

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Az ellés körüli és a hőstresszidőszak viselkedési és élettani vonatkozásainak vizsgálata tejhasznú szarvasmarhákban



Dr. Kovács Levente

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Állattenyésztési Tudományok Intézet



Gödöllő, 2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	2
2. Az ellés körüli időszak vizsgálatának főbb eredményei	2
2.1. A szimpatho-vagális egyensúly változásai spontán ellésű tehenekben.....	2
2.2. A szülészeti segélynyújtás viselkedési és élettani hatásainak vizsgálata	3
2.3. A nehézellés hatása a kérődzési időre, a recés-bendő pH-ra és hőmérsékletre.....	6
2.4. A sav-bázis egyensúly vizsgálata segélynyújtás nélkül született borjakon.....	6
2.5. Nehézellésből született borjak nyálkörtizol koncentrációja	9
2.6. Egyszeri NSAID-kezelés hatása újszülött borjak fekvési viselkedésre	9
3. A hőstressz-vizsgálatok főbb eredményei	10
3.1. Tejelő tehenek vizsgálata	10
3.2. Itatásos borjak vizsgálata.....	11
4. Új tudományos eredmények.....	16
5. Irodalomjegyzék.....	18
6. Az MTA doktori mű alapjául szolgáló közlemények.....	20
6.1. Az ellés körüli időszak vizsgálata	20
6.2. A hőstressz-időszak vizsgálata	21
Köszönetnyilvánítás	22

1. Bevezetés és célkitűzések

A nemzetközi szakirodalmat áttekintve, a nem invazív mintavételi eljárásokon alapuló stresszvizsgálati módszerek egyre népszerűbbek haszonállatokban, azonban az egymást követő szívverések közötti távolságok mérésén alapuló szívritmus-változékonyság (heart rate variability, HRV) elemzése és a kortizol mint stresszhormon vér- és nyálmintavételén alapuló laboratóriumi meghatározása szarvasmarhákban a mai napig nem terjedt el az ellés és a hőstressz időszak élettani változásainak kutatásában.

Mivel a stresszre adott reakció a vegetatív idegrendszer szimpatikus és paraszimpatikus tónusának egyensúlyától is nagyban függ (Porges, 2003), a HRV vizsgálatával lehetséges a stressz kimutatása haszonállatokban (von Borell et al., 2007). Ennek alapja, hogy az alarm szakaszára jellemző növekvő szimpatikotónussal párhuzamosan a vágusz tónus csökken, amelyet a HRV jelzőszámainak jellegzetes változása kísér tejlő szarvasmarhákban (Kovács et al., 2014a).

Doktori tanulmányaimat követően az MTA–SZIE Nagyállatklinikai Kutatócsoportban az ellés körüli időszak viselkedés-élettani hatásait kezdtem kutatni tejlő teheneiben és tejhasznú borjakban. Kutatócsoporti munkámat követően, az ellés körüli időszak mellett az egyre gyakoribb hőség okozta stressz állatjóléti hatásait vizsgáltam.

Az MTA doktora címre benyújtott értekezésem fő célja az ellés körüli időszak viselkedési és élettani változásainak bemutatása, különös tekintettel az ellés előrejelzésével, az újszülött borjak életképességének javításával és a nehézzellessel kapcsolatos új tudományos eredményeimre. Az értekezés második felében a tejlő teheneiben és itatásos borjakon hőstressz időszakokban végzett vizsgálataim eredményeit is ismertetem.

2. Az ellés körüli időszak vizsgálatának főbb eredményei

2.1. A szimpató-vagális egyensúly változásai spontán ellésű teheneiben

A vizsgálat célja a vegetatív idegrendszeri változásokat tükröző HRV paraméterek vizsgálata az ellés körüli időszakban. További célunk volt az ellés egyes körülményeinek a hatásainak vizsgálata az anyaállat szív működésére. Ötven, többször ellett, klinikailag egészséges spontán ellésű tehenet vontunk be a vizsgálatba, az EKG R–R-távolságait POLAR szívritmusmérő műszerekkel rögzítettük.

Az ellési nyugtalanság előtti 12–24, és 0–1 órás időszakban fokozott szimpatikus és csökkent vágusz-aktivitást tapasztaltunk. Megfigyeléseink alátámasztják, hogy a komfortérzet már akkor is romlik, amikor még nem láthatóak a stressz jelei (von Borell, 2001). Vizsgálatunkban a vágusz tónus csökkenése valószínűleg az első méhösszehúzódások és a méhnyak tágulása okozta zsigeri fájdalmat mutatja, ami azonban csak később nyilvánult meg nyugtalanságban.

Mivel Porges polivagális elmélete szerint erős stressz hatására csökken a vágusz-aktivitás (Porges, 2003), csökkenő vágusz-aktivitást a kitolási szakaszban vártunk. Vizsgálatunkban azonban az ellési nyugtalanság és a megszületés között a vágusz aktivitása nőtt, amely valószínűleg az anyai oxitocinszint növekedésével magyarázható, amely a méhösszehúzódásokkal és a méhnyak tágulásával függhet össze, amikor a magzat behelyezkedik a szülőútba.

Eredményeink alapján a spontán ellés tartós hatást gyakorol a vegetatív idegrendszerre, ugyanis a HRV-paraméterek csak 4–8 órával az ellést követően tértek vissza a nyugalmi értékekhez.

Ahogy az várható volt, a kitolási szakaszban a borjak születési testtömegének növekedésével csökkent a paraszimpatikus tónus és dominánsabbá vált a szimpatikus tónus, nagyobb mértékű stresszt jelezve a nagyobb testtömegű borjat ellő teheneiben. A szimpatikus aktivitás erősebb volt az erősebb kondíciójú teheneiben az ellés késői szakaszában és az ellést követő 12–24 óra között. A megszületés időpontja nem volt hatással az ellés utáni időszakban a HRV-mutatók értékeire.

2.2. A szülészeti segélynyújtás viselkedési és élettani hatásainak vizsgálata

Vizsgálatunk során szeretnénk kideríteni, hogy a szülészeti segélynyújtás időpontja (az ajánlott időponthoz képest megfelelően időzített vs. a javasoltnál korábban megkezdett), illetve az ellés helyszíne (egyedi bokszos vs. csoportos) befolyásolja-e a tehen stressz-szintjét az ellés alatt és az ellést követő időszakban. Azt is vizsgáltuk, hogy az ellési segélynyújtás időzítésének van-e hatása az ellés hosszára, az anyaállat egészségi állapotára, illetve a korai anyai viselkedésre. Összesen 176 egészséges, többször ellett tehenet vontunk be ebbe a kísérletbe.

A vizsgálat időtartama alatt az ellési segélynyújtás előfordulási aránya 38,2% volt. Az amnionhólyag és a lábvégek megjelenése, illetve a megszületés között eltelt idő, valamint az ellés teljes hossza (az ellési nyugtalanság első jelei és a borjú megszületése között eltelt idő) rövidebb volt a segélynyújtás nélkül, csoportban ellett tehenekben, mint a segélynyújtás nélkül, elletőbokszban ellett teheneknél. Az ellés hosszabb volt a megfelelő időben megkezdett segélynyújtás és a korai segélynyújtás mellett ellő tehenekben a csoportban ellett tehenekkel összehasonlítva.

Az idejekorán (korábban, mint az amnionhólyag megjelenése után 70 perccel vagy a végtagok megjelenése után 65 perccel) megkezdett segélynyújtás mellett ellő tehenek többször ellettek holt borjat, mint azok a tehenek, amelyeknél időszerűen avatkoztak be. Habár az időszerű segélynyújtásban részesült tehenek borjainak életképessége gyengébb volt, mint a csoportban, illetve elletőbokszban segélynyújtás nélkül született borjaké, 24 órával az ellés után az életképességük már hasonló volt, mint a segélynyújtás nélkül született borjaké (1. táblázat). A korai beavatkozást követően született borjak életképessége gyengébb volt, mint a csoportban, elletőbokszban, illetve megfelelően időzített segélynyújtást követően született borjaké közvetlenül az ellés után és 24 óra múlva. A nehézellés aránya a csoportban, segélynyújtás nélkül ellett tehenekben volt a legkisebb, ezt követte az elletőbokszban, szintén segélynyújtás nélkül ellett csoport, mindkét csoportban 10% alatt maradt az értéke (1. táblázat). A nehézellések aránya több, mint kétszer olyan magas volt a korai segélynyújtással ellő csoportban, mint megfelelően időzített beavatkozás mellett ellő csoportban, a súlyosfokú nehézellések aránya pedig több, mint négyszerese volt a korai beavatkozást követően megellett tehenekben azokhoz a tehenekhez képest, amelyek megfelelő időben részesültek ellési segélynyújtásban.

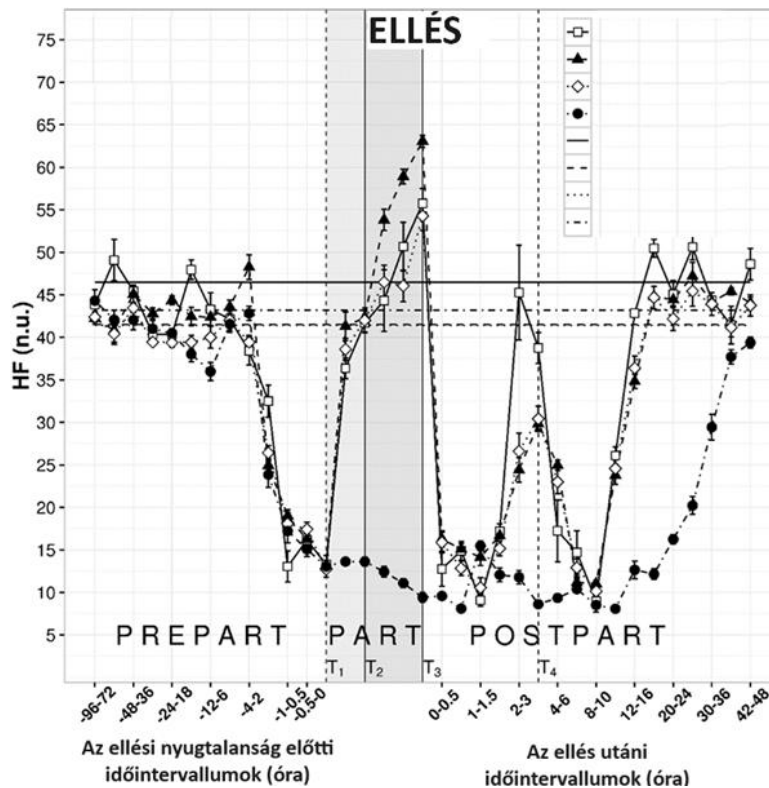
Az ellési nyugtalanság és a borjú megszületése között a hangadás és a fej far-medence tájék felé nyújtogatása is gyakrabban fordult elő a csoportban ellett teheneknél, mint a három másik csoportban. Mindkét viselkedés előfordulása alacsony volt az egyedi bokszban ellett tehenekben. A borjú megszületését követő kétórás időszakban nem volt különbség az egyes csoportok között a hangadásban és a fej hasüreg felé nyújtogatásában. A szülészeti segélynyújtás nélkül, csoportban ellett tehenek hamarabb kezdték szagolgatni és felnyalni a borjaikat, illetve tovább is tartottak ezek az epizódok a megszületést követő két órában, mint bármelyik másik csoportban. A segélynyújtás nélkül, illetve az időben végzett segélynyújtással ellett tehenek több időt töltöttek a borjak felnyalásával az ellés utáni két órában, és hamarabb is vették fel a kapcsolatot a borjaikkal, mint azok, amelyek túl korai segélynyújtásban részesültek.

Az ellési nyugtalanság előtti 96–2. óra között a vágusz tónus mutatója (high frequency parameter, HF) nem mutatott számottevő változásokat egyik csoportban sem (1. ábra), azonban mindegyik csoportban az alapszint alá csökkent már az ellési nyugtalanságot megelőző 1–2 órás időszakban. Az ellési nyugtalanság kezdetével a HF nőtt minden csoportban az ellésig; a korai segélynyújtás mellett ellő tehenek csoportjában azonban tovább csökkent és az alapszint alatt maradt az ellés után 48 óráig. Az ellés után szignifikáns csökkenés volt megfigyelhető a HF értékében, majd az ellés után 1,5 órával a HF hirtelen csökkent mindegyik csoportban, majd az ellést követő 8–10 órát követően nőtt, kivéve a korai beavatkozás mellett ellő tehenek csoportjában.

1. táblázat: Az ellés lefolyását, a borjú és az anyatehén egyes jellemzőit és az ellés egészségügyi következményeit leíró paraméterek

Az ellés jellemzői és egészségügyi következményei	Vizsgálati csoportok				Statisztika ¹	
	Segélynyújtás nélkül, elletőbokszbán	Segélynyújtás nélkül, csoportban	Segélynyújtással, elletőbokszbán	Korai segélynyújtással, elletőbokszbán	$F_{3,173}$	P -érték
Az ellési nyugtalanság kezdete és az amnionhólyag megjelenése között eltelt idő (perc)	41,4 ± 7,4	47,0 ± 8,2	46,3 ± 8,9	48,1 ± 9,6	12,67	0,450
Az amnionhólyag és a lábvégek megjelenése között eltelt idő (perc)	77,4 ± 6,2 ^a	52,6 ± 5,5 ^b	82,0 ± 7,4 ^a	78,3 ± 6,6 ^a	37,43	0,031
A lábvégek megjelenése és a megszületés között eltelt idő (perc)	58,3 ± 4,8 ^a	34,2 ± 4,0 ^b	50,8 ± 5,9 ^a	54,5 ± 5,4 ^a	28,92	0,014
Az ellés hossza (perc)	166,7 ± 12,4 ^a	132,3 ± 10,1 ^b	178,9 ± 14,7 ^a	180,4 ± 13,5 ^a	47,56	0,021
A borjú születési testtömege (kg)	36,6 ± 0,83	36,8 ± 0,85	40,7 ± 0,90	37,2 ± 0,72	4,02	0,875
Az anyatehén kondíciópontszáma	3,29 ± 0,07	3,32 ± 0,09	3,35 ± 0,10	3,28 ± 0,12	7,4	0,830
Holtellések aránya (%)	4,8 ^a	0,0 ^b	8,0 ^c	22,2 ^d	42,1	0,003
Az újszülött borjú életképessége						
Megszületéskor	1,85 ± 0,05 ^a	1,83 ± 0,06 ^a	1,58 ± 0,04 ^b	1,14 ± 0,18 ^c	31,6	0,009
24 órával az ellést követően	1,92 ± 0,04 ^a	1,90 ± 0,04 ^a	1,86 ± 0,03 ^a	1,32 ± 0,08 ^b	20,3	0,018
Magzatburok-visszatartás (%)	14,3 ^a	8,3 ^b	25,0 ^c	78,9 ^d	22,8	0,008
A szülőút sérülései (%)	9,5 ^a	0,0 ^b	18,8 ^c	80,0 ^d	34,0	0,003

¹A sorokban az eltérő felső indexszel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól az ANOVA alapján ($P < 0,05$).



1. ábra: A HF normálértékeinek változásai tejelő tehenekben az ellés körüli időszakban.

T1=az ellési nyugtalanság kezdete, T2=a szülészeti segélynyújtás megkezdése az érintett csoportokban, T3=a borjú megszületése, T4=a tehen elhelyezése az elletőistállóban. PREPART = ellés előtti időszak, PART = ellés, POSTPART = ellés utáni időszak.

Az egyik legfontosabb eredményünk, hogy az elléssel kapcsolatos stressz és a korai anyai viselkedés szempontjából az egyedi elletésnél előnyösebb a csoportos elletés. Az optimálisnál korábban megkezdett segélynyújtással ellett teheneknél extrém alacsony volt a vágusz tónus és fokozott szimpatikus aktivációt figyeltünk meg az ellés alatt.

A szimpatikus-paraszimpatikus egyensúly szimpatikus irányú jelentős eltolódását és csökkent vágusz tónust tapasztaltunk minden csoportnál az ellés utáni időszakban, amelyet a vágusz tónus növekedése követett, kivéve a korai segélynyújtással ellett tehenekben, amelyekben a szimpatikus tónus dominanciája volt jellemző az ellés utáni 20–24 órában. Az ezekben az állatokban tapasztalt lassabb vegetatív idegrendszeri kompenzáció alátámaszt egy korábbi megállapítást, amely szerint a nehézellésen átesett tehenek az ellést követő 24 órában komoly fájdalmat élnek át (Kolkman et al., 2010). Az elletőbokszbán megfelelően időzített segélynyújtással, illetve spontán ellett teheneknél megfigyelt, hasonló ellés utáni szimpatikus és paraszimpatikus aktivitás arra utal, hogy a megfelelő időben végzett szülészeti beavatkozás nem hat érdemben az állatok ellés utáni stressz-szintjére. A túl korán végzett szülészeti beavatkozással ellett teheneknél valószínűleg a fájdalom gátolta az anyai viselkedés kifejeződését az ellést követően, ugyanis esetükben hosszabb idő telt el a borjú felnyalásáig, és ezek a tehenek kevesebb időt töltöttek a borjak gondozásával.

2.3. A nehézellés hatása a kérődzési időre és a recés-bendő hőmérsékletére

A vizsgálat elsődleges célja az volt, hogy felmérjük a kérődzési idő és a recés-bendő hőmérséklet-változásának alkalmazhatóságát a nehézellés előrejelzésében, illetve meghatározzuk, hogy e paraméterek mennyiben különböznek a korai postpartum időszakban nehéz és normál ellésű teheneknél. Kilenc vemhes üsző és kilenc többször ellett tehen vett részt a vizsgálatban.

A kérődzéssel töltött időt folyamatosan rögzítettük az ellés előtti 3. naptól a laktáció 7. napjáig a Ruminact akusztikus biotelemetriás rendszer segítségével, míg a recés-bendő hőmérsékletének monitorozására Smaxtec bendőbólsz-rendszert használtunk.

Az ellés előtti 12–24 órás intervallumban mindkét csoportban csökkent a kérődzéssel töltött idő, majd az előtti 4–8. óra között a nehézellésen átesett tehenek már csak harmadannyi időt töltöttek kérődzéssel, mint a nem nehezen ellett társaik, feltehetően a nagyobb stressz miatt.

Az ellés utáni első 4 órában a normál ellésű tehenek közel kétszer annyi időt töltöttek kérődzéssel, mint a nehezen ellett tehenek. A normál ellésű teheneknél megfigyelt postpartum kérődzési idő megfelel az irodalmi adatoknak (Yang és Beauchemin, 2006; Calamari et al., 2014); a nehézellésnek azonban kifejezett hatása volt az ellés utáni kérődzési aktivitásra hosszú távon is. Az alapszintre való visszatéréshez szükséges idő alapján a normál ellésű teheneknél az ellés után két nap alatt helyreállt az élettani kérődzési aktivitás, míg a nehézellésen átesett teheneknél ehhez átlagosan 4 napra volt szükség.

Costa és munkatársai (2016) a recés-bendő hőmérséklet ellés előtt 24 órával bekövetkező, 0,2°C-os átlagos csökkenését találták a közalgó ellés legjobb előrejelzőjének. A recés-bendő hőmérsékletének hirtelen esését mi is megfigyeltük. A nehézellésen átesett teheneknél ez az ellés előtt átlagosan 32 órával következett be és 0,23°C volt, míg a nem nehéz ellésű teheneknél az ellés előtt 20 órával következett be, és 0,48°C-os volt. A két csoport között nem volt különbség a recés-bendő hőmérsékletének változásaiban. Eredményeink alapján a kérődzési idő monitorozása hasznos lehet az ellési nehézségek szempontjából veszélyeztetett tehenek azonosítására.

2.4. A sav-bázis egyensúly vizsgálata segélynyújtás nélkül született borjakon

Kutatásunk során az újszülöttkori sav-bázis és elektrolit státusz leírását tűztük ki célul spontán ellésből született borjaknál. Vizsgáltuk az acidózis respiratórikus és metabolikus összetevői mellett az életet veszélyeztető asphyxia kimutatására alkalmas paramétereket is. Igyekeztünk olyan szezonális, anyai és borjúval összefüggő változókat azonosítani, amelyeket eddig nem vizsgáltak, de hatásuk lehet az elsődleges sav-bázis zavarokat jelző vérparaméterekre.

Kétszázöt nyáron (n=101) és télen (n=104) született borjút vizsgáltunk. Megszületésekor 137 borjú volt jó életképességű (>7,5 vitalitás pontszám), 60 borjú volt kissé gyengébb (vitalitás pontszám=5,0–7,5) és 8 volt gyenge (<5,0 vitalitás pontszám). Korábbi megállapításokkal (Szenci, 2003) egybehangzóan az életképesség pontszám nőtt az idő előrehaladtával, és érdekes módon nagyobb volt a télen született borjaknál, mint a nyáriaknál, ami a környezet és a méh közötti nagyobb hőmérséklet-különbségre vezethető vissza, ami kedvező a légzésfunkciók szempontjából (Guyton és Hall, 2006). Az irodalmi adatoknak megfelelően (Vannucchi et al., 2015) a rektális hőmérséklet jelentősen változott az idő függvényében, ezek a változások azonban függetlenek voltak az évszaktól (2. táblázat).

2. táblázat: Az évszak (nyár; n=101 és tél; n=104) és a mintavétel idejének (0, 1 és 24 óra születés után) hatásai, ezek kölcsönhatásai és a kovariánsok hatása a rektális hőmérsékletre, vénás vérgáz és sav-bázis, valamint elektrolit állapotra

Vizsgált paraméterek ¹	Faktorok		Interakciók	Kovariánsok ($F_{1,204}$)		
	Évszak	Mintavétel ideje	Évszak × mintavétel ideje	Az ellés hossza	A borjú születési testtömege	A borjú felnyalásával töltött idő
Rektális hőmérséklet	0,32	<0,01	0,33	↑3,5*	$P=0,43$	↑7,2**
pH	0,76	<0,01	0,45	↓4,1*	↓3,1*	↑10,3***
pCO ₂ (mmHg)	0,03	0,03	0,62	↑3,6*	$P=0,52$	↓5,6**
pO ₂ (mmHg)	0,04	0,04	0,49	↓3,2*	$P=0,28$	↑3,1*
HCO ₃ ⁻ mmol/L)	0,03	0,03	0,36	↓6,9**	↓5,0*	↑8,4**
BE (mmol/L)	0,02	<0,01	0,01	↓9,2**	↓4,8*	↑6,2**
TCO ₂ (mmol/L)	<0,01	0,01	0,02	↑9,5**	↑4,6*	$P=0,56$
Hb (g/L)	<0,01	0,04	0,52	$P=0,95$	$P=0,76$	$P=0,89$
Anionrés (mmol/L)	0,02	0,03	0,10	↑3,4*	$P=0,35$	↓5,6**
L-laktát (mmol/L)	0,01	0,02	0,58	↑9,7***	↑6,1**	↓5,8**
K ⁺ (mmol/L)	0,58	0,06	0,43	$P=0,84$	$P=0,82$	$P=0,85$
Ca ²⁺ (mmol/L)	0,62	0,42	0,75	$P=0,92$	$P=0,76$	$P=0,95$
Na ⁺ (mmol/L)	0,60	0,35	0,82	$P=0,58$	$P=0,67$	$P=0,74$
Cl ⁻ (mmol/L)	0,38	0,50	0,90	$P=0,65$	$P=0,75$	$P=0,78$

A félkövérrel szedett értékek a tényezők szignifikáns hatását jelzik az évszakhoz, mintavétel idejéhez és a születéshez képest. ↑/↓: a változó nő/csökken a kovariánsok növekedésével. Statisztikai szignifikancia * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

¹pCO₂=a CO₂ parciális nyomása; pO₂=az oxigén parciális nyomása; HCO₃⁻=bikarbonát; BE=bázistöbblet; TCO₂=összes szén-dioxid; Hb=hemoglobin.

Születéskor normális volt minden borjú testhőmérséklete, és szignifikáns csökkenés volt tapasztalható az élet első órájában mind a nyári, mind a téli borjaknál. A télen született borjaknál némileg alacsonyabbak voltak az értékek, ami arra utal, hogy alacsony környezeti hőmérséklet esetén az újszülött borjak termoregulációs kapacitása rosszabb. A rektális hőmérséklet nyáron csökkent az első 24 órában, míg a télen született borjaknál némi növekedés volt tapasztalható a születés utáni 1. és 24. óra között, ami annak tudható be, hogy télen nagyobb hőtermelés szükséges a testhőmérséklet fenntartásához.

Az elektrolit paraméterek kivételével a vér pH, a vérgáz, a sav-bázis értékek, illetve az L-laktát- és a Hb-koncentráció változott az idő függvényében, és szignifikáns évszak \times mintavételi idő interakciókat találtunk a BE és a TCO₂ esetében (2. táblázat). A normál ellés során általában vegyes, respiratorikus-metabolikus acidózis alakul ki a fötöplacentáris egységben bekövetkező élettani ischemia miatt (Szenci, 2003). Korábbi vizsgálatokban normál ellésből (Szenci et al., 1988), nehézellésből (Bleul és Götz, 2013), császármetszéssel vagy *per vias naturales* született borjaknál (Herfen és Bostedt, 1999) a vér pH- és BE-értékei közvetlenül a megszületés után enyhé-közepes mértékű metabolikus acidózissá utaltak, amely vizsgálatunkban az ellést követő egy órán belül normalizálódott. Érdekes módon mindkét évszakban született borjakban az ellést követően negatív (de még fiziológiás) BE-érték (BE=-2,3 \pm 0,2 mmol/L nyáron; BE=-2,0 \pm 0,1 mmol/L télen) ellenére az anionrés-értékek az élettani határértékeken belül voltak a születéskor (anionrés=8,9 \pm 0,6 mmol/L nyáron; anionrés=7,5 \pm 0,5 mmol/L télen). Ez az ún. normál anionrés melletti metabolikus acidózissá (vagy hyperchloraemiás acidózis) utal, amelyre a HCO₃⁻ -ion vesztés mellett a magas Cl⁻ koncentráció jellemző (Constable, 2014), és megfigyelhető volt vizsgálatunkban mind a nyáron (105,3 \pm 3,6 mmol/L), mind a télen (106,1 \pm 3,5 mmol/L) született borjaknál. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a vizsgálati elrendezés miatt (csak a normál ellésből született borjakat vizsgáltuk) a vérgáz és a sav-bázis értékekben nem volt súlyos eltérés sem a nyári, sem a téli borjaknál, és a BE-értékek nem haladták meg a Held és munkatársai (1985) által megállapított, -6,0 mmol/L-es, kritikus küszöbértéket.

Vizsgálatunk egyik fő eredménye, hogy szignifikáns különbséget találtunk a télen és a nyáron született borjak L-laktát koncentrációjában, illetve vérgáz és sav-bázis paramétereiben. Ez alapján a megszületés és a mintavétel között eltelt idő mellett az évszakot is figyelembe kell venni újszülött borjak vérgáz paramétereinek értékelésénél. Ugyanakkor, ahogyan az a 2. táblázatban látható, az évszaknak nem volt hatása a vér pH-értékére. A nyári borjakhoz képest a téli borjaknál magasabb volt a HCO₃⁻ koncentráció, illetve a BE és az L-laktát értéke, a BE majdnem kétszerese a nyári értéknek a 24. órában és a HCO₃⁻, BE vagy L-laktát értékek nagyobb mértékű metabolikus acidózissá utalnak a nyári időszakban. Bár a pCO₂- és a pO₂-értékek jobb légzésfunkcióra utalnak a téli borjakban a nyáriakhoz képest, jelentős szezonális hatással, az összes metabolikus és respiratorikus paraméter elérte az élettani tartományt 24 órával a megszületést követően nyáron is, így nem feltételezhetünk komoly vérgáz- vagy sav-bázis egyensúly zavart a nyáron született borjakban. Mivel nem tudtunk évszak \times születéskori testtömeg, vagy évszak \times ellés hossza interakciókat kimutatni, úgy tűnik, hogy ezek a változók nincsenek hatással a vérgáz-, sav-bázis vagy L-laktát értékekben tapasztalható szezonális különbségekre.

A sav-bázis egyensúly összefüggésben állt a borjak születési testtömegével. Eredményeink alapján a születéskor nagyobb testtömegű borjak hajlamosabbak az acidózissá.

2.5. Nehézéllésből született borjak nyálkortizol koncentrációja

E vizsgálatban arra kerestük a választ, hogy a nehézéllés és egyes elléssel összefüggő tényezők miként befolyásolják a nyálkortizol-szintjét. Feltételeztük, hogy a nyálkortizol megfelelő indikátora a stressznek és a fájdalomnak, amelyet a nehézéllés okoz az újszülött borjakban.

A spontán és nehézéllésből született borjakban a megszületést követően közvetlenül és a 48. órában mért kortizolszintek különbsége arra utalt, hogy a borjak már a megszületés előtt is stresszt élnek meg, a szülészeti körülményektől függetlenül. A nehézéllésből született borjak nyálában azonban magasabb volt a kortizol koncentrációja, ami nagyobb stressz-szintjűkre utal.

Egy korábbi vizsgálatban kisebb maximális nyálkortizol-koncentrációkat találtak (14,8 ng/mL) újszülött borjakban ellésindukciót követően (Nagel et al., 2016), míg mások 6 ng/mL-es koncentrációt mértek segélynyújtással született borjaknál (Barrier et al., 2013), azonban a szerzők az ellést követő 24 órában csak egy mintát vettek, így nem határoztak meg csúcskoncentrációt. Vizsgálatunkban a kortizolszint a megszületés után sorrendben 45 és 60 perccel érte el a csúcsát a spontán és a nehézéllésből született borjakban. Bár Hoyer és munkatársai (1990) szerint a stressz az újszülöttekben nagyon gyorsan, néhány óra alatt megszűnik, eredményeink arra utalnak, hogy az újszülött borjúnak 24 órára van szüksége a méhen kívüli élethez való alkalmazkodáshoz.

A születési testtömeg és az ellés hossza nem befolyásolta az újszülöttek nyálában a kortizol koncentrációját. Annak ellenére, hogy a felnyalás hossza nem befolyásolta szignifikánsan a nyálkortizol-szintjét a jelen vizsgálatban, feltételezhető, hogy pozitív stresszorként növelhette a kortizolszintet a megszületés utáni 15. és 60. perc között, függetlenül az ellés lefolyásától.

2.6. Egyszeri NSAID-kezelés hatása újszülött borjak fekvési viselkedésre

Kutatásunk tervezésekor azt feltételeztük, hogy a fekvési viselkedéssel összefüggő egyes paraméterek jól mutathatják a méhen kívüli élethez való alkalmazkodás sikerét és hasznosak lehetnek az ellés körüli időszakban egyre gyakrabban alkalmazott egyszeri NSAID-kezelés (meloxikám) hatékonyságának tesztelésére újszülött borjaknál. Kétszáz, február és május (n=100), illetve szeptember és december között (n=100) született holstein-fríz borjút vontunk vizsgálatba.

A feltételezésünknek megfelelően egyetlen adag NSAID-kezelés javította az újszülött borjak állási képességére vonatkozó paramétereinek többségét; kiderült továbbá, hogy a gyenge életképességű borjaknál nagyobb javulást okozott a kezelés, mint a megfelelő vitalitásúaknál. Gladden és munkatársai (2019) nem találtak különbséget a kontroll és a ketoprofennel kezelt borjak aktív viselkedése (pl. állás, járkálás, játék) között a születés utáni 48 órában, azonban a szerzők a borjak életképességét nem, csak a szülészeti segélynyújtást vették figyelembe. Pearson és munkatársai (2019) szerint a meloxikám-kezelésnek nincs hatása a fájdalom és a gyulladás élettani markereire, míg mások kimutatták a NSAID-kezelés pozitív hatását újszülött borjakban a testtömeg-gyarapodásra és a takarmányfelvételre (Murray et al., 2016; Todd et al., 2010).

Bár a hosszú távú paramétereket (állással töltött idő, a leghosszabb állással töltött időszak és az állással töltött időszakok átlagos hossza) nem befolyásolta az ellés lefolyása, az első felállásig ($114,2 \pm 59,6$ vs. $208,2 \pm 82,1$ perc) és az első felállással való próbálkozásig eltelt időt ($35,8 \pm 27,6$ vs. $52,5 \pm 34,7$ perc) azonban igen, ugyanis a normál ellést követően kisebb értékeket kaptunk a nehézéllésből született borjakhoz képest.

Egy korábbi vizsgálat szerint a születéstől 21 perc telt el első felállási kísérletig, és 51 perc az első sikeres felállásig (Jensen, 2012). Azonban a mi vizsgálatunkban hosszabb időt figyeltünk meg a felállásig (átlagosan 143 perc), ami inkább Campler és munkatársai (2015) megfigyeléseihez áll közelebb, akik 88 és 152 percet írtak le az első sikeres felállásig. Azt gondoljuk, hogy a sikeres felállásig eltelt időt befolyásolja a borjú felnyalásával töltött idő (Lidfors, 1996); azonban saját vizsgálatunkban nem találtunk összefüggést a felnyalás időtartama és a borjú első 48 órában megfigyelt állási képessége között, ami azzal magyarázható, hogy a borjakat korán elvették az anyjuktól, így azok csak a születés után egy óráig tudták gondozni borjaikat.

Vizsgálatunk összegzéseként elmondható, hogy az egyszeri, megszületést követően adott meloxikám-kezelés szignifikánsan növelte az állásra való képességet alacsony életképességű borjaknál, míg normál vitalitás esetén ez a hatás nem volt megfigyelhető. Az első felállásig és az első felállással való próbálkozásig eltelt időt növelte a nehézellés.

3. A hőstressz-vizsgálatok főbb eredményei

3.1. Tejelő tehenek vizsgálata

Tejelő tehenek fekvési viselkedésében és nem invazív módon mérhető élettani mutatóiban (HRV, nyálkortizol) bekövetkező változásokat igyekeztünk leírni egy kifejezetten hőstresszes időszak alatt. A kutatáshoz a kis- és nagytermelésű csoportokból választottunk 10–10 állatot, amelyek napi tejtermelése 15 kg-nál kisebb, illetve 45 kg-nál több volt a vizsgálat kezdetén.

Noha a fekvéssel töltött idő szignifikánsan csökkent a hőmérséklet-páratartalom index (HPI) növekedésével mindkét csoportban, nem volt változás a testhelyzet-változtatások átlagos számában a HPI változásaival összefüggésben és a kis-, illetve nagy termelésű csoportok között sem találtunk különbséget. A nagy tejtermelésű (45 kg<) csoportban a HPI minden egységnyi növekedésével kb. 5,5 perccel csökkent a fekvési idő, a kis tejtermelésű (<15 kg) csoportban ez kb. 11 perc csökkenés volt. A HPI fekvéssel töltött időre gyakorolt hatása nem különbözött a két csoport között. Fontos megjegyezni, hogy eredményeink a kísérletben mért HPI tartományban érvényesek, azaz HPI 72 és 86 között. Bár vizsgálatunkat igyekeztünk a meteorológiai előrejelzések alapján úgy megtervezni, hogy az adatfelvétel egy 2–3 napos „kontroll”, azaz hősemleges időszakkal kezdődhessen, ez csak részben valósult meg, ugyanis nem sikerült kifejezetten hőkomfortos (HPI<68) időszakban adatot gyűjtenünk – ez lehet a vizsgálatunk egyik limitációja.

A 45 kg-nál nagyobb napi tejtermelésű tehenek csoportjában a vizsgálat során magasabb szívritmus-, és kisebb vágusz tónus volt jellemző a 15 kg-ot el nem érő napi tejtermelésű tehenek csoportjával összehasonlítva. A hőterhelés mértékének növekedésével párhuzamosan a vágusz tónus csökkenése volt megfigyelhető termeléstől függetlenül, amely növekvő stresszre utal. A nyál kortizolkoncentrációinak napszaki átlagaiban szignifikáns különbség adódott a reggeli és a délutáni időszakban vett mintákat, illetve a két csoportot összehasonlítva egyaránt.

Tudományos szempontból új eredménynek számít a hőterhelés növekedéssel párhuzamos paraszimpatikus aktivitáscsökkenés, illetve a nyál kortizolszintjeiben való napszakok és termelési csoportok közötti különbségek. A nagy tejtermelésű tehenek nyálmintáinak kortizolszintje mindkét napszakban nagyjából kétszerese volt a kis tejtermelésű tehenek kortizolkoncentrációinak.

3.2. Itatásos borjak vizsgálata

Vizsgálatunk további célja volt ezért, hogy meghatározzuk a hőstressz hatását a vegetatív idegrendszeri aktivitással összefüggő HRV-mutatókra, a nyál kortizolkoncentrációira, és a komplex fekvési viselkedés mutatóira árnyékolt és nem árnyékolt környezetben tartott bikaborjakban. A vizsgálat egyik hipotézise az volt, hogy a borjak és az ember hasonló testtömeg/testfelszín aránya miatt, a humán komfortmutatók (humidex, hőindex) szorosabb összefüggést mutathatnak az élettani hőstressz-mutatókkal, mint a HPI, amely megfelelő az istállókörnyezetben tartott és a borjakénál nagyobb testsúly/testfelszín aránnyal rendelkező tejelő szarvasmarhák esetében. Hasonló életkorú és testtömegű állatokat (átlag \pm szórás; életkor= $46,7 \pm 2,4$ nap, testtömeg= $74,3 \pm 2,6$ kg) választottunk ki egy héttel a választás előtt ugyanabból a sorból, majd osztottuk árnyékolt (n=8) és napos (n=8) csoportokba.

Az első vizsgálati napon (kontroll, $28,3^{\circ}\text{C}$ -os maximum érték) minden borjú kapott árnyékolást (talajtól 1,9 m-re elhelyezett zöld árnyékolóháló) 0:00 órától 24:00 óráig és a napos csoport ketrecei fölül 24:00 órakor távolítottuk el az árnyékolást. Ezt követően, nyolc borjúketrec közvetlen napsütésnek volt kitéve (2. ábra). A 2. nap volt a leginkább 'hőstresszes' nap ($37,7^{\circ}\text{C}$ maximum az árnyékolt környezetben), a 3–5. nap a hőstressz utáni időszak (3. nap: $30,3^{\circ}\text{C}$ maximum, 4. nap: $26,5^{\circ}\text{C}$ -os maximum, 5. nap: $24,3^{\circ}\text{C}$ maximum az árnyékolt környezetben).



2. ábra: Az árnyékolt, illetve a napsütésnek kitétt borjak az árnyékoló eltávolítását követően.

Fotó: Kézér Fruzsina Luca

A következő meteorológiai mutatókat számítottuk ki a vizsgálat során:

$$\text{HPI-1} = (0,15 \times T_{\text{db}} + 0,85 \times T_{\text{wb}}) \times 1,8 + 32 \text{ (Bianca, 1962),}$$

$$\text{HPI-2} = (0,35 \times T_{\text{db}} + 0,65 \times T_{\text{wb}}) \times 1,8 + 32 \text{ (Bianca, 1962),}$$

$$\text{HPI-3} = (0,55 \times T_{\text{db}} + 0,2 \times T_{\text{dp}}) \times 1,8 + 49,5 \text{ (NRC, 1971),}$$

$$\text{HPI-4} = 0,8 \times T_{\text{db}} + (\text{RH}/100) \times (T_{\text{db}} - 14,4) + 46.4 \text{ (Mader et al., 2006),}$$

$$\text{HPI-5} = (T_{\text{db}} + T_{\text{wb}}) \times 0,72 + 47 \text{ (Thom, 1959),}$$

ahol T_{db} =száraz glóbuszhőmérséklet, T_{wb} =nedves glóbuszhőmérséklet, T_{dp} =harmatponti hőmérséklet és RH=relatív páratartalom.

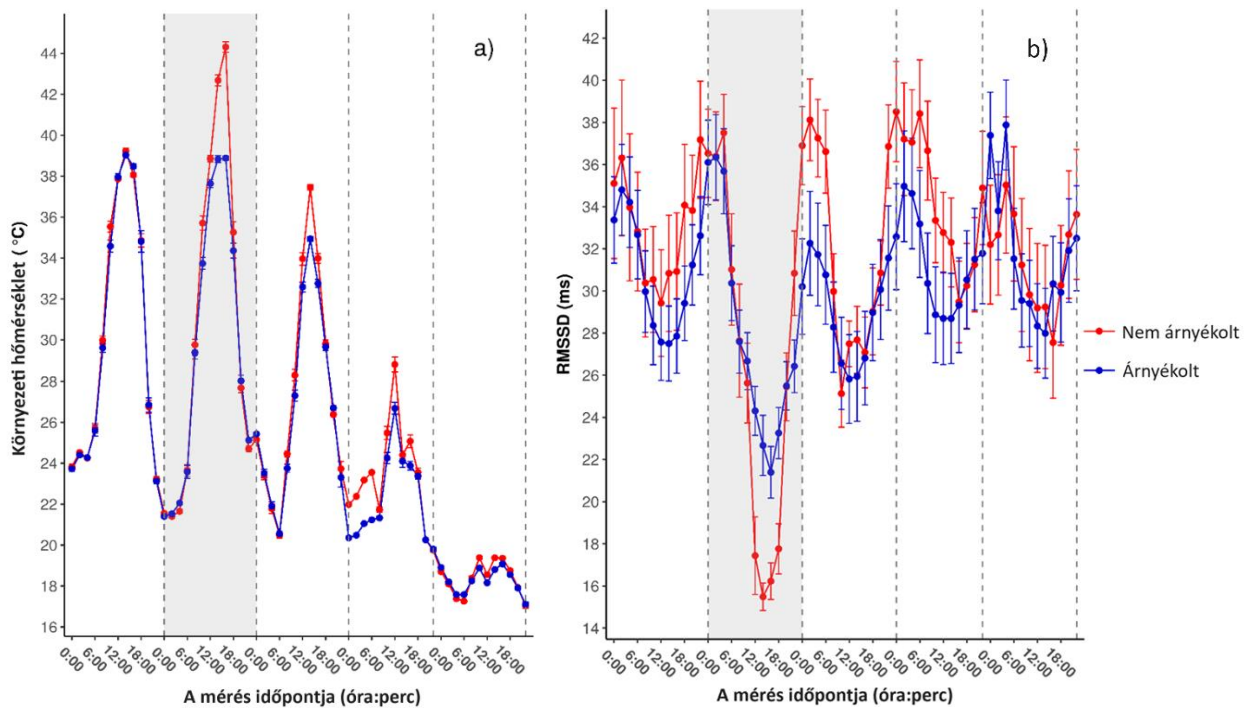
A humán vizsgálatokban a kültéri hőexpozíció mérésére használt humidex kiszámításához a levegőhőmérsékletet és a harmatponti hőmérsékletet használtuk (Gosling et al., 2014):

$$\text{Humidex} = T + 5/9 \times (e - 10),$$

ahol: T =levegőhőmérséklet Celsius-fokban és $e = 6,112^{5417.7530 \times ((1/273.16) - (1/T_{\text{dp}}))}$

A humán élettani vizsgálatokban és öltözködéstudományban alkalmazott hőindex (melyet „látszólagos hőmérsékletnek” is neveznek) kiszámítása az NWS (National Weather Service, 2017) algoritmusával történt.

A légzésszám, a rektális hőmérséklet és a szívritmus hasonló mintázatot mutatott a vizsgálat teljes tartama során, napközbeni növekedéssel és éjszakai csökkenéssel, míg a paraszimpatikus tónust jelző RMSSD mutató a környezeti hőmérséklet változásaival ellentétes mintázatban nappal csökkent és éjszaka nőtt (3. ábra).



3. ábra: A környezeti hőmérséklet (a) és a paraszimpatikus tónust jelző RMSSD paraméter (b) változásai árnyékolt és napsugárzásnak kitett környezetben erős hőstressz során és azt követően.

A vizsgálat második napján 12:00, 14:00 és 16:00 órákor kisebb RMSSD-értékek voltak megfigyelhetők a napos környezetben tartott borjakban az árnyékoltakhoz képest. A hőstressz napján bekövetkezett drasztikus, és a 3. napon észlelhető mérsékelt nappali csökkenést az RMSSD-értékek éjszakai túlkompenzációja követte 00:00 és 06:00 óra között az árnyékolás nélküli borjakban (3. ábra), a csoportok közötti különbségek azonban már nem voltak szignifikánsak. A csökkent éjszakai szívritmus-értékek melletti növekvő éjszakai RMSSD fokozott vágusz-aktivitást tükröz a 2. és a 3. nap, valamint a 3. és a 4. nap 22:00 és 06:00 óra között, ami az autonóm idegrendszer hőstresszből való lassú helyreállítását jelzi.

A légzésszám 12:00 órákor érte el a maximumát mindkét csoportban, a minimum értékek pedig 00:00 és reggel 08:00 óra között adódtak. A délután folyamán magasabb légzésszámot figyeltünk meg a napos környezetben tartott, mint az árnyékolt borjakban, ami a hőstressz napján 08:00, 12:00 és 16:00 órákor, a 3. napon 12:00 és 16:00 órákor, a 4. napon pedig 12:00 órákor szignifikáns mértékű volt. A nem árnyékolt borjak légzésszáma a hőstressz napján 12:00 órákor $42,3 \pm 3,2$ légvétel/perc értékkel több volt, mint az árnyékolt borjaké, mely különbség 16:00 órára $20,1 \pm 2,4$ légvétel/perc értékre mérséklődött.

A rektális hőmérséklet maximuma 12:00, illetve 16:00 órákor $0,48^{\circ}\text{C}$ -kal, illetve $0,88^{\circ}\text{C}$ -kal haladta meg az árnyékolt, illetve az árnyékolással el nem látott borjak esetében a hőstressz napon az egyhónapos tejelő típusú borjak felső kritikus maghőmérsékletét, ami $39,2^{\circ}\text{C}$ (Piccione et al., 2003). A minimumértékek 08:00 órákor voltak mérhetőek mindkét csoport esetében, ezekkel párhuzamosan csökkent a hőterhelés a kora reggeli órákban. A rektális hőmérsékletben talált egyetlen csoportok közötti különbség ($0,59^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb volt az árnyékolásban nem részesített, mint az árnyékolt borjak esetében, $P=0,045$) a hőstressz napján 12:00 órákor volt megfigyelhető, amikor a HPI meghaladta a 94-et. Eredményeinkkel összhangban a korábbi vizsgálatok sem találtak számottevő különbségeket (Spain és Spiers, 1996; Coleman et al., 1996) az árnyékolt és nem árnyékolt borjak reggeli vagy délutáni órákban mért rektális hőmérsékletében.

A nyál kortizolszintjei hasonlóan alakultak az árnyékolt és a nem árnyékolt környezetben és nagyobb stresszterhelést jeleztek a nem árnyékolt környezetben tartott borjakban. A 2. napon a nyál kortizolszintjei mindkét csoportban kiegyensúlyozottak voltak 8:00 óráig, ezt követően a 12:00 órai mintavételig hirtelen nőttek, ennek mértéke az árnyékolt borjaknál 51%-os, a nem árnyékolt borjaknál 342%-os volt, majd a kortizolszintek mindkét csoportban 16:00 órákor érték el a csúcskoncentrációkat (az árnyékolt borjakban 200%-kal, a nem árnyékolt borjakban 500%-kal nagyobbak voltak, mint az 1. napon 16:00 órákor mért koncentrációk). Eredményeink azt mutatják, hogy a legmagasabb kortizolszintek a legnagyobb hőterhelés (12:00 és 16:00 óra között) után 2–4 órán belül alakulnak ki, de a jelen vizsgálatban a mintavétel viszonylag alacsony gyakorisága nem tette lehetővé a csúcshozértékek pontos meghatározását.

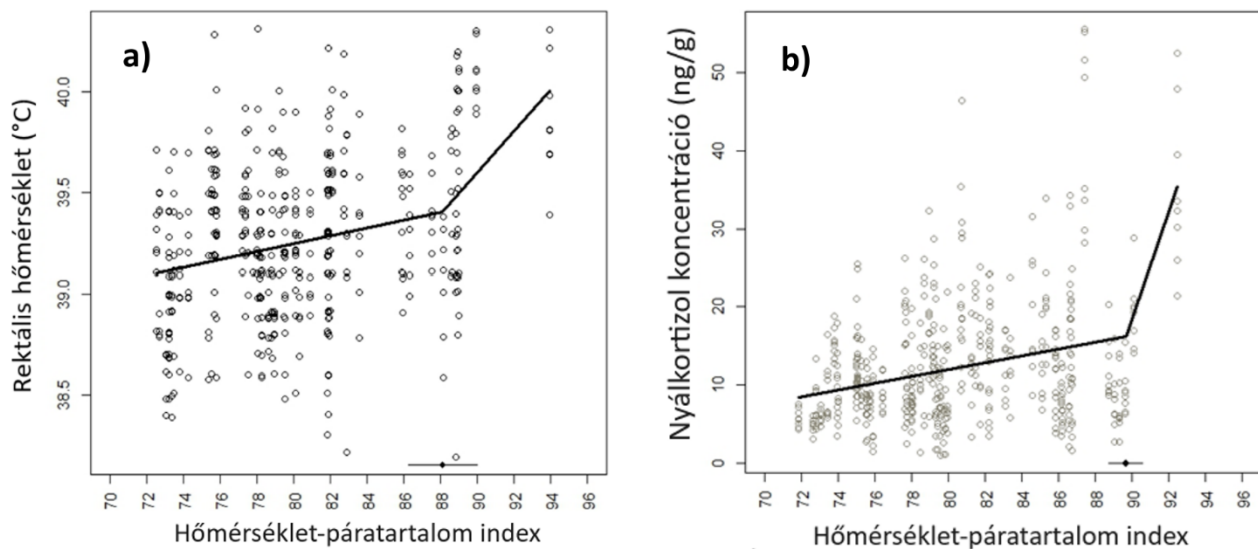
A fekvéssel töltött időt és a lefekvés gyakoriságát vizsgálva napszaki mintázatot találtunk mindkét csoportban. A fekvéssel töltött idő délután és este nőtt, maximumát 0:00 és 4:00 között éjjel érte el. A 2. és a 3. napon a fekvéssel töltött idő csökkent 4:00 és 8:00 óra között. A lefekvések gyakorisága hasonló mintázatot mutatott mindkét csoportban az 1. napon (kontroll), nappal 32%-kal magasabb értékkel, mint éjszaka. A 2., 3. és 4. napon 8:00 és 20:00 óra között a lefekvés gyakoriság sorrendben 50%, 33%, és 41%-kal volt magasabb, mint éjjel. A hőstressz okozta

diszkomfort mellett valószínűleg a hőmérséklet napszaki változása és a délutáni etetésre való várakozás is befolyásolta a megfigyelt aktivitási mintázatokat.

A legmelegebb napon (2. nap) a nem árnyékolt borjak 88,4%, illetve 76,6%-kal gyakrabban változtattak testhelyzetet 8:00–12:00 és 12:00–16:00 között, mint az árnyékoltak, míg a 3. napon a 8:00–12:00 órás (71,2%), illetve a 4. napon a 12:00–16:00 órás (76,6%) időintervallumokban hasonló különbségeket találtunk.

A hőstresszre adott viselkedési és élettani reakciókkal foglalkozó korábbi tanulmányok körülbelül 10%-a az álló helyzetet alkalmazta a hőstressz indikátoraként kifejlett szarvasmarhákban (Galán et al., 2018), míg egy újabb tanulmány a fekvéssel töltött időt tartotta hasznos indikátornak a hőstressz-állapot viselkedési mutatójának tejelő tehénekben (Ninomiya et al., 2023). A jelen vizsgálatban a kiegészítő árnyékolás csökkentette a lefekvés gyakoriságát azokon a napokon, amikor a HPI maximuma 78 fölött volt, azonban mi nem tapasztaltunk különbséget az árnyékolt és a napos környezetben tartott borjak fekvéssel töltött ideje között.

A felső kritikus HPI-érték meghaladta a 88-at a rektális hőmérséklet és a nyálkortizol-koncentráció esetében is (4. ábra). Érdekes módon eddig még nem határozták meg borjaknál azt a kritikus HPI-értéket, amely fölött jelentkeznek a hőstressz tünetei. Vizsgálatunkban a rektális hőmérséklet legfeljebb 0,88°C-kal haladta meg a testhőmérséklet normális értékét 1 hónapos borjakban [39,2°C (Piccione et al., 2003)] a legmagasabb, 94-es HPI-érték mellett. Valószínű, hogy a rektális hőmérséklet ennél extrémebb emelkedését csak akkor lehetne látni, amikor a HPI-értékek tartósabban marad a szélsőséges tartományban.



4. ábra: A rektális hőmérséklet (a) és a nyálkortizol koncentrációk (b) illesztett profilja a lineáris regressziós modellekből holstein-fríz bikaborjakban.

Az élettani mutatók értékei erős pozitív korrelációt mutattak a meteorológiai paraméterekkel. A hőindex és a humidex szorosabb összefüggést mutatott az élettani mutatókkal, mint a környezeti hőmérséklet vagy a HPI-értékek (3. táblázat).

3. táblázat: A meteorológiai és az élettani változókhoz illesztett általános lineáris modellekkel kapott feltételes R²-értékek holstein-fríz borjakban

Élettani változók	Meteorológiai mutatók							
	Hőmérséklet	HPI-1	HPI-2	HPI-3	HPI-4	HPI-5	Humidex	Hőindex
Légzési frekvencia (1/perc)	0,78	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,85	0,87
Rektális hőmérséklet (°C)	0,52	0,51	0,51	0,53	0,55	0,57	0,60	0,63
Fülhőmérséklet (°C)	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66	0,68	0,70
Szívritmus (1/perc)	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,78

A borjakon végzett korábbi vizsgálatok csak a rektális hőmérsékletet, a légzésszámot (Lima et al., 2013; Peña et al., 2016) vagy ezek mellett még a fülhőmérsékleteket mérték (Spain és Spiers, 1996) és a HPI-t használták környezeti változóként. Vizsgálatunk kontinentális régióban történt, ahol napközben jellemzően alacsony volt a relatív páratartalom, míg a korábbi vizsgálatok trópusi (Lima et al., 2013) vagy nedves szubtrópusi (Peña et al., 2016) környezetben zajlottak. Emiatt megfigyeléseink közvetlenül nem hasonlíthatók össze e korábbi vizsgálatok eredményeivel.

A feltevésünk az volt, hogy mivel a borjak testsúly/testfelszín-terület aránya hasonló az emberéhez, a humán hőkomfort vizsgálatokban használt indexekkel jobban jellemezhető a tejelő típusú borjakat érő hőstressz, mint a felnőtt szarvasmarhák esetében jellemzően használt HPI értékekkel. Igazoltuk e feltevés helyességét, amely alapján tejelő típusú borjak jóllétével kapcsolatos további vizsgálatokban, kontinentális klimatikus viszonyok mellett a humidex és a hőindex használatát is javasoljuk. A humán hőkomfort értékmérőinek a borjak jóllétének meghatározására való alkalmazhatóságát tovább kell vizsgálni a hőstressz megelőzését célzó tökéletesebb menedzsmentmódszerek kidolgozása érdekében.

4. Új tudományos eredmények

1. Segélynyújtás nélküli ellés esetén jellegzetes változások következnek be a vegetatív idegrendszeri működést leíró szívritmus-változékonyság mutatókban az ellés előtti és utáni időszakban egyaránt. A paraszimpatikus aktivitás csökkenése már az ellés előtti nyugtalanság viselkedési tüneteinek megjelenése előtti 12–24 óra között, illetve azt megelőzően egy órával tapasztalható. A kitolási szakaszban jelentős vágusz-aktivitás növekedés figyelhető meg.
2. Az elhúzódó nem nehéz ellés növeli a paraszimpatikus vegetatív idegrendszeri aktivitást az ellés során, és csökkenti a szimpatikus aktivitást, de nem befolyásolja a szívritmust. A vágusz-aktivitás csökken, míg a szimpató-paraszimpatikus egyensúly értéke a szimpatikus aktivitás irányába tolódik el az újszülött borjak nagyobb testtömegével.
3. A csoportos elletés előnyösebb az elletőbokszos elletésnél az anyaállatot érő stressz és a korai anyai viselkedés szempontjából az egyedi bokszban való elletéssel összehasonlítva. A csoportos ellés kedvező hatással van az anyaállat ellés utáni egészségére és a borjak túlélésére is.
4. A megfelelően időzített ellési segélynyújtás nem növeli számottevően tejelő tehenek stressz-szintjét az ellés körüli időszakban, sőt, az anyaállat egészségi állapotát és az újszülött borjak életképességét sem befolyásolja. A szükségesnél korábban megkezdett szülészeti segélynyújtás növeli az anyaállat ellés alatti stressz-szintjét és a vegetatív idegrendszer egyensúlyának helyreállításához szükséges időt, továbbá negatívan hat az anyai viselkedés kifejeződésére.
5. A nehezen ellett tehenekben a kérődzéssel töltött idő nagyobb mértékben csökken az ellést megelőzően, mint a nem nehézellésen átesett tehenekben. Az ellést követően a kérődzéssel töltött idő szignifikánsan később tér vissza az élettani értékre a nehezen ellett tehenekben a nem nehezen ellett tehenekkel összehasonlítva.
6. Az évszak, az ellés hossza és a felnyalás hossza jelentős mértékben befolyásolja a vénás vérgáz-és sav-bázis paramétereket újszülött borjakban az élet első 24 órájában.
7. A nehézellésből született borjak nyál kortizolszintjére magasabb, mint a nem nehézellésből született borjaké. Az első felállásig és az első felállással való próbálkozásig több idő telik el nehézellésből született borjakban, mint nem nehézellésből születettekben.
8. Az egyszeri, megszületést követő meloxikám-kezelés növeli az állással töltött idő, a leghosszabb állással töltött időszak és az átlagos állással töltött idő hosszát az élet első 48 órájában gyenge életképességű borjaknál. Az egyszeri meloxikám-kezelésnek ilyen hatása nem figyelhető meg normál életképességű borjakban.
9. Tejelő tehenekben – függetlenül a napi tejtermelés volumenétől – a hőmérséklet-páratartalom index növekedésével párhuzamosan csökken a vágusz tónus.
10. A szívritmus és az RMSSD a rektális hőmérsékletnél korábban jelzik a hőstressz fellépését választás előtti borjakban. Erős, akut hőstressz során a szívritmus nő, a vágusz-aktivitás csökken választás előtti borjakban.

11. A vizsgált élettani paraméterek alapján itatásos borjakban a felső kritikus hőmérséklet-páratartalom index-érték 78 és 88 közé tehető, ami mintegy 10 egységgel meghaladja a tejelő szarvasmarhákban megállapított felső kritikus hőmérséklet-páratartalom index-értékeket.
12. A humán hőkomfort mérésére alkalmazott hőindex és humidex szorosabb összefüggéseket mutatnak választás előtti borjak élettani paramétereivel, mint a környezeti hőmérséklet vagy a hőmérséklet-páratartalom indexek.
13. A fekvéssel töltött idő és a lefekvési gyakoriság napszaki mintázatot mutat egyedi ketrecekben tartott borjaknál. A hőstressz nem befolyásolja itatásos borjak állással töltött idejét, azonban növeli a közvetlen napsugárzásnak kitett környezetben tartott borjak testhelyzet-változtatási gyakoriságát.
14. Közvetlen napsugárzásnak kitett környezetben tartott borjak nyálkortizol-szintje meghaladja az árnyékolt környezetben tartott borjak nyálkortizol-szintjét.

5. Irodalomjegyzék

- Barrier AC, Haskell MJ, Birch S, Bagnall A, Bell DJ, Dickinson J, Macrae AI, Dwyer CM. 2013. The impact of dystocia on dairy calf health, welfare, performance and survival. *Veterinary Journal*, 195:86–90.
- Bianca, W., 1962. Relative importance of dry and wet bulb temperature in causing heat stress in cattle. *Nature*, 195:252–252.
- Bleul U, Götz E. 2013. The effect of lactic acidosis on the generation and compensation of mixed respiratory-metabolic acidosis in neonatal calves. *Veterinary Record*, 172:528.
- Calamari L, Soriani N, Panella G, Petrerá F, Minuti A, Trevisi E. 2014. Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science*, 97:3635–3647.
- Campler MRB, Munksgaard L, Jensen MB. 2015. The effect of housing on calving behavior and calf vitality in Holstein and Jersey dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98:1797–1804.
- Coleman DA, Moss BR, McCaskey TA. 1996. Supplemental shade for dairy calves reared in commercial calf hutches in a southern climate. *Journal of Dairy Science*, 79:2038–2043.
- Constable PD. 2014. Acid-base assessment: when and how to apply the Henderson-Hasselbalch equation and strong ion difference theory. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 30:295–316.
- Costa Jr. JBG, J. Ahola JK, Weller ZD, Peel RK, Whittier JC, Barcellos JOJ. 2016. Reticulo-rumen temperature as a predictor of calving time in primiparous and multiparous Holstein females. *Journal of Dairy Science*, 99:1–12.
- Galán E, Llonch P, Villagrà A, Levit H, Pinto S, del Prado A. 2018. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PLoS ONE* 13(11): e0206520.
- Gladden N, Ellis K, Martin J, Viora L, McKeegan D. 2019. A single dose of ketoprofen in the immediate postpartum period has the potential to improve dairy calf welfare in the first 48 h of life. *Applied Animal Behaviour Science*, 212:19–29.
- Gosling SN, Bryce EK, Dixon PG, Gabriel KM, Gosling EY, Hanes JM, Hondula DM, Liang L, Mac Lean PA, Muthers PS, Nascimento ST, Petralli M, Vanos JK, Wanka ER. 2014. A glossary for biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, 58:277–308.
- Guyton AC, Hall JE. 2006. Regulation of respiration. Pages 516–523 in *Medical physiology*. A. C. Guyton, and J. E. Hall, eds. Elsevier Saunders, Philadelphia.
- Held T, Eigenmann UJE, Grunert E. 1985. Blutgasanalytische Untersuchungsbefunde bei bovinen Feten im Aufweitungsstadium der Geburt. *Mh Veterinary Medicine*, 40:405–409.
- Herfen K, Bostedt H. 1999. Correlation between clinical and laboratory diagnostic evaluation of the vitality of newborn calves under particular consideration of length and type of parturition. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 86:255–261.
- Hoyer C, Grunert E, Jochle W. 1990. Plasma glucocorticoid concentrations in calves as an indicator of stress during parturition. *American Journal of Veterinary Research*, 51:1882–1884.
- Jensen MB. 2012. Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 139:195–202.
- Kolkman I, Aerts S, Vervaecke H, Vicca J, Van de Look J, De Kruif A, Opsomer G, Lips G. 2010. Assessment of differences in some indicators of pain in double muscled Belgian Blue cows following naturally calving vs caesarean section, *Reproduction in Domestic Animals*, 45:160–167.
- Kovács L, Jurkovich V, Bakony M, Póti P, Szenci O, Tózsér J. 2014. Welfare assessment in dairy cattle by heart rate and heart rate variability – Literature review and implications for future research. *Animal*, 8:316–330.
- Lidfors LM. 1996. Behavioural effects of separating the dairy calf immediately or 4 days post-partum. *Applied Animal Behaviour Science*, 49:269–283.
- Lima PO, Souza Jr JBF, Lima RN, Oliveira FCS, Domingos HGT, Miranda MVFG. 2013. Effect of time of day and type of shading on the physiological responses of crossbred calves in tropical environment. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 1:7–12.

- Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T., 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84:712–719.
- Murray CF, Duffield TF, Haley DB, Pearl DL, Veira DM, Deelen SM, Leslie KE. 2016. The effect of meloxicam NSAID therapy on the change in vigor, suckling reflex, blood gas measures, milk intake and other variables in newborn dairy calves. *Journal of Veterinary Science and Animal Husbandry*. 4:1–14.
- Nagel C, Aurich J, Trenk L, Ille N, Drillich M, Pohl W, Aurich C. 2016. Stress response and cardiac activity of term and preterm calves in the perinatal period. *Theriogenology*, 86:1498–1505.
- National Weather Service (NWS) Hydrometeorological Prediction Center Web Team. The heat index equation. Letöltve: 2024. augusztus 30: https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml.
- Ninomiya S, Huricha GY, Onishi H, Kurachi M, Ito A. 2023. Lying posture as a behavioural indicator of heat stress in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 265:105981.
- NRC (National Research Council), 1971. *A Guide to Environmental Research on Animals*. National Academy of Science, Washington, DC, pp. 374.
- Pearson JM, Pajor EA, Campbell RJ, Levy M, Caulkett NA, Windeyer MC. 2019. A randomised controlled trial investigating the effects of administering a non-steroidal antiinflammatory drug to beef calves assisted at birth and risk factors associated with passive immunity, health, and growth. *Veterinary Record Open*, e000364. doi:10.1136/ vetreco-2019-000364.
- Peña G, Risco C, Kunihiro E, Thatcher M-J, Pinedo PJ. 2016. Effect of housing type on health and performance of preweaned dairy calves during summer in Florida. *Journal of Dairy Science*, 99:1655–1662.
- Piccione G, Caola G, Refinetti R. 2003. Daily and estrous rhythmicity of body temperature in domestic cattle. *BMC Medical Physics*, 3:7.
- Porges SW. 2003. The polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology and Behavior*, 79:503–513.
- Spain JN, Spiers DE. 1996. Effects of supplemental shade on thermoregulatory response of calves to heat challenge in a hutch environment. *Journal of Dairy Science*, 79:639–646.
- Szenci O, Taverne MAM, Bakonyi S, Erdődi A. 1988. Comparison between pre- and postnatal acid-base status of calves and their perinatal mortality. *Veterinary Quarterly*, 10:140–144.
- Szenci O. 2003. Role of acid-base disturbances in perinatal mortality of calves: review. *Veterinary Bulletin Journal*, 73:7R–14R.
- Thom EC. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12:57–59.
- Todd CG, Millman ST, McKnight DR, Duffield TF, Leslie KE. 2010. Nonsteroidal antiinflammatory drug therapy for neonatal calf diarrhea complex: effects on calf performance. *Journal of Animal Science*, 88:2019–2028.
- Vannucchi CI, Rodrigues JA, Silva LC, Lúcio CF, Veiga GA. 2015. Effect of dystocia and treatment with oxytocin on neonatal calf vitality and acid-base, electrolyte and haematological status. *The Veterinary Journal*, 203:228–232.
- von Borell E, Langbein J, Després G, Hansen S, Letierrier 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. *Physiology and Behavior*, 92:293–316.
- von Borell E. 2001. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment. *Journal of Animal Science*, 79:260–267.
- Yang WZ, Beauchemin KE. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and rumen pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science*, 89:217–228.

6. Az MTA doktori mű alapjául szolgáló közlemények

6.1. Az ellés körüli időszak vizsgálata

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Samardzija M, Szenci O. 2022. Single-dose meloxicam-treatment improves standing ability of low-vitality dairy calves. *Journal of Dairy Science* 105:1618–1624.

Kovács L, Kézér FL, Bodó Sz, Ruff F, Palme R, Szenci O. 2021. Salivary cortisol as a non-invasive approach to assess stress in dystocic dairy calves. *Scientific Reports* 11:6200.

Kovács L, Kézér FL, Albert E, Ruff F, Szenci O. 2017. Seasonal and maternal effects on acid-base, lactate, electrolyte and hematological status of 205 dairy calves born to eutocic dams. *Journal of Dairy Science* 100:7534–7543.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Szenci O. 2017. Rumination time and reticuloruminal temperature as possible predictors of dystocia in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 100:1568–1579.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Szenci O. 2016. Cardiac autonomic activity has a circadian rhythm in summer but not in winter in non-lactating pregnant dairy cows. *Physiology and Behavior* 155:56–65.

Kovács L, Kézér FL, Szenci O. 2016. Effect of calving process on the outcomes of delivery and postpartum health of dairy cows with unassisted and assisted calvings. *Journal of Dairy Science* 99:7568–7573.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Szenci O. 2016. Timing of obstetrical assistance affects peripartal cardiac autonomic function and early maternal behavior of dairy cows. *Physiology and Behavior* 165:202–210.

Kovács L, Tózsér J, Kézér FL, Ruff F, Aubin-Wodala M, Albert E, Choukeir A, Szelényi Z, Szenci O. 2015. Heart rate and heart rate variability in multiparous dairy cows with unassisted calvings in the periparturient period. *Physiology and Behavior* 139:281–289.

6.2. A hőstressz-időszak vizsgálata

Kovács L, Kézér FL, Póti P, Boros N, Nagy K. 2020. Short communication: Upper critical temperature–humidity index for dairy calves based on physiological stress parameters. *Journal of Dairy Science* 103:2707–2710.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Szenci O, Bakony M, Jurkovich V. 2019. Effect of artificial shade on saliva cortisol concentrations of heat-stressed dairy calves. *Domestic Animal Endocrinology* 66:43–47.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Szenci O, Jurkovich V. 2018. Short communication: Association between human and animal thermal comfort indices and physiological heat stress indicators in dairy calves. *Environmental Research* 166:108–111.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Jurkovich V, Szenci O. 2018. Heart rate, cardiac vagal tone, respiratory rate and rectal temperature in dairy calves exposed to heat stress in a continental region. *International Journal of Biometeorology* 62:1791–1797.

Kovács L, Kézér FL, Ruff F, Jurkovich V, Szenci O. 2018. Assessment of heat stress in 7-week old dairy calves with non-invasive physiological parameters in different thermal environments. *PLoS One*, 13:e0200622.

Kovács L, Kézér FL, Bakony M, Jurkovich V, Szenci O. 2018. Lying down frequency as a discomfort index in heat stressed Holstein bull calves. *Scientific Reports* 8:15065.

Köszönetnyilvánítás

Hálásan köszönöm Prof. Szenci Ottónak, hogy az MTA-SZIE Nagyállatklinikai Kutatócsoport tagja lehettem, és közösen véghez vihettük azt a számtalan vizsgálatot, amelyek nagy részét máig sem volt időnk publikálni. Köszönöm a tőle kapott szakmai tanácsokat és a kutatói életpályám kezdetén adott útmutatást. Sohasem fogom elfelejteni az együtt töltött kutatóéveket.

Köszönöm szépen Dr. Mezőszentgyörgyi Dávid intézetigazgató úrnak, hogy nem engedett el az Egyetemről, és bízott bennem akkor is, amikor azt semmi sem indokolta. Köszönöm Póti Péter tanszékvezető úrnak önzetlen támogatását, „látogatásait” és azt, hogy a mai napig a Tanszék munkatársa lehetek. Köszönöm Dr. Áprily Szilvia intézetigazgató asszonynak, hogy támogatott dolgozatom elkészítésében, és jelenlegi kutatásaimhoz megnyugtató háttérrel biztosít.

Köszönöm szépen Dr. Rózsa László intézetigazgató úr és Dr. Bodó Szilárd kollégám messzesemenő szakmai és baráti támogatását a NAIK-ÁTHK-ban eltöltött éveim alatt.

Köszönöm Prof. Kusza Szilvia és Prof. Fébel Hedvig professzor asszonyok és Prof. Mézes Miklós és Prof. Urbányi Béla professzor urak támogatását az MTA doktori címre történő jelentkezésben.

Köszönettel tartozom korábbi témavezetőmnek és barátomnak, Dr. Jurkovich Viktornak a hőstressz-vizsgálatok tervezése és megvalósítása során nyújtott segítségéért és azért, hogy Czirok Martin doktorandusz hallgatónkkal közösen lendületet adtak kutatásaimban.

Köszönöm Dr. Bakony Mikoltnak, Dr. Nagy Krisztinának, Nagyné Dr. Kiszlinger Henriettának és Dr. Ruff Ferencnek a statisztikai elemzések elkészítését. Köszönöm minden kedves kollégámnak, aki társszerzőm volt, továbbá akikkel együtt dolgoztam kutatási feladataim megvalósítása során: Dr. Vincze Boglárka, Dr. Aubin-Wodala Mária, Dr. Nyerges-Bohák Zsófia, Dr. Ali Choukair, Dr. Albert Ervin, dr. Buják Dávid†, Prof. Daniel Falta, Prof. Rupert Palme, Prof. Marko Samardžija, Prof. Tózsér János, Dr. Szelényi Zoltán, Dr. Boros Norbert.

Köszönöm Dr. Kovács-Weber Mária, Dr. Kovács Balázs, Komonyi Lajos, Nagy László, Dr. Gregosits Balázs, Pálvölgyi János és Simon Áron Gergely barátaimnak szakmai és emberi támogatásukat, amely nélkül nem tudtam volna a doktori művet megírni.

Köszönöm a Balog családnak (Detti, Dani, Lana, Naomi, Barnus, Joel, Márk), hogy kísérnek mindennapjaim során és bármikor számíthatok rájuk. Mindig örömmel és szeretettel gondolok az együtt töltött időre.

Köszönöm szüleimnek és húgomnak, Emesének, hogy személyes támogatásukkal segítettek abban, hogy talpra álljak betegségemből. Köszönöm továbbá édesapámnak, Kovács Gábornak a dolgozatom alapos nyelvtani átvizsgálását, segítő észrevételeit és önzetlen, szűnni nem akaró biztatását.

Köszönöm feleségemnek, Kézér Fruzsina Lucának, hogy „időszámításunk előtt” vizsgálatainkat együtt végezhattük, köszönöm a sok közös HRV-mérést, a vérvételeket és hogy együtt kezeltük éjszakánként a sav-bázis gépet. Köszönöm, hogy velem kaphattam hőgutát először a žabčice-i tehenészetben, majd Ráckeresztúron is. Köszönöm, hogy ezt követően is kitartott mellettem egészségben, betegségben. Köszönöm gyermekeimnek, Borókának és Benedeknek, hogy minden nappal bölcsebbé tesznek és megannyi örömet okoznak nekünk. Ők a mi hőseink.