomic pathways. Lameness, by altering animal behavior, exacerbating heat stress, and reducing comfort, creates a vicious cycle. Since each of these three events affects the others, the starting point for breaking the cycles varies depending on the herd and geography, requiring a study of the management and environmental processes of that region.

Final Conclusion: Since lameness or heat stress ultimately leads to a reduction or loss of cow comfort, providing a comprehensive framework to understand the relationships between these events and emphasizing management strategies based on animal comfort will lead to the successful control of claw horn lesions.

Keywords: Lameness, Comfort, Heat Stress, Claw Horn Lesions, HCL Triad, Dairy Cow