



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

Növendéksértések simaizom-aktivitásának monitorozása indukált stresszmodellben

Monitoring smooth muscle activity of digestive organs of growing pigs in an induced stress model

Készítette: Béres Gabriella
FV4JAV
Mezőgazdasági Mérnök alapképzés
nappali tagozat
Kaposvári Campus

Témavezetők: Csötönyi Orsolya,
Egyetemi tanársegéd
Élettani és Takarmányozástani Intézet, Gazdasági
Állatok Takarmányozása Tanszék

Prof. Dr. Halas Veronika,
Tanszékvezető egyetemi tanár,
Élettani és Takarmányozástani Intézet, Gazdasági
Állatok Takarmányozása Tanszék

**Kaposvári Campus, Kaposvár
2024**

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések.....	2
1.1.	Bevezetés	2
1.2.	Célkitűzés:.....	2
2.	Szakirodalmi áttekintés	3
2.1.	Stressz	3
2.1.1.	Stresszről általánosan	3
2.1.2.	Selye által feltérképezett stressz mechanizmusa	4
2.1.3.	A stressz általános és specifikus hatása	5
2.2.	A sertés emésztőkészüléke és az emésztőcső motorikus működése	6
2.2.1.	Az emésztőkészülék felépítése	6
2.2.2.	Simaizommozgások, bélperisztaltika	7
2.2.3.	Az emésztőkészülék simaizom szövetében mérhető aktivitás vizsgálata.....	8
2.3.	A stressz hatása a takarmányfelvételre és a takarmány táplálóanyagainak értékesülésére ..	11
2.3.1.	A takarmányfelvétel változása.....	11
2.3.2.	Az emésztési folyamatok változása stressz során.....	12
2.4.	Az irodalomból levonható következtetések	14
3.	Alkalmazott módszerek (anyag és módszer).....	15
3.1.	Állatok egyedi elhelyezése, tartása	15
3.2.	Stresszmodell	16
3.3.	Elektromiográfiás mérések és adatelemzés.....	18
3.4.	Vérminta vétel, szérum kortizol szint elemzés	19
3.5.	Statisztikai analízis.....	20
4.	Eredmények és értékelésük	21
4.1.	Vérszérum kortizol szintje	21
4.2.	Emésztőszervek simaizom elektromiográfiás jelei	22
4.2.1.	Gyomor simaizom maximális teljesítmény (PSmax) értékelése a stresszmodellben ..	22
4.2.2.	Vékonybél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) értékelése stresszmodellben.	24
4.2.3.	Vastagbél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) értékelése a stresszmodellben	26
5.	Következtetés és javaslatok.....	29
6.	Összefoglalás.....	30
7.	Irodalomjegyzék.....	31
8.	Ábrajegyzék:	34

1. Bevezetés és célkitűzések

1.1. Bevezetés

A nagyüzemben a gazdasági haszonállatok tartása során számos olyan tényező felmerül, ami a jóllétüket veszélyezteti. Számos stresszort ismerünk, melyek általában a tartási körülményekkel függnek össze. Ilyenek a globális klímaváltozás következtében kialakult szélsőséges időjárási viszonyok, elsősorban a nyári hőségnapok, a különböző betegségek által okozott stressz, amik a növekvő telepméret miatt nagy állatlétszámot érintenek, a sokszor zsúfolt istállók, amik megnövelik az agresszív viselkedés előfordulását. A sertéstartás és -takarmányozás során a stressz és annak megfelelő kezelése kulcsfontosságú, hiszen a stressz kedvezőtlen hatást gyakorol az állatok egészségi állapotára, jóllétére és a termelési mutatókra.

A stressz egy komplex élettani reakció, amely különböző hatásmechanizmusokon keresztül befolyásolja az állati szervezetet. A stresszreakció központi eleme a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese (HPA) tengely aktiválódása, amely a kortizol hormon szintjének emelkedéséhez vezet. A stressz kedvezőtlen hatásai közül kevésbé hangsúlyozott, hogy a kortizol szintje hatással van a simaizom aktivitásra, ennek következtében lelassul az emésztőrendszer perisztaltikus- és keverő mozgása is. A simaizmok összehúzódása és ellazulása biztosítja a táplálék továbbítását, keverését, ami előkészíti a tápanyagok felszívódását. Az emésztőtraktus egy magasan szabályozott rendszer, melyet számos stresszor megzavarhat. A stresszreakciók által kiváltott emésztőrendszeri változások hosszú távon csökkenthetik a takarmányfelvételt és ennek következtében az állat növekedési ütemét, ami komoly gazdasági következményekkel járhat.

Ezideig a tápcsatorna simaizom aktivitásának mérésére sertésnél csak nagyon kevés vizsgálatot végeztek és a humán tapasztalatok is korlátozottak. A stressz emésztőtraktus simaizom aktivitására gyakorolt hatása a humán tapasztalatok alapján biztosan feltételezhető, azonban kvantitatív értékelést a témában nem találtam. Vizsgálatunkban számadatokkal alátámasztható értékelést kívánunk adni arra vonatkozóan, hogy a stressz milyen mértékben hat a tápcsatorna motilitására sertések esetében. Emésztésfiziológiai szempontból a sertés az ember modellállatának tekinthető, így egy olyan vizsgálat, ami a stressz bélmotorikára gyakorolt hatását vizsgálja, nem csak az állattenyésztés, de humán élettani szempontból is értékes lehet.

1.2. Célkitűzés:

Kutatásunk célja az volt, hogy értékeljük az emésztőszervek (gyomor, vékonybél, vastagbél) simaizom aktivitásának változását stressz hatására a növendéksertésekben. További célunk volt adatokat szolgáltatni és kvantitatív értékelést adni arról, hogy egy egységes stresszhatás milyen mértékben befolyásolja a tápcsatorna különböző szakaszain mért elektromos potenciál változást.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Stressz

2.1.1. Stresszről általánosan

Ahhoz, hogy a stressz vizsgálatok eredményeit megértsük, érdemes tisztázni a stressz fogalmát. A stressz néven ismert élettani folyamatok az állat biológiai válaszreakcióit foglalja magába, amely egy külső vagy belső ingerre adott válaszként jelentkezik, és veszélyezteti az egyed szervezetének homeosztázisát (Einarsson és mtsai, 2008). Maga a válaszreakció egy jól szabályozott mechanizmuson keresztül valósul meg, aminek a központi eleme a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese (HPA) tengely aktivációja. A reakció során a hipotalamuszban különböző, úgynevezett stressz hormonok szabadulnak fel. Ilyen hormonok a kortikotropin-releasing hormon (CRH) és a vazopresszin, amiknek a koncentrációnövekedése serkenti az adrenokortikotrop (ACTH) kiválasztását az agyalapi mirigy elülső lebenyéből. Az ACTH hatására megindul a kortizol termelődése a mellékvesében, ami közvetlen szerepet játszik a stresszreakciók szabályozásában (Einarsson és mtsai, 2008).

Korábbi kísérleti eredmények azt igazolják, hogy a tartós stressz rendkívül rossz hatással van az állatok szervezetre, gyakran csökkentik a termelést és a reprodukciós teljesítményt. Sutherland és mtsai. (2006) azt vizsgálták, hogy a különböző stresszorokra adott válaszreakciót a sertésfajta befolyásolja-e. Eredményeik alapján jól igazolható, hogy a kéthetes krónikus stresszhatás, amelyet a hőség és a zsúfoltság együttesen idézett elő, negatívan befolyásolta a sertések teljesítményét és a különböző élettani mutatóikat például stresszhatás alatt álló sertések testtömeg gyarapodása szignifikánsan alacsonyabb volt, valamint az immunrendszeri reakciók is megváltoztak például a természetes ölősejtek (NK) citotoxicitása és a lipopoliszacharid által indukált B-sejtes proliferáció, magasabbak voltak a stressz hatás alatt álló sertésekben a kontroll csoporttal szemben, azonban a sertésfajta nem befolyásoló tényező a válaszreakciókban. Einarsson és munkatársai (2008) arról számoltak be, hogy kocáknál a tüszőfázis ideje alatt több napon át alkalmazott nagy dózisu ACTH injekció az ivarzás kezdeti kitolódását eredményezte és jellemző volt a cisztás tüszők megjelenése is. Martinez-Miro és mtsai. (2018) több irodalmi adatot összegyűjtve arra a következtetésre jutottak, hogy általában a hőstressz van legkedvezőtlenebb hatással a sertések teljesítményére, a feldolgozott adatok alapján 15-50% közötti növekedési teljesítmény csökkenést írtak le krónikus hőstressz esetén. A nagy telepítési sűrűség és a szociális stressz, valamint a nem megfelelő higiéniai állapot mintegy 10-15%-os teljesítménycsökkenést eredményezett (Hyung et al., 1998; Hicks és mtsai., 1998; Martinez-Miro és mtsai., 2018 nyomán).

2.1.2. Selye által feltérképezett stressz mechanizmusa

Amennyiben szeretnénk teljes képet kapni a stressz és a stresszhez kötött vizsgálatokról, elengedhetetlen Hans Selye (1907-1982) munkásságának megismerése. Ő ismerte fel, hogy a hosszan tartó stressz hatására számos élettani folyamat megváltozik, a stresszorra adott válasz során a szervezet adaptációja a túlélést szolgálja. Ezt az adaptációs mechanizmust Hans Selye vagy Selye János, osztrák-magyar származású kanadai vegyész, belgyógyász, endokrinológus tárta fel. Selye volt az első, aki a stresszt, mint fogalmat beemelte az orvostudományba.

Selye 1930-as években kezdte el a stresszel kapcsolatos kutatásait, amikor is felfigyelt arra, hogy a betegek gyakran mutatnak hasonló tüneteket különféle betegségek esetén, például fáradtságot, étvágytalanságot, testsúlyvesztést, amiket ő „a betegség szindrómájaként” írt le. Ezt követően patkányokkal állatkísérleteket állított be Montrealban és különböző stresszoroknak tette ki az állatokat, például hideg környezetbe helyezte, vagy folyamatos futásra kényszerítette őket egy forgó futópadon. Minden esetben teljesen hasonló fiziológiai válaszokat figyelt meg: mellékvese megnagyobbodás, a nyirokrendszer sorvadása, valamint gyomor- és nyombélfekélyek kialakulása. Ez megerősítette elméletét, hogy a stressz általános, nem specifikus válaszokat vált ki a szervezetből (Tan és mtsai, 2018).

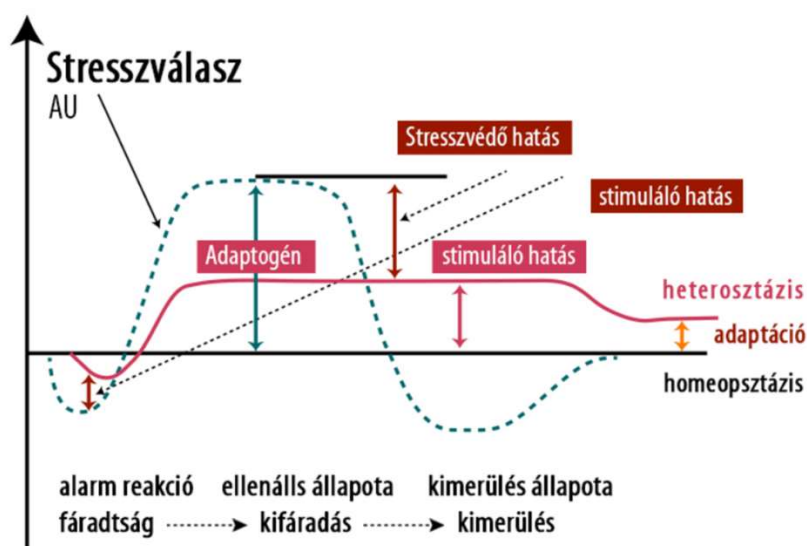
Ezen megfigyelést tovább fejlesztve 1930-as évek végén és 1940-es évek eleje körül megalkotta a „generalizált adaptációs szindróma” (GAS), azaz a Selye-féle vészreakció fogalmát, ami kulcsszerepet játszik a szervezet túlélésében stresszhelyzetekben. A Selye-féle vészreakció három fázisban írja le a szervezet stresszre adott válaszát az alábbiak szerint (1. ábra):

1. szakasz: Alarm reakció (riasztás), amikor is a szervezet gyorsan reagál a stresszorra és jellegzetes tünetek jelentkeznek például felgyorsul a szív működés, hogy több vér jusson az izmokhoz, a vérnyomás megemelkedik. Megfigyelhető, hogy a túléléshez szükséges reakciók fokozódnak, mint a felgyorsult légzés, ami több oxigént jutatt a vérbe, ezzel szemben a túléléshez nem szükséges funkciók működése csökken, például a gyomor és bélműködés.
2. szakasz: Ellenállási fázis, ebben a szakaszban a szervezet igyekszik magát a homeosztázist fenntartani, ha a stresszor folyamatos jelenléte mellett lehetséges egy bizonyos szintű alkalmazkodás, akkor kialakulhat egy ellenállás. Az alkalmazkodás megterhelő a szervezet számára, ennek következtében olyan problémák alakulhatnak

ki, mint az állandósult magas vérnyomás vagy zavarok keletkezhetnek a bélműködésben.

3. szakasz: Kimerülési fázis, akkor valósul meg, ha a stresszor továbbra is fennáll és a szervezet alkalmazkodási stratégiája, illetve az ezt kiszolgáló energiatartárak kimerülnek. Ebben az esetben az első szakasz jellemző jegyei például a felgyorsult szívverés, magas vérnyomás újra felléphetnek, esetleg ennek következtében betegségek alakulhatnak ki, mint például gyomorfekély, irritábilis vastagbél szindróma, de legsúlyosabb esetben bekövetkezhet a halál. (Internetes forrás 1)

1. ábra: Selye féle vészreakció
(Forrás: URL1)



Érdekesség, hogy 1949-ben Selye kutatásai miatt Nobel-díjra is felterjesztették, de végül nem ő kapta meg a díjat. Legismertebb könyve a *The Stress of Life* (1956) és élete során számos tudományos cikket publikált.

2.1.3. A stressz általános és specifikus hatása

A stresszt elemezve megkülönböztethetünk általános, valamint specifikus válaszreakciókat. Ez utóbbiak konkrét, jól beazonosítható következmények, melyek egy adott stresszorral függenek össze, például hőstressz esetén megfigyelhető az testhőmérséklet emelkedése, a fokozott izzadás, légzési nehézségek vagy nem elegendő víz esetén vese

működési zavarok léphetnek fel, valamint a vér koncentrációja és a test hűtési mechanizmusa is kedvezőtlenül fog hatni

Az általános válaszreakciók tekintetében az állatokat érő stresszhatásokat két nagy mechanizmus szerint különböztethetjük meg, az egyik az általam korábban említett Selye-féle általános adaptációs szindróma, ami a hosszabb vagy fokozatos stresszhatások során alakul ki. Ez a homeosztázis eltolódását eredményező, környezeti hatásokra, kihívásokra adott nem specifikus válasza a szervezetnek. A másik ilyen hatásmechanizmus a Cannon-féle vészreakció, ami a szimpatikus-mellékvese aktiválódásával jár. Ez a válaszreakció egy gyors testi válaszreakciót idéz elő, amit a veszély, ellenséges környezet vált ki. Ezt gyakran „fight or flight” reakcióként ismerik. Jellegzetes és közismert jelei például a pulzusszám megnövekedése, vérkeringés fokozódása az izmokban, ezek a szimpatikus idegrendszer aktivációjának eredménye. Ez az akut stresszválasz rövid ideig tart és ha a stresszor megszűnik, akkor a szervezet is visszatér az eredeti állapotába (Stott, 1981).

Stressz hatásainak megértésében fontos szerepet játszik, hogy a specifikus stresszhatásokat is figyelembe vegyük. Ezek a hatások közvetlenül kapcsolódnak a különböző stresszorokhoz, például táplálkozási vagy szociális tényezők és ezek konkrét fiziológiai és pszichológiai következményekkel járhatnak. A specifikus hatások következménye lehet az energiaforgalom változása, az immunvédelem gyengülése, szaporodásbiológiai zavarok, valamint jelentős hatása van az emésztőrendszerre is (Stott, 1981).

2.2. A sertés emésztőkészüléke és az emésztőcső motorikus működése

2.2.1. Az emésztőkészülék felépítése

A sertések együregű, összetett gyomorral rendelkeznek. Az emésztés célja a szükséges táplálóanyagok kémiai feltárása. Az emésztés elsősorban kémiai folyamatnak tekinthető, mely során a takarmány makró táplálóanyagai a szervezet számára felvehető, vízben oldódó formává válnak.

Az emésztőkészüléknek minden eleme fontos szerepet tölt be a sertések emésztésében. Az emésztőrendszer a szájüreggel kezdődik, itt található a nyelv és fogak, valamint ide öntik váladékukat a nyálmirigyek. A nyál amilázt tartalmaz, ami a keményítő bontását már a szájüregben, illetve a gyomor felső, úgynevezett amilolitikus részében megkezdí. A táplálék a szájüregből a garaton és a nyelőcsővön keresztül a gyomorba jut. Itt keveredik a gyomornedvvel, ami fehérje bontó enzimeket, pepszint és ketapszint tartalmaz.

A gyomor után következik a vékonybél, ez 3 szakaszra tagolható: epésbél, éhbél és csípőbél. A tápanyagok felszívása és a fő enzimes emésztés itt zajlik. Az epésbélbe önti váladékát a hasnyálmirigy, mely enzimeket választ ki például amilázt, lipázt, amik az emésztési folyamatokat segítik. A vékonybél belső felületét bélbolyhok borítják, melyek növelik a felszívófelületet.

A vastagbélben a maradék emésztetlen táplálék mikrobiális fermentációja megy végbe. A vastagbél is további szakaszokra tagolódik: vakbélre, remesebélre és a végbélre. A vastagbél utolsó szakaszán alakul ki a bélsár és ez a végbélnyíláson keresztül távozik. Az emésztőrendszer simaizmai által keltett perisztaltikus mozgások biztosítják a táplálék megfelelő továbbítását és keverését az emésztés során (Ślupczyńska és mtsai., 2020).

Magát a takarmány felvételének módját, mennyiségét erősen befolyásolják az állatot ért stresszhatások. Fontos ezen stresszforrások felismerése, mert a stressz jelentősen befolyásolja az állatok emésztését, különösen a gyomor- és bélmozgásokat (Gergátz és Vitéring, 2006).

2.2.2. Simaizommozgások, bélperisztaltika

Az állatok esetében is igaz, hogy a szervezet, illetve az egyes szervek különböző akaratlagos és nem akaratlagos mozgásokat végeznek, és ezt a mozgást az izomok segítségével valósítja meg az adott szerv. A különböző mozgástípusokat 3 különböző izomszövet látja el, ezek a szívizom, a simaizom és a harántcsíkolt izom. A szívizom és a simaizom felelős a nem akaratlagos tevékenységekért, a harántcsíkolt izomzat pedig az akaratlagos mozgást teszi lehetővé. Mindhárom izomfajtának azonosak a fő összetevői, a vázfehérjék. Ezek az aktin és a miozin, amiknek köszönhető az izmok összehúzódása (Internetes forrás 2). A gyomor és a bél falát simaizomok alkotják. A bélperisztaltika a gyomor-bél traktus simaizmainak összehúzódásai, amelyek ritmikus mozgásokat hoznak létre és segítik a táplálék továbbjutását az emésztőrendszeren keresztül. A béltartalom feszítő hatása indukálja a perisztaltikus hullámokat. A bélfal rendelkezik saját primer afferens neuronokkal (IPAN neuronok), a bélfal ezek segítségével tudja érzékelni a bélfal feszülését. A bélfal izomzatát olyan idegsejtek irányítják, amik fel- és le haladnak a bélben. Ezek az idegi impulzusok a tápcsatornában lévő speciális sejteket aktiválják, az úgynevezett intersticiális Cajal-sejteket (ICC), amik a gyomor, a vékony- és vastagbél ritmikus izomműködéséért felelős pacemaker elemek. Számos tanulmány igazolja, hogy ellentétben a tápcsatorna simaizom sejtjeivel, az izolált ICC sejtek rendelkeznek csak pacemaker aktivitással (Horváth, 2008). Amikor a megfelelő inger érkezik, akkor az inger helyétől a száj felé az izmok összehúzódnak, míg a végbélnyílás felé az izmok

ellazulnak. Ez a folyamat teszi lehetővé, hogy a béltartalom mindig a megfelelő irányba haladjon (Bódi, 2020).

2.2.3. Az emésztőkészülék simaizom szövetében mérhető aktivitás vizsgálata

Az izmok összehúzódása és elernyedése az őket alkotó sejthálózatokon keresztül haladó elektromos impulzusok hatására jön létre és az így létrejövő izomtevékenységek különféle paraméterekkel mérhetőek és jellemezhetőek lesznek (Roszkos, 2022). A simaizom-elektromiográfia (az angolból: smooth muscle electromyography, SMEMG) egy olyan noninvazív módszer, amellyel képesek vagyunk a gyomor-bél traktus mioelektromos aktivitásának mérésére, melyet az ICC sejtek aktivációja hoz létre.

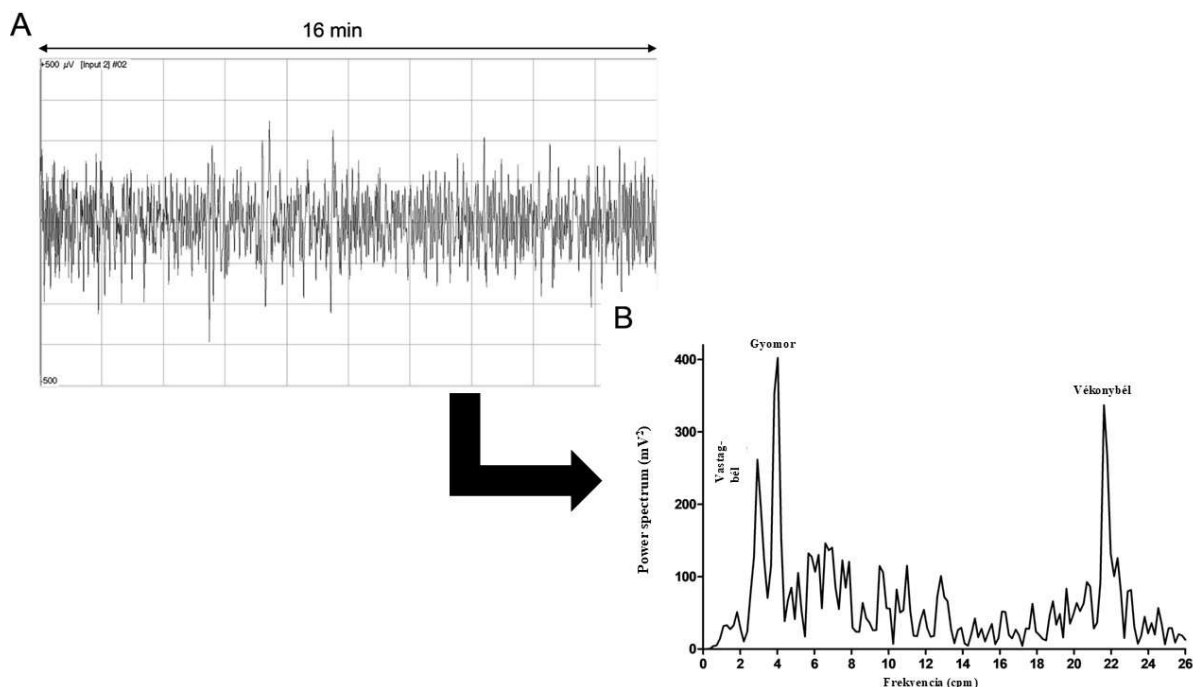
A módszer fejlesztése az 1920-as években kezdődött, majd az 1960-as évektől egyre szélesebb körben kezdték alkalmazni a gyomor-béltraktus motilitás jeleinek rögzítésére (Roszkos, 2022). Kezdetben humán vonatkozásokban rögzítettek adatokat, később azonban állatmodellekről is készült leírás. 1920-ban történtek az első elektrogasztrográfias mérések (Alvarez, 1920), majd később 2009-ben Varayil és munkatársai az elektrogasztrográfias vizsgálatokat felhasználva tanulmányozták sertéseknél a gyomor lassú hullámú frekvenciáját különböző körülmények között.

Szücs és munkatársai (2016) patkányokon végeztek elektromiográfias méréseket, aminek a célja a gasztrointesztinális motilitási zavarok jobb diagnosztizálása érdekében a különböző bélszakaszok elektromos jeleinek azonosítása és jellemzése volt. A szerzők leírása alapján az egyes bélszakaszok jellemző frekvenciatartományát úgy határozták meg, hogy mély altatásban lévő patkányok teljes gyomor-bél traktusát eltávolították a hasüregből, egy szegmens kivételével. Ezután bipoláris cérbielektrodpárt helyeztek a célszerv külső, savós felszínére, emellett egy bipoláris lemezelektrodpárt bőr alá helyeztek el a gyomor-bél traktus megfelelő szakaszában. A mechanikai összehúzóerők mérésére egy beültethető feszültségmérőt helyeztek fel a gyomor, az ileum vagy a vakbél felszínére, az izomrostok hosszanti irányában. Az érzékelők elhelyezése után a hasfalat összehúzták, és a bőrt visszahelyezték a bemetszés eltakarása érdekében. Az állatokat ezután azonnal egy fűthető műtőasztalra helyezték, hogy a testhőmérsékletüket 37 °C-on tartsák. Az izom aktivitás által generált elektromos jeleket 60 percen keresztül mérték, majd az adatokat speciális szoftver segítségével szűrték és elemezték. A mért jelek torzulásának és a zajos adatok csökkentésének elkerülése érdekében kettős szűrőrendszert alkalmaztak. A szűrt és rögzített jeleket gyors Fourier-transzformációval (FFT) elemezték (Szücs és mtsai., 2016). Az elektromos aktivitás frekvenciáját cpm-ben (cycles per

minute, ciklus per perc) mérték, míg az aktivitás nagyságát teljesítményspektrum-sűrűséggel (PsD) jellemezték. A kapott eredményekkel tisztázták a gyomor, az ileum és a caecum eltérő mioelektromos aktivitását, valamint felállították a különböző szegmensek mai napig használatos cpm értékeit.

Nagy és mtsai. (2021) által alkalmazott SMEMG vizsgálatokban a módszert laboratóriumi patkányokról adaptálták sertésekre. Az említett kutatásban különböző takarmányok rosttartalmának hatását mérték a gyomor-bél traktus motilitására. A munka azért számított úttörőnek, mert a szerzők huzamos ideig tartó (4 óra) méréseket végeztek SMEMG módszerrel és éber, mozgásukban nem korlátozott növendék sertéseket vontak be a kísérletbe. Az adatok értékelése során a tápcsatorna különböző szegmenseiben rögzített jelek denzitását vették figyelembe. A szerzők által használt maximum power spectrum density (PsDmax), azaz a simaizom aktivitásának maximális teljesítmény spektrum sűrűség értékeit a gyomor, vékonybél és a vastagbél kontrakciós aktivitásának elemzésére használták. A motorikus intenzitás értékelésére alkalmas PsDmax értékek a különböző szakaszokban adott jellemző sávban változnak. A rögzített jelek feldolgozása specifikus matematikai művelettel, gyors Fourier-transzformációval (FFT) került elemzésre, csak úgy, mint Szűcs és mtsai. (2016) vizsgálatában. A PsDmax az adott frekvenciasávnak a legnagyobb amplitúdóját mutatja, és azt jelzi, hogy hol a legintenzívebb az izom aktivitás az adott területen (2. ábra).

2. ábra: Mioelektromos jelből (A) gyors Fourier transzformációval nyert specifikus spektrumok (B)
(Forrás: Nagy és mtsai, 2021)



További szerzők is alkalmazták az elektromiográfiát. Roszkos (2022) kutatásának célja az elektromiográfia alkalmazási lehetőségének vizsgálata volt tenyésztett kócsok szaporodásbiológiai folyamataiban. Igazolást nyert, hogy az elektromiográf által rögzített elektromos aktivitás nem véletlenszerű a méh simaizom szövetében sem, hanem adott mintázattal és sebességgel terjed, és ezek nem változnak jelentősen a különböző reprodukciós fázisok alatt, csupán az összehúzóerők iránya változik. A méh és a petevezetőben is a Cajal-féle intersticiális sejtek azok, amik a speciális hullámmozgásokért felelősek. ICC sejtek úgynevezett lassú-hullámokat generálnak, amelyek szabályozzák a simaizom-kontrakciók ritmusát a gyomor-bél traktusban, valamint a reprodukciós szervekben is (Roszkos, 2022). Az EMG módszer alkalmazása lehetővé teszi ezen ICC sejtek aktivitásának a mérését. Viszonylag korai alkalmazása volt a módszernek, amikor Lee és mtsai (1996) a tetánias görcs lefolyását és szakaszait vizsgálták vele, Kayailoglu és mtsai. (2007) pedig azt, hogy a sertések takarmányfelvételében a nyelv különböző izmai milyen módon vesznek részt. A módszer gyakorlati takarmányozási kutatásokban való alkalmazását nagyban gátolta, hogy hosszú ideig a miográfus vizsgálatokat altatott, bódított vagy mozgásukban korlátozott állatokon lehetett csak végezni. Lényeges kiemelni, hogy tápcsatorna simaizom aktivitásának elektromos jeleit ma már a hasfalra elhelyezett, megfelelő érzékenységű szenzorokkal tudjuk mérni. Így

amennyiben a mérőegység adatrögzítése az állatokon megoldható, akkor a módszer non-invazívnak tekinthető (Járó-Nagy, 2022).

2.3. A stressz hatása a takarmányfelvételre és a takarmány táplálóanyagainak értékesülésére

2.3.1. A takarmányfelvétel változása

Az állatállományoknál rengeteg különböző tényező okozhat stresszes állapotot, ilyen tényező lehet például a termoneutrális zónán kívüli hőmérséklet, az éhség, az áttelepítés és az ezzel járó új környezet, vagy az agresszív társ(ak) jelenléte. A stresszorra adott egyik leggyakoribb válasza az állatoknak a takarmányfelvétel csökkenése. A takarmányfogyasztás visszaesését a gyakorlati szakemberek különösen nehezményezik, mivel, ha az állatok nem jutnak elég táplálóanyaghoz, akkor energiaszükségletüket sem tudják kielégíteni és nem lesznek képesek a genetikai teljesítőképességüket elérni. Amennyiben hosszú ideig lemarad az állat a növekedésben, akkor a hízalási idő elhúzódik, ami gazdasági veszteségeket fog eredményezni.

Abból kiindulva, hogy a takarmányfelvétel csökkenése az egyik legbiztosabb jele a stressznek Nguyen-Ba és mtsai (2019) egy matematikai-statisztikai eljárást fejlesztettek ki, amellyel kvantifikálták növendéksertések stresszválaszát. A modell fejlesztése során azt a feltételezést tették, hogy van egy úgynevezett természetes vagy programozott takarmányfelvételi görbe, amitől való adott mértékű eltérés a stresszor, például a hőstressz vagy egészségügyi problémák megjelenésének a következménye. A kutatók célja az volt, hogy jobban megértsék az állatok szervezeti szilárdsága vagy más szóval robosztussága mögött meghúzódó okokat. A robosztusságnak két fő összetevője van, ezek a rezisztencia, azaz az állat ellenállóképessége a zavaró, negatív tényezőkkel szemben, valamint a reziliencia, ami egy olyan képesség, ami miatt a sertés gyorsan vissza tud térni a normális takarmányfelvételi pályához.

Amennyiben a stressz és emésztőrendszer kapcsolatát elemezzük, fontos kiemelni, hogy számos tanulmány foglalkozott a bél-agy tengely (GAP) szerepével a stresszreakciókban, ugyanis a bél-agy tengely biztosítja a kétirányú kommunikációt a központi idegrendszer, valamint a gyomor-bél traktus között idegi és hormonális utakon keresztül. Összességében igen fontos a GPA szerepe abban, hogy megértsük a fiziológiai reakciókat akut stresszorok esetén (Pribék és mtsai., 2021).

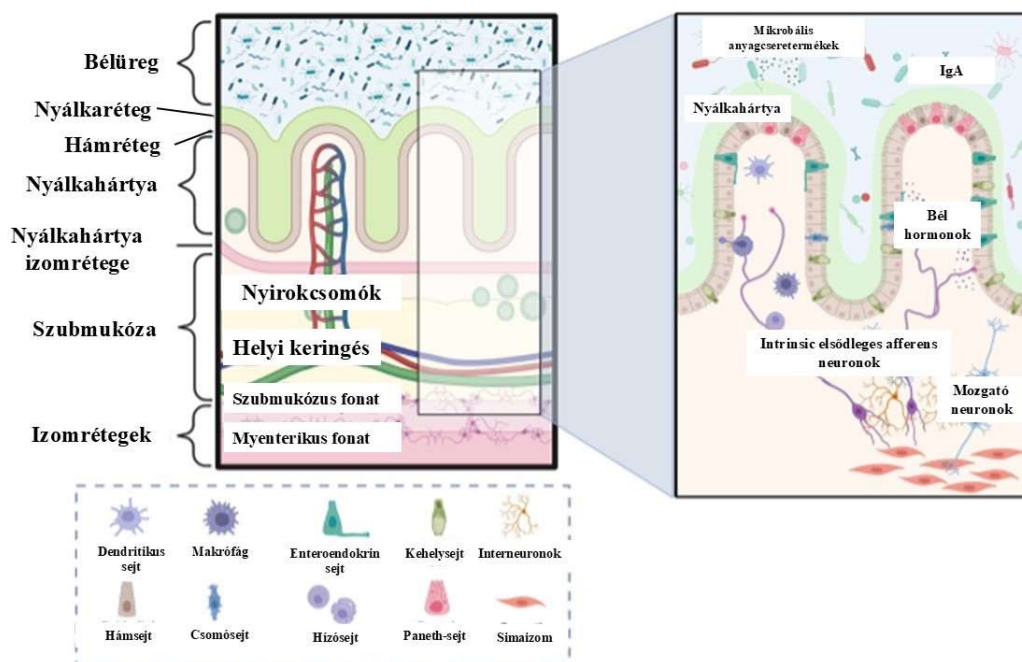
Pribék és munkatársai korábbi kutatásaik során embereken és patkányokon is végeztek elektromiográfus vizsgálatokat, Szűcs és munkatársainak (2016) korábban végzett

tanulmányaira alapozva alkalmazták a módszert. A patkányokon és embereken is ugyanazokat az értékmérőket vizsgálták, a gyomor-bél traktus mioelektromos jeleit, szívfrekvenciát, valamint testhőmérsékletet. A kutatás során kapott eredmények azt igazolják, hogy simaizom elektromiográfiával az emésztőrendszer simaizom aktivitása és annak változása akut stressz esetén jól felismerhető, valamint egy jellegzetes lefutást mutat. Nem találtunk adatot arra vonatkozóan, hogy sertések esetén stressz-modellben az elektromiográfia kipróbálásra került volna.

2.3.2. Az emésztési folyamatok változása stressz során

A stressznek vannak az állat viselkedésében megnyilvánuló jelei, mint például az étvágytalanság és ennek következtében a takarmányfelvétel csökkenése, de vannak belső válaszreakciók is, például a bélmotilitás és bélintegritás megváltozása, amik tovább rontják a táplálóanyag ellátást. A bélmozgást a szimpatikus idegrendszer és a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely aktiválása irányítja, amely stressz hatására megváltozott bélmozgást alakíthat ki. A stressz hatására az enterális idegrendszer (ENS) aktiválódik, ami a bélmotilitás átmeneti megváltozásához vezet, de amennyiben a stressz hosszan fennmarad az a ENS károsodásához vezethet, ami megváltozott a bélmozgást okozhat. Amennyiben krónikus stressz hatására a bélmozgások gátlódnak, akkor olyan tünetek jelentkezhetnek, mint a székrekedés vagy hasmenés. A csökkent bélmozgás a stressz során felszabaduló noradrenalinhoz köthető. A megemelkedett noradrenalin szint gátolja acetilkolin kiáramlását, ami az enterális neuronok egyik fő neurotranszmittere. A krónikus stressz egyéb következménye lehet vagus ideg aktivitása csökken, amelynek következtében az emésztőrendszer paraszimpatikus aktivitása is csökken, aminek következtében romlik a bél működése és növekszik az emésztőrendszeri zavarok, például az irritábilis bél szindróma kockázata (Leigh és mtsi, 2023).

3. ábra: A bélhám anatómiai felépítése (Forrás: Leigh és mtsi, 2023)



A bélbarrier funkciókat (3. ábra) szintén jelentősen befolyásolja a stressz. Akut és krónikus stresszhatások, például hőstressz következtében a bél integritása meggyengül, ami növeli a permeabilitást (Xia és mtsai., 2022; Hu és mtsai., 2022). Stressz hatására növekszik a vékonybél és a vastagbél áteresztő tulajdonsága, ami ahhoz vezet, hogy a baktériumok és toxinok könnyebben bejutnak a véráramba, ami komoly egészségügyi következményeket vonhat maga után.

A bélmikrobiom összetételét a stressz közvetlen, valamint közvetett úton is befolyásolja. Krónikus stressz esetében a mikrobiom stabilitása csökken, és megváltozik az összetétele, különösen a jótékony baktériumok aránya. Számos vizsgálat igazolja, hogy a hőstressz megváltoztatja a tápcsatornában élő mikrobiom összetételét (Xiong és mtsai., 2020; Xia és mtsai., 2022; Hu és mtsai., 2022). A kölcsönhatás kétirányú, mert nemcsak a stressz hat a mikrobiomra, de a mikrobióta szerepe is kulcsfontosságú a stressz-válaszban, mivel közvetlenül befolyásolja a HPA tengely működését (Choudhury és mtsai., 2021). Bizonyos probiotikumok és prebiotikumok alkalmazása javíthatja a stressz által okozott bélműködési zavarokat (Leigh és mtsi, 2023). Cortes és mtsai. (2018) egészséges, de stressznek kitett sertésekben a garatmandulákban lévő mikrobiom összetételét vizsgálták. Eredményeik alapján stressz hatására megváltozott mandulákban található fajok összetétele.

2.4. Az irodalomból levonható következtetések

Az irodalmi adatok egyértelműen azt mutatják, hogy a stressz kedvezőtlen hatást gyakorol a gazdasági állatok teljesítményére, beleértve az emésztőrendszer motorikus működését is. A stressz jelenléte hat a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely szabályozására, ami a kortizol hormon termeléséhez vezet, amely számos negatív élettani hatást vált ki. Ezek egyike a bélmotilitás megváltozása. Az emésztőtraktus simaizom összehúzó- és elernyedési folyamatai a takarmány feldolgozásában, a tápanyagok felszívódásában van nagy szerepe és ezen keresztül a sertések táplálóanyag ellátása szempontjából különösen fontosak. A különböző stresszhelyzetek, mint például a szociális-, szállítási stressz, valamint a szélsőséges hőmérsékletből fakadó stressz következtében romolhat az emésztés hatékonysága és a termelési eredmények is csökkennek.

A stresszorok negatív hatását a gyakorlat is visszaigazolja, ennek ellenére olyan tudományos vizsgálatok száma viszonylag kevés, ami egy egységes stressz-modellben értékelné a sertések válaszát. A hőstresszel összefüggésben számos eredményt találunk az irodalomban, ezzel szemben például a szociális stressz hatásáról alig áll rendelkezésre kvantitatív adat. Feltétlenül érdemes egy olyan stresszmodellt felállítani, ami jól definiált és egységes körülmények között képes a stresszreakciókat értékelni.

A jelen dolgozatban bemutatott vizsgálatban a stressz hatását a tápcsatorna egyes szakaszaiban mérhető akcióspotenciál változás alapján mértük, ami lehetőséget ad a stressz emésztőrendszerre gyakorolt hatásainak pontosabb értékelésére, segítve a további kutatásokat és alkalmazásokat az állattenyésztés területén.

3. Alkalmazott módszerek (anyag és módszer)

3.1. Állatok egyedi elhelyezése, tartása

Az általunk végzett kísérlet 2023 decemberében zajlott a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campus Élettani- és Takarmányozástani Intézet Gazdasági Állatok Takarmányozása Tanszéken. A kutatásban 4 ártány, közel 30 kilogrammos Topigs x Duroc genotípusú növendéksertést vontunk be. Az állatokat egyesével, önitatóval felszerelt, beton padozatos, egyedi kutricákban helyeztük el, ehető alomanyag nélkül. Az állatkísérlet engedélyszáma SO/31/00881-2/2023 (KA-3926).

Az állatok élősúlyát a kísérlet megkezdésekor tizedes pontossággal mértük. Az élősúly alapján határoztuk meg a takarmányadagjukat, ami a létfenntartó energiaszükségletük 2,8 szorosa volt (ME_{em} = 450 kJ/kg 0,75 /nap). A napi takarmányadag 2 részletben került kiosztásra, reggel 8:00 és délután 15:00 órákor.

Az etetett takarmány táplálóanyag tartalmát az NRC (2012) ajánlásai szerint állították össze. Az etetett alaptakarmány összetételét és táplálóanyag tartalmát a 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A kísérlet során etetett alaptakarmány összetétele és számított táplálóanyag tartalma

Összetevők	g/kg	Táplálóanyag-tartalom	
Kukorica	466,0	Száranyag	890,64
Búza	180,0	MEs*(MJ/kg)	13,23
Ext. szójadara	218,5	Nyersfehérje	183,83
Növényi olaj	25,0	Nyerszsír	47,82
MCP	3,1	Nyersrost	41,63
Takarmánymész	13,5	Nyershamu	28,4
Premix**	5,0	Nmka	614,8
NaCl	4,1	Lizin	13,88
Lizin-HCl	8,1	M+C	8,04
DL-metionin	3,7	Kalcium	6,32
L-treonin	1,9	Emészthető foszfor	1,61
Napraforgó dara	60,0		
Cellulóz	10,0		
Összesen:	1000,0		

* számított érték

**** 1 kg premix:** Vit. A: 2400000 IU, Vit. D3: 348000 IU, Vit. E: 6000 mg, Vit. K3: 198 mg, Vit. B1: 402 mg, Vit. B2: 1002 mg, Vit. B3: 10020 mg, Vit. B5: 4980 mg, Vit. B6: 402 mg, Vit. B12: 7,8 mg, Biotin: 19,8mg, Folsav: 102 mg, Kolin: 62792 mg, Fe: 45855 mg, Zn: 33600 mg, Mn: 26880 mg, Cu: 330000 mg, Co: 134 mg, I: 488 mg, Se: 67 mg.

3.2. Stresszmodell

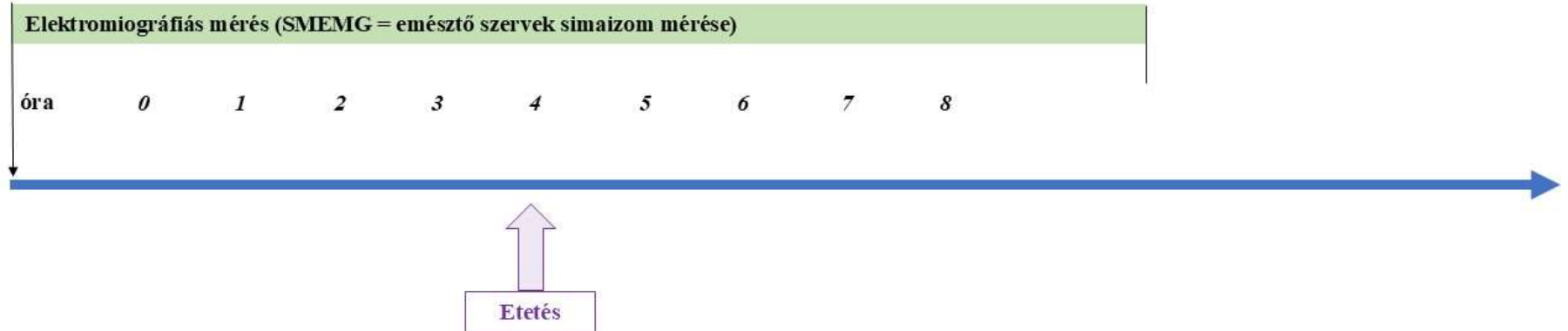
A kísérlet önkontrollos vizsgálati modellben zajlott, az állatok saját kontrolljaikként szolgáltak (4. ábra). Az első mintavételi napon a simaizom aktivitás elektromiográfiás kontrollértékeinek mérése és rögzítése történt 9 órás időtartamban, majd egy következő kísérleti napon stresszindukciót alkalmaztunk adrenokortikotrop hormon (ACTH) injekció (Synachten 0,25 mg/1 ml) felhasználásával 10 µg/testtömegkilogramm dózisban, intravénásan. Az injekció beadása tartós vénakanülön keresztül történt stresszhatás okozása nélkül. A felelős állatorvos rövid sebészeti beavatkozással helyezte el a tartós vénakanült a vizsgálati napok megkezdése előtt 3-4 nappal. A műtét bódított állatokkal történt, a bódításhoz az állatorvos im. adott Zoletil 50 (4mg/kg) használt, majd a sertéseket Mapleson D elrendezésben (nem-visszalégző légzőkör használatával), 5tf% isofluran és O₂ (300 ml/kg/min) keverékkel altatta. Ezután az állatok bőrén egy pár mm-es bemetszés történt, amin keresztül a tartós vénakanült a v. jugularisba vezette, majd 2 öltéssel a bőrhöz rögzítette a kanült. A vizsgálati napokig a kanülok napi szinten ellenőrizve voltak, annak érdekében, hogy azok működőképesek maradjanak, valamint a vénakanülok napi mosására volt szükség a véralvadás megelőzése érdekében. A mosás heparizinált sóoldattal (90 NE/kg heparin) történt.

A további stresszhatások kizárása érdekében a kísérleti állatokat az adatrögzítést megelőző egy hónapban hozzászoktattuk az állandó emberi jelenlétéhez, valamint az elektromiográfiás mérésekhez szükséges készüléket és vezetékeket rögzítő mellény viseléséhez.

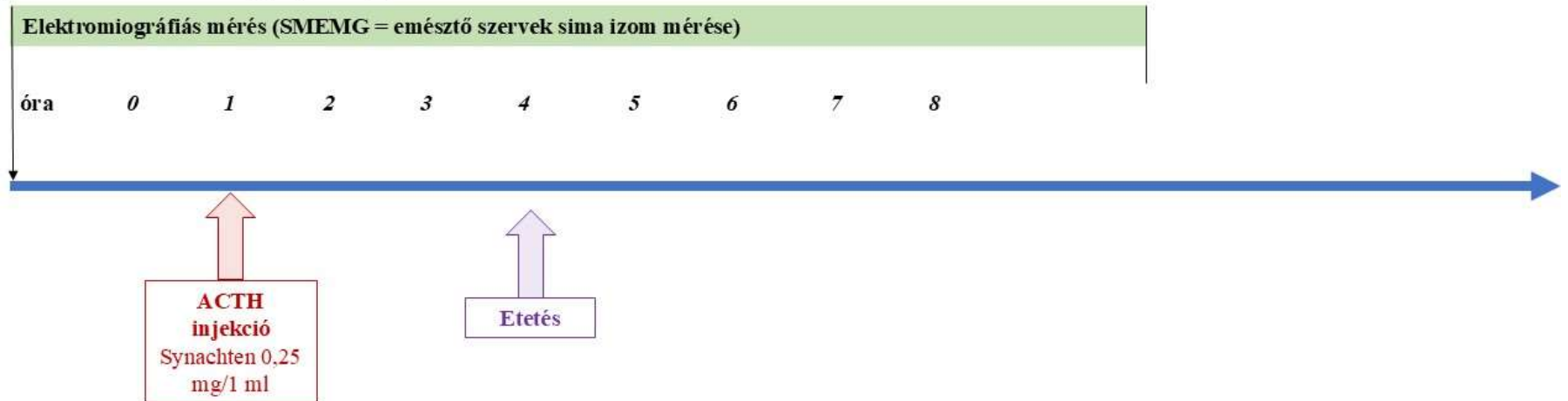
Az állatok szoktatása úgy történt, hogy napi szinten időt töltöttünk a sertésekkel, kezdetben csak az ember jelenlétéhez szoktattuk őket. Pár nap elteltével az egészségügyben használt rugalmas pólyát (fásli) helyeztük fel rájuk, amit a mellkas köré tekertünk. Amikor ezt már megszokták, akkor megkapták azt a speciális mellényt, ami a mérések alkalmával a holter felhelyezésére és a kábelek takarására szolgált (5. ábra).

4. ábra: Mintavételi napok
(Forrás: Saját ábra)

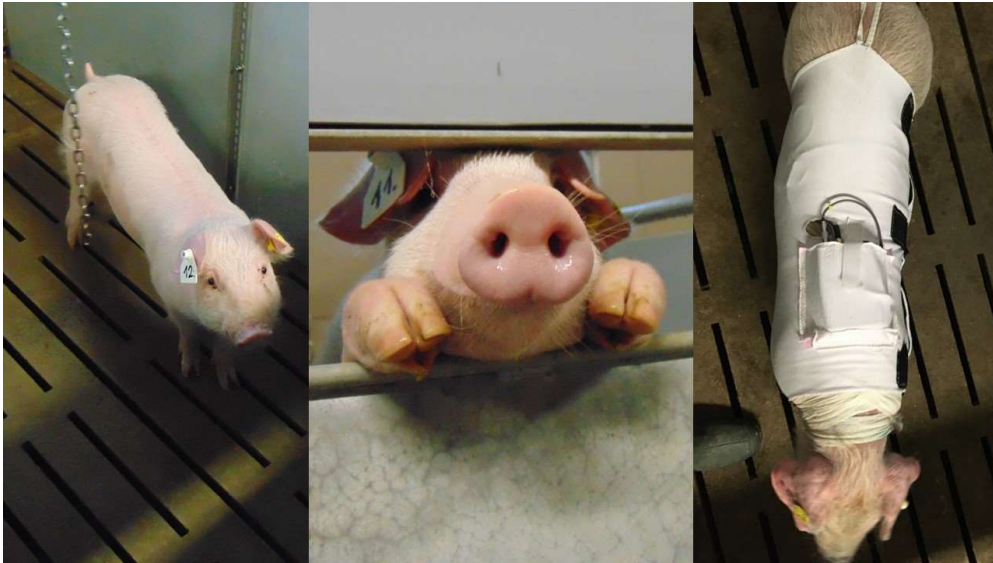
Kontroll nap (1. nap)



Stressz indukció napja (2. nap)



5. ábra: A sertések szoktatása
(Forrás: Saját fényképek)



3.3. Elektromiográfiás mérések és adatelemzés

Az emésztőszervek (gyomor, vékonybél, vastagbél) simaizomaktivitásának mérésére elektromiográfiás mérést alkalmaztunk. A mérésekhez az MSB-Met Kft. adatgyűjtő holterét a hozzá tartozó vezetékkel használtuk, amely két a sertés bőrére tapasztott elektróda segítségével méri az emésztőszervek simaizmainak elektromiográfiás jeleit és alkalmas az elektromiográfiás jelek rögzítésére. A mérésekhez egyszerhasználatos, öntapadós elektródákat használtunk (3M, 4 cm x 3,3 cm). Az egyik elektródát a bal oldalon a szív közelében, a másikat a jobb oldalon, az emésztőrendszer területén helyeztük el. A mérések 9 órán át tartottak, ebből 8 órát elemeztünk. Az adatok elemzéséhez EasyChart szoftvert használtunk. A 8 órás mérést 30 perces intervallumokra osztottuk, és minden intervallumhoz Fast Fourier transzformációval kiszámításra került az összetett spektrumgörbe alatti terület, amely tükrözi az adott intervallumban elvégzett izommunkát az adott emésztőszervre vonatkozóan. A szoftverben rögzített CPM (Cycle Per Minute) értékek alapján különválaszthatóak a gyomorból-, vékonybélből-, illetve vastagbélből érkező elektromiográfiás jelek. A gyomorra jellemző CPM értéke 3-5 közötti, a vékonybéltre 10-20 közötti, vastagbéltre 1-3 közötti Szűcs és mtsai. (2018) patkányokkal végzett kísérleteik meghatározása után. Sertések esetében is azonos értékeket használtunk Nagy (2021) sertésekre történő adaptációja után.

3.4. Vérminta vétel, szérum kortizol szint elemzés

A vérmintákat tartós véna kanülökön keresztül fecskendővel 4 ml-es szérumszövetekbe (véralvadást nem gátló vércsővekbe) vettük a 0.- (stressz indukciós napon az ACTH injekció beadásának időpontja), 15.-, 30.-, 45.-, 60.-, 75.-, 90.-, 105.-, 120.-, 150.-, 180.-, 210.-, 240.-, 360.-, 480. percekben (6. ábra). A vérmintákat 15 percig 2500 g fordulaton 4°C-on centrifugáltuk. Ezután a vérszérumot 2 ml-es Eppendorffokba pipettáztuk és az analízisig -20°C-on tároltuk. A vérszérumminták teljes kortizol szintjének elemzése a MATE Gödöllő, Genetika és Biotechnológiai Intézetében történt. A szérum kortizol mennyiségi meghatározásához a DNOV001 katalógusszámú (Gold Standard Diagnostics Frankfurt GmbH, Németország) ELISA készletek lettek felhasználva. Az immunpróbát a gyártó utasításainak megfelelően végeztük, és a szérummintákat három párhuzamos mérésben elemeztük. A mérések Thermo Multiskan™ FC (Waltham, MA, USA) mikrolemezes olvasóval történtek, SkanIt RE szoftverrel (6.1.1.7 verzió). Az abszorbanciát 450 nm-nél mértük, 630 nm-es referencia hullámhosszal.

6. ábra: Vérminta vétel
(Forrás: Saját fénykép)



3.5. Statisztikai analízis

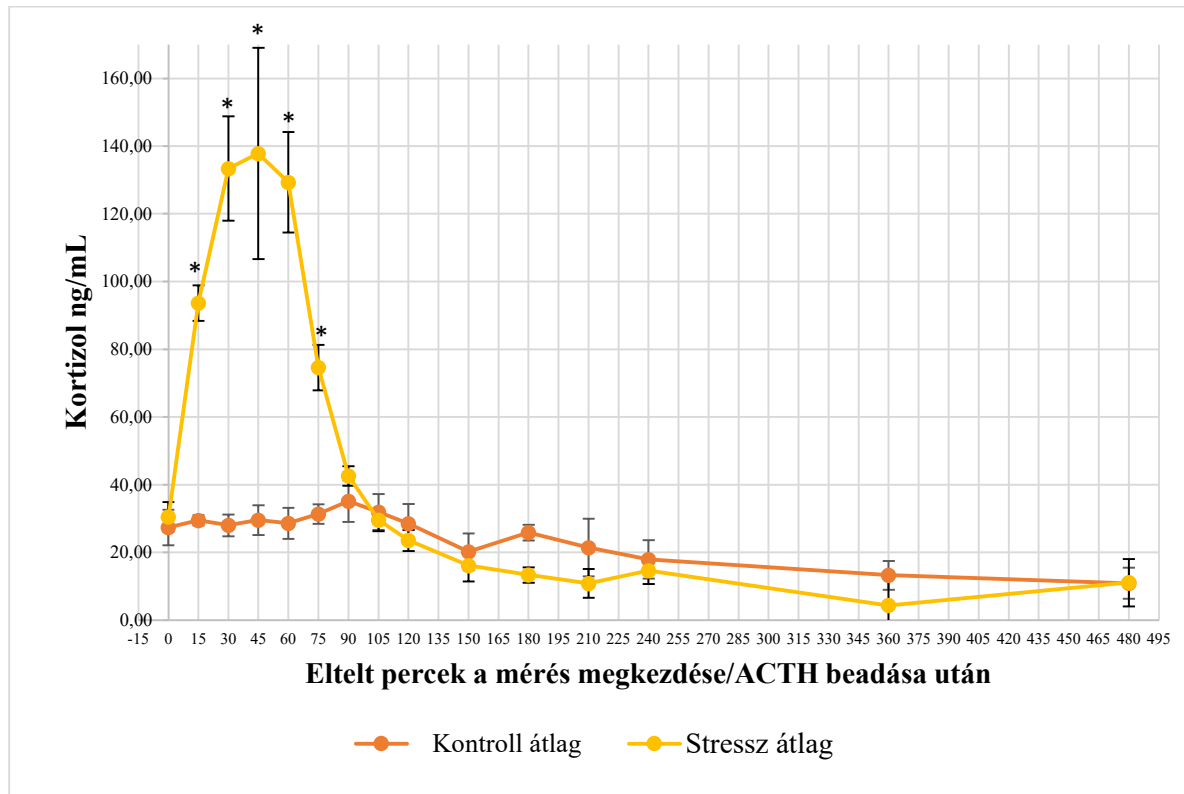
A vérszérum kortizol szintjét a mért időpont párokban, a miogrfiás adatokat a kontroll- és stresszindukciós napok azonos 30 perces időintervallumaiban páros t-próbával hasonlítottuk össze. A szignifikancia szintet $P < 0,05$ értéken határoztuk meg.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Vérszérum kortizol szintje

A vérszérum kortizol szintje a kontroll napon a mintavételezés teljes időszakában a normál tartományon belül mozgott (7. ábra). A kortizolszint a napi cirkadián ritmus miatti természetes változását láthatjuk a mért eredményekből, de alapvetően nagyon kis különbségeket mutattak a kontroll napi mérések. Radostitis és mtsai. (2000) meglehetősen szűk tartományban, 27,5 és 31,8 ng/ml között jelölték ki a növendék sertések esetén a kortizol szintet, mely stresszmentes állapotot jelent. Ez a referencia tartomány a mi vizsgálatunkban a délelőtti órákban volt mérhető, délután a kortizol szintje valamelyest csökkent, ami megegyezik más irodalmi források adataival (Ruis és mtsai., 1997; Möstl és mtsai., 2002). A stressz indukciós napon a kortizol szint az ACTH injekció beadása után hamar, már a 15. percben az előző érték háromszorosára megemelkedett. A kontroll- és stresszindukciós napok a kortizolszintek közötti eltérés a 30. perctől a 75. percre statisztikailag is igazolt volt. A stresszindukciós nap eredményeiben az adott időpontokban a szórás nagy értékeket mutat, ami az egyedi eltérésekkel magyarázható, az állatok mind különbözően reagálnak az indukált stresszre. A stresszindukciós nap átlagértékei a 105. perctől számszerűsítve a kontroll átlag értékei alá csökkentek, de ez nem volt statisztikailag igazolható. A szállítási stressz hatását értékelve Dalin és mtsai (1995) felmérésében a sertések plazma kortizol koncentrációja 40 nmol/L értékről 75-90 nmol/L-re nőtt. Hozzájuk hasonlóan Averos és mtsai. (2007) is azt tapasztalták, hogy a szállítás következtében a kezdeti kortizol érték mintegy 2,5-szörösére emelkedik a vágósertések esetében. Aveos és mtsai. (2007) eredményei arra is rámutattak, hogy hosszan tartó utazás esetén (1 h vs. 13h), főleg nyáron, a kortizol szint a szállítás végére már jelentősen lecsökkent (2,5 $\mu\text{g/dL}$), míg 1 óra időtartamú utazás esetén a szérum kortizol magas értéket mutatott (7,2 $\mu\text{g/dL}$).

7. ábra: A kortizol szint az elektromiográfiás mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után
(forrás: saját ábra)

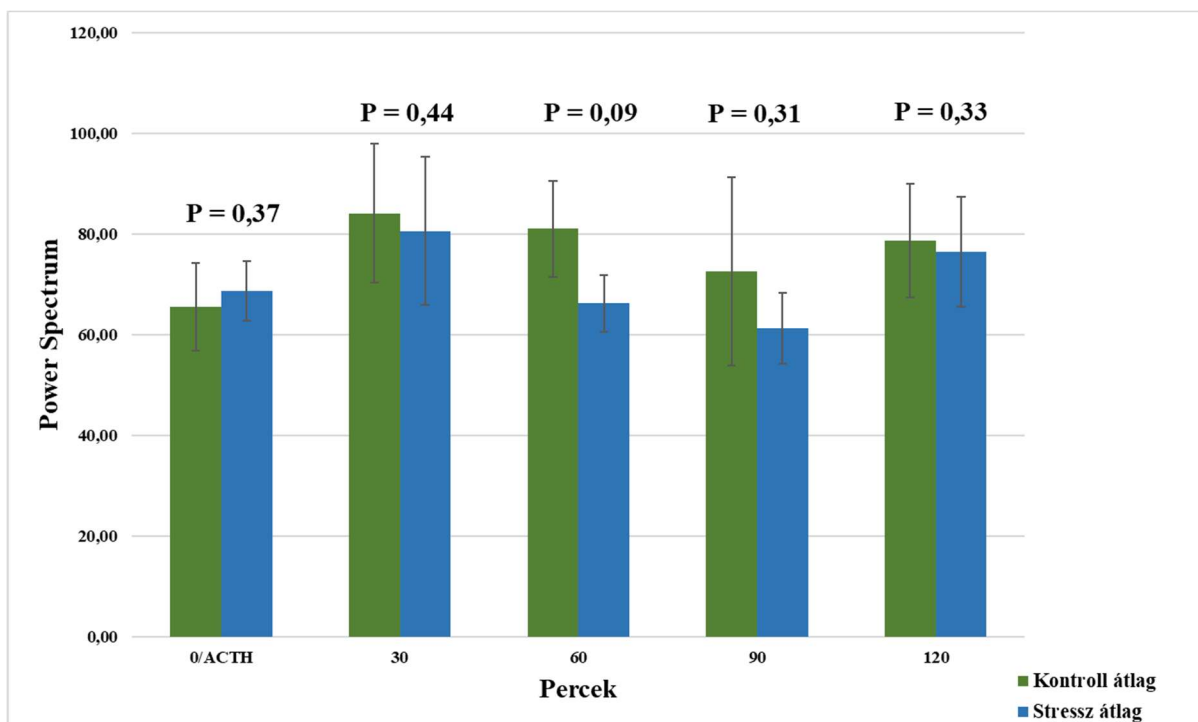


4.2. Emésztőszervek simaizom elektromiográfiás jelei

4.2.1. Gyomor simaizom maximális teljesítmény (PSmax) értékelése a stresszmodellben

A gyomor simaizom aktivitást a kontroll nap és a stresszindukció esetében hasonlítottuk össze 30 perces intervallumokban (8. ábra). Az ACTH injekciót követően 120-150. percig a kontroll napon mért értékekhez a stressz nap értékei kisebbek voltak, de a csökkenés csak 30-60. percben mutatott tendenciózus különbséget ($P=0,09$).

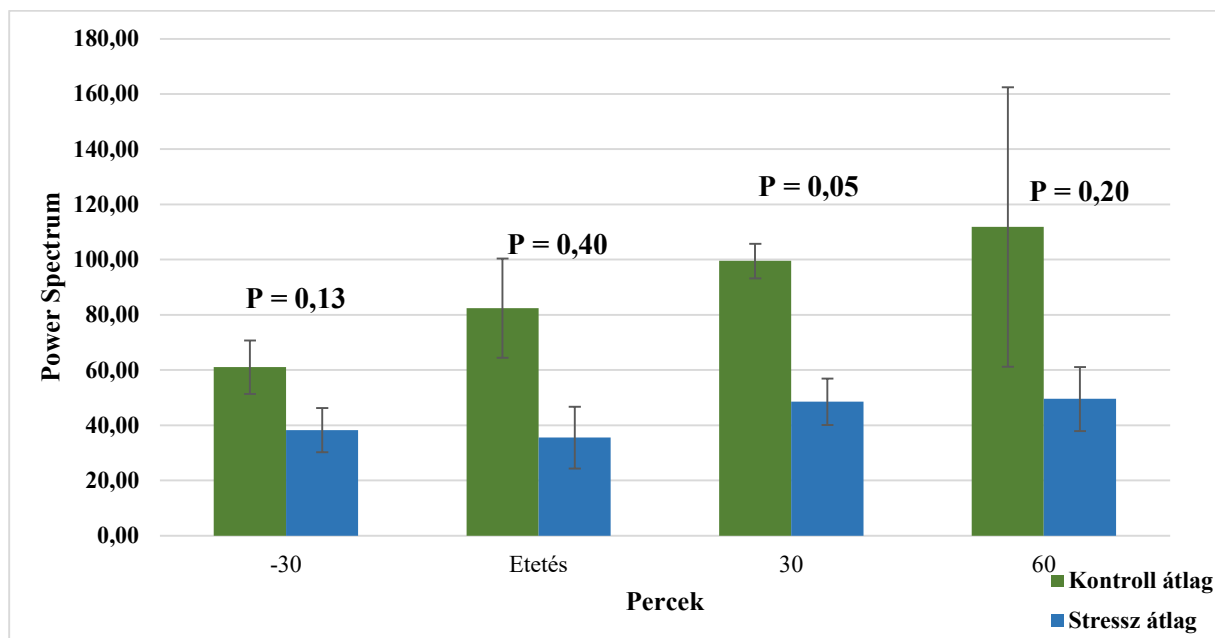
8. ábra: Gyomor simaizom maximális teljesítmény (PSmax) a mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után
(Forrás: Saját ábra)



Az ACTH injekció beadását követően a következő etetés kb. 5 óra múlva történt. Az etetés időpontjában (0-30. perc) a kontroll és a stressz napon a gyomor simaizom maximális teljesítménye számszakilag jelentősen eltérő értékeket mutattak. A kontroll napon a gyomor simaizom aktivitásának értéke $99,52 \text{ mV}^2$, míg a stressz indukciós napon ez az érték $35,58 \text{ mV}^2$ volt ($P=0,05$). A többi időpont kontroll és stressz napon mért átlag értékek eltérései statisztikailag nem voltak igazolhatóak (9. ábra).

Elsősorban humán esetek alapján ismert, hogy a nem megfelelő ütemű, késleltetett gyomortartalom ürítés patofiziológiás folyamatokat indít el (Camilleri és Sanders, 2022). A gyomor motilitásának csökkenését leggyakrabban klasszikus klinikai tünetekkel hozzák összefüggésbe, mint az émelygés, korai jóllakottság és étkezés utáni teltségérzet, puffadás, felső hasi fájdalmak (Camilleri, 2013). A gyomortartalom továbbításának lassulása ugyanis megzavarja a gyomor amilolitikus zónájában lévő mikrobiomot, ami a gázképződés növekedésével és diszkomfort érzet kialakulásával járhat. A gyomor lassabb kiürülése a gyomor falában lévő mechanoreceptorok aktivációja miatt is csökkentheti a takarmányfogyasztást.

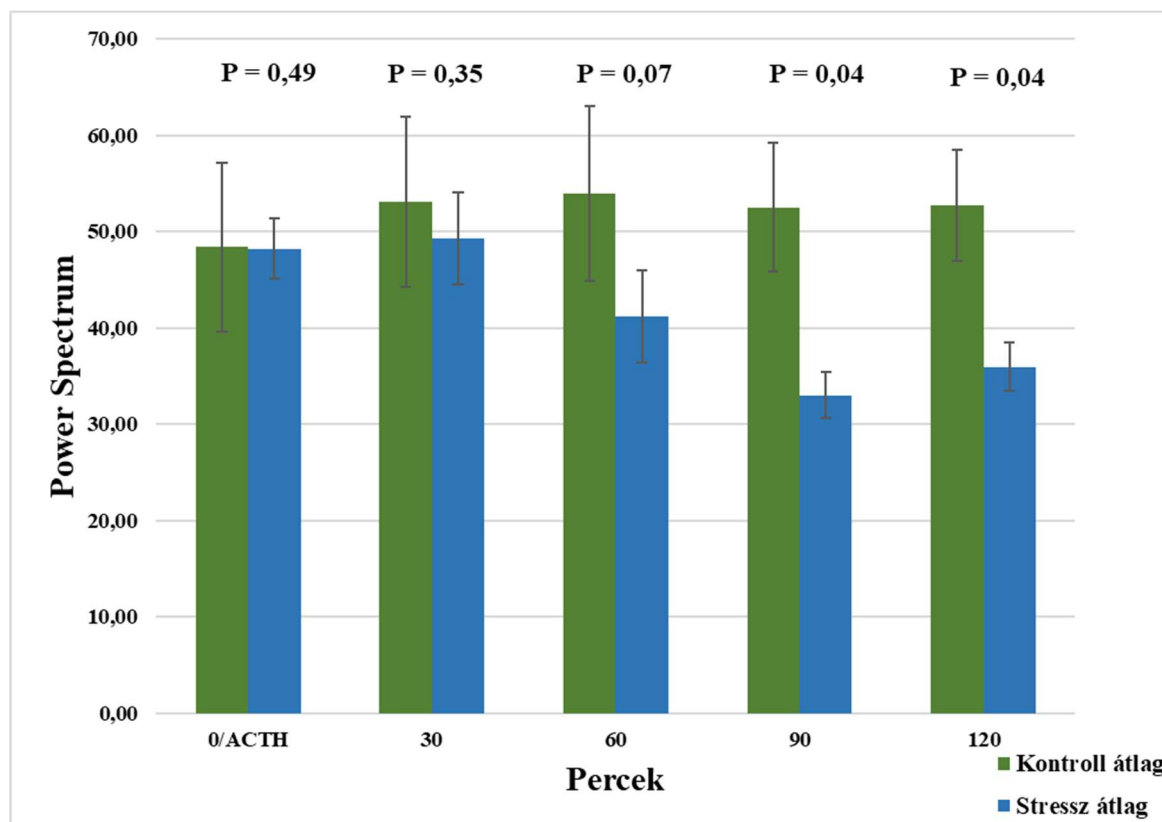
9. ábra: Gyomor simaizom maximális teljesítménye (PSmax) a délutáni etetés előtt 30 perccel és 120 perccel etetés után
(Forrás: Saját ábra)



4.2.2. Vékonybél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) értékelése stresszmodellben

A vékonybél simaizom aktivitását tekintve megfigyelhető a két nap PSmax értékeiben mért különbség. A simaizom aktivitásban az ACTH injekció beadása utáni 0-30. perctől a 120-150. percgig csökkenés történt. A vékonybél simaizom maximális teljesítményében a 30-60. percben ($P=0,07$) tendenciózus, 60-90. perctől ($P=0,04$) a 120-150. percgig ($P=0,04$) pedig szignifikáns különbséget mértünk (10. ábra).

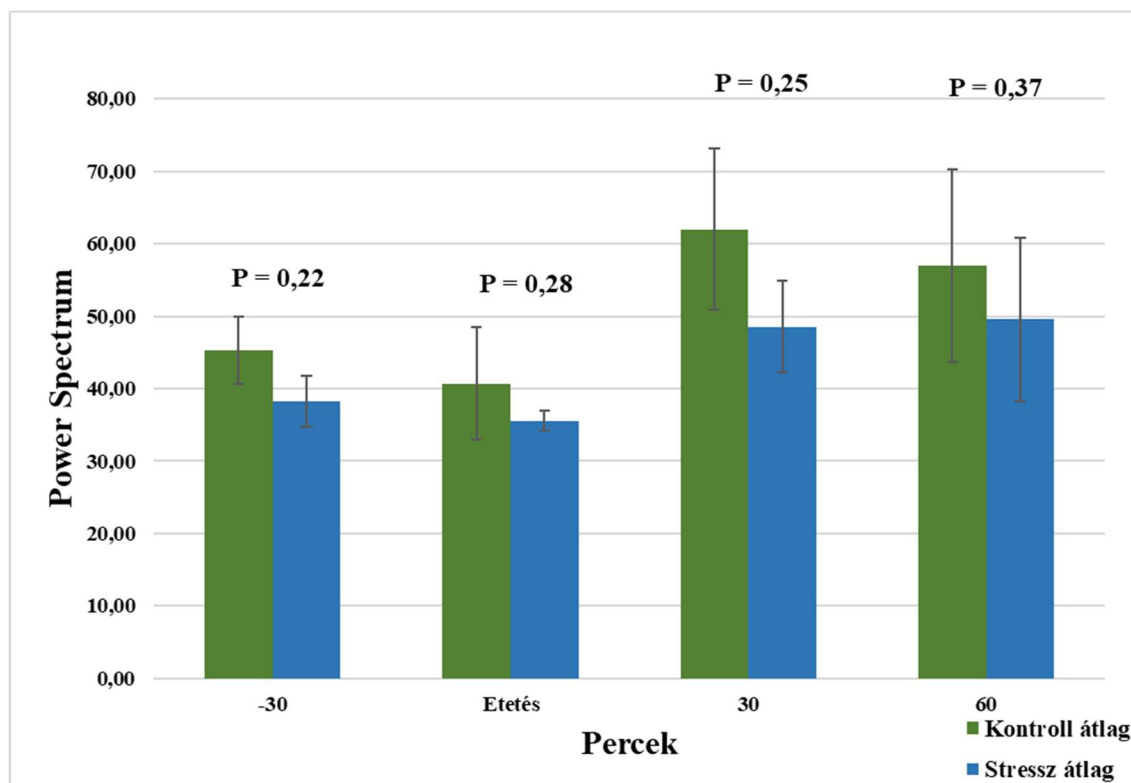
10. ábra: Vékonybél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) a mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után
(Forrás: Saját ábra)



A stressz indukált nap esetében az etetés után is jól látható, hogy a PSmax értékek kisebbek számszakilag a kontroll napéhoz képest. A vékonybél esetében az etetés után mért időpontokban statisztikailag igazolható eltérést nem találtunk (11. ábra).

Nagyon kevés számszerű adatot találtunk a stressz vékonybéltre gyakorolt hatásának közvetlen kísérleti értékeléséről. Ismert azonban, hogy stressz során nem csak a kortizol, de az adrenalin és a noradrenalin szintje is megváltozik. Patkányokkal végzett vizsgálatban azt találták, hogy e két hormon közvetlenül befolyásolja a tápcsatorna motilitását, ezek hatására ugyanis a simaizmok relaxáltabb állapotát tapasztalták (Zhang és mtsai., 2014). A gyengébb motilitás egyébként akár a stressz hatására bekövetkező gyengébb vérrellátásnak is köszönhető, ami a felszívódás hatékonyságát is csökkenti (McIntyre és mtsai., 1992).

11. ábra: Vékonybél simaizom maximális teljesítménye (PSmax) a délutáni etetés előtt 30 perccel és 120 perccel etetés után
(Forrás: Saját ábra)

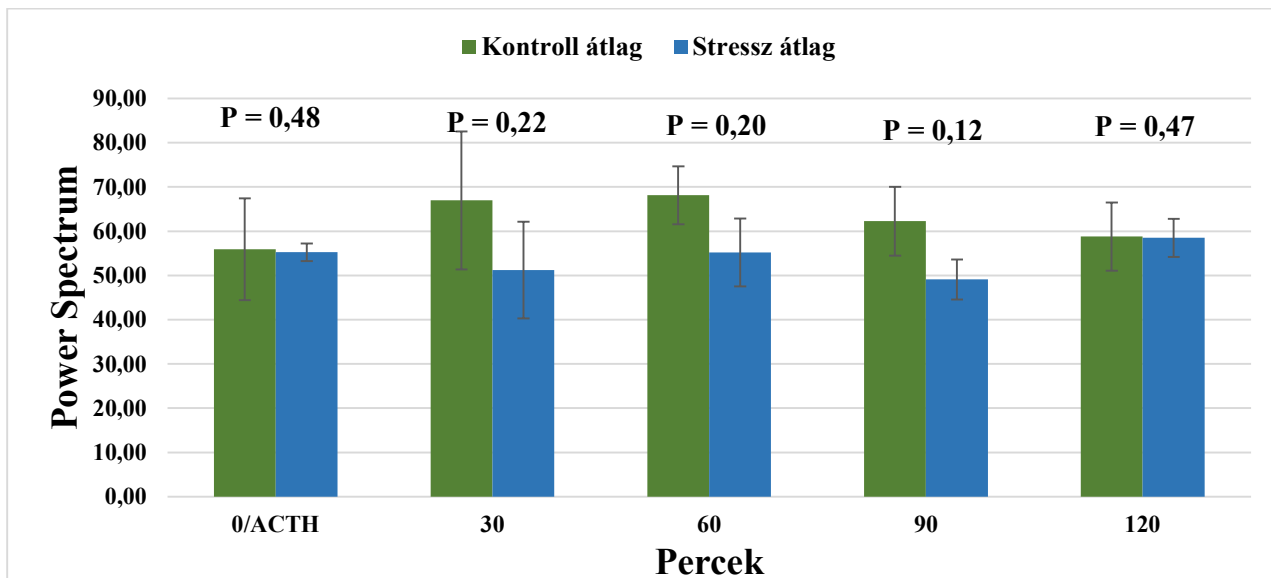


4.2.3. Vastagbél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) értékelése a stresszmodellben

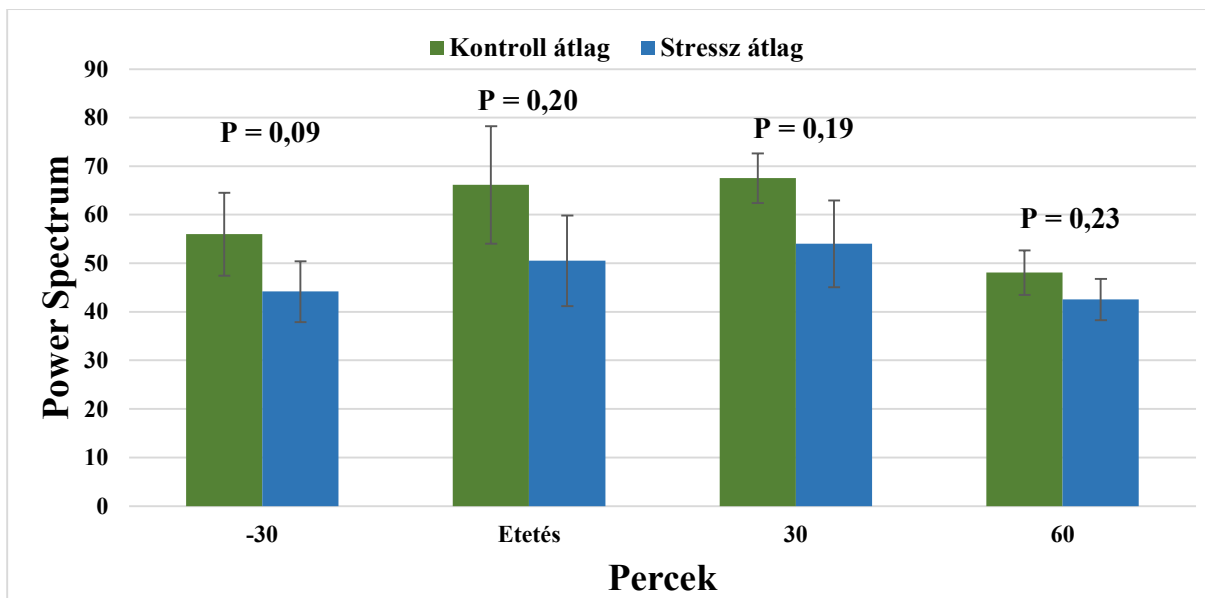
A kapott eredmények alapján a vastagbél simaizom aktivitása statisztikailag igazolható szignifikáns különbséget nem mutatott az ACTH injekció beadása után (12. ábra).

Az etetési idő közeledtével a vastagbél simaizom aktivitása esetében a -30-etetés perceiben tendenciózus különbség volt ($P=0,09$) a PSmax értékében. Az eredmények között számszakilag végig megfigyelhető, hogy a stressz indukciós nap értékei kisebbek a kontroll napéhoz képest, de a további időintervallumokban statisztikailag igazolható különbséget nem kaptunk (13. ábra).

12. ábra: Vastagbél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) a mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után
(Forrás: Saját ábra)



13. ábra: Vastagbél simaizom maximális teljesítménye (PSmax) a délutáni etetés előtt 30 perccel és 120 perccel etetés után
(Forrás: Saját ábra)



Az eredményeink igazolják azt a feltételezést, hogy a stressz emésztőrendszerre gyakorolt hatása következtében az emésztés hatékonysága megváltozhat, és ehhez legalábbis részben az emésztőszervek simaizom aktivitásának csökkenése is hozzájárulhat. Az

aktivitáscsökkenés bizonyos időpontokban statisztikailag is igazolható volt, még alacsony állatlétszám mellett is.

Fontos kiemelni, hogy annak ellenére, hogy statisztikailag nem igazolható minden mérés esetében a különbség, az eredmények jól mutatják, hogy a stressz indukált napon detektált PSmax értéke a gyomor és a vékonybél esetében kisebb, mint a kontroll napon mértéké. Feltételezésünk szerint nagyobb létszám mellett és/vagy hosszabb méréssel a tápcsatorna minden szakaszán nagyobb bizonyossággal, akár a vastagbél esetében is igazolhatóvá válhatna az aktivitáscsökkenés. A bélperisztaltika renyhülése egyrészt a keverő mozgások csökkenését vonja maga után, ami az emésztés hatékonyságát biztosan csökkenti, másrészt a mikrobiomra is kihathat (Camilleri és Sanders, 2022). Az általunk végzett vizsgálatban egyszeri ACTH beadást követően tapasztaltuk a fent leírt változásokat, de úgy vélem, hogy gyakorlati körülmények között a megjelenő stresszorok folyamatos ingert adnak a szervezetnek, ezáltal a hatás mindenképpen fokozottan jelenik meg.

Érdekes tapasztalat, hogy az alkalmazott kis mértékű stressz indukálása esetében, míg a kortizolszint rövid időn belül (90 perc) visszaállt a normál szint közeli állapothoz, addig az emésztőtraktusra gyakorolt hatás a kortizol lecsengése után, később is megfigyelhető volt. Azaz amikor az ACTH-nak hosszabbtávú hatása van, hiszen a simaizom aktivitást jellemző maximális teljesítmény értéke nem állt vissza azonnal a normálnak tekinthető stresszmentes napon mért értékekre. Kísérletünkben az ACTH injekció beadása után 4 órával is aktivitáscsökkenést tudtunk kimutatni a gyomor simaizom és vékonybél simaizom teljesítményével.

A növendék sertés szervezeti felépítéséből kifolyólag az ember modellállata, ezért úgy vélem, hogy a vizsgálat eredményei humán vonatkozásban is fontosak lehetnek. A kutatásunk újdonsága, hogy elektromiográfiás mérésekkel kvantitatív adatokat szolgáltatunk a stressz hatásairól sertések esetében, amelyek emberi vonatkozásban is hasznosak. A kutatás eredményei hozzájárulnak a gazdasági állatok jóllétének növeléséhez. Azonban a kutatás eredményeinek megerősítéséhez javasolt további nagyobb mintaszámú vizsgálat(ok) elvégzése, valamint különböző stresszhelyzetek például hőstressz vizsgálata. A jövőbeli kutatások akár 24 órás megfigyelésekkel is kiegészíthetők lehetnének, amelyek még részletesebb képet adhatnának a stressz emésztőrendszerre gyakorolt hosszú távú hatásairól.

5. Következtetés és javaslatok

Vizsgálatunk során az elektromiográfós méréseket mi is sikeresen alkalmaztuk, jó minőségű és értékelhető jeleket tudtunk gyűjteni a tápcsatorna különböző szakaszaiból.

Kismértékű, egyszeri indukált stressz megváltoztatta a tápcsatorna egyes szakaszaiban, a gyomor- és a vékonybél simaizom szövetében mérhető elektromos aktivitást. Stressz hatásra csökkent ezen szakaszok motilitása.

A stresszt indukciót követően 4-5 óra múlva is tetten érhető volt a gyomor és vékonybél aktivitásának csökkenése.

Elektromiográfias mérések az emésztőtraktuson sikeresen alkalmazhatóak növendéksértéseken indukált stresszmodellben.

További eredmények érdekében érdemes lenne kutatásokat végezni nagyobb állatlétszámú csoportokon, különböző stresszhelyzetekben (például: hőstressz, szociális stressz), valamint hosszabb idejű elektromiográfias mérésekkel (például: 24 órás megfigyelés).

6. Összefoglalás

A növendéksertésekkel végzett kutatás célja az emésztőszervek simaizom aktivitásának vizsgálata volt indukált stressz során. A stressz hatásának értékelését az emésztőtraktus különböző szakaszain (gyomor, vékonybél, vastagbél) mérhető elektromiográfiás jelek alapján végeztük. Mivel a növendéksertések emésztési mechanizmusai sok hasonlóságot mutatnak a humán emésztéssel, ezért a vizsgálat során kapott eredmények humán vonatkozásban is relevánsak lehetnek a későbbiekben.

A vizsgálatba négy növendék sertést vontunk be. Az állatokat a kísérlet megkezdése előtt a miográfós vizsgálatokhoz szoktattuk, majd a kísérlet megkezdése előtt az állatorvos tartós vénakanült helyezett el a vena jugularisba. A kontroll napon adott időközönként vérvétel történt, a stressz-napon az egységes válasz kialakításához az élsúly alapján intravénásan adrenokortikotrop hormont alkalmaztunk és a kontroll napi vérvételek időpontjában vért vettünk, amiből kortizol szint meghatározás történt. A mintavételi napokon az emésztőszervek (gyomor, vékonybél, vastagbél) simaizom aktivitásának elektromiográfiás jeleit a bőrfelületükre helyezett elektródák segítségével rögzítettük összesen 9 órás időtartamban. Az adatok elemzéséhez EasyChart szoftvert használtunk. A 8 órás mérést 30 perces intervallumokra osztottuk, és minden intervallumhoz fast Fourier Transzformációval kiszámításra került az összetett spektrumgörbe alatti terület. Az adatokat páros t-próbával elemeztük.

A kontroll napon az állatok kortizil szintje stabilan alacsony volt, az ACTH injekció jelentős és azonnali kortizol szint emelkedését váltott ki. Az elektromiográfós méréseket sikeresen alkalmaztuk, jó minőségű és értékelhető jeleket tudtunk gyűjteni a tápcsatorna különböző szakaszaiból. Kimutattuk, hogy a stressz következtében az emésztőrendszer simaizom aktivitása csökkent, különösen a gyomor és vékonybél esetében, ahol az eltérések statisztikailag igazoltak, de legalábbi tendenciózusok voltak. A kortizol szint normalizálódása után is megfigyelhető volt az emésztőrendszer szervek simaizom aktivitásának csökkenése, ami arra utal, hogy a stressz emésztőtraktusra gyakorolt hatása hosszabb ideig fennmarad.

Eredményeinkből az alábbi következtetések vonhatók le: kismértékű, egyszeri, indukált stressz megváltoztatta a tápcsatorna egyes szakaszaiban, a gyomor- és a vékonybél simaizom szövetében mérhető elektromos aktivitást. Stressz hatásra csökkent ezen szakaszok motilitása és az ACTH beadását követően 4-5 óra múlva is tetten érhető volt a bélmotilitás csökkenése.

7. Irodalomjegyzék

Camilleri M, Parkman HP, Shafi MA, et al. Clinical guideline: management of gastroparesis. *Am J Gastroenterol* 2013;108:18–37

Camilleri M, Sanders KM. Gastroparesis. *Gastroenterology*. 2022 Jan;162(1):68-87.e1. doi: 10.1053/j.gastro.2021.10.028. Epub 2021 Oct 27. PMID: 34717924; PMCID: PMC8678360.

Choudhury, R., Middelkoop, A., Boekhorst, J., Gerrits, W. J. J., Kemp, B., Bolhuis, J. E., & Kleerebezem, M. (2021). Early life feeding accelerates gut microbiome maturation and suppresses acute post-weaning stress in piglets. *Environmental Microbiology*, 23(11), 7201-7213.

Chrousos, G. P., & Gold, P. W. (1992). The concepts of stress and stress system disorders: overview of physical and behavioral homeostasis. *Jama*, 267(9), 1244-1252.

Dalin, A. M., Magnusson, U., Häggendal, J., & Nyberg, L. (1993). The effect of transport stress on plasma levels of catecholamines, cortisol, corticosteroid-binding globulin, blood cell count, and lymphocyte proliferation in pigs. *Acta veterinaria scandinavica*, 34, 59-68.

Bódi Nikolett (2020): Az emésztő- és kiválasztó szervrendszer felépítése és működése. Szegedi Tudományegyetem, E-jegyzet

Einarsson, S., Brandt, Y., Lundeheim, N., & Madej, A. (2008). Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50, 1-8.

Gergátz E., Vittinger E. (2006): A mezőgazdasági termelés állattani alapjai. Debreceni Egyetem, E-jegyzet.

Hicks Ta, McGlone JJ, Whisnant CS, Kattesh HG, Norman RL. Behavioural, endocrine, immune and performance measures for pigs exposed to acute stress. *J Anim Sci*. 1998;76:474–83.

Horváth, V. J. (2008). A gasztrikus Cajal-féle intersticiális sejtek depléciójának mechanizmusa egér kísérletes diabetes mellitusban. I. sz. Belgyógyászati Klinika, Szegedi Tudományegyetem.

Hu, C., Patil, Y., Gong, D., Yu, T., Li, J., Wu, L., ... & Ju, X. (2022). Heat stress-induced dysbiosis of porcine colon microbiota plays a role in intestinal damage: A fecal microbiota profile. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 686902.

Hyung Y, Ellis M, Johnson RW. Effects of feeder type, space allowance, and mixing on the growth performance and feed intake pattern of growing pigs. *J Anim Sci*. 1998;76(11):2771–8.

Kayalioglu, M., Shcherbatyy, V., Seifi, A., & Liu, Z. J. (2007). Roles of intrinsic and extrinsic tongue muscles in feeding: electromyographic study in pigs. *Archives of oral biology*, 52(8), 786-796

Lee, C., Zhang, X., & Kwan, W. F. (1996). Electromyographic and mechanomyographic characteristics of neuromuscular block by magnesium sulphate in the pig. *British journal of anaesthesia*, 76(2), 278-283.

Leigh, S. J., Uhlig, F., Wilmes, L., Sanchez-Diaz, P., Gheorghe, C. E., Goodson, M. S., Kelley Loughnane, N., Hyland, N. P., Cryan, J. F., & Clarke, G. (2023). The impact of acute and chronic stress on gastrointestinal physiology and function: a microbiota-gut-brain axis perspective. *The Journal of physiology*, 601(20), 4491–4538.

- Li, J., Li, X., Liu, H., Li, J., Han, Q., Wang, C., Zeng, X., Li, Y., Ji, W., Zhang, R., & Bao, J.** (2021). Effects of music stimulus on behavior response, cortisol level, and horizontal immunity of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 99(5), 1-9.
- Martínez-Miró, S., Teeles, F., Ramón, M., Escribano, D., Hernández, F., Madrid, J., & Cerón, J. J.** (2016). Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update. *BMC veterinary research*, 12, 1-9.
- McIntyre, A. S., Thompson, D. G., Burnham, W. R., & Walker, E.** (1992). The effect of alpha-1-adrenoreceptor agonist and antagonist administration on human upper gastrointestinal transit and motility. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 6(4), 415–426.
- Möstl E, Palme R.** Hormones as indicators of stress. *Domest Anim Endocrin*. 2002;23:67–74.
- Nagy, K., Fébel, H., Bazar, G., Grosz, G., Gáspár, R., Ferenc Szűcs, K., & Tóth, T.** (2021). Non-invasive smooth muscle electromyography (SMEMG) as a novel monitoring technology of the gastrointestinal tract of awake, free-moving pigs—A pilot study. *Plos one*, 16(9), e0257311.
- Nguyen-Ba, H., Van Milgen, J., & Taghipoor, M.** (2020). A procedure to quantify the feed intake response of growing pigs to perturbations. *Animal*, 14(2), 253-260.
- Pena Cortes, L. C., LeVeque, R. M., Funk, J. A., Marsh, T. L., & Mulks, M. H.** (2018). Development of the tonsil microbiome in pigs and effects of stress on the microbiome. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 220.
- Pribék, I. K., Szűcs, K. F., Süle, M., Grosz, G., Ducza, E., Vigh, D., ... & Andó, B.** (2021). Detection of acute stress by smooth muscle electromyography: A translational study on rat and human. *Life sciences*, 277, 119492.
- Roszkos R.** (2022). Az elektromiográfia fejlődése és alkalmazásának lehetőségei a tenyész kocák szaporodásbiológiai folyamatainak vizsgálatában (szemleciikk). *Animal Breeding & Feeding/Állattenyésztés és Takarmányozás*, 71(2).
- Ruis MAW, Brake JHA, Engel B, Ekkel ED, Buist WG, Blokhuis HJ, Koolhaas JM.** The circadian rhythm of salivary cortisol in growing pigs: effects of age, gender, and stress. *Physiol Behav*. 1997;62:623–30.
- Ślupczyńska, M., Król, B., & Imre, M. (Eds.).** (2020). Ésszerű takarmányozás és állattartás. Tudás Alapítvány
- Stott, G. H.** (1981). What is animal stress and how is it measured?. *Journal of animal science*, 52(1), 150-153.
- Sutherland, M. A., Niekamp, S. R., Rodriguez-Zas, S. L., & Salak-Johnson, J. L.** (2005). Impacts of chronic stress and social status on various physiological and immune parameters in pigs. *Journal of Animal Science*, 83(7), 1947-1955.
- Sutherland, M. A., Niekamp, S. R., Rodriguez-Zas, S. L., & Salak-Johnson, J. L.** (2006). Impacts of chronic stress and social status on various physiological and performance measures in pigs of different breeds. *Journal of animal science*, 84(3), 588-596.
- Szűcs, K. F., Nagy, A., Grosz, G., Tiszai, Z., & Gaspar, R.** (2016). Correlation between slow wave myoelectric signals and mechanical contractions in the gastrointestinal tract: Advanced electromyographic method in rats. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, 82, 37-44.

Tan, S. Y., & Yip, A. (2018). Hans Selye (1907–1982): Founder of the stress theory. Singapore medical journal, 59(4), 170.

Varayil, J. E., Ali, S. M., Tachecí, I., Květina, J., Kopáčová, M., Kuneš, M., & Bureš, J. (2009). Electrogastrography in experimental pigs. Folia Gastroenterologica Et Hepatologica, 7(3-4), 98-104.

Xia, B., Wu, W., Fang, W., Wen, X., Xie, J., & Zhang, H. (2022). Heat stress-induced mucosal barrier dysfunction is potentially associated with gut microbiota dysbiosis in pigs. Animal Nutrition, 8, 289-299.

Xiong, Y., Yi, H., Wu, Q., Jiang, Z., & Wang, L. (2020). Effects of acute heat stress on intestinal microbiota in grow-finish pigs, and associations with feed intake and serum profile. Journal of Applied Microbiology, 128(3), 840-852.

Yin, J., & Chen, J. D. (2013). Electrogastrography: methodology, validation and applications. Journal of neurogastroenterology and motility, 19(1), 5.

Zhang, C., Rui, Y. Y., Zhou, Y. Y., Ju, Z., Zhang, H. H., Hu, C. Y., Xiao, Y., & Xu, G. Y. (2014). Adrenergic β 2-receptors mediates visceral hypersensitivity induced by heterotypic intermittent stress in rats. PLoS ONE, 9(4), e94726.

Internetes források:

Internetes forrás 1 – Stressz és a betegségek, miért olyan veszélyes a stressz a szervezetre?

<https://www.xn--stressztrner-jeb.hu/cikkek-ajanlasok/cikkek/49-stressz-es-a-betegsegek-miert-olyan-veszelyes-a-stressz-a-szervezetre>

Internetes forrás 2 - Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, Simaizom

<https://egeszsegvonal.gov.hu/s-sz/1037-simaizom.html>

Internetes forrás 3 - magro.hu; Hogyan kezeljük hatékonyan az állatok stresszét az állattenyésztésben?

<https://www.magro.hu/hu/agrarhirek/cikk/hogyan-kezeljuk-hatekonyan-az-allatok-stresszet-az-allattenyesztesben/>

URL1: <https://premierveda.hu/natur-tanya-stress-control-r-tamogatja-a-stresszturo-kepesseget-segiti-a-stresszhez-valo-alkalmazkodast-2024>

8. Ábrajegyzék:

1. ábra: Selye féle vészreakció	6
2. ábra: Mioelektromos jelből (A) nyer gyors Fourier transzformációval nyert specifikus spektrumok (B).....	10
3. ábra: A bélhám anatómiai felépítése	13
4. ábra: Mintavételi napok	17
5. ábra: A sertések szoktatása	18
6. ábra: Vérminta vétel.....	19
7. ábra: A kortizol szint az elektromiográfiás mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után	21
8. ábra: Gyomor simaizom maximális teljesítmény (PSmax) a mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után.....	22
9. ábra: Gyomor simaizom maximális teljesítménye (PSmax) a délutáni etetés előtt 30 perccel és 120 perccel etetés után.....	23
10. ábra: Vékonybél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) a mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után.....	24
11. ábra: Vékonybél simaizom maximális teljesítménye (PSmax) a délutáni etetés előtt 30 perccel és 120 perccel etetés után.....	25
12. ábra: Vastagbél simaizom maximális teljesítmény (PSmax) a mérés megkezdése és az ACTH injekció beadása után.....	26
13. ábra: Vastagbél simaizom maximális teljesítménye (PSmax) a délutáni etetés előtt 30 perccel és 120 perccel etetés után.....	27
1. táblázat: Az alaptakarmány összetétele és számított táplálóanyag tartalma	17