

A szívritmus-változékonyság elemzésének biológiai háttere, módszertani kérdései és eredményei szarvasmarha stresszvizsgálataiban

L. Kovács – K. Nagy –
Z. Szelényi – O. Szenci –
J. Tózsér:

Heart rate variability as a measurement of stress in cattle: biological background, methods and results.
Literature review

Irodalmi összefoglaló

Kovács Levente¹, Nagy Krisztina², Szelényi Zoltán², Szenci Ottó², Tózsér János¹

1] SZIE-MKK,
Állattenyésztés-tudományi
Intézet, Szarvasmarha- és
Juhtenyésztési Tanszék.
Páter K. u. 1.
H-2103 Gödöllő
*E-mail: Kovacs.Levente@
mkk.szie.hu
2] SZIE-ÁOTK,
Nagyállatklinika

Összefoglalás. Az elmúlt évtizedben a szívritmus-változékonyság (heart rate variability – HRV) módszerét egyre gyakrabban alkalmazzák az állattenyésztés tudományterületén a vegetatív idegrendszer szimpatoparaszimpatikus egyensúlyának mérésére különböző betegségek, ill. mentális és környezeti eredetű stresszorok hatásainak vizsgálatára. A szerzők, irodalmi adatok alapján, ismertetik a HRV biológiai hátterét, kapcsolatát a stresszhatásokkal, valamint a vegetatív idegrendszerrel. Ismertetik a termelési környezetükben szabadon mozgó tejelő tehének HRV-mérésének módszereit, a műszertípusokat, továbbá a természetszerű körülmények közötti adatfelvételtől adódó nehézségeket és ezek leküzdési lehetőségeit. A HRV idő- és frekvenciatarományban végzett elemző módszereit is bemutatják. A szerzők a HRV mérésének legnagyobb korlátai között az állatok hirtelen mozdulataiból és az elektródák kiszáradása következtében keletkező, nem megfelelő bőr-elektroda érintkezésből adódó adatvesztést, ill. hibás szívritmusjeleket tartják számon. A szarvasmarhán végzett eddigi HRV-elemzésekkel a különböző betegségek (BSE, BVD), valamint egyes technológiai tényezők (fejés, választás, szarvtalanítás, ivartalanítás) szív működésre gyakorolt hatásait vizsgálták. E tanulmányok alapján a különböző stresszorok hatására a vegetatív idegrendszer szimpatikus és paraszimpatikus tónusában bekövetkező változások a HRV egyes jelzőszámaival jól kimutathatók, amelyek meghatározása az egymást követő szívverések közötti távolságok (inter-beat interval – IBI) mérésén alapul. Bár a módszertani nehézségek következtében az eljárás rutinszerű alkalmazhatósága megkérdőjelezhető, az eddigi kutatási eredmények alapján a HRV a stressz kimutatásának szóba jöhető módszere lehet a szarvasmarhán végzett viselkedés-életteni és állatjóléti kutatásoknak.

Summary. The number of researches using heart rate variability (HRV) in order to detect alteration of the sympathovagal balance due to certain diseases and psychological or environmental stressors has been increased over the past decade in animal science. The authors summarize the biological background of HRV and its connection to stress and the sympathovagal system by using the available literatures regarding cattle. The types of equipment and methodological approaches of HRV measurement in free-ranging dairy cattle, as well as tips on how to avoid mistakes and data loss during the recording process are also described. The time and frequency domain analysis of HRV is discussed. According to the authors, data losses due to poor skin-electrode connection or rapid movements by the animals are the main problems during heart rate recording. Studies measuring HRV in connection to various diseases (BSE, BVD), technological and environmental stressors (milking, weaning, castration, dehorning) of cattle farming are reviewed. It has been shown in the studies that cardiac responses to the different stressors can be revealed by certain parameters of HRV, for which recording inter-beat

intervals (IBI) is essential. However, the general use of the process is questionable due to methodological difficulties; data from earlier research demonstrate that HRV might be a relevant approach for assessing stress level and welfare in cattle.

A stresszorok megváltoztatják az állatok viselkedését és egyes élettani értékeket

Gyakori jelenség napjainkban, hogy az intenzív termelési rendszerekben tartott haszonállat-állományokban a technológiai környezet különböző tényezői akadályozzák az állatok élet- vagy termelési szükségleteinek kielégítését, így a szervezetre stresszorokként hatnak (20). Ez a szervezet élettani egyensúlyának felborulását okozhatja, amelynek következtében romlik az állatok közérzete, ami ronthatja a gazdasági szempontból jelentős termelési mutatókat.

A kötetlenül, csoportokban tartott haszonállatfajok egyedénél – mint amilyen a szarvasmarha is – a gyakorta megjelenő és tartósan fennálló agresszió, továbbá az ennek következtében kialakuló stresszállapot ugyancsak jelentős hatással lehet az állatok termelési eredményeire (14, 54). A bizonytalanság érzése, a különböző társas érintkezési formákból adódó és bizonyos technológiai elemektől való félelem és az agresszió ugyanis mind olyan stresszorok, amelyek az állatok jóllétét jelentősen befolyásolják (26).

Az állatok közérzetét kedvezőtlenül befolyásoló környezeti tényezők vizsgálata az intenzív tartási technológiák terjedésével párhuzamosan felértékelődött. Ennek következményeként az utóbbi időben az állatok jóllétével kapcsolatos kutatások az egész világon előtérbe kerültek. A XX. század végére számos vizsgálat igazolta, hogy a környezethatások, valamint a csoportos tartásból fakadó társas kapcsolatok hatásai nem csak az állatok viselkedésének elemzésével mutathatók ki, hanem egyes élettani mutatók is alkalmasak ezek számszerűsítésére (27, 52).

Háziállatfajokban számos stresszhormon vérszintjének (ACTH, glükokortikoidok, katekolaminok, prolaktin) és egyes metabolikus vérparaméterek (glükóz) meghatározása ugyan már évtizedek óta elfogadott módja a stressz kimutatásának (4, 14, 40, 44), az adatfelvétel ilyen formája azonban több nehézséggel is járhat. A minták gyűjtése ugyanis rendszerint az állatok rögzítésével, ill. kezelésével jár, amely gyakran önmagában is stresszt okozhat, befolyásolva ezzel a vizsgálat eredményét (12, 29). Ennek kiküszöbölésére több szerző nem invazív mintavételi eljárásokat alkalmazott. Vizsgálataikban a kortizol és metabolitjainak koncentrációját vizeletből (23), bélsárból (13) vagy tejből (68) határozták meg. Bár a bélsár kortizolszintje szarvasmarhánál EIA- (49) és HPLC-technika (43) segítségével is meghatározható, hátránya e módszereknek, hogy a bélsárból kimutatható kortizolmetabolitok koncentrációjából kérdőjelekben csak a mintavétel előtt 10–12 órával felszabaduló kortizolmennyiségre tudunk következtetni (42, 43) és e módszerekkel nincs lehetőségünk folyamatos és hosszú távú mérésekre. Az ezredforduló után napvilágot látott tanulmányok tanúsága szerint e nehézségek a szívritmus-változékonyság (heart rate variability – HRV) vizsgálatával áthidalhatók (3, 22, 39, 41, 42). Többek között ennek is köszönhető, hogy az utóbbi években egyre több tanulmány látott napvilágot Európában és a tengerentúlon is, amelyek a HRV egyes jellemzőinek stresszindikátorként való alkalmazhatóságát vizsgálják szarvasmarhán (19, 21, 42, 61, 62).

A pillanatnyi élettani állapotot a szívritmus-változékonyság jól tükrözi

Munkánk legfőbb célja a szarvasmarhán végzett HRV-vizsgálatok összefoglaló értékelése a mai napig megjelent külföldi tanulmányok alapján. Remélhetőleg e cikk hazánkban hiánypótló lesz, ugyanis a stressz kimutatásának erről a módjáról eddig jobbra csak külföldi szaklapokból tájékozódhatott az olvasó. Irodalmi összefoglalónkban a szívritmus-változékonyság mérésének módszertani kérdéseit tárgyaljuk, ismertetjük a vizsgálatok élettani alapjait, valamint a módszerrel végzett eddigi vizsgálati eredményeket is.

A szívritmus-változékonyság vizsgálatának élettani háttere

A szívritmus (heart rate – HR) a viselkedéssel párhuzamosan zajló belső történések feltárásának egyik legáltalánosabban használt mutatója (67). Mérésének az az alapja, hogy a szív működéséén keresztül fellépő elektromos aktivitás az egész test-

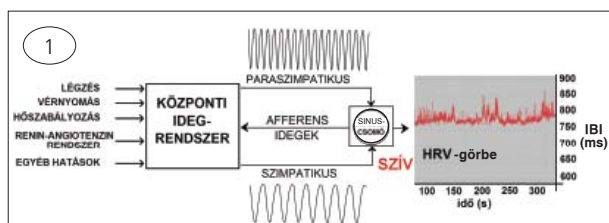
A szívritmus a vegetatív idegrendszer tónusát tükrözi

ben elektromos erőteret létesít, amely megfelelő érzékenységű feszültségmérő készülékkel a testfelszínen elhelyezett elektródákkal mérhető. Vizsgálata technikailag könnyű, az orvostudományban is régen alkalmazott EKG-, ill. artériás pulzsmérésen alapszik. Egyes szerzők szerint a vegetatív idegrendszer tónusát jól tükröző HR mérése a stressz vizsgálatának egyik elfogadott módja gerinces állatokban (28, 36, 41, 51). A vegetatív idegrendszer két ágának kölcsönhatása azonban nem feltétlenül derül ki akkor, ha a szív aktivitását csak a HR mérésével rögzítik (39, 51). Mivel az adott vegetatív választ a vegetatív idegrendszer szimpatikus és paraszimpatikus aktivitásának mindenkori egyensúlya határozza meg (51), ezért a HR-vizsgálat önmagában nem nyújt elegendő tájékoztatást egy adott esemény hátterében zajló idegi folyamatokról. Erre további lehetőséget ad a HRV vizsgálata, amelynek alapja, hogy egészséges állatokban a két szívverés közötti időtartamok (inter-beat interval – IBI) nem egyforma hosszúságúak.

Bár a HRV eredete még nem pontosan ismert, egyes kutatások szerint (32) a HR-változások elsősorban a sinuscsomó ellenőrzése alatt állnak, amelyet a vagus, ill. a szívhez futó szimpatikus idegek tónusa mellett számos tényező, többek között az értónus szabályozásában is szerepet játszó renin–angiotenzin rendszer befolyásol (3). A szimpatikus idegrendszer serkenti, míg a paraszimpatikus gátolja a sinuscsomó pacemakersejtjeinek spontán ingerképzési frekvenciáját, vagyis a HRV a sinuscsomó ingerleadási frekvenciájának ciklikus változásaként írható le az idő függvényében (1. ábra).

A HRV mérésével egy időben követhető nyomon a szimpatikus és a paraszimpatikus idegi aktivitás, továbbá lehetőség nyílik ezek szétválasztására is (3), így mód van a vegetatív idegek pillanatnyi aktivitásának értékelésére. Mivel a

szimpatikus rendszer aktivitása a stresszor megjelenésekor fellépő alarmreakció során megnő és ezzel párhuzamosan a paraszimpatikus tónus lecsökken (24), a vegetatív idegrendszer két ágának tónusát elkülönítetten mérve, a HRV a különböző stresszorok szervezetre gyakorolt hatásainak mutatójaként használható.



1. ábra. A HRV létrejöttének és a szív működés szabályozásának egyszerűsített modellje VON BORELL és mtsai (3) nyomán, módosítva

Figure 1. Simplified model for the formation of HRV and the structure of the cardiovascular control – modified after VON BORELL et al. (3)



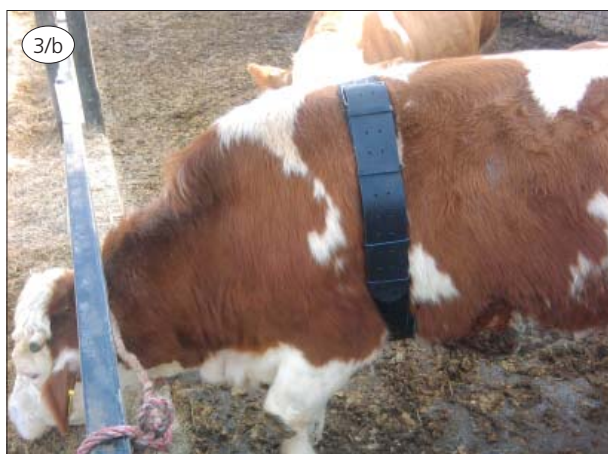
2. ábra. Polar Equine mérőberendezés tartozékaival 1 – HR-jeladó; 2 – HR-vevőkészülék; 3 – elektróda; 4 – elektródahám; 5 – GPS; 6 – Polar infravörös USB illesztőegység a számítógépes adatátvitelhez

Figure 2. Polar Equine equipment and accessories

A vizsgálatok módszertani kérdései

Az adatgyűjtés módszere

A haszonállatfajokban végzett kutatásokban a hordozható HR-mérő műszereket, elsősorban a finn *Polar Electro Oy* termékeit használják. Ezeket a kereskedelemben kapható Polar műszertípusokat, bár eredetileg sportolóknak és sportorvosoknak fejlesztették ki (67), a hagyományos EKG-készülékekhez hasonlóan alkalmasak tejlő szarvasmarhák HR- és HRV-mérésére (27). A műszerek előnye, hogy használatuk nem igényel invazív sebészeti beavatkozást, azonban nem a teljes EKG-t, csak annak R-hullámaint rögzítik, és azt IBI-adatként tárolják. Az újabb modellekkel (Polar R-R Recorder és Polar Equine) 24 órás mérésekre is mód van természetszerű körülmények között és emellett 20 másodperces EKG-szakaszok tárolására is alkalmasak. A Polar Equine készülék (2. ábra) GPS-szel is felszerelt, amely különösen fontos legelő állatok vizsgálatakor (7, 8), amikor a területhasználatot és a szív működést párhuzamosan kívánjuk vizsgálni. Szarvasmarhák esetében általában két különálló elektródát és egy specifikus jeladót használunk. Az egyik elektródát a mellkas bal oldalán, a szegy-



3. ábra. A Polar szívritusmérő készülék rögzítésére szolgáló, erős bőrből készült heveder (a) és felszerelve szarvasmarhán (b)

Tervező: KOVÁCS LEVENTE

Figure 3. Fixing the Polar heart rate monitor on the cattle with a strong leather girth (designed by LEVENTE KOVÁCS)

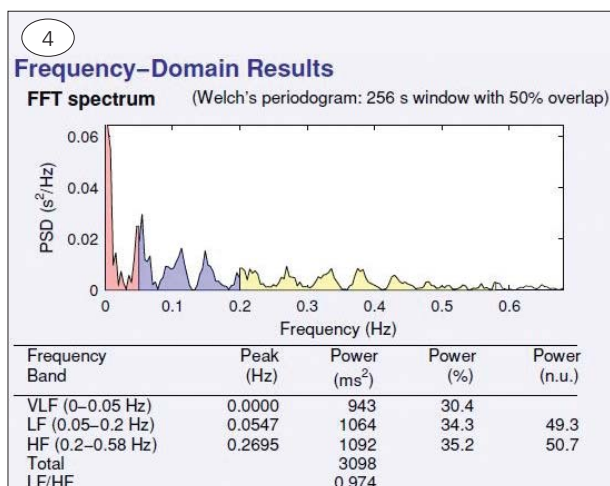
Két elektróda segítségével az EKG R-hullámaint rögzítik

csont tájékán, a másikat a jobb lapocka fölött ajánlott elhelyezni. A jeladók az észlelt IBI-jeleket kódolt formában is képesek továbbítani, hogy a több állaton rögzített, egymással egyidejű mérési adatok ne keveredjenek egymással. A mért IBI-jeleket egy adatgyűjtő műszer tárolja. Az adatok áttöltethetők számítógépre és kompatibilis szoftver segítségével elemezhetőek. A legtöbb szerző 5–10 perc (19, 21, 42, 61), mások (58) ennél rövidebb időtartamú adatsorokat tartanak megfelelőnek a HRV szakszerű kiértékeléséhez.

Nagy kihívást jelent a kutatók számára a műszerek rögzítése az állatokon. A nem megfelelő bőr–elektróda kapcsolat ugyanis a bőr nedvességén (15, 57) és az elektróda gélmennyiségén (3, 21, 42) kívül a heveder típusától és a rögzítés erősségétől is függ (31). Borjakkal végzett vizsgálatoknál (11, 15, 42, 61) a rugalmas gumihevedert is megfelelőnek találták, ugyanakkor kifejtett állatoknál a jeladót és az elektródahámot erős, rugalmatlan hevederrel ajánlott rögzíteni (**3. ábra**), amely a készülékek az állat mozgásából (felkelés, lefekvés, vakaródzás, séta, futás) adódó elmozdulását megakadályozza (19, 21). A testre erősíthető készülékek mellett két vizsgálatban beültethető műszereket is használtak (5, 6). A vizsgálati állatok műszerekhez való szoktatásának fontosságára több szerző is felhívja a figyelmet (9, 11, 19, 58, 61).

A HRV elemzése

A HRV-adatsorok elemzésére számos módszert fejlesztettek ki (65), amelyek közül a szarvasmarhában végzett vizsgálatok legáltalánosabban alkalmazott eljárásai a változékonyság idő-, ill. frekvenciatartomány elemzése. Egyes szerzők



4. ábra. A szarvasmarha légzésszámából számított teljesítménysűrűség-spektrum – a NISKANEN és mtsai (47) által kifejlesztett Kubios szívritmus-elemző szoftver eredménytáblája

PSD – power spectral density: teljesítménysűrűség-spektrum; frequency (Hz): frekvencia (Hz); ms – millisecond: millisekundum; VLF – very low frequency component: nagyon kis frekvenciás összetevő/tartomány; LF – low frequency component: kisfrekvenciás összetevő/tartomány; HF – high frequency component: nagyfrekvenciás összetevő/tartomány; LF/HF – a kis- és nagyfrekvenciás spektrális összetevők hányadosa; Peak (Hz) – az egyes spektrális tényezők legnagyobb értékei; Power – az egyes spektrális tényezők spektrális teljesítménye ms²-ben, %-ban és normalizált értékben (normal unit – n. u.) kifejezve

Figure 4. The power spectral density in cattle calculated from the respiration rate – the result table of Kubios heart rate analysis software developed by NISKANEN et al. (47)

(21, 42) kutatásaikban nem lineáris elemző módszereket is használtak, bár ezek megbízhatósága még vitatott (18), és alkalmazásukról a humán kutatásokban is csak kevesen számoltak be.

A legtöbb, a szív működés kutatásával foglalkozó szerző a változékonyság időtartományban számolt mutatóit tartja a HRV legegyszerűbb kifejezési módjának (37). Ezek a jelzőszámok az IBI-adatsorok különbözőképpen számított statisztikai változékonyságát fejezik ki, ezért ezt a módszert gyakran a HRV 'statisztikai értékelésének' is szokták nevezni.

Az időtartományban végzett elemzés leginformatívabb jelzőszáma, a legtöbb kutató szerint, az rMSSD (a szomszédos szívverések között eltelt idő különbségének négyzetgyöke), amelyet az összes, e témában kutató szerző alkalmaz (11, 15, 19, 21, 42, 61, 63), habár többen más mutatókat hasznosabbnak tartanak (3). A szív működés hosszú távú változékonyságát tükrözi és értékét a paraszimpatikus tónus határozza meg (3, 32, 34).

Egy humán vizsgálat azt a módszertanilag fontos eredményt hozta, hogy az időtartományban számított jelzőszámok szoros ($r=0,85$) összefüggésben állnak a frekvenciatartományban végzett elemzés HRV-mutatóival (60), ezért jól kiegészítik egymást az adatelemzés során (70).

A frekvenciatartományban történő (spektrális) adatelemzés során a műszerekhez tartozó szoftver (47) az IBI-jelek periodikus változásait frekvenciatartományban ábrázolja. Ehhez az adatsorok lineáris interpolációjára van szükség, majd a program ezeket az újraszámolt adatsorokat gyors Fourier-transzformációval (Fast Fourier Transformation – FFT) harmonikus összetevőire bontja és az így kapott ún. spektrális komponenseket a frekvencia függvényében képezi le (4. ábra).

Az ábrán jól látható módon, az IBI-jelek rövid távú ingadozásai a HRV-spektrum három spektrális tartományában koncentrálódnak. Ezeket nagyfrekvenciás (high frequency – HF), kisfrekvenciás (low frequency – LF), ill. nagyon kis frekvenciás (very low frequency – VLF) tartományoknak nevezzük.

Az IBI-jelek sorozatában a spektrális görbén a HF- vagy légzési csúcst a légzéssel egyidejűleg lezajló oszcilláció eredményezi (33). E csúcshelyzet centrális frekvenciája a légzési frekvenciának felel meg, mely – a 4. ábrán látható módon – szarvasmarhánál a 0,20–0,58 Hz-es tartományban található. A HF-csúcs a légzési sinusarhythmia jelenségét tükrözi (25, 37), amely egy gyorsan ismétlődő, rövid ciklusidejű folyamat (33). Belégzéssel nő a HR és csökkennek az IBI-jelek (azaz csökken a két szívverés között eltelt idő), kilégzéskor csökken a HR, vagyis nőnek az IBI-jelek. A légzésszám változásával a sinusarhythmia megfelelő spektrális értékek is változnak, azaz a HF kisebb légzésszámnál kisebb, nagyobb légzésszámnál nagyobb értékű (táblázat).

AKSELROD és mtsai (2) megállapították, hogy a paraszimpatikus blokádnak (atropin) megszünteti a HF-csúcst, míg az alfa- vagy béta-blokkolók, csakúgy, mint a renin–angiotenzin blokádnak, nem befolyásolják az értékét. Ezt a komponens tehát egyedül a vagus mediálja, vagyis a HF-komponens, ill. a légzési sinusarhythmia jelensége megbízható mutatója a paraszimpatikus idegi aktivitásnak (1, 17, 59), amelyet szarvasmarhán végzett HRV-vizsgálatokban az élettani stresszállapot mérésére többen is alkalmaztak (15, 21, 42, 61, 62, 63).

Az IBI-sorozatban a spektrumban létrejövő másik jellegzetes oszcilláció az LF-csúcs, amely a vérnyomás változásaihoz köthető. Ez a légzési sinusarhythmianál lassúbb, hosszabb periódusidejű oszcilláció szarvasmarhánál a 0,05–0,20 Hz-es tartományban található (4. ábra) a vérnyomás periodikusan jelentkező, ún. Mayer-hullámainak tükröződése az IBI-sorozatban a vérnyomás sza-

Az adatok értékelésére a szomszédos szívverések között eltelt idő különbségének négyzetgyökét használják

Táblázat. A spektrális elemzés során alkalmazott nagyfrekvenciás tartomány (HF) és a megfelelő percnkénti légzésszámértékek a különböző haszonállatfajokban VON BORELL és mtsai (3) nyomán
Table. Use of species appropriate high frequency band (HF) in the power spectrum of HRV widths such as the respiratory rates in farm animal species after VON BORELL et al. (3)

Állatfaj	Frekvencia-tartomány (Hz)	Légzésszám (min ⁻¹)
Ló	0,13–0,26	8–16
Szarvasmarha	0,20–0,58	12–35
Borjú	0,50–0,58	30–50
Sertés	0,13–0,41	8–25
Juh, kecske	0,20–0,40	12–24
Nyúl	0,67–1,00	40–60
Házityúk	0,33–0,67	20–40

A szimpatikus és a paraszimpatikus hatást elkülönítetten is mérni lehet

bályozásában szerepet játszó baroreflex révén (33). Bár az e témában kutatók elsősorban a szimpatikus tónus mutatójaként használják (38, 48), egyes szerzők rávilágítanak arra is, hogy mivel e komponens paraszimpatikus befolyás alatt is áll (37), nem mutatja pontosan a szimpatikus aktivitás változásait (15, 30, 42).

Mivel a HF és az LF spektrális komponensek közül az előbbi kizárólag a vagus, az utóbbi a vagus és a szimpatikus ideg közvetítésével jön létre, e jelzőszámok hányadosa (LF/HF) a szimpato-paraszimpatikus egyensúly, ill. a szimpatikus aktivitás mutatója. Egyes szerzők szarvasmarhákon végzett kutatásaikban e jelzőszámok abszolút (15), míg mások normalizált értékeit használják a HRV elemzésekor (21, 42, 61, 62, 63).

A HRV spektrális komponenseinek ún. spektrális teljesítményét – a 4. ábra szerint – meghatározva, lehetővé válik a szimpatikus és paraszimpatikus tónus egymástól elkülönített mérése. Mivel stresszhelyzetben a paraszimpatikus tónus általában lecsökken (HF csökkenése), a szimpatikus tónus pedig felerősödik (LF/HF növekedése), a HRV spektrális jelzőszámai a szervezetre ható fizikai és a pszichológiai stresszorok megfelelő mutatói lehetnek (3, 39, 61, 71).

Mára már elfogadott, hogy a HRV létrejöttében olyan nem lineáris jelenségek is szerepet játszanak (16, 55), amelyek kialakulásáért az összetett hemodinamikus, elektrofiziológiai és humorális kölcsönhatásokban mutatkozó változékonyság éppúgy felelős, mint a vegetatív és központi idegrendszeri irányítás (56). Napjainkban ezért a HRV nem lineáris komponenseinek elemzése is fontos területét képezi a HRV-kutatásoknak. Ezen alkotóelemek elemző módszerei azonban jelenleg még nehezen alkalmazhatóak, és a kapott eredmények értelmezése is számos ponton vitatott.

Kutatási eredmények

Alapkutatások

A HRV-t illetően a szarvasmarhán végzett kutatómunka nem tekint vissza nagy múltra. Az első tanulmány CLABOUGH és SWANSON (10) nevéhez fűződik. A szerzők az orvosi gyakorlatban jól ismert bradycardia (pulzusszámcsökkenés) jelenségét a szarvasmarhák mellkasának mesterséges szorításával váltották ki, és megállapították, hogy a mellkas térfogatának csökkenése szignifikánsan ($p < 0,005$) csökkenti az LF/HF mutató értékét, amely a szimpatikus tónus csökkenését támasztja alá. Ez az eredmény a vizsgálatok kivitelezése szempontjából igen jelentős. Felmerül ugyanis a kérdés, hogy olyan vizsgálatokban, ahol az állatok szabadon mozoghatnak – és ezáltal a műszerek is nagyobb veszélynek vannak kitéve – egy megfelelően szorosra állított heveder nem befolyásolja-e a mérési eredményeket? Véleményünk szerint a rögzítés erősségének a HRV-re való hatásának vizsgálata elvégezhető a műszerhez való szoktatási időszak előtt oly módon, hogy nyugalmi időszakban, az egyik nap rugalmas szíjakkal, másnap a vizsgálatban alkalmazni kívánt hevederekkel erősítik az állatokra a műszereket. A két nap mérési eredményeit összehasonlítva, kiszűrhetőek a rögzítés szorosságából adódó eltérések.

A HRV alkalmazhatóságát a vegetatív idegrendszeri működés vizsgálatára több kutató is igazolta. STEWART és mtsai (63) négy hónapos holstein-fríz bikaborjakat vontak alapkísérletükbe, amelyeknek élettani konyhasóoldatot tartalmazó, ill. epinefrin (adrenalin) nyaki infúziót kötöttek be. Az epinefrin infúzió eltávolítása után az rMSSD mutató szignifikánsan növekedett (az infúzió beadása előtti időszakkal összehasonlítva: $p < 0,001$; a fiziológias konyhasóoldatos infúziót kapott borjakkal összehasonlítva: $p < 0,05$), amely a vegetatív idegrendszeri egyensúly helyreállása során megnövekvő paraszimpatikus tónus aktivitását tükrözi.

Francia kutatók (15) holstein-fríz bikaborjak vegetatív idegrendszeri működésének vizsgálatához vegetatív blokádot alkalmaztak: 1. atenolol (szimpatikus blokádot), 2. atropin-szulfát (paraszimpatikus blokádot), 3. atenolol + atropin-szulfát ('dupla' blokádot). Meglepő módon az atenolol nem módosította a szimpatikus aktivitást, a kutatók ugyanis nem találtak a HRV mutatóival kifejezhető különbséget a fiziológias konyhasóoldat és az atenolol injekció hatásai között. A

A műszerek rögzítésének módja befolyásolhatja az eredményeket

**A módszert fertőző
betegségben
szenvető
szarvasmarhák
sterszállapotának
mérésére is
kipróbálták**

kapott eredmény hátterében az állhat, hogy az állatok, a vizsgálatok előtti egyhetes szoktatási időszak alatt, alkalmazkodtak az eljáráshoz. Az atropin-szulfát ugyanakkor az rMSSD és a HF mutató értékében szignifikáns csökkenést idézett elő ($p < 0,05$) az injekció beadása előtti időszakhoz képest, amely a paraszimpatikus tónus csökkenését igazolja. Ez a hatás kevésbé volt erőteljes, amikor atenolol injekciót is kaptak az állatok az atropinnal egy időben.

A belső eredetű stresszorok hatásainak vizsgálata

Bár az egészségi állapot az állatok jóllétét alapvetően meghatározó tényező, a szarvasmarhán végzett HRV-kutatásokban a betegségek vizsgálata még nem került a figyelem középpontjába. Mindössze három tanulmány foglalkozott eddig a fertőző betegségek szív működésre kifejtett hatásaival. POMFRETT és mtsai (50) szarvasmarhák szivacsos agyvelőgyulladás (bovine spongiform encephalopathy – BSE) által okozott fiziológiai stressz mértékének vizsgálatakor különböző adagban fertőzött takarmánnyal etették az állatokat egy éven keresztül (100 g BSE-vel fertőzött agyvelő-homogenátum/nap/állat). A HF-mutató értékében szignifikáns különbséget ($p < 0,001$) tapasztaltak a kontroll-, ill. a különböző mértékben fertőzött csoport állatai között. Az rMSSD mutató a beteg állatok esetében kisebb volt (alacsonyabb paraszimpatikus tónus), amellyel összhangban egy német kutatócsoport (42) a HRV csökkenését állapította meg a szarvasmarhák vírusos hasmenésével (bovine viral diarrhea – BVD) fertőzött borjaknál a választás utáni második napon. Az rMSSD és az SDANN- (az IBI-jelek teljes jelszakaszra számított szórása) mutatók értékei szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkentek (79%, ill. 45%), amely a vagustónus csökkenését kiváltó stresszterhelésről tanúskodik. A szimpatikus/paraszimpatikus egyensúlyt reprezentáló LF/HF arány a kontrollállatoknál mért értékekhez képest 400%-kal nőtt ($p < 0,05$), amely a szimpatikus tónus aktivitásának jelentős túlsúlyára, ezáltal nagymértékű stresszterhelésre utal. A HF-mutató értékének változása az rMSSD-mutatóhoz hasonlóan jelezte a stressz különböző szintjeit. Ez megerősít több korábbi humán kutatási eredményt, amelyben a szerzők (34, 37) az rMSSD- és a HF-komponensek közötti szoros korrelációról számoltak be.

**Technológiai
beavatkozások
okozta stressz és
az érzéstelenítés
hatékonysága is
mérhető**

Az állatok kezeléséből és a technológiából eredő stressz vizsgálata

A szarvasmarha-tenyésztés gyakorlatában végzett rutinszerű beavatkozások következtében fellépő fájdalom és stressz mérséklése fontos tényezői az állatok jóllétének, ezért a következőkben két olyan vizsgálatot mutatunk be, amelyek szarvasmarhában egyedülként számolnak be fájdalmat okozó időszakos ápolási munkák HRV-re kifejtett hatásairól.

Ilyen beavatkozások között tartjuk számon az égetéssel történő szarvtalanítást és a sebészeti úton történő ivartalanítást, amelyek szív működésre kifejtett hatásait STEWART és mtsai (61) helyi érzéstelenítéssel, ill. érzéstelenítés nélkül vizsgálták. A szerzők a helyi érzéstelenítés nélkül végzett szarvtalanítást követően a HF értékének csökkenését, valamint az LF-, ill. LF/HF-mutatók növekedését állapították meg, amelyből a paraszimpatikus tónus csökkenésére és a szimpatikus idegi aktivitás túlsúlyára következtethetünk. A helyi érzéstelenítés mellett végzett szarvtalanítás szintén a szimpatikus aktivitás növekedésével (nagyobb LF, ill. LF/HF) és a paraszimpatikus tónus csökkenésével járt együtt (kisebb HF), vagyis a kísérletben alkalmazott érzéstelenítés nem enyhítette a szarvtalanítás okozta fájdalmat olyan mértékben, hogy az HRV-ben megmutatkozó stresszt ne okozzon a borjaknak.

Az érzéstelenítés nélküli ivartalanítás hatásait egy másik vizsgálatban értékelve, az új-zélandi kutatók az ismertetettel ellentétes eredményeket kaptak (64). Az rMSSD- és a HF-mutatók értékei nőttek, valamint az LF- és az LF/HF-mutatók csökkentek az operációt követően. Ezek az adatok a paraszimpatikus tónus felerősödését jelzik, amely az ondósinór roncsolása következtében fellépő mély zsigeri fájdalommal hozható összefüggésbe, amit a medencei zsigerekhez tartozó herékből a paraszimpatikus idegek közvetítenek.

Az intenzív farmokon a tejlő tehenekre ható technológiai körülmények közül a kifejlett tehenek számára a fejés jelenthet olyan terhelést, amely az állatok szervezetében stresszállapotot hozhat létre (53). A fejés körüli időszakban fellépő stressz hatásait többen is vizsgálták (19, 21, 46), azonban sem a fekvés és fejés közben mért HRV-mutatók értékei (19), sem a robotizált, sem a hagyományos gépi fejési rendszerekben termelő tehenek HRV-értékei között nem találtak statisztikailag alátámasztható eltérést (19, 21).

A HRV-értékek nem jeleznek stresszállapotot fejéskor

Mindezek alapján feltételezhető, hogy a fejés, mint technológiai tényező és a fejés robotizálása ezekben a vizsgálatokban nem jelentett HRV-ben kimutatható stresszt az állatok számára. Ezt alátámasztják NEUFFER és mtsai (46) vizsgálati eredményei is, amelyek szerint a különböző fejési rendszerekben (gépesített, ill. hagyományos, halszállás elrendezésű) termelő tehenek HRV-mutatói között nem volt szignifikáns eltérés állás és fejés közben mérve. Ennek oka lehet, hogy az állás közbeni metabolikus aktivitás elegendően nagy ahhoz, hogy meghaladja a fejés által kiváltott hatásokat. A fekvés közben mért mutatók azonban jelentősen különböztek (kisebb rMSSD: $p < 0,01$, kisebb HF: $p < 0,05$, ill. nagyobb LF/HF: $p < 0,5$) az összes fejési rendszerben (19, 21), vagyis a fekvés közben tapasztalt nagyobb szimpatikus aktivitás nem a fejési rendszerek hatásaival volt összefüggésben, hanem a technológia egyéb elemeivel.

A nem környezeti eredetű változók hatása

Egyes szerzők a HRV nem technológiai eredetű változókkal való összefüggéseiről is beszámoltak. E kutatások szerint a HRV jelzőszámai sem az életkor (41), sem a vemhesség (42) előrehaladtával nem változtak szignifikánsan. Megállapították továbbá, hogy sem a laktáció, sem a késői vemhesség nem tartoznak azok közé az élettani tényezők közé, amelyek a HRV idő- és frekvenciatartomány számított jellemzőiben nagyon eltérnének (42), a kutatók ugyanis a tejtermelő, ill. szárazonálló tehenek HRV-értékei között nem találtak szignifikáns eltérést. Megemlítendő azonban, hogy az összes időtartományban számított mutató a tejtermelő és a szárazonálló állapot között növekvő tendenciát mutatott.

A HRV-értékek az egyes fajták stresszérzékenységét is jelzik

A fajták közötti szív működésbeli különbségekre mutatnak rá HAGEN és mtsai (21), miszerint a paraszimpatikus tónust jelző mutatók statisztikailag is igazolhatóan kisebb (rMSSD, HF: $p < 0,05$), a szimpatikus aktivitásra utaló jelzőszámok pedig nagyobb (LF, LF/HF $< 0,01$) értékeket vettek fel szimentáli tehenekben, svájci barna tehenekkel összehasonlítva. Ennek egyik magyarázata lehet, hogy a szimentáli tehenek az intenzív tejtermelő rendszerekben érzékenyebbek a stresszre, mint a svájci barna tehenek, amelynek hátterében az anyagcsere-folyamatok különbségei, valamint a vérmérsékleti különbségek állhatnak (22).

A szívritmus-változékonyság, mint kutatási módszer korlátai

A módszer ismertetett előnyeinek túl fel kell hívnunk a figyelmet az alkalmazásával járó, elsősorban módszertani jellegű nehézségekre is. Ezek közé tartozik az aktivitásból adódó HR-változások elkülönítése. Jelentős viselkedésbeli változás (megnövekedett mozgási aktivitás) fordulhat elő ugyanis a szabadon mozgó állatoknál. Ennek kiküszöbölésére több lehetőség is kínálkozik. A különböző stresszhatások vizsgálata során egyes kutatók megpróbálták az állatok mozgási aktivitását a lehetőségekhez mérten ellenőrizni (42, 52, 53, 69) vagy a vizsgált egyedeket a mérések idejére egy kisebb karámban elhelyezni. Egy másik megoldás, hogy az adatok kiértékelésekor azokat a megfigyelési szakaszokat hasonlítják össze, ahol az egyedek fizikai aktivitása megközelítőleg hasonló (52). A fizikai aktivitásból adódó motoros és nem motoros HR-válaszok statisztikai modellek segítségével elkülöníthetők (69).

További nehézséget jelenthet, hogy kötetlenül tartott szarvasmarhák esetében (35) a vizsgálati csoportokban fennálló bonyolult társas kapcsolatok és az ezekből adódó viselkedési és pszichés hatások külön-külön is befolyásolhatják az eredményeket (67). Az adatok kiértékelésében nehézséget okozhatnak továbbá a HRV-

A HRV-módszerek számos korlátja is van

Stresszterhelésre a HRV-értékek megváltoznak, ezért a módszer az állatok jóllétének mérésére is alkalmas lehet

értékek nagy egyedi eltérései is. A legtöbb tanulmány szerint azonban a jelek jeladó általi továbbítása okozza a legnagyobb nehézséget a mért HRV-mutatók kiértékelésekor (21, 31, 41, 66). Ennek hátterében legtöbbször a nem megfelelő bőr-elektroda érintkezésből (gyors helyzetváltoztatás, pl. felállás, lefekvés, vakaródzás, futás) adódó gyengébb vezetőképesség áll.

Az említetteken túl, a hibás IBI-jelek is okozhatnak nehézségeket az adatelemzés során. A rendellenes hullámok legtöbbször a stressz következtében fellépő sinusarhythmia jelenségére, ill. a mérőegységek korlátaira vezethetők vissza. Gyakran előfordul ugyanis, hogy az állat túlzott fizikai aktivitása következtében az elektrodák nem vezetnek megfelelően az elektromos jeleket, esetleg valamilyen elektromágneses zavar lép fel a környezetben. Az IBI-görbén keletkező hibákat a műszerekhez tartozó szoftver speciális algoritmusok segítségével automatikusan korrigálja (3).

Összegzés

A számos humán vonatkozású közleménnyel szemben a HRV témakörében napjainkig az alkalmazott állattenyésztés és a viselkedés-élettan területén igen kevés tanulmány látott napvilágot. Hazánkban eddig csak ló- (45) és kutya- (66) fajokban születtek figyelemre méltó eredmények, míg külföldön olyan gazdaságilag fontos haszonállatok is vizsgáltak, mint pl. a szarvasmarha és a sertés. E tekintetben vizsgálandó területnek számít Magyarországon a HRV vizsgálata szarvasmarhában.

A tanulmányok értékelése alapján megállapítható, hogy több olyan HRV-mutató is van, amely fontos lehet az állatok jóllétének kifejezésére. Bebizonyosodott, hogy adott időtartományban mind a rövid (rMSSD), mind a hosszú távú változékonyságot (SDNN) leíró jelzőszámok értékei a stresszterhelés növekedésével párhuzamosan csökkennek, így mind a szimpatikus, mind a vagustónus mérésére használhatók (15, 42, 63).

A frekvenciatartományban számított HF és LF/HF jelzőszámok több vizsgálatban is (21, 42, 63) az előre feltételezett viszonyt mutatták a stressz által kiváltott élettani reakciókkal kapcsolatban, az LF-mutató alkalmazhatósága azonban több tanulmány alapján is megkérdőjelezhető (21, 42).

Egyes vizsgálatok azt bizonyították, hogy sem az életkor (41), sem a laktáció, ill. a vemhesség előrehaladottsága (42), sem a napszak (21) nincs jelentős hatással a szív működésre.

A különböző betegségek élettani hatásait vizsgáló kutatások eredményei (42, 50) igazolták, hogy a belső eredetű élettani stresszorok is hasonló megterhelést jelentenek az állatok számára, mint a fizikai környezetből származó ingerek. E vizsgálatok eredményei szerint a betegség következtében fellépő élettani stressz a paraszimpatikus idegi aktivitás csökkenését jelző mutatóval (rMSSD) kimutatható.

A vizsgálatok túlnyomó többsége igazolta a HRV alkalmasságát a különböző technológiai elemek és a betegségek következtében fellépő stressz kimutatására (11, 42, 50, 62, 63), ugyanakkor többen is megállapították (19, 20, 46), hogy a fejésnek, mint technológiai tényezőnek, valamint a különböző fejési rendszereknek nincs olyan élettani szempontból jelentős hatása a szervezetre, amely a HRV vizsgálatán keresztül a stressz különböző szintjeivel összefüggésbe hozható lenne.

Véleményünk szerint a HRV vizsgálata jelentős, nem invazív eljárása lehet a szarvasmarhán végzett viselkedés-élettani kutatásoknak hazánkban is. Úgy gondoljuk, hogy kellő vizsgálati tapasztalat birtokában a HRV módszerével a korábbiaknál jóval pontosabb magyarázatokat adhatunk a szarvasmarha-tenyésztés egyes állatjóléti kérdéseire.

A hivatkozott irodalom a szerzőknél rendelkezésre áll.

Közlésre érk.: 2011. dec. 15.