

A SZÍVRITMUS-VARIANCIA VIZSGÁLATÁNAK BIOLÓGIAI ALAPJAI

A szívritmus

A szívritmus (heart rate, HR) a percenkénti szívverések száma, más néven: pulzus. A HR a viselkedéssel párhuzamosan zajló belső történések feltárásának egyik legáltalánosabban használt indikátora, hiszen a szív igen gyorsan reagál az egyed állapotában bekövetkező változásokra (Tóthné Maros és mtsai, 2010). Változékonnyá létező paraméter, szinte az összes külső és belső környezeti inger, amivel az állat egy adott időben szembesül, hatással lehet rá (Wascher és mtsai, 2008). Mérésének alapja, hogy a szívműködés kapcsán fellépő elektromos aktivitás az egész testben elektromos erőteret létesít, amely megfelelő érzékenységgű feszültség-regisztráló készülékkel a testfelszínen elhelyezett elektródákkal mérhető. Állattenyésztési és viselkedéstudományi kutatásokban való népszerűsége abból adódik, hogy monitorozása technikailag viszonylag könnyű, az orvostudományban igen régóta alkalmazott EKG-, illetve artériás pulzuszámolással alapszik. A módszer viselkedéstani kutatásokban való alkalmazásának létjogosultságát több tanulmány is alátámasztja (Porges, 1995; Hopster és mtsai, 1995; Minero és mtsai, 2001; Loijens és mtsai, 2002). A szerzők szerint a vegetatív idegrendszer tónusát jól tükröző HR mérése a stressz vizsgálatának egyik elfogadott módja gerinces állatokban. Hopster és Blokhuis (1994) megállapították, hogy a HR változásai a szervezetnek a külső környezet változásaihoz való adaptációját tükrözik. Fontos megemlíteni azonban azt is, hogy a HR szarvasmarhában – a többi állatfajhoz hasonlóan – rendkívül sok tényező által meghatározott élettani változó. Aktuális értékét az állat kora, származása, tartási és tenyésztési körülményei, neme, illetve mentális és fiziológiai terheltsége vagy státusza is befolyásolhatja (Janžekovič és mtsai, 2006).

A szívritmus-variancia és a stressz

Az EKG két szomszédos R-hulláma között eltelt időt RR-intervallumnak, másképpen fogalmazva két szívverés között eltelt időnek (inter-beat interval, IBI) nevezzük, melynek mértékegysége a millisecundum (ms). Percenkénti 60-as HR-nél tehát az IBI hossza 1 sec, vagyis 1000 ms. A szívritmus-variancia (heart rate variability, HRV) alapja, hogy egészséges állatoknál az egymást követő IBI-jelek nem egyforma hosszúságúak és folyamatos változásuk jól tükrözi az állatok pszichofiziológiai állapotát (Tóthné Maros és mtsai, 2010). Normális körülmények között ugyanis sajátos periodicitások figyelhetők meg az IBI-sorozaton (1. ábra).

A HRV eredete ugyanakkor még ma sem ismert teljes egészében. Egy human kutatás szerint a HRV-t döntően két tényező határozza meg: a szinuszcso-

1. ábra A szarvasmarha EKG-görbéje (Minero és mtsai, 2001)

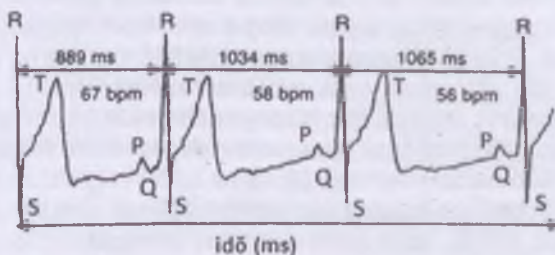


Figure 1. EKG waves in cattle The (Minero et al, 2001)
time (ms) (horizontal axis); bpm: beats per minute

pacemaker sejtjeinek ingerleadási frekvenciája és az azt moduláló vegetatív idegrendszeri tónus (Kanters és mtsai, 1996), vagyis elmondható, hogy a HRV a vegetatív idegek aktivitásának függvénye. A HR-változások tehát elsősorban a szinusz-csomó ellenőrzése alatt állnak, melyet a vágusz, illetve a szívhez futó szimpatikus idegek befolyásolnak. A szimpatikus idegrendszer serkenti, míg a paraszimpatikus gátolja a szinusz-csomó spontán ingerképzési frekvenciáját. Ennek tükrében megfogalmazható, hogy a HRV a szinusz-csomó ingerleadási frekvenciájának ciklikus változása az idő függvényében.

A HRV állatélettani és állatetológiai kutatásokban való jelentőségét az állat szervezetének különböző, stresszt előidéző külső hatásokhoz (stresszorokhoz) való adaptációjának vizsgálata adja. Maga a stressz fogalma az 1930-as években vált ismertté Selye János világhírű biológus, stresszkutató munkássága nyomán. Az ő nevéhez fűződik a stressz – stresszor – stresszreakció fogalomrendszerén alapuló stresszelmélet leírása (Selye, 1976), mely alapján: „a stressz a test nem specifikus válasza a testet ért igénybevételekre”. Selye a stresszor hatására bekövetkező testi reakciók összességét Általános Adaptációs Szindrómának (General Adaptation Syndrome, GAS) nevezte, melynek lényege, hogy a stresszor megjelenésekor a szervezetben ún. alarmreakció játszódik le, mely meglepően egységes képet mutat a konkrét stresszor természetétől függetlenül. A meghatározás szerint a stressz három egymástól jól elkülöníthető fázisa alkotja a teljes általános adaptációs tünetegyüttest (alarm – rezisztencia – kimerülés). Az alarmreakció során a vér adrenalin- és kortizol-szintjének növekedése következtében gyorsul a szívverés, nő a vérnyomás, mely az izmok oxigénellátását serkenti, ezáltal a szervezet felkészül a fokozott teljesítményre. Az ellenállási szakaszban – amennyiben a stresszor folyamatos hatása mellett lehetséges az alkalmazkodás – kifejlődhet a megfelelő ellenállás. Az alarmreakció jelei látszólag eltűnnek, és az ellenállóképesség a normális szint fölé emelkedik. A harmadik fázis a kimerülés szakasza, mely során az alkalmazkodási energia kimerül, ha a szervezetet túlságosan hosszú ideig túlságosan erős stresszor hatása éri. A stresszor hatására tehát az állat szervezete először egy igen gyorsan kialakuló vészreakcióval reagál. Az általunk tanulmányozott kutatások az ebben a stádiumban regisztrált élettani történéseket (az alarmra adott válaszokat) vizsgálják, melyek elemzése azon alapul, hogy az e szakaszra jellemző növekvő szimpatikotónust a HR növekedése mellett a HRV bizonyos paramétereinek jellegzetes változásai kísérik.

A HRV stresszindikátorként való alkalmazása tehát a keringési rendszer beidegződésén alapul. A szív működését ugyanis alapvetően a vegetatív idegrendszer két nagy alrendszere, illetve tónusuk szabályozza. A szimpatikus rendszer a fentiek szerint elsősorban az alarmban jelentkező vészreakciókat vezérli, míg a paraszimpatikus ágak főleg a szervezet nyugalmi állapotát szolgáló funkciói vannak. E kettő állandó kölcsönhatásban van, de ez nem feltétlenül derül ki akkor, ha a szív aktivitását csak a HR mérésével rögzítjük (Porges, 1995; Marchant-Forde és mtsai, 2004b). Bár bizonyos esetekben ez is sok információval szolgálhat, monitorozásával csak a vegetatív idegrendszer két ágának interakciójából származó eredő hatás mérhető. Mivel az adott vegetatív választ a vegetatív idegrendszer szimpatikus és paraszimpatikus ágának aktuális egyensúlya határozza meg (Porges, 1995), ezért a HR-vizsgálat önmagában nem nyújt elegendő információt egy adott eseményhez tartozó viselkedési reakció hátterében zajló idegi folyamatokról. A HRV mérésével, ezzel szemben egy időben követhetjük nyomon a szimpa-

tikus és paraszimpatikus idegi aktivitást, továbbá lehetőségünk nyílik ezek szétválasztására is (*von Borell és mtsai*, 2007), így módunk van a vegetatív idegek aktuális aktivitásának felmérésére is. A HR periodikusan jelentkező változásai ugyanis mind a szívet beidegző vágusz, illetve a szimpatikus idegek aktivitásának következményei. Ha tehát sikerül egymástól elkülöníteni ezeket a különböző periódusidővel rendelkező ritmicitásokat, és ki tudjuk deríteni, hogy melyiket melyik ideg hozza létre, akkor a HRV-t a szimpatikus, illetve paraszimpatikus aktivitás indikátoraként alkalmazhatjuk. Mivel stresszhelyzetben a paraszimpatikus hatás általában lecsökken, a szimpatikus hatás pedig felerősödik (*Porges*, 1995), a fentiekből következően a HRV a tartástechnológiából adódó különböző stressztényezők állati szervezetre gyakorolt hatásainak mutatója is lehet.

A SZÍVRITMUS-VARIANCIA KUTATÁSA

A HRV kutatása jelenlegi ismereteink szerint a XVIII. századig nyúlik vissza. Az első e témában íródott tanulmány Hales nevéhez fűződik, aki először számolt be egy publikációjában az artériás vérnyomás kvantitatív méréséről. Munkájában többek között leírta a légzési ciklusok, a vérnyomás és a két egymást követő szívösszehúzódás közötti összefüggéseket. A HRV klinikai jelentőségre azonban csak az 1960-as évek közepére tett szert. A témában kutatók közül elsőként *Hon és Lee* (1965) számoltak be a humán orvoslásban nagy horderejű eredményekről. Tanulmányukban leírták, hogy a magzati distressz kialakulását megelőzően az IBI-sorozatban változás jelentkezik anélkül, hogy ez HR-ben is kimutatható lenne.

Az ezt követő jelentősebb kutatások (*Sayers*, 1973; *Luczak és Lauring*, 1973; *Hirsh és Bishop*, 1981) középpontjában a HR jelsorozat, és ezen belül is az IBI-jelek változékonyságának hátterében zajló fiziológiai történések feltérképezése állt. *Ewing és mtsai* (1985) az 1970-es években számos egyszerű módszert dolgoztak ki az IBI-jelek rövid távú változásainak kimutatására cukorbetegéken autonóm neuropátia (a vegetatív idegrostok károsodása) megállapítása céljából.

1981-ben *Akselrod és mtsai* bemutatták a HR-változások frekvenciatartományban való elemző módszerét, a spektrális analízist, amellyel lehetőség nyílt az IBI-jelek kardiovaszkuláris szabályozásának kvantitatív megállapítására. E módszer megalkotása hozzájárult az EKG-n az IBI-jelek periodikus váltakozásait előidéző vegetatív idegrendszeri folyamatok megértéséhez és értékeléséhez (*Pomeranz és mtsai*, 1985; *Pagani és mtsai*, 1986).

Bár az infarktus utáni halálozás és a csökkenő HRV közötti összefüggést *Wolf és mtsai* már 1977-ben leírták, a HRV módszerét az orvostudományban csak az 1980-as évek végétől kezdték kutatási céllal alkalmazni. Addigra több tanulmányban is igazolást nyert, hogy a HRV egyéb élettani változóktól függetlenül értékelhető előrejelzője az akut szívizominfarktus után bekövetkező hirtelen szívhalálnak (*Kieiger és mtsai*, 1987; *Malik és mtsai*, 1989; *Láng*, 1994).

Ezeket a megállapításokat támasztja alá *Stein és mtsai* (1994) közleménye, amely szerint a csökkenő HRV-értékek mind a szívizominfarktust elszenvedett, mind az előrehaladott szívkoszorúér megbetegedéssel diagnosztizált pácienseknél kockázati tényezőt jelentenek. A kutatók szerint a HRV csökkenése kapcsolatban áll a cukorbetegséggel és az alkoholos szívizombetegséggel is.

Ezek az eredmények a módszer gyakorlatban való alkalmazását sürgették. Ennek következménye, hogy az elmúlt két évtizedben egyre inkább előtérbe került hirtelen szívhalál, diabéteszes autonóm neuropátia, valamint magas vérnyomás és a háttérükben álló vegetatív funkciós problémák kapcsolatát vizsgáló tanulmányok többségében már a HRV elemző módszereit találjuk (*Malik és mtsai, 1996*). Ezek a kutatások megerősítik, hogy a HRV spektrális analízissel való kimutatása a humán gyógyászatban prognosztikus értékű, s ezzel a gyógykezelést segíti. A fent felsorolt betegségek lefolyásánál ugyanis a kóros vegetatív reakciók a betegségek későbbi kifejlődését, a szövődményeket, és a veszélyeztetettség mértékét is már korán, az egyértelmű tünetek fellépése előtt valószínűsíthetik (*Stein és Kleiger, 1999*). A szerzők szerint a vegetatív idegrendszer működésével kapcsolatos élet-tani paraméterek vizsgálata mind a megelőzésben, mind a kórisme felállításában, mind pedig a gyógykezelés meghatározásában jelentős segítséget nyújthat.

A HRV elemzésével egyre gyakrabban találkozhatunk egyéb kardiovaszkuláris betegségekkel (*Buccelletti és mtsai, 2009; Carney és Freedland, 2009*) és rendellenes mentális működésekkel (depresszió: *Pizzi és mtsai, 2008; Francis és mtsai, 2009*; pánikzavar: *Walters és mtsai, 2008*; fóbiás szorongás: *Watkins és mtsai, 2010*) foglalkozó tanulmányokban és klinikai vizsgálatokban is. Sok adat szól továbbá amellett, hogy a kamrai aritmia létrejöttében a vegetatív idegrendszeri egyensúly megbomlása jelentős szerepet játszik.

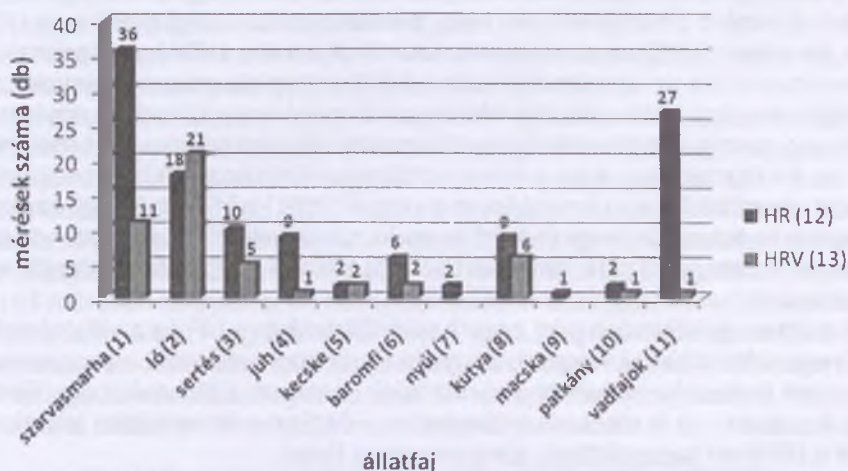
Napjainkra a digitális jelfeldolgozási lehetőségek és a Holter monitor megjelenése jelentősen megkönnyítette a vegetatív idegrendszeri működés fiziológiai és patofiziológiai változásainak egyszerű és pontos követését. Ez elősegítette a HRV, mint a vegetatív idegrendszer egyensúlyát jelző kvantitatív indikátor (*Niskanen és mtsai, 2004*) a humán orvoslásban való széles körű elterjedését. A felettébb sok, humán kutatásban megjelent publikáció ellenére a HRV vizsgálata az alkalmazott állattenyésztés és az állattetológia területén a HR-mérésekkel ellentétben ugyanakkor még gyermekcipőben jár (2. ábra).

Elmondható azonban, hogy míg az ezredforduló előtt az állattenyésztés területén a kutatók viszonylag kevés figyelmet fordítottak a paraszimpatikus aktivitás stressz-állapotokat meghatározó szerepének kutatására, néhányan addigra már bebizonyították, hogy a vegetatív idegrendszer vágusz-komponense emlősökben jelentős szerepet játszik a stresszhatásokra adott HR-válaszok kialakításában (*Hopster és Blokhuis, 1994; Porges, 1995*), ezáltal egyfajta fiziológiai indikátora lehet a stressz-érzékenységnek, illetve a stressztűrő-képességnek (*Sgoifo és mtsai, 1999*).

Az első vizsgálatokat laborállatokon (*Lemaire és Mormede, 1995; Slangen és mtsai, 1997; Sgoifo és mtsai, 1999*), kutyákon (*Hull és mtsai, 1990; Pagani és mtsai, 1986; Beerda és mtsai, 1998; Palazzolo és mtsai, 1998*) és minisertéseken (*Kuwahara és mtsai, 2004*) végezték. Ezen fajok vizsgálati alanyokként való alkalmazását az orvosi kutatásokban való jelentős szerepük indokolta. Meg kell említenünk, hogy a laborállatokkal végzett vizsgálatok során gyakran altatásban folynak a vizsgálatok, mely – mint ahogy később látni fogjuk – a mérések kivitelezésében nagy könnyebbséget jelent a szabadon mozgó állatokkal végzett kutatásokkal szemben.

A módszer humán orvoslásban való eredményessége, valamint a fent említett vizsgálatok sikerei a kutatókat az elmúlt évtizedben a HRV állatkísérletekben való alkalmazására ösztönözte.

2. ábra A HR és HRV témakörében közölt publikációk száma a háziállat- és vadfajokban



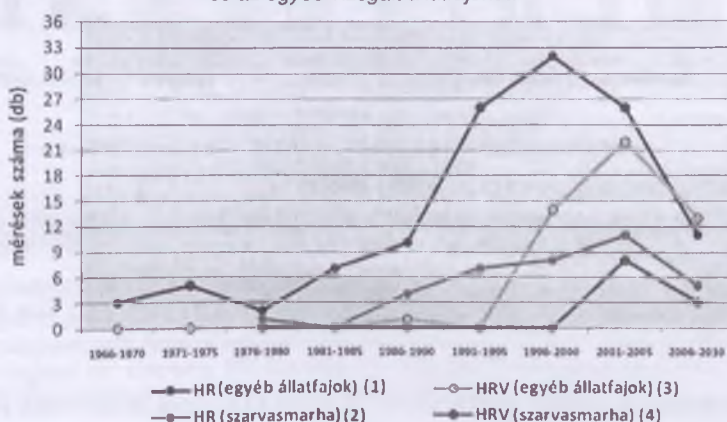
*az 1967 és 2010 között megjelent 172 tanulmány alapján

Figure 2. The number of related publications in livestock and game animal species between 1967 and 2010

number of measurements (vertical axis); animal species (horizontal axis); cattle (1); horse (2); swine (3); sheep (4); goat (5); poultry (6); rabbit (7); dog (8); cat (9); rat (10); game animal species (11); HR: heart rate (12); HRV: heart rate variability (13)

Ennek eredménye, hogy a HRV-t a 2000-es évek elejétől – ha nem is széleskörűen – mint a haszonállatok jólléti- és stresszállapotát kifejező indikátoraként kezdték kutatni (3. ábra).

3. ábra A HR és HRV témakörében közölt publikációk számának alakulása szarvasmarhában és az egyéb vizsgált állatfajokban*



* az 1967 és 2010 között megjelent 172 tanulmány alapján

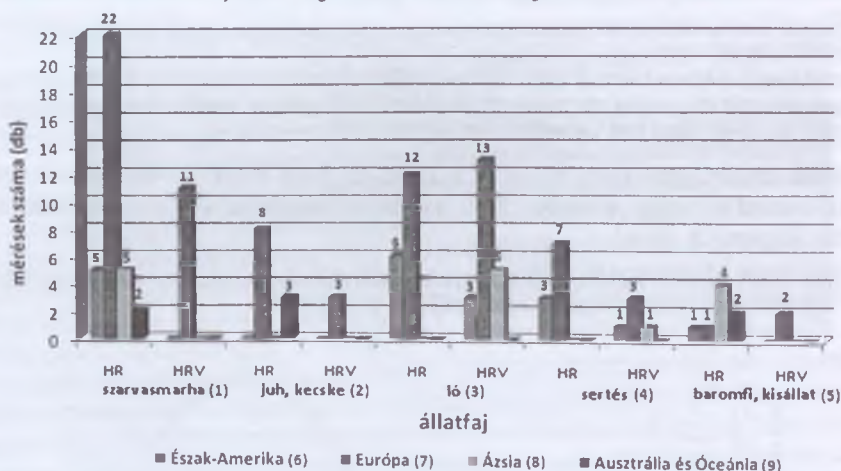
Figure 3. Number of publications in cattle and other animal species – based on 172 reports between 1967 and 2010

number of measurements (vertical axis); years (horizontal axis); HR – heart rate (all animal species) (1); HR – heart rate (cattle) (2); HRV – heart rate variability (all animal species) (3); HRV – heart rate variability (cattle) (4)

A haszonállatfajok közül lóban és szarvasmarhában végezték a legtöbb vizsgálatot. A lovak a pihenés közbeni nagy paraszimpatikus idegi aktivitásuk (*Kuwahara és mtsai*, 1999) miatt lettek közkedvelt alanyai a HRV-kutatásoknak. Bár szarvasmarhában az ezredforduló után a HRV-vel foglalkozó tanulmányok száma megnőtt, a vizsgálatok technikai kivitelezését megkönnyítő nagy testméret és a gazdasági szempontból betöltött jelentős szerep ellenére relatíve kevésnek mondható az a 11 tanulmány, mely e téma kutatásával foglalkozik. A haszonállatokban végzett vizsgálatok kis számát *Minero és mtsai* (2001) a HRV-mérések szakszerű és pontos kivitelezését megnehezítő terepi körülményekkel és az ebből adódó nehézségekkel magyarázzák, amellyel hazai és külföldi vizsgálataink alapján egyet kell értenünk.

A 4. ábra egyértelműen jelzi, hogy haszonállatokban a HR és a HRV témakörében megszületett cikkek nagyobb hányada Európából származik a szarvasmarha, a ló, a juh és kecske, valamint a sertés fajok esetében. Láthatjuk, hogy Európán kívül Ázsiában – itt is elsősorban Japánban – és Észak-Amerikában folytak kutatások a HRV-vel kapcsolatban, túlnyomó részt lóban.

4. ábra A haszonállat-fajokban végzett HR- és HRV-vizsgálatok száma földrészek szerint*



*az 1967 és 2010 között megjelent 123 tanulmány alapján

Figure 4. The number of the HR and HRV studies in livestock on various continents – based on 123 publications between 1967 and 2010
number of measurements (vertical axis); animal species (horizontal axis); cattle (1); sheep, goats (2); horses (3); swine (4); poultry and small animals (5); North-America (6); Europe (7); Asia (8); Australia and Oceania (9)

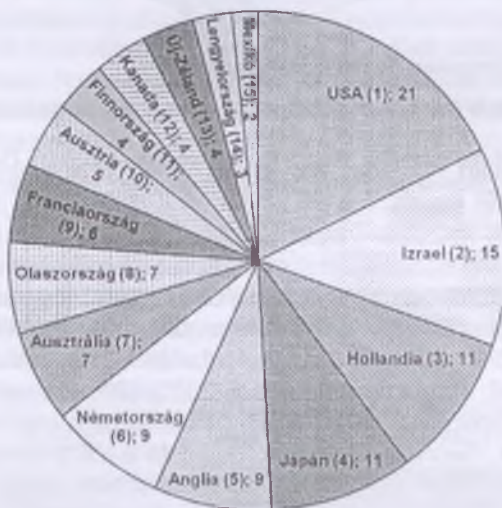
A haszonállatok mellett vadfajokban is szép számmal találhatunk HR-mérésekről beszámoló cikkeket. Ezek a publikációk nagyrészt a skandináv országokból származnak és a figyelem középpontjában a rénszarvas (*Nilsson és mtsai*, 1984; *Eloranta és mtsai*, 2002; *Nilsson és mtsai*, 2006) és a kék róka (*Mononen és mtsai*, 1992; *Harri és mtsai*, 1994; *Kohonen és mtsai*, 1994) állnak. A kutatásokban az alapvető mozgás- és viselkedésformák közben fellépő, HR-ben mérhető változások értékelésén kívül az egyedek területhasználatát, valamint a téli

kiegészítő takarmányozáshoz történő adaptációját vizsgálták. Meg kell jegyeznünk, hogy e vizsgálatok kivitelezését nagyban megkönnyítette, hogy mindkét faj tenyészthető az igényeiknek megfelelően kialakított farmokon is, mivel e két vadfajnak léteznek ún. félig-domesztikált populációi is.

Noha a haszonállatokban végzett kutatásokhoz hasonlóan vadfajok esetében is Európában végezték a legtöbb HR-mérést, meg kell említenünk, hogy az USA-ban már jóval korábban, az 1970-es évek elejétől folytak kutatások a témában majom (*Weisbard és Graham, 1971*), sirály (*Kanwisher és mtsai, 1978*) és bölény (*Richards és Lawrence, 1984*) fajokban. Ausztráliában és Új-Zélandon főként pingvinekkel foglalkoztak (*Giese és mtsai, 1999; Nakagawa és Waas, 2001*).

A HR-mérések tárgykörében közzétett munkák országok szerinti cikkszámait az 5. ábra szemlélteti. A legtöbb tanulmány (21) az USA-ban készült, Izraelben 15, Hollandiában és Japánban 11–11 tanulmány látott napvilágot. Az USA-ban főleg lóban és szarvasmarhában foglalkoztak a HR vizsgálatával, míg Izrael a kérődzők, ezen belül is főként a kiskérődzők miatt érdekelt a témában.

5. ábra A HR-vizsgálatok száma országok szerint a háziállat és vadfajokban*

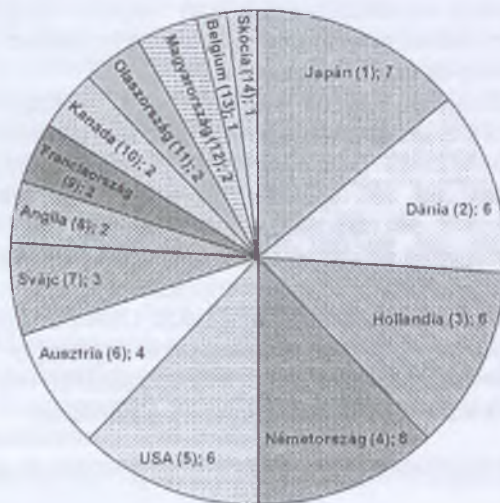


*az 1967 és 2008 között megjelent 122 tanulmány alapján (a diagramon nem szereplő Belgiumban, Csehországban, Norvégiában és Skóciában egyaránt 1–1 publikáció született)

Figure 5. The number of the HR studies in various countries – based on 122 publications between 1967 and 2010 (1 publication in Belgium, The Czech Republic, Norway and Scotland was not included) number of measurements (vertical axis); country (horizontal axis); USA (1); Israel (2); Netherlands (3); Japan (4); England (5); Germany (6); Australia (7); Italy (8); France (9); Austria (10); Finland (11); Canada (12); New-Zealand (13); Poland (14); Mexico (15)

A HRV témakörében született cikkek száma meg sem közelíti a HR témakörében íródottakat. Japánban 7, Dániában, Hollandiában, Németországban, és az USA-ban egyaránt 6–6 tanulmány született (6. ábra). Ennek oka – mint ahogy korábban utaltunk rá –, hogy a HRV vizsgálata az állattenyésztés és a viselkedéstan tudományterületein még rendkívül új módszernek számít.

6. ábra A HRV-vizsgálatok száma országok szerint háziállat és vadfajokban*



*az 1990 és 2010 között megjelent 50 tanulmány alapján

Figure 6. The number of the HRV studies in various countries – based on 50 publications between 1990 and 2010

number of measurements (vertical axis); country (horizontal axis); Japan (1); Denmark (2); Netherlands (3); Germany (4); USA (5); Austria (6); Switzerland (7); England (8); France (9); Canada (10); Italy (11); Hungary (12); Belgium (13); Scotland (14)

Ezekben a kutatásokban az állatok HRV-válaszait leggyakrabban betegségekkel (Mohr és mtsai, 2002; Pomfrett és mtsai, 2004; Piccirillo és mtsai, 2009; Konold és mtsai, 2011) valamint pszichológiai és környezeti stresszorokkal (De Jong és mtsai, 2000; Bachmann és mtsai, 2003; Ohmura és mtsai, 2006; Nagy és mtsai, 2009; Schmidt és mtsai, 2010) összefüggésben vizsgálták. Az eltérő tartási körülmények, illetve tartástechnológiák és a HRV viszonyát is többen értékelték (Marchant és mtsai, 1997; Hagen és mtsai, 2005; Visser és mtsai, 2008).

Több tanulmány számolt be továbbá a munkavégzés (Thayer és mtsai, 1997; Physick-Sheard és mtsai, 2000), az alkalmazkodóképesség (Visser és mtsai, 2002; Rietmann és mtsai, 2004a), az egyedek temperamentumának (Visser és mtsai, 2002; Eager és mtsai, 2004; Neuffer és mtsai, 2004; Gygax és mtsai, 2008), érzelmi (Rietmann és mtsai, 2004b) és kognitív állapotainak (Langbein és mtsai, 2004) HRV-re gyakorolt hatásairól. A szarvasmarhában végzett kutatásokról közleményünk második részében részletes összefoglaló értékelést olvashatnak.

A SZÍVRITMUS-VARIANCIA VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZERTANA

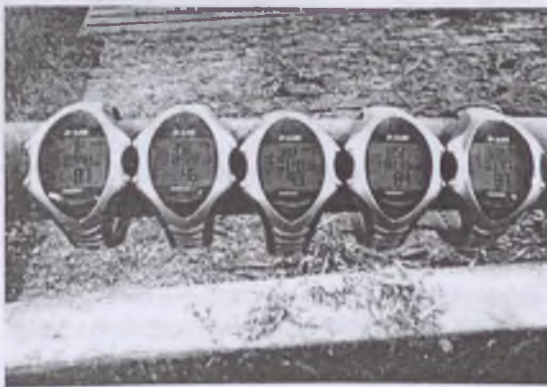
A kutatásokban használt műszertípusok

A HR és a HRV mérésére alapvetően két lehetőség van az állatoknál. A pulzus, illetve EKG-jelek detektálása történhet külső monitorozással és beültetett műszerek segítségével is.

A testre rögzített műszerek az EKG-készülékekhez hasonlóan, a testfelszín két pontja közötti elektromos feszültségkülönbséget mérik, ami a szívizomsejtek elektromos működésének a mérés pillanatában fennálló összességéből adódik (Langer és mtsai, 2010). A HR és HRV analízisekor az IBI-jelek kiszámítása céljából regisztrálni és rögzíteni kell az elektrokardiogramot.

A humán gyakorlatban e célból alkalmazott műszerek drágák és az emberi szív működés tanulmányozására tervezték azokat. Az állatorvoslásban korábban túlnyomórészt Holter típusú telemetrikus EKG-készülékeket használtak (pl. Del Mar Reynolds Medical) melyek pontos és hosszú idejű (általában 24 órás) mérésekre alkalmasak. Hátrányuk, hogy drágák, igen sérülékenyek és speciálisan a humán szív működés vizsgálatára fejlesztették ki őket. A haszonállatfajokban végzett kutatásokban a szerzők hordozható HR-mérő műszereket, elsősorban a finn *Polar Electro Oy* termékeit használják. Ezeket a kereskedelembe kapható Polar műszertípusokat eredetileg sportolóknak, sportorvosoknak, illetve a témában kutatást végzőknek fejlesztették ki (Tóthné Maros és mtsai, 2010). A készülékek nagy előnye, hogy használatuk nem igényel invazív sebészeti beavatkozást, azonban nem a teljes EKG-t, csak annak R-hullámaint rögzítik, és azt IBI-adatként tárolják. A Polar cég modelljei közül a Sport Tester, a Horse Trainer, az S810i, illetve a korábban kifejlesztett, kevesebb adat tárolására képes Vantage NV típusokat alkalmazzák a leggyakrabban a kutatók HR és HRV mérésére a különböző fajokban. Ezeket a műszereket főleg állatorvosi – ezen belül is elsősorban szaporodásbiológiai –, az alkalmazott állattenyésztés tudományterületén pedig etológiai és viselkedésélettani kutatásokban használják (Rietmann és mtsai, 2004a; Marchant-Forde és mtsai, 2004b; Hagen és mtsai, 2005). Az újabb modellek (Polar R-R Recorder és Polar Equine) már 24 órás ambuláns mérést is végre tudnak hajtani (1. kép), és emellett 20 másodperces EKG-szakaszok tárolására is alkalmasak. A Polar Equine készülék (2. kép) GPS-szel is felszerelt, amely különösen fontos legelő állatok vizsgálatakor (Brosh és mtsai, 2003; Brosh és mtsai, 2006), amikor a területhasználatot, a viselkedést és a szív működést párhuzamosan kívánjuk vizsgálni.

1. kép 24 órás adatfelvételre alkalmas HR-vevő-készülékek kötetlen tartású szarvasmarha-istállóban



Photograph 1. 24 hour data recording instrument in a free stall cattle barn
(Fotó: Kovács Levente)

2. kép Polar Equine mérőberendezés tartozékaival



Photograph 2. Polar Equine equipment and accessories

(Fotó: Szentléleki Andrea)

3. kép Polar HR jeladó rugalmas szíjjal és Polar HR-vevőkészülékkel (Hagen és mtsai, 2005)



Photograph 3. Polar HR transmitter with elastic belt and Polar HR monitor (Hagen et al., 2005)

A testre erősíthető eszközök egy hámból állnak, amely két elektródát tartalmaz. Az állatok méretétől függően kétféle hám használata terjedt el. A kisebb testméretű állatoknál (kecske, juh, sertés, borjú) egy rugalmas szíjat rögzítenek az állat mellkasára (3. kép). A nagytestű fajokban (ló, szarvasmarha, sertés) végzett vizsgálatok során a HR-mérő műszereket a kutatók legtöbbször erős bőrből vagy más rugalmatlan anyagból készült hevederekkel rögzítik (4–5. kép).

4–5. kép Erős bőrből készült hevederbe helyezett Polar HR-mérő készülék



Photographs 4 and 5. Polar HR measurement in a strong leather girth

A HR monitorozására a kistestű állatfajokban végzett kutatásokban legtöbbször beültetett implantátumokat alkalmaznak. Ezek a mérőműszerek az eddig bemutatott testre rögzíthető műszer típusok egyetlen hibáját kiküszöbölik, ugyanis a vizsgálatok során sem a műszer hordozó egyed, sem maga a műszer nincs kitéve a többi állat figyelmének (Brosh, 2007; von Borell és mtsai, 2007). A laboratóriumi rágcsálók (patkány: Lemaire és Mormede, 1995; nyúl: van den Buuse és Malpas, 1997) és a szabadon mozgó madarak (nagy lilik: Ackerman és mtsai, 2004; nyári lúd: Wascher és mtsai, 2008; házi tyúk: Savory és Kostal, 1997; Korte és mtsai,

1999) vizsgálatához a beültetett készülékek alkalmazása a legelterjedtebb. Egy publikáció az implantátumok különböző halfajokban való alkalmazásáról is beszámol (aranykárász, ezüstkárász és ponty: *Snelderwaard és mtsai*, 2006).

Az implantátumok hátránya a testre erősíthető műszerekkel szemben, hogy az elektródák és jeladó készülék szakszerű behelyezése altatást igényel és általában több nap szükséges a kísérleti egyedek teljes felépüléséhez (*Tóthné Maros*, 2009). Amennyiben az elektródák elmozdulnak a helyükről, azok korrigálása további problémákat vethet fel. Fiatal, növekedésben lévő állatoknál szintén gondot okozhat az elektródák, illetve a jeladók helyének vagy helyzetének megváltozása (*Lefcourt és mtsai*, 1999).

Wascher és mtsai (2008) nyári ludak egységes testüregébe helyezték be a műszert. Az elektródákat a madarak bordájához rögzítették. Az állatok a műtéti beavatkozás után 20 óra elteltével csatlakoztak a szabadon mozgó csapathoz, és 2–7 nap után már teljesen felépültek a beavatkozásból. A vizsgálat folyamán a műszer elemének élettartama 18 hónap volt, azaz ennyi időn át tudták folyamatosan nyomon követni az egyedek HR-jét. E mérőeszközök előnyeként említhető tehát a testre rögzíthető műszerekkel szemben, hogy rendkívül hosszú adatgyűjtésre képesek.

Az eddig ismertetett készülékek mindegyikére jellemző, hogy vagy minden IBI-értéket rögzítenek, vagy – beállítástól függően – adott időintervallumra eső (5–15–60 másodperces) HR átlagokat tárolnak el. A kutatók rövidebb vizsgálatok esetében általában 5 (*Hopster és Blokhuis*, 1994; *Marchant és mtsai*, 1997; *Brosh és mtsai*, 1998a,b; *Janžekovič és mtsai*, 2006), illetve 15 másodperces (*Després és mtsai*, 2002; *Clapham és mtsai*, 2007), a hosszabb távú méréseknél inkább 60 másodperces (*Nilsson és mtsai*, 2006) átlagokat használnak a kiértékelésnél.

A jeladók a detektált IBI-jeleket kódolt formában is képesek továbbítani, hogy a több állaton rögzített, egymással egyidejű mérési adatok ne keveredjenek egymással (*von Borell és mtsai*, 2007). A mért IBI-jeleket egy adatgyűjtő műszer tárolja. Az adatok áttölthetők számítógépre és kompatibilis szoftver segítségével elemezhetők. Az elemzésre alkalmas szoftverekből több változat is létezik (Polar HR Analysis Software, Polar Precision Performance Software, A.D. Instruments Chart Software, QuickTime Capture Module for Chart Software). A kiértékeléskor a rögzített adatsorokból csak azokat a szakaszokat használják fel, melyek nem tartalmaznak rendellenes jeleket (*Tóthné Maros*, 2009). A legtöbb szerző 5–10 perc (*Mohr és mtsai*, 2002; *Hagen és mtsai*, 2005; *Gygax és mtsai*, 2008; *Stewart és mtsai*, 2008), mások (*Seo és mtsai*, 1998) ennél rövidebb időtartamú adatsorokat tartanak megfelelőnek a HRV szakszerű kiértékeléséhez. Ezen intervallumokon belül a hibás jelszakaszok mennyiségét a kutatók 5–6%-ban maximalizálják.

A vizsgálatok kivitelezése szarvasmarhában

Szarvasmarhák vizsgálatakor általában két különálló elektródát és egy specifikus jeladót alkalmazunk. Az elektródák optimális elhelyezését igen nehéz megtalálni. A leggyakrabban az egyik elektródát a mellkas bal oldalán, a szegycsont tájékán, a másikat a jobb lapocka fölött helyezik el.

Az állatok testfelületéről egyes kutatók (*Després és mtsai*, 2002; *Mohr és mtsai*, 2002) az elektródához való érintkezés helyén leborotválták a szőrt, míg má-

sok ezt nem tartották szükségesnek (Hagen és mtsai, 2005; Janžekovič és mtsai, 2006; Schmied és mtsai, 2008). A testfelületet minden esetben megtisztították, és az optimális elektróda-bőr érintkezés érdekében elektródagélt alkalmaztak az elektródák felhelyezése előtt. Janžekovič és mtsai (2006) a jobb vezetőképesség érdekében az elektródák felhelyezése előtt az állatok testét 38 °C-os sós vízzel nedvesítették be, de elektródagélt nem használtak. Megítélésük szerint így is megfelelő volt a jelsorozat folytonossága. Tapasztalataink szerint hosszabb távú (2 óránál hosszabb) mérésekhez elengedhetetlen a bőséges mennyiségű elektródagél alkalmazása. Ez nem csak a megfelelő vezetőképesség, hanem az elektródák testfelszínhez való tapadása miatt is elengedhetetlen.

Nagy kihívást jelent a kutatók számára a műszerek rögzítése az állatokon. A nem megfelelő bőr-elektroda kapcsolat ugyanis a bőr nedvességén és az elektródagél mennyiségén kívül a heveder típusától és a rögzítés erősségétől is függ. Janžekovič és mtsai (2006) 180 kg alatti élő súlyú szarvasmarhák esetében a készületek rögzítésére megfelelőnek találták a rugalmas gumihevedert. Megállapításuk szerint folyamatos volt a jeladás a műszer, ezen belül az elektródák megigazítása nélkül is. Borjakkal végzett vizsgálatoknál (Seo és mtsai, 1998; Després és mtsai, 2002; Mohr és mtsai, 2002; Clapham és mtsai, 2007; Stewart és mtsai, 2008) ez a rögzítési mód elégséges lehet, ugyanakkor kifejlett állatoknál a jeladót és az elektródahámot erős, szorosra állított, rugalmatlan hevederrel ajánlott rögzíteni. Ez a megoldás – főleg kötetlen istállóban végzett vizsgálatoknál – a készülékek az állat mozgásából (felkelés, lefekvés, vakaródzás, séta, futás) adódó gyakori elmozdulását megakadályozza. Erre azért van szükség, mert a szabadon mozgó állatokon végzett – akár 24 órás – vizsgálatok során nincs lehetőség a műszerek állapotának rendszeres ellenőrzésére, helyzetük és rögzítésük korrigálására, ami egyébként is a mérési eredményeket befolyásoló beavatkozás lenne. A legtöbb szerző vastag bőrből vagy elasztikus szövethélesekkel készült csatos hevedereket vagy megfelelően erős szíjakat alkalmaz, melyekkel az állat mellkasan rögzítik az elektródahámot és a jeladót. A HR-mérő órákat kívülről erősítik ezekhez (6–8. kép).

6–7. kép A műszer és a HR-vevőkészülék rögzítése az állatokon



Photographs 6 and 7. The fixed equipment and the HR-monitor on the animals
(Fotó: Kovács Levente)

8. kép HRV mérése kérődző holstein-fríz marhán



Photograph 8. HRV measuring on ruminating Holstein-Friesian cattle
(Fotó: Kovács Levente)

A szarvasmarhában végzett tanulmányok az alapkutatásokat leszámítva első-sorban a HRV-nek az egyedek viselkedésével, illetve a környezetből származó stressztényezőkkel való összefüggéseit vizsgálták. Ezen vizsgálatok módszertanát az 1. táblázat foglalja össze.

Az eredményeket torzító hatások kiküszöbölésére egyes szerzők (*Minero és mtsai*, 2001; *Mohr és mtsai*, 2002) azt javasolják, hogy a mérési eredményeket esetlegesen befolyásoló stresszt elkerülendő a vizsgálatokra való előkészületeket az állatokkal mindig ugyanaz a személy végezze. Fontos továbbá, hogy a vizsgálatok a mérések helyszínéül szolgáló telepeken a napi rutinhoz alkalmazkodjanak (*Hagen és mtsai*, 2005), valamint, hogy a tesztek időtartama alatt ne álljanak fenn a mérések kimenetelét extrém módon zavaró tényezők (*Brosh*, 2007).

A vizsgálati állatok műszerekhez való szoktatásának fontosságára több szerző is felhívja a figyelmet. Borjakban végzett vizsgálatuknál *Clapham és mtsai* (2007) egy héttel a mérések kezdete előtt rögzítették a műszereket az állatokon. *Janžekovič és mtsai* (2006) holstein-fríz és szimentáli fajtákban végzett kutatásában 5 napos adaptációs időt határoztak meg. A műszerek tesztelésekor megállapították, hogy a készülékek az adatfelvétel során nem voltak hatással az állatok viselkedésére, valamint a tesztek alatt sem a leadott tejmenyiség, sem a súlygyarapodás nem csökkent szignifikáns mértékben ($p < 0,01$) a kontroll időszakhoz képest. Más kutatók ennél rövidebb, 24 (*Brosh*, 2007), illetve 12 órás (*Gygax és mtsai*, 2008) adaptációs idővel végezték kísérleteiket. Sokan elégségesnek tartották a készüléket a mérések megkezdése előtti egy órán belül rögzíteni (*Seo és mtsai*, 1998; *Després és mtsai*, 2002; *Mohr és mtsai*, 2002; *Wenzel és mtsai*, 2003; *Waiblinger és mtsai*, 2004; *Stewart és mtsai*, 2008).

A testre erősíthető készülékek mellett néhány vizsgálatban beültethető mérő-műszereket is használtak szarvasmarhában eddig egy izraeli (*Brosh és mtsai*, 1998a,b) és egy amerikai (*Arave és mtsai*, 1991) kutatócsoport tanulmányaiban olvashattunk implantátumok alkalmazásáról. Az izraeli szerzők különböző körülmények között (magas, illetve alacsony külső hőmérséklet, etetett takarmány mennyisége, etetés időpontja) termelő hereford üszők hő- és energiaháztartásá-

A szarvasmarhában végzett HR- és HRV-vizsgálatok módszertanának összefoglalása

Szerző(k) (1)	Vizsgálat tárgya (2)	Műszer típusa (3)	A műszerek rögzítése (4)	Mérés ideje (5)	Értékelt paraméterek (6)
Aharoni és mtsai (2003)	Oxigén-felhasználás és HR kapcsolata (7)	DL, Dansoft HR-jeledő (23)	Rugalmas szíj (34)	10 min	IBI HR átlag (44)
Brosh és mtsai (2006)	Legelési aktivitás becslése HR-rel (8)	Polar T51H Polar S610 (24)	Rugalmas szíj (34)	24 h	HR átlag
Brosh és mtsai (1998a)	Hőtermelés és HR kapcsolata (9)	Implantált jeledő (Mini-Mitter) (25)	Bőr alatt (35)	5 h	HR átlag
Clapham és mtsai (2007)	Választási stressz mérése HRV-vel (10)	Polar T51H (24) Polar S710i (26)	Rugalmas szíj (34)	4 h	RMSSD
Després és mtsai (2002)	HRV mérése szimpatikus/paraszimpatikus egyensúly becslésére (11)	Hordozható EKG-készülék (27)	elektródák: szegycsontra, ill. jobb lapocka fölé (36)	40 min	Total Power HR átlag SDRR, RMSSD LF, HF, LF/HF%
Gygax és mtsai (2008)	Nyugtalan viselkedés és HRV kapcsolata (12)	oszillátor, rádió-vevőkészülék (28)	Rendelésre készült heveder (37)	10 h	IBI, HR átlag RMSSD
Hagen és mtsai (2005)	HRV mérése fekvés, állás és tejléadás közben (13)	Polar Horse Trainer Polar S810i (29)	Extra rugalmas lóheveder (38)	4 h	IBI, HR átlag RMSSD, SDNN HF, LF, LF/HF%
Hopster és Blokhuis (1994)	Stressz-válaszok mérése HR-rel (14)	Polar Sport Tester (30)	Egyedi heveder (39)	1 h	HR átlag
Janžekovič és mtsai (2006)	A HR vizsgálatok módszertana szarvasmarhában (15)	Polar Sport Tester (30)	1 elektroda mar mögött, a másik szívátjékra (40)	–	HR átlag
Mohr és mtsai (2002)	Stressz-érzékenység vizsgálata HRV-vel (16)	Polar Vantage NV (borjak) Par Port/M (tehenekek) (31)	Rugalmas szíj (34)	1 h	IBI, HR átlag RMSSD SDNN, SDANN LF, HF, LF/HF%
Minero és mtsai (2001)	HRV elemzése időtartományban (17)	Polar Vantage NV (32)	Heveder a lapocka mögött (41)	15 min	IBI, RMSSD, SDNN
Schmied és mtsai (2008)	Simogatás hatása a HR-re (18)	Polar Horse Trainer Polar S810i (29)	Rugalmas szíj (34)	20 min	HR átlag
Seo és mtsai (1998)	Nyelvöltögetés és HR kapcsolata (19)	Polar Vantage XL (33)	Bőrheveder (42)	7 h	HR átlag
Stewart és mtsai (2008)	Szemhőmérséklet és HRV kapcsolata (20)	Polar S810i (29)	Erős heveder (mellső lábak mögött) (41)	40 min	IBI, HR átlag RMSSD HF, LF, LF/HF%
Waiblinger és mtsai (2004)	Szaporodásbiológiai beavatkozás alatti HR és viselkedés (21)	Polar Sport Tester (30)	Rugalmas szíj (34)	9 min	HR átlag
Wenzel és mtsai (2003)	Temperamentum és HR a fejés alatt (22)	Polar Horse Trainer (29)	Rugalmas heveder (43)	2 h 20 min	HR átlag

Table 1 Summary of the methodology of the most important HR and HRV studies in cattle

min: minute, h: hour, author(s) (1); subject of the research (2); type of the equipment (3); the fixing method of the instrument (4); the duration of the measurement (5); the analyzed parameters (6); comparison of oxygen consumption and HR (7); estimation of grazing activity using HR (8); comparison of thermoregulatory an HR (9); HRV as a stress indicator at weaning (10); evaluation of the sympatho-vagal balance with HRV (11); restlessness behavior and HRV (12); HRV at lying, standing and milking (13); measuring stress-responses with HR (14); methodology of HR-measurement (15); stress measurement using HRV (16); time domain analysis of HRV (17); effects of stroking different body regions by a human on HR (18); tongue-playing and HR (19); eye-temperature and HRV (20); behavior and HR during a veterinary procedure (21); temperament and HR during milking (22); DL Dansoft HR transmitter (23); Polar T51H (HR transmitter) Polar S610 (HR monitor) (24); implanted transmitter (Mini-Mitter) (25); Polar S710i (HR monitor) (26); Portable EKG-measurement (27); oscillator, radio receiver (28); Polar Horse Trainer (HR transmitter), Polar S810i (HR monitor) (29); Polar Sport Tester (30); Polar Vantage NV (calves), Par Port/M (cows) (31); Polar Vantage NV (32); Polar Vantage XL (33); elastic belt (34); implanted under the skin (35); electrodes: on the sternum and on the right scapula (36); custom-made girth (37); extra elastic horse girth (38); discrete girth (39); electrodes: behind the withers and in the pericardium area (40); girth behind the scapula (41); girth of leather (42); elastic girth (43); mean HR (44); the further parameters of the 6th column are given in Table 2. and in Table 4.

ban bekövetkezett változásokat vizsgálták a HR-rel párhuzamosan, míg az amerikai kutatók a stressz szintjeit próbálták megállapítani a módszer segítségével.

Az adatelemzés eljárásai

A HRV-adatsorok kiértékelésére számos módszert fejlesztettek ki (Tarvainen és mtsai, 2002), melyek közül a szarvasmarhában végzett vizsgálatok legáltalánosabban alkalmazott eljárásai a variancia idő-, illetve frekvenciatartományban végzett elemzése. Ezek az értékelő módszerek a HRV lineáris dinamikájának vizsgálatát teszik lehetővé és HRV-ről kvalitatív információkkal szolgálnak. A szintén gyakran alkalmazott Pioncaré-grafikon segítségével a variancia meglehetősen pontos geometriai értékelése is elvégezhető (Minero és mtsai, 2001). Egyes szerzők (Mohr és mtsai, 2002; Hagen és mtsai, 2005) kutatásaikban nem lineáris elemző módszereket is használtak, bár ezek megbízhatósága még vitatott (Giuliani és mtsai, 1998), és alkalmazásukról még a humán kutatási területeken is csak kevés publikáció számolt be.

Időtartományban végzett elemzés

A legtöbb, a szív működés kutatásával foglalkozó szerző, a variancia időtartományban számolt paramétereit tartja a HRV legegyszerűbb számszerűsítési módjának (Malik és mtsai, 1996). Ezek a jelzőszámok az IBI-adatsorok különbözőféleképpen számított statisztikai varianciáját fejezik ki, ezért ezt a módszert gyakran a HRV 'statisztikai értékelésének' is szokták nevezni (2. táblázat).

2. táblázat

Az időtartományban végzett elemzések során használt statisztikai paraméterek

IBI (ms)	Az EKG görbe két szomszédos R csúcsa közti távolság (1)
mRR (ms)	Az IBI-jelek hosszának egy adott jelszakaszra számított átlaga (2)
SDNN (ms)	Az IBI-jelek teljes jelszakaszra számított szórása (3)
SDANN (ms)	Az 5 perc alatt detektált IBI-jelek átlagértékeinek szórása (4)
SDNN _{index}	A teljes jelszakasz 5 perces intervallumai alatt detektált IBI-jelek szórásainak átlagértéke (5)
mHR (1/min)	A HR-értékek egy adott jelszakaszra számított átlaga (6)
STD (1/min)	A HR értékek szórása (7)
RMSSD (ms)	A szomszédos IBI-jelek különbségének négyzetgyöke (8)
NN50 count	Az 50 ms-nál nagyobb mértékben eltérő IBI párok száma (9)
pNN50 (%)	Az 50 ms-nál nagyobb mértékben eltérő IBI párok aránya (10)

Table 2. Statistical parameters of the time-domain analysis

inter-beat interval (1); mean of all IBIs of a particular data set (2); standard deviation of all IBIs of the entire data set (3); standard deviation of the mean of IBIs in all 5-min segments of the entire data set (4); mean of the standard deviations of all IBIs for all 5-min segments of the entire data set (5); mean of the HR data of a particular data set (6); standard deviation of the HR data (7); the square root of the mean of the sum of the squares of differences between successive IBIs (8); Number of pairs of successive IBIs differing by more than 50 ms (9); NN50 count divided by the total number of all IBIs (10)

Ezen indexek közül minden vizsgálatban találkozhatunk az átlagos IBI- és az átlagos HR-értékekkel, melyeket könnyen számíthatunk, azonban ezek a legkevésbé informatív paraméterek (von Borell és mtsai, 2007) a stressz megállapítása szempontjából. Az egymást követő IBI-jelek szórásának (SDNN) megállapítása Kanter és mtsai (1996) szerint szintén rendkívül egyszerű módja a HRV számszerűsítésének, mely szoros korrelációt mutat az SDANN paraméterrel (Malik és mtsai, 1996; von Borell és mtsai, 2007). Ezek a jelzőszámok a szív működés hosszú távú variációját tükrözik és értéküket a szimpatikus és a paraszimpatikus hatások együttesen határozzák meg. Az időtartományban számított leginformatívabb paraméter a legtöbb kutató szerint az RMSSD. Kleiger és mtsai 1992-ben publikált tanulmányukban igazolták, hogy ez az index szoros összefüggésben van a vágusz-tónussal, melyet összefoglaló tanulmányukban alátámasztanak von Borell és mtsai (2007) is. Megállapításuk szerint az RMSSD a nagyfrekvenciás tartományon belüli IBI-jelek varianciájának becslésére legalkalmasabb paraméter, mely a vágusz szabályozó aktivitását reprezentálja. A HRV-vizsgálatokban gyakran alkalmazott egyéb paraméterek (NN50 count, illetve pNN50) szoros összefüggésben állnak az RMSSD jelzőszámmal és jól mutatják a vágusz aktivitását (Malik és mtsai, 1996). Megállapítható tehát, hogy az időtartományban végzett elemzés során alkalmazott paraméterek a HRV-t befolyásoló szimpatikus és paraszimpatikus rendszer együttes-, illetve a paraszimpatikus aktivitás relatív hatását egyaránt tükrözik.

Hopster és Blokhuis (1994) a Polar Sport Tester és egy ambuláns EKG-műszer mérési eredményeit összehasonlítva szarvasmarhában pihenés alatt ($r=0,88$) és mozgás közben ($r=0,72$) is erős korrelációt és tehenenként eltérő értékeket mutatnak ki. Egy humán kutatás továbbá azt a módszertanilag fontos eredményt hozta, hogy az időtartományban végzett elemzéseknél számolt paraméterek szoros ($r=0,85$) összefüggésben állnak a spektrális analízis HRV-indexeivel (Stein és mtsai, 1994), ezért jól kiegészítik egymást az adatelemzés során (Voss és mtsai, 2002).

Frekvenciatartományban végzett elemzés

A HRV frekvenciatartományban történő vizsgálata (ún. spektrális analízise) során az adatok számítógépbe történő beolvasása után a szoftver az IBI-jelekből egy ún. kardiotachogramot készít, mely az egymást követő IBI-jeleket az idő függvényében ábrázolja (7. ábra). Látható, ha szaporább a pulzus, rövidebbek az IBI-jelek, alacsonyabban helyezkedik el a függvény, ha lassúbb a pulzus, hosszabbak az IBI-jelek, magasabban helyezkedik el a görbe.

A spektrális analízis során az IBI-jelek periodikus változásait frekvenciatartományban vizsgáljuk. Ehhez az adatsorok lineáris interpolációjára van szükség, majd ezeket az újrászámolt adatsorokat gyors Fourier transzformációval (Fast Fourier Transformation, FFT) bontják különböző spektrális komponensekre. Az FFT eljárás algoritmusát Cooley és Tukey (1965) dolgozták ki. A módszer forradalmasította a digitális jelfeldolgozást, mivel az addigi eljárás rendkívül számításigényes volt, és így sok időt is vett igénybe (Schechtman és mtsai, 1988).

Az eljárás alapja, hogy minden jel leírható olyan harmonikus hullámokkal, melyek összegzésével egy teljes görbét kapunk. Az FFT segítségével a szívciklust alapvető összetevőikre bontjuk. Az FFT-n alapuló spektrális analízis biztosítja ezeknek az adatoknak a hatékony kezelését. Az FFT az idő függvényében adott

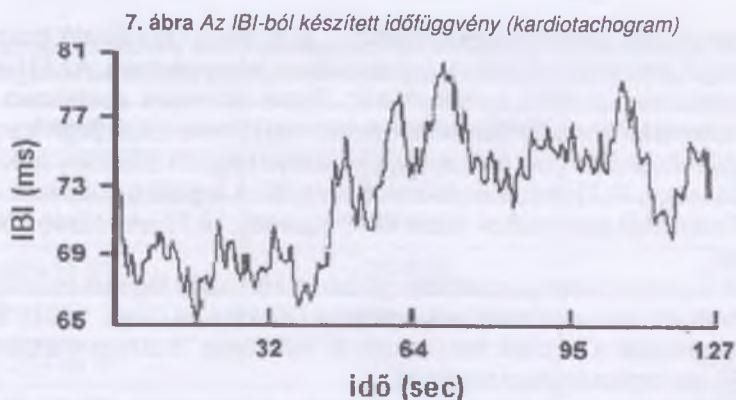


Figure 7. The IBI cardiogram

IBI (ms): inter-beat interval (ms) (vertical axis); idő (sec): time (sec) (horizontal axis); ms: millicundum (milisecond)

jelet harmonikus összetevőire bontja és a frekvencia függvényében képezi le. A vízszintes tengelyen a frekvencia (Hz), a függőleges tengelyen a spektrális teljesítmény (power spectral density, PSD, ms^2) van feltüntetve (8. ábra).

A HRV frekvenciatartományban végzett elemzésének gyakorlatban való felhasználásához elengedhetetlen a HRV és a vegetatív idegrendszeri működés kapcsolatának ismerete, ezért a továbbiakban ezt mutatjuk be, rávilágítva a spektrális analízis élettani és biológiai hátterére.

8. ábra A légzésből számított teljesítmény-sűrűség spektrum (Niskanen és mtsai, 2004)

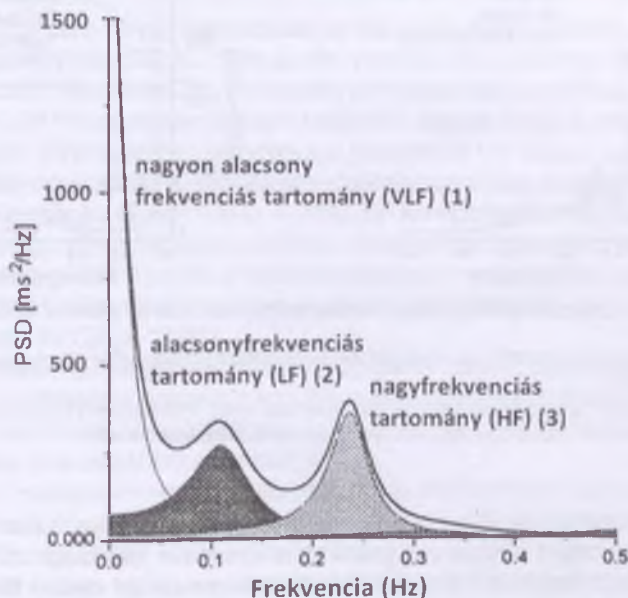


Figure 8. The power spectral density calculated from respiration rate (Niskanen et al, 2004)

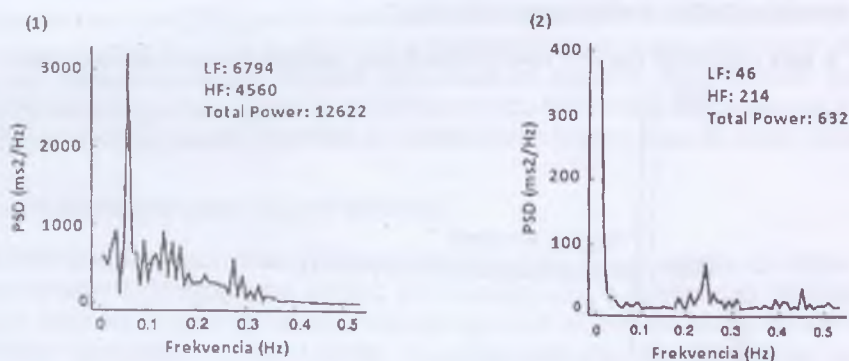
PSD (ms^2/Hz): Power Spectral Density (ms^2/Hz) (vertical axis); Frequency (Hz) (horizontal axis); very low frequency component (VLF) (1); low frequency component (LF) (2); high frequency component (HF) (3)

A bemutatott időfüggvény periodicitásai – a 8. ábrán is látható módon – a spektrumban jól elkülöníthető csúcsok formájában jelennek meg. Az IBI-jelek rövid távú ingadozásai a HRV spektrum két, illetve bizonyos esetekben három spektrális csúcsában koncentrálódnak. Ezeket nagyfrekvenciás (high frequency, HF), alacsonyfrekvenciás (low frequency, LF), illetve nagyon alacsony frekvenciás (very low frequency, VLF) tartományoknak nevezzük. A legújabb kutatások az ultra alacsony frekvenciájú spektrumok (ultra low frequency, ULF) jelentőségéről is említést tesznek.

Az IBI-jelek sorozatában a spektrális görbén a HF- vagy légzési csúcsot a légzéssel szinkron lezajló oszcilláció eredményezi (Kardos és Gingl, 1994). E csúcs centrális frekvenciája a légzési frekvenciának felel meg. Szarvasmarhánál ez a 0,20–0,58 Hz-es tartományban található.

A HF-csúcs a jól ismert légzési szinuszaritmia jelenséget tükrözi (Malik és mtsai, 1996), mely egy gyorsan ismétlődő, rövid ciklusidejű folyamat (Kardos és Gingl, 1994). Belégzéssel egyre gyorsul a HR, vagyis csökkennek az IBI-jelek, ki-légzésnél lassul a HR, vagyis nőnek az IBI-jelek. A légzés szaporaságának változásával ez a szinuszaritmiának megfelelő spektrális csúcs is változtatja a helyét. Kisebb légzésszámnál balra, nagyobb légzésszámnál jobbra tolódik a csúcs.

Akselrod és mtsai (1985) megállapították, hogy paraszimpatikus blokádnál (atropin) megszűnteti ezt a csúcsot (9. ábra), míg alfa- vagy beta-blokkolók csakúgy, mint a renin-angiotenzin blokádnál nem befolyásolják a HF komponenst.



9. ábra A HRV spektrális görbéje atropin adása előtt (1) és után (2) (Kardos és Gingl, 1994)

Figure 9. The power spectral waveform of the HRV before (1) and after (2) atropine dosage (Kardos and Gingl, 1994)

PSD (ms^2/Hz): Power Spectral Density (ms^2/Hz) (vertical axis); Frequency (Hz) (horizontal axis); LF: low frequency; HF: high frequency; total power: Teljes spektrális teljesítmény

Ezt a komponenst tehát egyedül a vágusz ideg mediálja, azaz kijelenthető, hogy a HF komponens, illetve a légzési szinuszaritmia jelensége megbízható indikátora a paraszimpatikus idegi aktivitásnak (Akselrod és mtsai, 1981; Montano és mtsai, 1994; Akselrod, 1995; Slangen és mtsai, 1997; Friedman és Thayer, 1998). Ezért is szükséges figyelembe venni a percenkénti légzésszámot, amikor a HF komponens helyét meghatározzuk a HRV elemzésekor (3. táblázat).

3. táblázat

A spektrális analízis során alkalmazott frekvenciasávok és a megfelelő percenkénti légzésszám értékek a különböző haszonállat fajokban (von Borell és mtsai, 2007)

Állatfaj (1)	Frekvenciatartomány (Hz) (2)	Légzésszám (min ⁻¹) (3)
Ló (4)	0,13–0,26	8–16
Csikó (5)	0,25–0,33	15–20
Szarvasmarha (6)	0,20–0,58	12–35
Borjú (7)	0,50–0,58	30–50
Sertés (100 kg) (8)	0,13–0,41	8–25
Malac (9)	0,33–0,83	20–50
Juh, kecske (10)	0,20–0,40	12–24
Bárány (11)	0,33–0,58	20–35
Nyúl (12)	0,67–1,00	40–60
Házi tyúk (13)	0,33–0,67	20–40

Table 3. Use species appropriate frequency bands in the power spectrum of HRV widths such as the respiratory rates in farm animal species (von Borell et al, 2007)

animal species (1); frequency band (Hz) (2); respiration rate (1/min) (3); adult horses (4); foal (5); cattle (6); calf (7); swine (100 kg) (8); pig (9); sheep, goats (10); lamb (11); rabbit (12); chicken (13)

Az LF- vagy más néven baro-csúcs az IBI-sorozatban a spektrumban létrejövő másik jellegzetes oszcilláció, mely a vérnyomás változásaihoz köthető. Ez a légzési szinuszaritmianál lassúbb, hosszabb periódusidejű oszcilláció szarvasmarhánál a 0,05–0,20 Hz-es tartományban található. Egyes kutatók megállapítása szerint ez a csúcs a vérnyomás periodikusan jelentkező ún. Mayer hullámainak tükröződése az IBI-sorozatban a vérnyomás szabályozásában szerepet játszó baroreflex révén (Kardos és Gingl, 1994). A HRV LF komponensét egyes kutatók a perifériás vazomotor tónus, főként termoregulátoros fluktuációival magyarázzák, valamint összefüggésbe hozzák a renin-angiotenzin rendszerrel, ugyanis e periodikusan ismétlődő változások hatásai az alacsonyfrekvenciájú sávban jutnak kifejezésre (Kardos és Gingl, 1994).

Az LF-csúcs eltüntetéséhez mind szimpatikus beta-blokád, mind paraszimpatikus blokád szükséges, vagyis, ellentétben a HF-csúccsal, mely kizárólag vágusz mediált, a baro-csúcs létrejöttében mind szimpatikus, mind paraszimpatikus aktivitás szerepet játszik (Malik és mtsai, 1996).

A HRV LF komponensét a témában kutatók elsősorban a szimpatikus aktivitás tónusának indikátoraként használják (Pagani és mtsai, 1986; Malliani, 1995; Houle és Billman 1999), mely növekedése a szimpatikus aktivitás erősödésére utal (Malik és mtsai, 1996). Egyes szerzők (Houle és Billman 1999; Després és mtsai, 2002; Mohr és mtsai, 2002) azonban rávilágítanak arra is, hogy mivel e komponens paraszimpatikus befolyás alatt is áll, nem mutatja pontosan a szimpatikus aktivitásban bekövetkező változásokat. Ezzel a megállapítással össz-

hangban vannak Kuwahara és mtsai (1996) korábbi eredményei is. A szerzők lovak vegetatív idegrendszeri működését vizsgálva arra a megállapításra jutottak, hogy a spektrális analízisben az alacsony frekvenciatartományok főként a szimpatikus és kis részben a paraszimpatikus hatásokat tükrözik.

Mivel a HF és az LF spektrális komponensek közül előbbi kizárólag a vágusz, utóbbi a vágusz és szimpatikus ideg közvetítésével jön létre (Malik és mtsai, 1996), e komponensek arányából a szimpatikus-paraszimpatikus kimenetek egymáshoz viszonyított aktivitására lehet következtetni. Ezzel összhangban von Borell és mtsai (2007) megállapítása szerint a spektrum két frekvenciasávjának hányadosa (LF/HF arány) a szimpatikus aktivitás, valamint a szimpatikus/paraszimpatikus egyensúly indexeként egyaránt alkalmazható. Ez a paraméter a legtöbb szerző szerint a fizikai és a pszichológiai stressz által bekövetkező szimpatikus aktivitás növekedésének megbízható jelzőszáma, ugyanis az LF/HF arány növekedése a szimpatikus szabályozás dominanciájára utal (Yamamoto és mtsai, 1991; Marchant-Forde és mtsai, 2004a; Stewart és mtsai, 2008). Az LF/HF arány számításakor szem előtt kell tartanunk ugyanakkor, hogy az eredményt a szervezetben zajló egyéb fiziológiai funkciók, mint pl. a termoreguláció vagy az izompotenciálból adódó aktivitás is befolyásolhatják.

Bár a nagyon alacsony frekvenciás tartomány (VLF) élettani értelmezése ma még vitatott, annyi bizonyos, hogy a 0,40 Hz alatti frekvencián zajló változásokkal (Tóthné Maros, 2009), valamint – az LF komponenshez hasonlóan – a szimpatikus, illetve a paraszimpatikus és a szimpatikus alrendszer együttes aktivitásával (Kardos és Gingl, 1994) hozható összefüggésbe.

A HRV frekvenciatartományban való elemzésére a legtöbb szerző szerint minimum 5 perces, folyamatos és hibátlan adatsorok szükségesek (Malik és mtsai, 1996; von Borell és mtsai, 2007).

A műszerhez tartozó szoftver kiszámolja a HRV-spektrum meghatározott frekvenciahatárok közötti sávjainak teljesítményét, mely rávilágít a szimpatikus és paraszimpatikus hatások relatív arányaira. Az IBI-jelek frekvenciatartományban való ilyen módú feldolgozása lehetővé teszi a periodicitások és a HR-t szabályozó hatások elkülönítését. Ezáltal válik a HRV az állati szervezetre ható stressztényezők indikátorává. Stresszhelyzetben ugyanis a paraszimpatikus hatás általában

4. táblázat

A frekvenciatartományban számított paraméterek

Total power (ms ²)	Teljes spektrális teljesítmény (1)
HF (ms ²)	A magas frekvenciás komponens spektrális teljesítménye (2)
LF (ms ²)	Az alacsony frekvenciás komponens spektrális teljesítménye (3)
VLF (ms ²)	A nagyon alacsonyfrekvenciás komponens spektrális teljesítménye (4)
LF/HF ratio (%)	Az alacsony- és magas frekvenciás komponensek aránya (5)
HF/total power	A magas frekvenciás komponens relatív aránya (6)

Table 4. The parameters of the frequency-domain analysis

total power (1); the spectral power of the high-frequency component (2); the spectral power of the low-frequency component (3); the spectral power of the very low-frequency component (4); the ratio of the low- and high-frequency component (5); the relative ratio of the high-frequency component (6)

lecsökken, a szimpatikus hatás pedig felerősödik (Porges, 1995). Ennek jelentős szerepe lehet olyan vizsgálatokban, amikor a HRV-t és a viselkedést szinkronizáltan kívánjuk elemezni. A spektrális analízis során kiszámított legfontosabb paramétereket a 4. táblázat foglalja össze:

Geometriai elemző módszerek

A geometriai elemző módszerek eredményességét és pontosságát kevésbé befolyásolja a rögzített adatok minősége, ezért az e módszerekkel számított paraméterek jó alternatívái lehetnek a bizonyos esetekben nehezebben értelmezhető, időtartományban számított statisztikai paramétereknek. Hátrányuk azonban, hogy ezekkel az eljárásokkal rövid időtartamú mérések elemzése nem lehetséges. Geometriai elemző módszerek használatakor Brennan és mtsai (2002) az adat-rögzítés időtartamának legalább 20 percet javasolnak.

Ezek az eljárások az IBI-jeleket különböző geometriai alakzatokként jelenítik meg. A legtöbb szerző a HRV három geometriai leképezését alkalmazza tanulmányaiban: a háromszög-indexet (HRV triangular index, HRV_{index}), ennek módosított paraméterét, az IBI-jelek háromszög-interpolációját (triangular interpolation, TINN) és a Poincaré-grafikont.

A HRV háromszög-index az összes IBI számának az IBI-jelek sűrűség megoszlás maximumával való hányadosa. A HRV_{index} és a TINN a HRV átfogó, általánosan becsülő paraméterei (Malik és mtsai, 1989; Farrell és mtsai, 1991), melyek segítségével a 24 órás mérések alatt regisztrált IBI-jelek hosszú távú varianciája is meghatározható (Saul és mtsai, 1988). Szoros korrelációban vannak az SDNN paraméterrel.

A Poincaré-grafikon egy egyszerű és könnyen megérthető elemző módszere a HRV értékelésének (Niskanen és mtsai, 2004), mely a HR rövid és hosszú távú variációját egyaránt reprezentálja (Brennan és mtsai, 2002). Amennyiben rövid időtartományban végezzük a HRV-adatok értékelését, hasznos információkkal szolgál a paraszimpatikus idegi működésről (Kamen és mtsai, 1996) a vizsgálati periódus alatt rögzített IBI-jelek variációjának grafikus úton való kvalitatív leképezésével (von Borell és mtsai, 2007). A grafikon minden IBI-hoz az azt követő IBI-t rendeli hozzá, vagyis az egymást követő IBI-jelek közötti összefüggést jeleníti meg.

A legegyszerűbb módja a grafikon elemzésének az ún. ellipszistechnika. Az ellipszist az ún. identitás-egyenesre fektetjük, mely így 45°-os szöget zár be a normál tengellyel. A pontok identitás-egyenesre merőleges szórása (SD1) a HRV rövid távú variációját kifejező paraméter, melyet elsősorban a légzési szinuszaritmia okoz. Az identitás-egyenessel párhuzamos szórás (SD2) a hosszú távú variációt írja le (10. ábra).

Amennyiben a HRV-értékek kisebbek, keskenyebb ellipszist kapunk, ha nagyobb a variancia mértéke, az ellipszis területe megnő. A Poincaré-grafikon elemzésének további módjai a hisztogram-technika, mely külön-külön hisztogramokon ábrázolja az IBI-jeleket (IBI-hisztogram), valamint a HR rövid (SD1) és hosszú távú (SD2) variációját.

A módszer előnye, hogy könnyen átlátható, azonban egyes szerzők (Brennan és mtsai, 2001, 2002) a korlátai között említik, hogy az elemzéshez használt, ún. származtatott statisztikák miatt az itt kapott paraméterek nem függetleníthetők az időtartományban végzett elemzésektől.

10. ábra A Poincaré-grafikon (Kamen és mtsai, 1996)

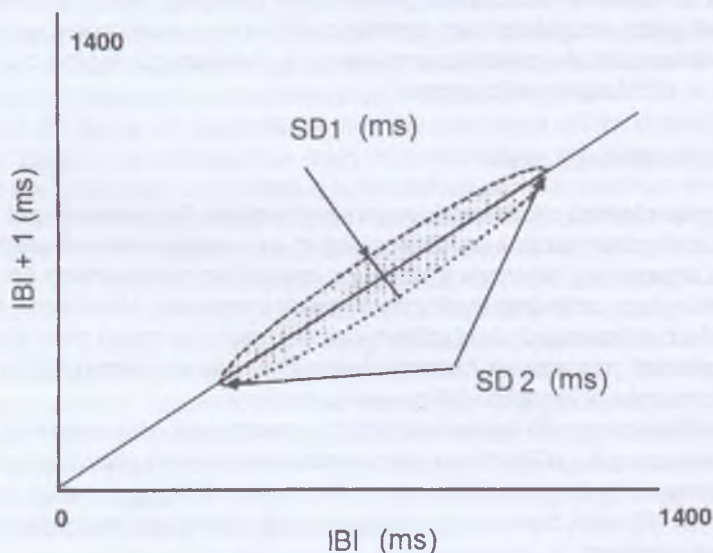


Figure 10. The Poincaré-graph (Kamen et al, 1996)

IBI: inter-beat interval (ms) (horizontal axis); ms: millisecond; SD1: standard deviation of points perpendicular to the axis of line of identity; SD2: standard deviation of points along the axis of line of identity.

Nem lineáris elemző módszerek

Korábban a HRV elemzése csak az idő- és frekvenciatartományban végzett értékelő módszerekre korlátozódott (Kleiger és mtsai, 1995). Azóta bizonyítást nyert, hogy a szív működés egy rendkívül összetett élettani jelenség, melyre nem csak a vegetatív idegrendszer két nagy alrendszere, hanem a szervezetben zajló számos élettani folyamat (pl. anyagcsere metabolitok), illetve az állatot érő különböző környezeti hatások egyaránt hatással vannak. Mára már elfogadott, hogy a HRV létrejöttében olyan nem lineáris jelenségek is szerepet játszanak, (Saul és mtsai, 1988; Farrell és mtsai, 1991), melyek kialakulásáért az összetett haemodinamikus, elektrofiziológiai és humorális kölcsönhatásokban mutatkozó variabilitás éppúgy felelős, mint a vegetatív és központi idegrendszeri irányítás (Schmidt és Monfill, 1995). Napjainkban ezért a HRV nem lineáris komponenseinek elemzése is fontos területét képezik a HRV kutatásának.

A fiziológiai adatsorok nem lineáris összetevőinek meghatározására a legáltalánosabban használt módszer a Zbilut és Webber (1992) által kidolgozott RQA (Recurrence Quantification Analysis) elemző módszer. Ez az eljárás független olyan limitáló tényezőktől, mint pl. az adatsorok hossza, a nem állandó adatok sodródása, és az adatok statisztikai megoszlásával kapcsolatos feltételezések, (Malik és mtsai, 1989; Schmidt és Monfill, 1995) ezért ideális esetben jól alkalmazható olyan fiziológiai rendszerek elemzésére, melyekre jellemzőek a nem homeosztatisz motívumok és állapotváltozások (Giuliani és mtsai, 1998).

Az RQA-technika kvantitatív paraméterei (recurrence, %REC; determinism, %DET; L_{MAX} ; entropy; trend) a HRV nem lineáris összetevőit többdimenziós tér-

ben képezik le. A %REC és a %DET paraméterek a HRV-tachogram szabályozását írják le a többdimenziós térben. Az entropy, az L_{MAX} és a trend a variancia dinamikájával összefüggő információkat hordozza (Giuliani és mtsai, 1998).

Bár a nem lineáris paraméterek a HR-ben kifejezésre jutó komplex rendszerek jellemzésére bizonyos esetekben hatékonyak lehetnek, alkalmazásuk a mai napig nem hozott nagy áttörést – még az orvostudományban sem. Ennek oka, hogy a HRV nem lineáris alkotóelemeinek elemző módszerei jelenleg még nehezen alkalmazhatóak, és a kapott eredmények értelmezése is számos ponton vitatott. Valószínűleg ez az oka annak, hogy ezek az eljárások a humán orvostudományban sem terjedtek el szélesebb körben.

A SZÍVRITMUS-VARIANCIA VIZSGÁLATOK KORLÁTAI

Véleményünk szerint a HRV vizsgálata hamarosan a szarvasmarhában végzett viselkedésetti kutatások egyik módszere lehet, azonban a módszer ismertett előnyeinek túl fel kell hívunk a figyelmet az alkalmazásával járó, elsősorban módszertani jellegű nehézségekre is. Ezek közé tartozik az aktivitásból adódó HR-változások elkülönítése. Jelentős viselkedésszerű változás (megnövekedett mozgási aktivitás) fordulhat elő ugyanis a szabadon mozgó vizsgálati állatoknál. E probléma kiküszöbölésére több lehetőség is kínálkozik. A különböző stresszhatások vizsgálata során egyes kutatók megpróbálták az állatok mozgási aktivitását a lehetőségekhez mérten kontrollálni (Rushen és mtsai, 1999; Mohr és mtsai, 2002; Visser és mtsai, 2002). Bevált módszer, hogy a vizsgált egyedeket a mérések idejére egy kisebb karámba helyezik. Egy másik megoldás, hogy az adatok kiértékelésekor azokat a megfigyelési szakaszokat hasonlítják össze, ahol az egyedek fizikai aktivitása megközelítőleg hasonló volt (Rietmann és mtsai, 2004a). Egyes szerzők szerint a fizikai aktivitásból adódó motoros és nem-motoros HR-válaszok statisztikai modellek segítségével elkülöníthetők (Visser és mtsai, 2002).

Megállapítható tehát, hogy a mozgási aktivitás jelentős nehézségeket okozhat az adatok kiértékelése során, mégis, módszertanilag talán ez a legkönnyebben áthidalható probléma. Ezt kutatások sora igazolja, ugyanis a legtöbb publikáció szerint a jelek transzmitter általi továbbítása okozza a legnagyobb nehézséget a HRV-paraméterek értékelésekor (Minero és mtsai, 2001; Mohr és mtsai, 2002; Hagen és mtsai, 2005; Janžekovič és mtsai, 2006; Tóthné Maros, 2009). E probléma hátterében legtöbbször a nem megfelelő bőr-elektroda érintkezésből adódó gyengébb vezetőképesség áll (Clapham és mtsai, 2007). Mivel általában szabadon mozgó, éber állatokon végzik a méréseket, az elektrodák bizonyos mértékű mozgása, illetve az elektroda-bőrfelszín érintkezésének átmeneti megszakadása a legtöbb esetben elkerülhetetlen (Tóthné Maros, 2009). A gyors helyzetváltoztatás ugyanis sok esetben az elektrodák elmozdulását eredményezheti. Ilyenkor a műszerben az IBI-jelek érzékelése átmenetileg megszűnik, ezen időszakok alatt 0 ms-s IBI-értékeket kapunk (Tóthné Maros, 2009). Ezt erősíti meg Minero és mtsai (2001) megállapítása, mely szerint a terepen regisztrált adatokból szerkesztett abnormális hullámok legtöbbször az elektrodák bőrön való elmozdulásából adódnak. A jelek érzékelésének átmeneti kiesése hátterében Gygyax és mtsai (2008) szerint legtöbbször az elektrodák kiszáradása áll.

Egyes kutatások (Storck és mtsai, 2001; Wilson, 2001) a módszer állati viselkedésből eredő korlátairól is beszámoltak. A vizsgálati csoportokban fennálló bizonyult szociális kapcsolatok és az ezekből adódó viselkedési és pszichés hatások ugyanis külön-külön is befolyásolhatják az eredményeket. Az adatok kiértékelésében problémát okozhatnak továbbá a HRV-értékekben mutatkozó nagy egyedi eltérések és az izom akciós potenciáljából keletkező 'zörejek' hatásai is (Berntson és Stowell, 1998; Langer és mtsai, 2010).

Az IBI-jelek hibás mérésének és értékelésének az eddig említetteken kívül számos egyéb oka is lehet. A hibás jelek lehetnek biológiai eredetűek is (Tóthné Maros, 2009) úgymint a szív működésében fellépő zavarok (pl. stressz következtében jelentkező szinuszaritmia), de lehetnek külső okai is, melyek a mérőrendszer korlátaival tükröződik. Ilyen eset lehet, amikor az állat túlzott fizikai aktivitása következtében az elektródák nem vezetnek megfelelően az elektromos jeleket, esetleg valamilyen elektromágneses zavarás lép fel a környezetben (elektromágneses interferencia). Előfordulhat, hogy a műszer meghibásodik vagy a program nem képes a QRS-komplex (az EKG-görbén megjelenő Q-, R-, valamint S-hullám, lásd: 1. ábra) felismerésére (Marchant-Forde és mtsai, 2004b; von Borell és mtsai, 2007; Tóthné Maros, 2009). Az ilyen hibás jelek megjelenésükkel megszakítják a normális HRV-t. Tóthné Maros (2009) szerint egy másik hibalehetőség, ha a műszer túl alacsony vagy túl magas küszöbértékekre van beállítva a QRS-komplex R csúcsának mérését illetően. Ezekben az esetekben vagy túl nagy (magas küszöbérték) vagy túl kicsi (alacsony küszöbérték) IBI-értékeket kapunk, amelyek a további számításaink eredményeit nagymértékben torzíthatják. A szerző az IBI-adatsorok ellenőrzésének egyik legkézenfekvőbb módjaként a vizuális elemzést javasolja. Megállapítása szerint ilyenkor azonnal felfedezhetőek az átlagtól nagymértékben eltérő mérési eredmények. A nagymértékben eltérő adatpontok javítása ezek után a két legközelebbi adatpont átlagának behelyettesítésével történhet, amennyiben csak 1 adatpontban volt hibás mérési eredmény (Tóthné Maros, 2009). Az adatrögzítés során keletkezett hibás jelek egy részét a műszerekhez tartozó szoftverek speciális algoritmusai automatikusan kijavítják (Niskanen és mtsai, 2004; von Borell és mtsai, 2007).

MEGBESZÉLÉS

Elmondható, hogy a humán vonatkozásban megjelent számos publikációval szemben a HRV témakörében – a HR-kutatásokkal ellentétben – napjainkig az alkalmazott állattenyésztés és a viselkedésélettan területén igen kevés tanulmány látott napvilágot. Hazánkban a HRV vizsgálatában eddig csak ló (Nagy és mtsai, 2009) és kutya (Tóthné Maros, 2009) fajokban születtek figyelemre méltó eredmények, míg külföldi kutatások olyan gazdaságilag fontos haszonállatokat is vizsgálatba vontak, mint pl. a szarvasmarha és a sertés. E tekintetben mindenképpen vizsgálandó területnek számít Magyarországon a HRV kutatása szarvasmarhában.

Az eddigi eredmények azt sugallják, hogy a HRV vizsgálatával lényegesen többet tudhatunk meg a vegetatív idegrendszer működéséről és az adott eseményhez tartozó idegrendszeri aktivációk feltérképezéséről, ahhoz képest, ha csak HR-adatokat értékelnénk.

A vizsgálati eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy a nagyfrekvenciás komponens (HF), illetve a szinuszaritmia megbízható indikátorai a paraszimpatikus idegi aktivitásnak. Az is igazolásra került, hogy az alacsonyfrekvenciás (LF) vagy baro-csúcs eltüntetéséhez mind szimpatikus beta-blokád mind paraszimpatikus blokád szükséges, tehát a baro-csúcs létrejöttében a szimpatikus és a paraszimpatikus aktivitás egyaránt szerepet játszik.

A legtöbb vizsgálatban a Polar S810i, illetve a Polar Vantage NV modelleket használták. Az újabb típusok (Polar R-R Recorder, Polar Equine) már 24 órás természetszerű körülmények közötti mérések kivitelezésére is alkalmasak bizonyos feltételek teljesülése esetén. Megállapítható, hogy a műszerek rögzítésének a megfelelő vezetőképesség kialakulása érdekében kiemelkedően fontos szerepe van a vizsgálatok korrekt kivitelezését és sikerességét illetően. A HRV-vizsgálatok során felmerülő módszertani jellegű problémák közül indokolt kiemelni a hibás IBI-adatok javításának szükségességét.

Az idő- és frekvenciatartományban végzett elemzések paraméterei közötti erős korreláció miatt a két módszer együttes alkalmazása javasolható, mert a HRV-adatsorok kiértékelésekor jól kiegészítik egymást. A geometriai módszerek a HRV grafikai leképezésével olyan paramétereket szolgáltatnak, melyek bizonyos esetekben az idő- és frekvenciatartományban számított indexeket jól kiegészítik. A nem lineáris módszerek alkalmazása még nem általános.

Összességében kijelenthetjük, hogy a HRV-vizsgálatok sikeressége szarvasmarhában nagyon függ a mérések kivitelezhetőségétől alapvetően meghatározó módszertani elemek helyes megválasztásától. Nagy hangsúlyt kell fektetni továbbá az elemző módszerek korrekt alkalmazására és a regisztrált adatsorok szakszerű kiértékelésére. Ha ugyanis az adatelemzés során sikerül a vizsgált környezeti faktorok következtében fellépő, különböző periódusidejű ritmicitásokat szétválasztanunk, és ki tudjuk deríteni, hogy melyiket melyik idegi tónus hozza létre, akkor a HRV bizonyos paraméterei a szimpatikus, illetve a paraszimpatikus aktivitás, ezáltal a stressz indikátorai lehetnek a szarvasmarhában végzett viselkedéstudományi kutatásokban.

IRODALOM

- Ackerman, J.T. – Takekawa, J.Y. – Kruse, K.L. – Orthmeyer, D.L. – Yee, J.L. – Ely, C.R. – Ward, D.H. – Bollinger, K.S. – Mulcahy, D.M. (2004): Using radiotelemetry to monitor cardiac response of free-living Tule Greater White-fronted geese (*Anser albifrons elgasi*) to human disturbance. The Wilson Bulletin, 116. 146–151.
- Aharoni, Y. – Brosh, A. – Kourilov, P. – Arieli, A. (2003): The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions. Livest. Sci., 79. 107–117.
- Akselrod, S. (1995): Components of heart rate variability – basic studies. In: Malik, M. – Camm, A.J. (eds.) Heart rate variability. Futura Publishing, Armonk, New York, 147–163.
- Akselrod, S. – Gordon, D. – Madwed, J.B. – Snidman, N.C. – Shannon, D.C. – Cohen, R.J. (1985): Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. Am. J. Physiol., 249. 867–875.
- Akselrod, S. – Gordon, D. – Ubel, F.A. – Shannon, D.C. – Berger, A.C. – Cohen, R.J. (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. Science, 213. 220–222.
- Arave, C.W. – Bunch, T.D. – Callan, R.J. (1991): Measuring stress in cattle via implanted heart-rate transmitters. Journal of Animal Science. 69. 236.
- Bachmann, I. – Bernasconi, P. – Herrmann, R. – Weishaupt, M.A. – Stauffacher M. (2003): Behavioral and physiological responses to an acute stressor in crib-biting and control horses. Appl. Anim. Behav. Sci., 82. 297–311.

- Beerda, B. – Schilder, B.H. – Van Hoof, A.M. – De Vries, H.W. – Mol, J.A. (1998): Behavioural, saliva cortisol and heart rate responses to different types of stimuli in dogs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 58. 365–381.
- Bernston, G.G. – Stowell, J.R. (1998): ECG artefacts and heart period variability: don't miss a beat! *Psychophysiology*, 35. 127–132.
- Borell von, E. (2000): Stress and coping in farm animals. *Arch. Tierz.*, 43. 144–152.
- Borell von, E. – Langbein, J. – Després, G. – Hansen, S. – Leterrier, C. – Marchant-Forde, J. – Marchant-Forde, R. – Minero, M. – Mohr, E. – Prunier, A. – Valance, D. – Veissier, I. (2007): Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – A review. *Physiol. Behav.*, 92. 293–316.
- Brennan, M. – Palaniswami, M. – Kamen, P. (2001): Do existing measures of Poincaré plot geometry reflect nonlinear features of Heart Rate Variability? *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 48. 1342–1347.
- Brennan, M. – Palaniswami, M. – Kamen, P. (2002): Poincaré plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators 2. *Am. J. Physiol.*, 283. 1873–1886.
- Brosh, A. (2007): Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *Anim. Sci.*, 85. 1213–1227.
- Brosh, A. – Aharoni, Y. – Degen, A. – Wright, D. – Young, B.A. (1998a): Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.*, 76. 2671–2677.
- Brosh, A. – Aharoni, Y. – Degen, A. – Wright, D. – Young, B.A. (1998b): Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. *J. Anim. Sci.*, 76. 3054–3064.
- Brosh, A. – Henkin, Z. – Ungar, E.D. – Dolev, A. – Orlov, A. – Yehuda, Y. – Aharoni, Y. (2006): Energy cost of cows' grazing activity: The use of heart rate GPS methods for direct field estimation. *J. Anim. Sci.*, 84. 1951–1967.
- Brosh, A. – Henkin, Z. – Ungar, E.D. – Gutman, M. – Dolev, A. – Aharoni, Y. (2003): Grazing behaviour and energy expenditure of cows during three seasons of the year: measurements by GPS and heart rate techniques. 6th Int. Symp. Nutr. Herb., Merida, Yucatan, Mexico, 385–389.
- Buccelletti, E. – Gilardi, E. – Scaini, E. (2009): Heart rate variability and myocardial infarction: systematic literature review and metanalysis. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.*, 13. 299–307.
- Buuse van den, M. – Malpas, S. (1997): 24-hour recordings of blood pressure, heart rate and behavioural activity in rabbits by radio-telemetry: effects of feeding and hypertension. *Physiol. Behav.*, 62. 83–89.
- Carney, R.M. – Freedland, K.E. (2009): Depression and heart rate variability in patients with coronary heart disease. *Cleve. Clin. J. Med.*, 76. 13–17.
- Clapham, W.M. – Fedders, J.M. – Swecker Jr., W.S. – Scaglia, G. – Fontenot, J.P. (2007): Heart rate variation: does it indicate stress in calves at weaning? Kézirat.
- Cooley, J.W. – Tukey, O.W. (1965): An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Math. Comput.*, 19. 297–301.
- De Jong, I.C. – Sgoifo, A. – Lambooj, E. – Korte, S.M. – Blokhuis, H.J. – Koolhaas, J.M. (2000): Effects of social stress on heart rate and heart rate variability in growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 80. 273–280.
- Després, G. – Veissier, I. – Boissy, A. (2002): Effect of autonomic blockers on heart period variability in calves: evaluation of the sympatho-vagal balance. *Physiol. Res.*, 51. 347–353.
- Eager, R.A. – Norman, S.E. – Waran, N.K. – Price, J.P. – Welsh, E.M. – Marlin, D.J. (2004): Repeatability, diurnal variation and temperament: factors affecting heart rate variability in horses. *Proc. 38th Int. Congr. ISAE, Helsinki, Finland*, 235.
- Eloranta, E. – Norberg, H. – Nilsson, A. – Pudas, T. – Säkkinen, H. (2002): Individually Coded Telemetry: a Tool for Studying Heart Rate and Behaviour in Reindeer Calves. *Acta Vet. Scand.*, 43. 135–144.
- Ewing, D.J. – Martin, C.N. – Young, R.J. – Clarke, B.F. (1985): The value of cardiovascular autonomic function tests: 10 years experience in diabetes. *Diabetic Care*, 8. 491–498.
- Farrell, T.G. – Bashir, Y. – Cripps, T. – Malik, M. – Poloniecki, J. – Bennett, E.D. – Ward, D.E. – Camm, A.J. (1991): Risk stratification for arrhythmic events in post infarction patients based on heart rate variability, ambulatory electrocardiographic variables and signal averaged ECG. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 18. 687–697.
- Francis, J.L. – Weinstein, A.A. – Krantz, D.S. (2009): Association between symptoms of depression

- and anxiety with heart rate variability in patients with implantable cardioverter defibrillators. *Psychosom. Med.*, 71. 821–827.
- Friedman, B.H. – Thayer, J.F. (1998): Autonomic balance revisited: panic anxiety and heart rate variability. *J. Psychosom. Res.*, 44. 133–151.
- Giese, M. – Handsworth, R. – Stephenson, R. (1999): Measuring resting heart rates in penguins using an artificial egg. *J. Field. Ornithol.*, 70. 49–54.
- Giuliani, A. – Piccirillo, G. – Marigliano, V. – Colosimo, A. (1998): A non-linear explanation for aging induced changes in heartbeat dynamics. *Am. Journ. Physiol.*, 275. 1455–1461.
- Gygax, L. – Neuffer, I. – Kaufmann, C. – Hauser, R. – Wechsler, B. (2008): Restlessness behaviour, heart rate and heart-rate-variability of dairy cows milked in two types of automatic milking systems and auto-tandem milking parlours. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 109. 167–179.
- Hagen, K. – Langbein, J. – Schmied, C. – Lexer, D. – Waiblinger, S. (2005): Heart rate variability in dairy cows – influences of breed and milking system. *Physiol. Behav.*, 85. 195–204.
- Harri, M. – Kohonen, T. – Mononen, J. (1994): Heart rate of blue fox (*Alopex lagopus*) in normal and simulated situations of farm life. *Proc. 28th Int. Congr. ISAE*, Foulum, Denmark, 3–6. 34.
- Hirsh, J.A. – Bishop, B. (1981): Respiratory sinus arrhythmia in humans; how breathing pattern modulates heart rate. *Am. J. Physiol.*, 241. 620–629.
- Hon, E.H. – Lee, S.T. (1965): Electronic evaluations of the fetal heart rate patterns preceding fetal death, further observations. *Am. J. Obstet. Gynec.*, 87. 814–826.
- Hopster, H. – Blokhuis, H.J. (1994): Validation of a heart-rate monitor for measuring a stress-response in dairy-cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 74. 465.
- Hopster, H. – O'Connell, J.M. – Blokhuis, H.J. (1995): Acute effects of cow-calf separation on heart rate, plasma cortisol and behaviour in multiparous dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 44. 1–8.
- Houle, M.S. – Billman, G.E. (1999): Low-frequency component of the heart rate variability spectrum: a poor marker of sympathetic activity. *Am. J. Physiol.*, 276. 215–223.
- Hull, S. – Evans, S. – Vanoli, A.R. – Adamson, E. – Stramba, P.B. – Badiale, M. – Albert, D.E. – Foreman, R.D. – Schwartz, P.J. (1990): Heart rate variability before and after myocardial infarction in conscious dogs at high and low risk of sudden death. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 16. 978–985.
- Janžeković, M. – Muršec, B. – Janžeković, I. (2006): Techniques of measuring heart rate in cattle. *Tehni ki Vjesnik*, 13. 31–37.
- Kamen, P.W. – Krum, H. – Tonkin, A.M. (1996): Poincaré plot of heart rate variability allows quantitative display of parasympathetic nervous activity in humans. *Clin. Sci.*, 91. 201–218.
- Kanters, J.L. – Hojgaard, M.V. – Agner, E. – Holsteinrathlou, N.H. (1996): Short- and long-term variations in non-linear dynamics of heart rate variability. *Cardiovasc. Res.*, 31. 400–409.
- Kanwisher, J.W. – Williams, T.C. – Teal, J.M. – Lawson, K.O. (1978): Radiotelemetry of heart rates from free-ranging gulls. *The Auk*, 95. 288–293.
- Kardos A. – Gingl Z. (1994): A szisztémás vérnyomás és a pulzusvariabilitás folyamatos, nem invazív, on-line vizsgálata emberben. *Cardiol. Hung.*, 2. 39–52.
- Kleiger, R.E. (1995): Heart rate variability and mortality and sudden death post infarction. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.*, 6. 365–367.
- Kleiger, R.E. – Miller, J.P. – Bigger, J.T. Jr. – Moss, A.J. (1987): Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.*, 59. 256–262.
- Kleiger, R.E. – Stein, P.K. – Bosner, M.S. – Rottman, J.N. (1992): Time domain measurements of heart rate variability. *Cardiol. Clin.*, 10. 487–498.
- Kohonen, T. – Mononen, J. – Harri, M. (1994): Heart rate of farmed blue foxes in different behavioural states. *Suomen Eläinlääkärilehti*, 100. 129.
- Konold, T. – Bone, G.E. – Simmons, M.M. (2011): Time and frequency domain analysis of heart rate variability in cattle affected by bovine spongiform encephalopathy. *BMC Research Notes*, 4. 259.
- Korte, S.M. – Ruesnik, W. – Blokhuis, H.J. (1999) Heart rate variability during manual restraint in chicks from high- and low-feather pecking lines of laying hens. *Physiol. Behav.*, 65. 649–652.
- Kuwahara, M. – Hashimoto, S. – Ishii, K. – Yagi, Y. – Hada, T. – Hiraga, A. – Kai, M. – Kubo, K. – Oki, H. – Tsubone, H. – Sugano, S. (1996): Assessment of autonomic nervous function by power spectral analysis of heart rate variability in the horse. *J. Auton. Nerv. Syst.*, 60. 43–48.
- Kuwahara, M. – Hiraga, A. – Kai, M. – Tsubone, H. – Sugano, S. (1999): Influence of training on autonomic nervous function in horses: evaluation by power spectral analysis of heart rate variability. *Equine Vet. J. Suppl.* 30. 178–180.

- Kuwahara, M. – Tsujino, Y. – Tsubone, H. – Kumagai, E. – Tsutsumi, H. – Tanigawa, M. (2004): Effects of pair housing on diurnal rhythms of heart rate and heart rate variability in miniature swine. *Exp. Anim.*, 53. 4. 303–309.
- Langbein, J. – Nürnberg, G. – Manteuffel, G. (2004): Visual discrimination learning in dwarf goats and associated changes in heart rate and heart rate variability. *Physiol. Behav.*, 82. 601–609.
- Langer D. – Faludi J. – Tóth M. – Sótónyi P. (2010): A ló teljesítményét megalapozó sporélettani kutatások. (In Hungarian, with English summary). *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 59. 267–276.
- Láng E. (1994): A vegetatív reaktivitás pszichofiziológiai vizsgálata emberen. Progress Report. OTKA (622) Beszámoló.
- Lefcourt, A.M. – Erez, B. – Varner, M.A. – Barfield, R. – Tasch, U. (1999): A noninvasive radiotelemetry system to monitor heart rate for assessing stress responses of bovines. *J. Anim. Sci.*, 82. 1179–1187.
- Lemaire, V. – Mormede, P. (1995): Telemetered recording of blood pressure and heart rate in diffrenet strains of rats during chronic social stress. *Physiol. Behav.*, 58. 1181–1188.
- Loijens, L.W. – Janssens, C.J. – Schouten, W.G. – Wiegant, W.M. (2002): Opioid activity in behavioral and heart rate responses of tethered pigs to acute stress. *Physiol. Behav.*, 75. 621–626.
- Luczak, H. – Luring, W.J. (1973): An analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16. 85–97.
- Malik, M. – Bigger, J.T. – Camm, A.J. – Kleiger, R.E. – Malliani, A. – Moss, A.J. – Schwartz, P.J. (1996): Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Eur. Heart J.*, 17. 354–381.
- Malik, M. – Farrell, T. – Cripps, T. – Camm, A.J. (1989): Heart rate variability in relation to prognosis after myocardial infarction: selection of optimal processing techniques. *Eur. Heart J.*, 10. 1060–1074.
- Malliani, A. (1995): Association of heart rate variability components with physiological regulatory mechanisms. In: Malik, M. – Camm, A.J. (eds.) *Heart rate variability*. Futura Publishing, Armonk, New York, 173–188.
- Marchant, J.N. – Rudd, A.R. – Broom, D.M. (1997): The effects of housing on heart rate of gestating sows during specific behaviours. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 55. 67–78.
- Marchant-Forde, R.M. – Marchant-Forde, J.N. (2004a): Pregnancy-related changes in behavior and cardiac activity in primiparous pigs. *Physiol. Behav.*, 82. 815–825.
- Marchant-Forde, R.M. – Marlin, D.J. – Marchant-Forde, J.N. (2004b): Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: accuracy, artefacts and editing. *Physiol. Behav.*, 80. 449–458.
- Minero, M. – Canali, E. – Ferrante, V. – Carenzi, C. (2001): Measurement and time domain analysis of heart rate variability in dairy cattle. *Vet. Rec.*, 149. 772–774.
- Mohr, E. – Langbein, J. – Nürnberg, G. (2002): Heart rate variability: A noninvasive approach to measure stress in calves and cows. *Physiol. Behav.*, 75. 251–259.
- Mononen, J. – Kohonen, T. – Harri, M. – Rekilä, T. (1992): Heart rate, skin temperature and locomotor activity of farmed blue fox. *J. Anim. Sci.*, 70. 171.
- Montano, N. – Ruscone, T.G. – Porta, A. – Lombardi, F. – Pagani, M. – Malliani, A. (1994): Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation*, 90. 1826–1831.
- Nagy K. – Bodó G. – Bárdos Gy. – Harnos A. – Kabai P. (2009): The effect of a feeding stress-test on the behaviour and heart rate variability of crib-biting horses (with or without inhibition). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 121. 140–147.
- Nakagawa, S. – Waas, J.R. (2001): Heart rate changes reveal that little blue penguin chicks (*Eudyptula minor*) can use vocal signatures to discriminate familiar from unfamiliar chicks. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 50. 180–188.
- Neuffer, R. – Hauser, L. – Gygax, C. – Kaufmann, B. – Wechsler (2004): Behaviour of dairy cows milked in two automatic milking systems. *Proc. 38th Int. Congr. ISAE, Helsinki, Finland*, 82.
- Nilssen, K.J. – Johnsen, H.K. – Rognmo, A. – Blix, A.S. (1984): Heart rate and energy expenditure in resting and running Svalbard and Norwegian reindeer. *Am. J. Physiol.*, 246. 963–967.
- Nilsson, A. – hman, B. – Norberg, H. – Redbo, I. – Eloranta, E. – Olsson, K. (2006): Activity and heart rate in semi-domesticated reindeer during adaptation to emergency feeding. *Physiol. Behav.*, 88. 116–123.
- Niskanen, J.P. – Tarvainen, M.P. – Ranta-aho, P.O. – Karjalainen, P.A. (2004): Software for advanced HRV analysis. *Comp. Meth. Progr. Biomed.*, 76. 73–81.

- Ohmura, H. – Hiraga, A. – Aida, H. (2006): Changes in heart rate and heart rate variability in Thoroughbreds during prolonged road transport. *Am. J. Vet. Res.*, 67. 455–62.
- Pagani, M. – Lombardi, F. – Guzzetti, O. – Rimoldi, O. – Furlan, R. – Pizzinelli, P. – Sandrone, G. – Mal-fatto, G. – Dell'Orto, S. – Piccaluga, E. – Turiel, M. – Baselli, G. – Cerutti, S. – Malliani, A. (1986): Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.*, 59. 178–193.
- Palazzolo, J.A. – Estafanous, F.G. – Murray, P.A. (1998): Entropy measures of heart rate variation in conscious dogs. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.*, 274. 1099–1105.
- Physick-Sheard, P.W. – Marlin, D.J. – Thornhill, R. – Schroter, R.C. (2000): Frequency domain analysis of heart rate variability in horses at rest and during exercise. *Equine Vet. J.*, 32. 3. 253–262.
- Piccirillo, G. – Ogawa, M. – Song, J. – Chong, V.J. – Joung, B. – Han, S. – Magr, D. – Chen, L.S. – Lin, S.F. – Chen, P.S. (2009): Power spectral analysis of heart rate variability and autonomic nervous system activity measured directly in healthy dogs and dogs with tachycardia-induced heart failure. *Heart Rhythm*, 6. 546–552.
- Pizzi, C. – Manzoli, L. – Mancini, S. – Costa, G.M. (2008): Analysis of potential predictors of depression among coronary heart disease risk factors including heart rate variability, markers of inflammation, and endothelial function. *Eur. Heart. J.*, 29. 1110–1117.
- Pomeranz, M. – Macaulay, R.J.B. – Caudill, M.A. (1985): Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.*, 248. 151–153.
- Pomfrett, C.J.D. – Glover, D.G. – Bollen, B.G. – Pollard, B.J. (2004): Perturbation of heart rate variability in cattle fed BSE-infected material. *Vet. Rec.*, 154. 687–691.
- Porges, S.W. (1995): Cardiac vagal tone: a physiological index of stress. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 19. 225–233.
- Richards, J.I. – Lawrence, P.R. (1984): The estimation of energy expenditure from heart rate measurements in working oxen and buffalo. *J. Agric. Sci.*, 102. 711–717.
- Rietmann, T.R. – Stauffacher, M. – Bernasconi, P. – Auer, J.A. – Weishaupt M.A. (2004a): The association between heart rate, heart rate variability, endocrine and behavioural pain measures in horses suffering from laminitis. *J. Vet. Med.*, 51. 218–225.
- Rietmann, T.R. – Stuart, A.E. – Bernasconi, P. – Stauffacher, M. – Auer, J.A. – Weishaupt, M.A. (2004b): Assessment of mental stress in warmblood horses: heart rate variability in comparison to heart rate and selected behavioural parameters. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 88. 121–136.
- Rushen, J. – De Passillé, A.M. – Munksgaard, L. (1999): Fear of people by cows and effects on milk yield, behavior, and heart rate at milking. *J. Dairy Sci.*, 82. 720–727.
- Saul, J.P. – Albrecht, P. – Berger, R.D. – Cohen, R.J. (1988): Analysis of long term heart rate variability: methods, 1/f scaling and implications. *Computers in Cardiology. IEEE Computer Society Press, Washington*, 419–422.
- Savory, C.J. – Kostal, L. (1997): Application of a radiotelemetry system for chronic measurement of blood pressure, heart rate, EEG, and activity in the chicken. *Physiol. Behav.*, 61. 963–969.
- Sayers, B.M. (1973): Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16. 17–32.
- Schechtman, V.L. – Kluge, K.A. – Harper, R.M. (1988): Time-domain system for assessing variation in heart rate. *Med. Biol. Eng. Comp.*, 26. 367–373.
- Schmidt, A. – Biau, S. – Möstl, E. – Becker-Birch, M. – Morillon, B. – Aurich, J. – Faure, J.M. – Aurich, C. (2010): Changes in cortisol release and heart rate variability in sport horses during long-distance road transport. *Dom. Anim. Endocrinol.*, 38. 179–189.
- Schmidt, G. – Monfill, G.E. (1995): Nonlinear methods for heart rate variability assessment. In: *Malik, M. – Camm, A.J. (eds.) Heart Rate Variability. Futura Publishing, Armonk, New York*, 87–98.
- Schmied, C. – Waiblinger, S. – Scharl, T. – Leisch, F. – Boivin, X. (2008): Stroking of different body regions by a human: Effects on behaviour and heart rate of dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 109. 25–38.
- Selye J. (1976): Stressz distressz nélkül. Akadémiai Kiadó, Budapest, 24–25.
- Seo, T. – Sato, S. – Kosaka, K. – Sakamoto, N. – Tokumoto, K. (1998): Tongue-playing and heart rate in calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 58. 179–182.
- Sgoifo, A. – Koolhaas, J.M. – Musso, E. – De Boer, S.F. (1999): Different sympathovagal modulation of heart rate during social and nonsocial stress episodes in wild-type rats. *Physiol. Behav.*, 67. 733–738.
- Slangen, B.F. – Out, I.C. – Janssen, B.J. – Peeters, L.L. (1997): Blood pressure and heart rate variability in early pregnancy in rats. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.*, 273. 1794–1799.

- Snelderwaard, P.C. – van Ginneken, V. – Witte, F. – Voss, H.P. – Kramer, K. (2006): Surgical procedure for implanting a radiotelemetry transmitter to monitor ECG, heart rate and body temperature in small *Carassius auratus* and *Carassius auratus gibelio* under laboratory conditions. *Lab. Anim.* 40. 4. 465–468.
- Stein, P.K. – Bosner, M.S. – Kleiger, R.E. – Conger, B.M. (1994): Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am. Heart J.*, 127. 1376–1381.
- Stein, P.K. – Kleiger, R.E. (1999): Insights from the study of heart rate variability. *Annu. Rev. Med.*, 50. 249–261.
- Stewart, M. – Stafford, K.J. – Dowling, S.K. – Schaefer, A.L. – Webster, J.R. (2008): Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiol. Behav.*, 93. 789–797.
- Storck, N. – Ericson, M. – Linblad, L.E. – Jensen-Urstad, M. (2001): Automated computerized analysis of heart rate variability with digital filtering of ectopic beats. *Clin. Physiol.*, 21. 15–24.
- Tarvainen, M.P. – Ranta-aho, P.O. – Karjalainen, P.A. (2002): An advanced detrending method with application to HRV analysis. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 49. 172–175.
- Thayer, J.F. – Hahn, A.W. – Pearson, M.A. – Sollers, J.J. – Johnson, P.J. – Loch, W.E. (1997): Heart rate variability during exercise in the horse. *Biomed. Sci. Instrum.*, 34. 246–251.
- Tóthné Maros K. (2009): A kötődési és kommunikációs viselkedés és a szívműködés közötti kapcsolatot vizsgálata kutyákon. Doktori értekezés. ELTE Etológia Tanszék, Magyarország.
- Tóthné Maros K. – Tóth P. – Janan, J. (2010): A viselkedés hatása az állatok szívműködésére. (In Hungarian, with English summary). *Magyar Állatorvosok Lapja*, 132. 285–294.
- Visser, E.K. – Ellis, A.D. – van Reenen, C.G. (2008): The effect of two different housing conditions on the welfare of young horses stabled for the first time. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 114. 521–533.
- Visser, E.K. – van Reenen, C.G. – van der Werf, J.T.N. – Schilder, M.B.H. – Knaap, J.H. – Barneveld, A. – Blokhuis, H.J. (2002): Heart rate and heart rate variability during a novel object test and a handling test in young horses. *Physiol. Behav.*, 76. 289–296.
- Voss, B. – Mohr, E. – Krzywanek, H. (2002): Effects of aqua-treadmill exercise on selected blood parameters and on heart-rate variability of horses. *J. Vet. Med.*, 49. 137–143.
- Waiblinger, S. – Menke, C. – Korff, J. – Bucher, A. (2004): Previous handling and gentle interactions affect behaviour and heart rate of dairy cows during a veterinary procedure. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 85. 31–42.
- Walters, K. – Rait, G. – Petersen, I. – Williams, R. – Nazareth, I. (2009): Panic disorder and risk of new onset coronary heart disease, acute myocardial infarction, and cardiac mortality: cohort study using the general practice research database. *Eur. Heart. J.*, 29. 2981–2988.
- Wascher, C.A.F. – Arnold, W. – Kotschal, K. (2008): Heart rate modulation by social contexts in grey-lag geese (*Anser anser*). *J. Comp. Psychol.*, 122. 100–107.
- Watkins, L.L. – Blumenthal, J.A. – Babyak, M.A. – Davidson, J.R.T. – McCants, C.B. – O'Connor, C. – Sketch, M.H. Jr (2010): Phobic anxiety and increased risk of mortality in coronary heart disease. *Psychosom. Med.*, 72. 664–671.
- Weisbard, C. – Graham, F.K. (1971): Heart-rate change as a component of the orienting response in monkeys. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 76. 74–83.
- Wenzel, C. – Schonreiter-Fischer, S. – Unshelm, J. (2003): Studies on step-kick behavior and stress of cows during milking in an automatic milking system. *Livest. Prod. Sci.*, 83. 237–246.
- Wilson, G.F.A. (2001): Comparison of three cardiac ambulatory recorders using flight data. *Int. J. Aviation Psychol.*, 12. 111–119.
- Wolf, M.M. – Varigos, G.A. – Hunt, D. – Sloman, J.G. (1977): Sinus arrhythmia in acute myocardial infarction. *Med. J. Aust.*, 2. 52–53.
- Yamamoto, Y. – Hughson, R.L. (1991): Coarse-graining spectral analysis: new method for studying heart rate variability. *J. Appl. Physiol.*, 71. 1143–1150.
- Zbilut, J.P. – Webber, C.L. (1992): Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots. *Physics Letters, Section A*, 171. 199–203.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

A Balassi Intézet Magyar Ösztöndíj Bizottsága (MÖB) és a Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD) nemzetközi együttműködés támogatásával. Projekt szám: MÖB/38-8/2010.

Erkezett: 2011. mácius

Szerzők címe: Kovács L. – Szentlélek A. – Tózsér J.
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Állattenyésztés-tudományi Intézet

Authors' address: Szent Istvan University
Faculty of Agricultural and Environmental Sciences
Institute of Animal Husbandry
H-2103 Gödöllő, Péter Károly u. 1.
Kovacs.Levente@mkk.szie.hu