

The role of cortisol hormone
in equine exercise
physiology

Literature review

Nyerges-Bohák Zsófia*
Kutasi Orsolya
Szenci Ottó

Zs. Nyerges-Bohák*
O. Kutasi
O. Szenci

MTA-SZIE Nagyállatklinikai
Kutatócsoport
2225 Üllő, Dóra major

*e-mail: bohak.zsofia@univet.hu

A kortizolhormon sportélettani szerepe lovakban

Irodalmi összefoglaló

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők jelen tanulmányukban bemutatják a fizikai aktivitás és a kortizoltermelés összefüggéseit. Áttekintik e témakör ismeretanyagát, feltárják a témával kapcsolatos tudományos eredmények egyezőségeit és ellentmondásait.

Egyes szerzők szerint a kortizol releváns mérője lehet a terhelés mértékének, mások a vizsgált egyed aktuális teljesítményének felderítésére találták megfelelőnek a hormon mérését, de akad olyan vélemény is, amely szerint a kortizolfel szabadulás túl sok tényezőtől függ, így sportélettani felhasználása vitatható.

Jelen összefoglaló célja támpontot adni az állatorvosoknak a kortizolmérések gyakorlati jelentőségéhez.

SUMMARY

In the following review article the authors illustrate the complexity of the hormone cortisol, and discuss the relevance of the hormone in exercise physiology. Several conditions may induce a cortisol release, the effect of this hormone is diverse throughout the body. Researchers investigating the cortisol response to different stressors, reach often contradictory conclusions. Exercise is a unique and complex stress factor, which means physical and psychical challenge at the same time. Anticipatory stress response is a well-known phenomenon in sport psychology, which means increased serum cortisol level before exercise, even without any physical strain. Therefore the correlation between exercise and cortisol production remained to be unclear so far.

Some researchers have found cortisol relevant for measuring the workload, while others have used the cortisol measurements for assessing the current fitness level of the horse. There are also numerous studies that failed to prove the usefulness of cortisol measurements in equine exercise physiology because the production of the hormone is influenced by several confounding external and internal factors. The exact trigger for the cortisol increase during exercise is also questionable. Results of the comparison of cortisol responses between different types of exercises suggested that the duration of the physical activity is a more relevant trigger than the intensity of the exercise. Although opposite opinion can also be found in scientific literature.

The aim of the authors is to overview the scientific evidence in this topic available today. In the article the possible causes of the existing contradictions are highlighted, and a practical approach for the use of cortisol measurement is provided.



A KORTIZOL

A lovakban a legfontosabb glükokortikoidok:

- a kortizol
- a kortizon
- a kortikoszteron

A kortizolhormon igen sokoldalú mediátora a szervezetnek. A hormon szervezeten belüli hatásköre is igen tág, és a kortizolelválasztást előidéző tényezők sora is meglehetősen hosszú. SELYE JÁNOS 1956-ban írta le először a „stressz” fogalmát, amely összefoglaló névvel fejez ki minden olyan környezeti hatást, amely felborítja a szervezet anyagcsere-egyensúlyát, és kortizolelválasztást eredményez (51). A központi idegrendszer érzékeli a fizikai vagy pszichikai stresszor jelenlétét, és a hipotalamusz–hipofízis–mellékvesekéreg–tengelyen (HPA-tengely) keresztül serkenti a kortikotropint felszabadító (releasing) hormon (CRH), ezáltal az adrenokortikotrop hormon (ACTH) és végső lépcsőként a glükokortikoidok termelését. Lovakban a három legfontosabb glükokortikoid a kortizol, a kortizon és a kortikoszteron, amelyek 16 : 8 : 0,5 arányban vannak jelen a vérplazmában. Mindhárom glükokortikoid-molekula prekursora a koleszterin, termelésükért a mellékvesekéreg zona fasciculata és a zona reticularis sejtjei felelnek. Mivel a legnagyobb arányban jelen lévő és ezáltal legfontosabb glükokortikoid emberekben és lovakban is a kortizol, így a legtöbb tudományos kutatás és jelen összefoglaló is a továbbiakban ezzel foglalkozik. A felszabadult kortizol 1%-a változatlan formában a vizelettel ürül, 20%-a a vesében a 11-hidroxi-szteroid-dehidrogenáz hatására kortizonná alakul. A kortizon nagy része és a maradék kortizol a májban inaktiválódik, tovább metabolizálódik, majd mint 11-oxi-17-ketoszteroid, szabad formában vagy glukuronsavval, ill. kénsavval konjugálva a vizelettel ürül.

A kortizoltermelés szabályozásával kapcsolatban fontos megemlíteni továbbá, hogy emberekben és lovakban is (2, 27) a hipofízis hátsó lebenyében (neurohipofízis) termelődő vazopresszin (ADH) szintén jelentősen befolyásolja az ACTH termelését. A végtermékként felszabaduló kortizol, a közvetlen negatív visszacsatolás elvén hat a hipotalamuszra és csökkenti a CRH termelését. A növekedő kortizolkoncentráció okozta negatív hatásra a neurohipofízis érzékenysége azonban lényegesen kisebb, így az ADH-termelés nem csökken olyan intenzíven, ami a további ACTH- és kortizoltermelést nagyban befolyásolhatja.

Több kutatás is vizsgálta a különböző stresszorok hatására fellépő általános stresszreakció folyamatát emberekben és lovakban is. Humán kísérletek több esetben is azt találták, hogy a stresszreakció mértéke függ a stresszor jellegétől, számottevő mellékvesekéreg-aktivitást csak új (50), kiszámíthatatlan (40) vagy veszélyes (6, 14) hatások váltottak ki. Mindemellett fontos tényező, hogy a kortizol nagyobb része a vérben egy speciális fehérjéhez (transzkortin – CBG) vagy albuminhoz kötve kering. Mindössze az összkortizol 5%-a található meg szabad kortizolként, a valós biológiai hatásokért azonban mégis kizárólag a szabad kortizol felelős (1). Egy lovakon végzett kísérletben kimutatták, hogy a szociális stressz csökkenti a kortizol CBG-hez való kötődési hajlamát. Vagyis a kortizolhatás erősödhet változatlan összkortizol-koncentráció mellett is (1). Továbbá a kortizoltermelés lóban (és egyéb fajokban is) stresszhatásoktól függetlenül is napi ingadozást mutat (8), amely szerint reggel nagyobb, míg este kisebb kortizolszint mérhető.

A FIZIKAI MUNKAVÉGZÉS MINT STRESSZOR

A lehetséges stresszhatások palettáján kiemelt helyen szerepel a fizikai munkavégzés. A szervezetet külső ingerként éri már önmagában a fizikai igénybevétel mint élettani folyamat. Emellett azonban minden esetben számolni kell egy pszichikai hatással is, amely az aktuális kedvtől, a felkészültségtől, a munkavégzés típusától és még számos más külső és belső tényezőtől is függ. Egy edzés tulajdonképpen élettani, szociális, pszichológiai és környezeti stresszorok

A valós biológiai hatásokért kizárólag a szabad kortizol a felelős

Kiemelt stresszhatás a fizikai munkavégzés

együttese (30). Éppen a folyamat ilyen mértékű összetettsége teszi a kortizol sportélettani szerepének vizsgálatát a tudományág egyik legizgalmasabb területévé. Noha lovakon több kísérlet nyomán is született már közlemény a jelzett témakörben, egyetértés mindössze annyiban alakult ki, hogy fizikai munkavégzés hatására lovakban is emelkedik a kortizol koncentrációja. A kortizolszint-emelkedés pontos kiváltó okáról, mértékéről vagy üteméről végleges álláspont egyelőre nincs.

A KORTIZOL SPORTÉLETTANI SZEREPE

A kortizolhormon katabolikus, antianabolikus és anabolikus folyamatokban vesz részt

A kortizol fokozza az elérhető szabad aminosavak mennyiségét

A kortizolhormon hatósugara a szervezetben szinte határtalan. Katabolikus, antianabolikus és anabolikus folyamatokban egyaránt részt vesz (1. táblázat).

A fizikai munkavégzés során a kortizol központi feladata a fehérjefelhasználás serkentése és a rendelkezésre álló glikogén takarékos beosztása. Anabolikus hatása, hogy az izommunkával felhasználódó ATP pótlásához szubsztrátokat (főként szabad zsírsavakat és szénhidrátokat) mozgósít, fokozza a glükoneogenezist. A sportélettanban több területen is megjelenő „újraelosztási folyamatot” is megfigyelhetünk kortizol hatásra. Míg munkavégzés során a növekvő szimpatikus és csökkenő paraszimpatikus tónus az erek összehúzódása által a nagyobb igényű szövetek felé irányítja a vért (7), addig a kortizol ehhez hasonlóan egyes szövetek glükózfelhasználásának csökkentése árán is biztosítja a központi idegrendszer vércukorellátását. A hormon legfontosabb katabolikus hatása az elérhető szabad aminosavak mennyiségének növelése. Az elágazó láncú szabad aminosav megfelelő energiaforrás, ha a vércukor már nem elegendő az oxidatív folyamatokhoz. A terhelés végeztével, az ún. alkalmazkodási időszakban pedig a felgyülemlett nagy mennyiségű szabad aminosav lesz a fehérjeszintézis legfontosabb alapanyaga (42, 52). Ennek a jelentőségét emeli ki egy patkányokon végzett kísérlet. Patkányokban kimutatták ugyanis, hogy az alkalmazkodási időszakban történő RNS-szintézis mértéke közvetlen kapcsolatban van a teljesítőképesség növekedésével (60). Terhelés során a kortizol további fontos feladata a katekolamin-előállítás támogatása (41), ill. a gyulladáscsökkentő és immunszuppresszáns hatás (22, 43).

AKUT TERHELÉS HATÁSA A KORTIZOLKONCENTRÁCIÓRA

Az ACTH és a kortizol koncentrációja megerőltető és hosszan tartó fizikai munkavégzés hatására is emelkedik. Az emelkedés mértékére hivatalos referencia

1. TÁBLÁZAT. A kortizolhormon legfontosabb hatásai fizikai terhelés esetén

TABLE 1. The most important cortisol effects in exercise

Kortizolhatás fizikai terheléskor		
Katabolikus hatás	Antianabolikus hatás	Anabolikus hatás
elágazó láncú szabad aminosav mennyiségének növelése ↓ energiaforrás terhelés alatt, fehérjeszintézis alapanyaga az alkalmazkodási időszakban	egyes szövetek glükózfelhasználását gátolja ↓ energiaforrást „spórol” a központi idegrendszer számára	glükoneogenezis, szabadzsírsav-mobilizáció ↓ energiaforrás termelése



ÁBRA. Mintavétel a versenypályán

FIGURE. Blood sampling at the racetrack

nincs, de nagy intenzitású, ám rövid ideig tartó terhelés végére lovakban több kutatás is a szérumban 25–40% körüli kortizolkoncentráció-emelkedést ír le (11, 20, 39). Hosszabb ideig tartó szubmaximális terhelésre akár 2–3-szoros kortizolszint-emelkedés is kialakulhat (43). A témával foglalkozó vizsgálatok során nem minden esetben találtak közvetlen összefüggést az ACTH és a kortizol növekedési üteme között (44), amely tény csak tovább erősíti a munkavégzés speciális stresszor szerepét. Szintén kérdéses, hogy a kortizolkoncentráció emelkedése függ-e egyáltalán a terhelés mértékétől (24, 44). Egy ügetőkön végzett kísérlet során a terhelés intenzitása és az elért vénás plazma laktátkoncentrációja sem mutatott szignifikáns összefüggést a kortizolszint-emelkedéssel (24). Saját, még nem publikált vizsgálataink során telivérekben szintén nem volt kimutatható szignifikáns korreláció az adott távon futó lovak sebessége és a kortizolszint-emelkedése között. Emellett a bemelegítés alatt pl. szinte változatlan laktátkoncentráció mellett is, már a munka ténye jelentős kortizolszint-emelkedést okozott. Ebben a kísérletben a lovak alaptermészete tűnt az egyik legerősebb befolyásoló tényezőnek az edzés által kiváltott stresszreakció mértékében. Humán kísérletekben, fokozott mellékvesekéreg-aktivitást csak anaerob munkavégzés során (59) vagy legalább a maximális oxigénfelvétel 60%-ának elérése után (29) mutattak ki. Más vizsgálatokban lovaknál és embereknél is azt találták, hogy a szérumban a kortizolkoncentráció emelkedése sokkal inkább függ a munkavégzés időtartamától, mint a terhelés

intenzitásától (13, 24, 26, 28, 33, 44, 45, 54, 58). KEDZERSKI és mtsai távlovak és versenylovak értékeit hasonlították össze. A távlovak vérenek kortizolkoncentrációja magasabbra emelkedett a munka végére (26).

VALBERG és mtsai ügetőket vizsgáltak futópádon. Ugyanazon lovakban a kortizol koncentrációja kevésbé emelkedett meg gyors, de rövid ideig tartó galoppozás közben, mint 55 perc lassú ügetés alatt (58). Kimutatták emellett, hogy a kortizolszint nem a munka legvégén tetőzik, hanem a terhelés végeztével tovább emelkedik. Ugyanezt állapították meg futópádon vizsgált telivérekben is. A kortizolszint 10–15 perccel a munkavégzés után volt a legnagyobb (34). Saját vizsgálataink során erős intenzitású munkát végző galopplovakban terepi körülmények között is az edzés végezte után fél órával tetőzött a kortizol koncentrációja, azonban az aerob energianyerés fázisában galoppozó lovak már az edzés végére elérték a kortizolszint-emelkedés csúcsát. Ugyanakkor mikor ügetőket vizsgáltunk enyhe munkavégzés alatt, már a bemelegítés végére 15%-os kortizolszint-emelkedést mértünk, majd további kortizolszint-változás nem volt kimutatható. Saját eredményeink, ill. a fent hivatkozott, már publikált vizsgálatok alapján az feltételezhető tehát, hogy egy adott mértékű terheléshez adott mennyiségű kortizol elválasztása szükséges, amelynek előteremtéséhez a könnyen aktiválható kortizolraktárak (mellékvesekéreg, inaktív kortizon aktiválása, albuminhoz gyengén kötött kortizol leválása stb.) kimerülése után a szervezetnek időre van szüksége. Igazán erős igénybevétel esetén (anaerob galoppmunka) tehát a szervezet nem képes az edzés ideje alatt elérni a kívánt kortizolkoncentrációt, a stresszhatás így a munka végezte után továbbra is

Megfigyelték, hogy a lovak kortizolszintje a fizikai terhelés végzetével tovább emelkedik

kihat. Közepes intenzitásnál (aerob galoppmunka) a munka végére már felszabadul a kívánt mennyiségű kortizol, így további növekedés nem mérhető, míg enyhe edzés során (aerob ügetőmunka) már a munkavégzés kezdeti fázisában kialakul az igénybevételhez szükséges kortizolszint. Ugyanezt az elméletet igazolja az a vizsgálati eredményünk is, miszerint nagyobb induló kortizolkoncentráció mellett egy adott edzés kisebb kortizolszint-emelkedést vált ki. Vagyis a szükséges kortizolkoncentrációt hamarabb eléri az az egyed, amelyikben a kiinduló vér kortizolszintje valamilyen okból (izgatottság, alaptermészet stb.) nagyobb volt. Más vizsgálatok szerint a kortizolkoncentráció tetőzésének időpontja mindezek mellett függ a ló korától és tapasztaltságától is (18, 36, 37).

A KORTIZOL ÉS AZ EDZETTSÉG ÖSSZEFÜGGÉSE

Nincs egységes vélemény a ló teljesítőképessége és a kortizolválasz közötti összefüggésről

A fizikai aktivitás során a szérumban kialakuló kortizolkoncentráció-változást nem csak az adott terhelés tükrében érdemes megvizsgálni. Habár a legtöbb vizsgálat arra jutott, hogy a kortizol a munkavégzés intenzitásának közvetlen meghatározására nem használható, a ló vagy sportoló edzettségi állapotának felmérésében fontos lehet. Számos kísérletet végeztek annak felderítésére, milyen hatással van egy hosszú távú edzésprogram a kortizolelválasztásra akár nyugalomban, akár a munka során. Az eredmények ebben a témában sem egyeznek. Humán vizsgálatokban a rendszeres edzés nyomán létrejövő alkalmazkodási folyamat hatására a HPA-tengely aktivitása a mellékvesekéreg érzékenységének csökkenése által visszaesett. Vagyis ezekben a sportlovakban munkavégzés után magasabb ACTH mellett mérték ugyanazt a kortizolszintet, mint a kontrollcsoportban (15). Jól edzett lovakban ezzel szemben éppen változatlan ACTH mellett mérték kisebb terhelés utáni kortizolszintet, mint edzetlen társaikban (38). Szintén lovakban egy másik vizsgálat nem talált különbséget a kortizolértékek között az edzett és edzetlen csoportban, de a jól edzett lovakban munka után a kortizolszint gyorsabb ütemben csökkent, mint a kontrolllovakban (53). MALINOWSKI és mtsai ügetőket vizsgáltak 21 hetes edzésprogram során (36). A munkavégi kortizolérték nem változott a teljesítőképesség növekedésével. PETRUSE és mtsai különböző edzettségi szinten lévő telivérek végeredményeit vetette össze, és arra jutott, hogy a tapasztaltabb, régebb óta munkában lévő telivérekben kisebb a munkavégzés okozta kortizolszint-emelkedés mértéke, mint újonc társaikban (47). Bár több kutatás is arra jutott, hogy a ló teljesítőképessége felmérhető a kortizolválasz alapján, a sok ellentmondó eredmény miatt még nem terjedt el ez a módszer. A valódi használhatósághoz, esetleges referenciák felállításához további vizsgálatok szükségesek (2. táblázat).

2. TÁBLÁZAT. A terhelésre adott kortizolválasz és a munkavégzés egyéb mutatóinak összefüggése

TABLE 2. The relationship between the changes of cortisol and other parameters during exercise

Kortizol és munkavégzés	
Nincs szignifikáns összefüggés	Van szignifikáns összefüggés
<ul style="list-style-type: none"> • kortizol + ACTH (44) • kortizol + laktát (10, 24) • kortizol + munkaintenzitás (24, 44) 	<ul style="list-style-type: none"> • kortizol + edzettségi fok (15, 38, 47) • kortizol + a ló alaptermészete (10) • kortizol + az terhelés időtartama (13, 24, 26, 28, 33, 44, 45, 58)

A VERSENYSPORT PSZICHÉS HATÁSA

Ahogy arról már korábban is szó volt, a fizikai terhelés kitüntetett helyzetben van a stresszorok között, hiszen az élettani, fizikális hatások mellett emocionális szempontok is felmerülnek. Versenysportok esetén ez hatványozottan így van. Humán és lovas kísérleteket is végeztek már a versenyhelyzet fizikai és pszichikai hatásainak elkülönítése céljából.

BECKER-BIRCK és mtsai a nyál kortizol koncentrációját vizsgálták ugró- és díjlovakban egy háromnapos verseny során (5). A kortizolszint napi ritmusát nem befolyásolta a versenyhelyzet, de közvetlenül a versenyszám előtt a nyál kortizolkoncentrációjának emelkedése volt mérhető mindkét sportág lovaiban. Egy másik kísérletben a vér kortizolszintjének emelkedése nem különbözött versenyen és edzésen, de versenyen lassabban csökkent vissza az eredeti értékre a terhelés után (12). Szintén mások összehasonlították ugró- és díjlovak mellékvesekéreg-aktivitását versenyen és otthoni körülmények között. Mindkét sportág lovaiban nagyobb volt a munka végén kapott kortizolérték versenyen, mint nyugodt környezetben, sőt díjlovakban már a verseny előtt is emelkedett érték volt mérhető (10). A versenytapasztalat pozitív hatása is kimutatható volt lovakban (10, 33), de leírtak olyan eredményt is, ahol nem különbözött a tapasztaltabb ugrólovak kortizolkoncentrációja az újoncokétól (17). LEWINSKI a lovak és a lovasok stresszreakcióját is vizsgálta nyilvános szereplés alkalmával és nyugodt környezetben (32). Nem talált különbséget az értékek között. Póló pónikban a verseny utáni kortizolkoncentráció csak 22 °C környezeti hőmérséklet fölött különbözött az átlagos edzés utáni értéktől (35).

A kortizolkoncentráció összefüggéseiről lényegesen kevesebb irodalom érhető el versenylovak esetében, mint sportlovaknál, holott a lóversenyzés köztudottan jelentős stressznek teszi ki a lovakat. MARTINEZ és mtsai ugyan vizsgálták a telivérek verseny utáni biokémiai paramétereit, de nem használtak nyugodt körülmények között dolgozó kontrollcsoportot. A kortizolszint 25%-kal emelkedett a futam végére (39). Saját vizsgálatunkban üggető lovakban hasonlítottuk össze a megszokott edzésnapon és a verseny napján mért kortizolkoncentrációkat.

A kortizolszint már a verseny reggelén nagyobb volt, mint az edzésnapon bármikor. Verseny során nem is volt kimutatható további emelkedés, a kortizolérték folyamatosan emelkedett volt. Ez a jelenség a humán sportolóknak is jól ismert ún. anticipációs stresszreakció, vagyis a verseny közeledte olyan erős pszichés hatással van a versenyzőre, hogy már az kiváltja a stresszreakciót (16, 48, 55).

TÚLEDZETTSÉG

Ha a fizikai aktivitást mint stresszhatást elemezzük, feltétlenül szót kell ejteni a túledzettség jelenségről is. De mi is az a túledzettség? A fizikai terhelés, ahogy azt eddig is taglaltuk, stresszreakciót vált ki, és ezzel felborítja a szervezet anyagcsere-egyensúlyát. A munka végeztével a homeosztázis helyreáll, sőt ún. túlkompensáció jön létre, ez eredményezi az egyre javuló teljesítményt. Jó esetben nem történik újabb megterhelés, amíg a túlkompensáció befejeződik, vagyis amíg az alkalmazkodási időszak tart (30). Rossz esetben azonban az alkalmazkodási időszak vége előtt újabb megterhelésnek teszik ki a szervezetet, amely hiba, ha rendszeressé válik, túledzettséghez vezet. Kezdeti fázisban ez csak teljesítményromlást és erős fáradtságérzetet okoz. Ez az állapot megfelelő pihenés mellett 12 hét alatt elmúlik, ezután ismét megfelelő adaptációs választ fog kiváltani a testmozgás (21). Ha azonban továbbra is aránytalanul rövid pihenőidőt hagyunk a regenerálódásra, sejtszintű metabolikus zavar lép fel, ami már megbetegedést okoz. Ez a megbetegedés az ún. túledzettség, angol nevén

A versenysportok esetén hatványozottan érvényesülnek a stresszorhatások

Az anticipációs stresszreakció során a versenyközeleli időszakban érzékelhető emelkedett kortizolszint

A túledzettség jelei lovakban:

- **a romló teljesítmény**
- **az étvágytalanság**
- **a testtömegcsökkenés**
- **a letargia**
- **a viselkedészavarok**
- **az immunszuppresszió**

A túledzettség igazolására ACTH-tesztet is végezhetünk

A vérplazma munkavégzés utáni kortizolkoncentrációját a terhelés időtartama befolyásolja leginkább

overtraining syndrome (OTS). A túledzettség leggyakoribb tünetei lovakban a romló teljesítmény mellett az étvágytalanság, a testtömeg csökkenése, a letargia, viselkedészavarok és az immunrendszer gyengülése miatt a betegségre való fogékonyság fokozódása (30).

A túledzettség megállapítása igen nagy kihívást jelent még tapasztalt vizsgálónak is, főként lovakban, ahol a jellegtelen tünetek még kevesebb támpontot adnak a romló teljesítmény hátterének felderítésében. Éppen emiatt keres a sporttudomány olyan diagnosztikai módszert, amely segítségével nagy biztonsággal megállapítható az OTS. Így került a figyelem középpontjába a kortizol meghatározása, ugyanis több kutatás is arra jutott, hogy túledzettség tulajdonképpen a hipotalamusz–hipofízis–mellékvesekéreg–tengely működési zavara (3, 4, 31).

Korábbi vizsgálatok azt mutatták, hogy az egyszeri terhelés okozta kortizolszint-növekedés – valószínűleg a mellékvesekéreg érzékenységének csökkenése miatt – szignifikánsan kisebb túledzett lovakban (19, 23, 46, 56, 57). Statisztikailag igazolt vizsgálati eredmények ellenére azonban, a korábban részletezett egyéb befolyásoló tényezők miatt, a való életben kevésbé használható ez a diagnosztikai módszer. Ezt felismerve fordult a tudomány a humán sportolóknál egyre inkább beválni látszó vizsgálati protokoll felé (25, 49). A vizsgálat során egy nap alatt, több egymást követő intenzív munka alatt figyelik a kortizoltermelést. Úgy tűnik, hogy az egymás utáni edzések megfelelő pihenés nélkül felerősítik a stresszreakciót, így a túledzett lovak csökkent kortizolválasza könnyebben elkülöníthető. A vizsgálat pontos menetének kidolgozása, a terhelések optimális mértékének és sűrűségének meghatározása azonban lovakban még várat magára. Addig is lovakban megkönnyítheti a vizsgálatot, ha a vena facialis kanüláljuk be a vénás mintavételhez, ugyanis így közvetlenül a hipofízis portális rendszeréből nyerhetünk vért, ami humán sportélettani kísérleteknél kivitelezhetetlen (2). Így lovakban egyszeri terhelés mellett is némileg felerősített CRH-, ADH- és ACTH-válasz látható, amely részletesebb információval szolgál a hipotalamusz–hipofízis–tengely aktuális aktivitásáról, így következményesen a kortizolelválasztásról is. Túledzettség gyanúja esetén emellett ACTH stimulációs tesztet is végezhetünk, azonban a vizsgálati eredmények itt sem egyértelműek. Több kutatás is kimutatta, hogy túledzettség esetén az ACTH-teszt során – a már említett mellékvesekéreg-érzékenység csökkenése miatt – az egészséges lovakhoz mérten csökkent kortizolszint-emelkedés tapasztalható (19, 38, 46). Előrehaladott OTS-nél azonban az ACTH-injekcióra – a mellékvesekéreg érzékenységének csökkenése ellenére – erőteljesebb kortizolválaszt is kaphatunk (9). Ennek magyarázata a hipofízis érzékenységének csökkenése. Az emelkedő ACTH- és kortizolkoncentráció negatív visszacsatolás elvén egészséges lóban leállítja a további ACTH- és következményes kortizoltermelést, míg túledzett lóban ez a negatív feedback jóval lassabban és gyengébben alakul ki, így ugyanolyan mennyiségű ACTH tovább stimulálja a mellékvesekéreg kortizoltermelését.

Összességében elmondható tehát, hogy fizikai aktivitáskor a vérplazma kortizolkoncentrációjának emelkedése függ a terhelés időtartamától és intenzitásától is. Rövid, intenzív terhelésre 20–40%-os, míg hosszabb állóképességi terhelésre akár 2–300%-os kortizolszint-emelkedés is mérhető. A munka utáni kortizolcsúcs általában a terhelés vége után 15–30 perccel következik be, de ez is nagyban függ a terhelés mértékétől, a ló tapasztaltságától, edzettségétől és korától is. Jó edzettségi állapot esetén a terhelés utáni kortizolkoncentráció a mellékvesekéreg érzékenységének enyhe csökkenése miatt kisebb, azonban ugyanez már a túledzettség jele is lehet. Túl nagy munka utáni kortizolérték jelentheti az adott terhelés túlzott mértékét, de szintén kialakulhat korai fázisú túledzettség okán is. Az ACTH-stimulációra ugyanígy a fokozott és a csökkent kortizolválasz is OTS-gyanút ébreszthet. A kortizolelválasztást mindemellett nagyban befolyásolja a ló mentális állapota. A versenyhelyzet vagy csupán

3. TÁBLÁZAT. A terhelésre adott kortizolválaszt vizsgáló legfontosabb kutatások eredményei egészséges és túledzett lovakban (TE = terhelés előtt; TE% = a terhelés előtti érték hány %-os emelkedése, ugró: díjugratás, távlov: távlovaglás)

TABLE 3. The results of the most important researches testing the cortisol response during exercise in healthy and overtrained horses (TE = before exercise; TE % = the rise in % of the value before exercise, ugró: jumping, távlov: endurance)

Referencia (legfontosabb körülmények)	Terhelés előtt (TE)/(nmol/L)	Terhelés után (max.15 perc anaerob terhelés) (nmol/L vagy TE%)	Terhelés után (min.15 perc, főként aerob terhelés) (nmol/l vagy TE%)	Terhelés előtt (túledzettség esetén)	Terhelés után (túledzettség esetén)
GOLLAND et al. 1996. (futópad)	209,5 ± 16,8	321 ± 20,5		190,8 ± 23,5	245 ± 17,0
DESMECHT et al. 1996. (versenyen)	ugró: 61,3 ± 11,9 military: 106,3 ± 9,1 ügető: 97,2 ± 11,0 galopp: 77,6 ± 5,5 távlov.: 99,1 ± 13,2	urgó: +72 ± 19 % military: +78 ± 14 % ügető: +109 ± 28 % galopp: +147 ± 18 %	távlov.: + 176 ± 41%		
JIMENEZ et al. 1998. (futópad)	kb. 200–260	+26 %			
HAMLIN et.al. 2002. (ügető)	187	300		128	224
CRAVANA et al. 2010. (ugró edzés/verseny)	edzés: 112,16 ± 53,58 verseny: 99,66 ± 15,78	10 p munka után: edzés:160,84 ± 21,65 verseny: 128,06 ± 64,54 30 p munka után: edzés: 140,28 ± 19,01 verseny:127,58 ± 27,27			
KEDZIERSKI et al. 2014. (galopp)	249 ± 83,4	335 ± 88,5			
KEDZIERSKI et. al. 2014. (galopp vs. távlovaglás)	galopp: 218 ± 14,43 távlov. (60 km): 235,15 ± 43,6 távlov. (120km): 276 ± 57,68	galopp: 325 ± 15,24	távlov. (60km): 380,88 ± 19,87 távlov. (120km): 499,56 ± 77,3		
BOHÁK et al. 2016. (ügető edzés vs. verseny)	edzés: 96,72 ± 19,59 verseny: 169,31 ± 23,04	verseny: 175,81 ± 26,0	edzés: 128,19 ± 22,76		
BOHÁK et al. 2016. (galopp edzés)	80,97 ± 17,98	111,39 ± 15,95			
BOHÁK et al. 2013 (nyugalmi vér)		Nyugalmi kortizol reggel (10:00): 102,91 ± 27,59 Nyugalmi kortizol este (22:00): 37,24 ± 24,831			

a ló idegesebb alaptermészete megemelheti a nyugalmi kortizolszintet de felerősítheti a terhelésre adott kortizolválaszt is. OTS-diagnosztikában a terhelésre adott kortizolválasz mérése, ill. az ACTH stimulációs teszt kiegészítő vizsgálatként támpontot adhat – főként ha összehasonlításként az adott ló egészséges időszakból származó vizsgálati eredményei is rendelkezésre állnak. Ellenkező esetben a referenciaértékek meghatározása a rengeteg befolyásoló tényező és az egyedi különbségek miatt nehézkes. Támpontul a **3. táblázatban** felsoroljuk az elmúlt évek legfontosabb kutatásainak vizsgálati eredményeit, amelyek alapul szolgálhatnak hasonló vizsgálatok esetén.

IRODALOM

1. ALEXANDER, S. L. – IRVINE, C. H.: The effect of social stress on adrenal axis activity in horses: The importance of monitoring corticosteroid binding globulin capacity. *J. Endocrinol.*, 1998. 157. 425–432.
2. ALEXANDER, S.L. – IRVINE, C.H. –DONALD, R.A.: Dynamics of the regulation of the hypothalamo-pituitary-adrenal (HPA) axis determined using a nonsurgical method for collection pituitary venous blood from horses. *Front. Neuroendocrinol.*, 1996. 17. 1–50.
3. ARMSTRONG, L. E. –VAN HEEST, J. L.: The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports Med.*, 2002. 32. 185–209.
4. BARRON, J. L. – NOAKES, T. D. et al.: Hypothalamic dysfunction in overtrained athletes. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 1985. 60. 803–806.
5. BECKER-BIRCK, M. – SCHMIDT A. et al.: Cortisol release and heart rate variability in sport horses participating in equestrian competitions. *J. Vet. Behav.*, 2013. 8. 87–94.
6. BLASCOVICH, J. – TOMAKA, J.: The biopsychosocial model of arousal regulation. *Adv. Exp. Soc. Psychol.*, 1996. 28. 1–51.
7. BOHÁK ZS. – LANGER D. – KUTASI O.: Lovak teljesítmény-élettana. Irodalmi áttekintés. *Magy. Állatorv. Lapja*, 2009. 131. 579–585.
8. BOHÁK, ZS. – SZABÓ, F. – BECKERS, J. F. – MELO DE SOUSA, N. – KUTASI, O. – NAGY, K. – SZENCI, O.: Monitoring the circadian rhythm of serum and salivary cortisol concentrations in the horse. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 2013. 45. 38–42.
9. BRUIN, G. – KUIPERS, H. et al.: Adaptation and overtraining in horses subjected to increasing training loads. *J. Appl. Physiol.*, 1994. 76. 1908–1913.
10. CAYADO, P. – MUÑOZ-ESCASSI, B. et al.: Hormone response to training and competition in athletic horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2006. 36. 274–278.
11. CHURCH, D. B. – EVANS, D. L. et al.: The effect of exercise on plasma adrenocorticotrophin, cortisol and insulin in the horse and adaptations with training. In: GILLEPSIE, J. R. – ROBINSON N. E. (eds.): *Equine Exercise Physiology 2*. Edward Bros. New York, 1987. 506–515.
12. CRAVANA, C. – MEDICA, P. et al.: Effects of competitive and noncompetitive show jumping on total and free iodothyronines, β -endorphin, ACTH and cortisol levels of horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2010. 38. 179–184.
13. DESMECHT, D. A. – LINDEN, H. et al.: Relationship of plasma lactate production to cortisol release following completion of different type of sporting events in horses. *Vet. Res. Comm.*, 1996. 20. 371–379.
14. DIENSTBIER, R. A.: Arousal and physiological toughness: Implications for mental and physical health. *Psychol. Rev.*, 1989. 96. 84–100.
15. DUCLOS, M. – CORCUFF, J. B. et al.: Corticotroph axis sensitivity after exercise in endurance-trained athletes. *Clin. Endocrinol.*, 1998. 48. 493–501.
16. EDWARDS, D. A. – KURLANDER, L. S.: Women's intercollegiate volleyball and tennis: effects of warm-up, competition, and practice on saliva levels of cortisol and testosterone. *Horm. Behav.*, 2010. 58. 606–613.
17. FAZIO, E. – MEDICA, P. et al.: Effects of competition experience and transportation on the adrenocortical and thyroid responses of horses. *Vet. Rec.*, 2008. 163. 713–716.
18. FERLAZZO, A. – MEDICA, P. et al.: Circulating β -endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol concentrations of horses before and after competitive show jumping with different fence heights. *J. Equine Vet. Sci.*, 2012. 32. 740–746.
19. GOLLAND, L. C. – EVANS D. L. et al.: The effect of overtraining on plasma cortisol concentrations at rest and in response to exercise and administration of synthetic adrenocorticotropin in Standardbred racehorses. *Pferdeheilkunde*, 1996. 12. 531–533.
20. GORDON, M. E. – MCKEEVER, K. H. et al.: Exercise-induced alterations in plasma concentrations of ghrelin, adiponectin, leptin, glucose, insulin, and cortisol in horses. *Vet. J.*, 2007. 173. 532–540.
21. GRAAF-ROELFSEMA, E. H. – KEIZER, A. et al.: Hormonal responses to acute exercise, training and overtraining a review with emphasis on the horse. *Vet. Quart.*, 2007. 29. 82–101.
22. GUYTON, A. C. – HALL, J. E.: *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Saunders. Philadelphia, Pennsylvania, 2006. 950–957.
23. HAMLIN, M. J. – SHEARMAN, J. P. – HOPKINS, W. G.: Changes in physiological parameters in overtrained Standardbred racehorses. *Equine Vet. J.*, 2002. 34. 383–388.
24. JIMENEZ, M. – HINCHCLIFF, K. W. – FARRIS, J. W.: Catecholamine and cortisol responses of horses to incremental exertion. *Vet. Res. Commun.*, 1998. 22. 107–118.
25. KACIUBA-USCILKO, H. – KRUK, B. et al.: Metabolic, body temperature and hormonal responses to repeated periods of prolonged cycle-ergometer exercise in men. *Europ. J. Appl. Phys.*, 1992. 64. 26–31.
26. KĘDZIEŃSKI, W. – CYWIŃSKA, A.: The effect of different physical exercise on plasma leptin, cortisol, and some energetic parameters concentrations in purebred Arabian horses. *J. Equine Vet. Sci.*, 2014. 34. 1059–1063.
27. KEIZER, H. A.: Neuroendocrine aspects of overtraining. In: KREIDER, R. B. – FRY, A. C. – O'TOOLE, M. L. (eds.): *Overtraining in Sport*. Human Kinetics. Champaign, 1998. 145–168.
28. KINDERMANN, W. – SCHNABEL, A. et al.: Catecholamines, growth hormone, cortisol, insulin, and sex hormones in anaerobic and aerobic exercise. *Europ. J. Appl. Phys.*, 1982. 49. 389–400.
29. KRAEMER, R. R. – ACEVEDO, E. O. et al.: Glucoregulatory endocrine responses to intermittent exercise of different intensities: plasma changes in a pancreatic beta-cell peptide, amylin. *Metabolism*, 2002. 51. 657–663.
30. KUIPERS, H. – KEIZER, H. A.: Overtraining in elite athletes: review and directions for the future. *Sports Med.*, 1988. 6. 79–92.
31. LEHMANN, M. – FOSTER, C. et al.: Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med. Sci. Sport. Exer.*, 1998. 30. 1140–1145.
32. LEWINSKI, M. – BIAU, S. et al.: Cortisol release, heart rate and heart rate variability in the horse and its rider: Different responses to training and performance. *Vet. J.*, 2013. 197. 229–232.
33. LINDEN, A. – ART, T. et al.: Effect of 5 different types of exercise, transportation and ACTH administration on plasma cortisol concentration in sport horses. In: PERSSON, S.G. – LINDHOLM A. – JEFFCOTT, L.B. (eds.): *Equine exercise physiology 3*. CA: ICEEP Publications. Davis, 1991. 391–396.
34. LINDNER, A. – FAZIO, E. et al.: Plasma cortisol concentration in Thoroughbred horses during and after standardized exercise tests on a treadmill and effect of conditioning on basal cortisol values. *Pferdeheilkunde*, 2000. 5. 502–510.

35. MALINOWSKI, K. – POTTER, J. T. – DINGE, J. E.: *Effects of exercise and competition on plasma cortisol and lactate concentrations and heart rate on Polo ponies*. Proceedings of the 13th Equine Nutrition and Physiology Society Symposium. University of Florida. Gainesville. 1993.
36. MALINOWSKI, K. – SHOCK, E. J. et al.: Plasma β -endorphin, cortisol and immune responses to acute exercise are altered by age and exercise training in horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2006. 36. 267–273.
37. MALINOWSKI, K.: Effects of training/exercise/stress on plasma cortisol and lactate in Standardbred yearlings. *J. Anim. Sci.*, 1987. 65. 222.
38. MARC, M. – PARVIZI, N. et al.: Plasma cortisol and ACTH concentrations in the warmblood horse in response to a standardized treadmill exercise test as physiological markers for evaluation of training status. *J. Anim. Sci.*, 2000. 78. 1936–1946.
39. MARTINEZ, R. – GODOY, A. et al.: Neuroendocrine changes produced by competition stress on the Thoroughbred race horse. *Comp. Biochem. Physiol. A. Comp. Physiol.*, 1988. 91. 599–602.
40. MASON, J. W.: A review of psychoendocrine research on the pituitary–adrenal cortical system. *Psychosom. Med.*, 1968. 30. 576–607.
41. MATLINA, E.: Effects of physical activity and other types of stress on catecholamine metabolism in various animal species. *J. Neural Transm.*, 1984. 60. 11–18.
42. MAYER, M. – SHAFRIR, E. et al.: Interaction of glucocorticoid hormones with rat skeletal muscle: catabolic effects and hormone binding. *Metabolism*, 1976. 25. 157–167.
43. MCKEEVER, K. H.: The endocrine system and the challenge of exercise. *Vet. Clin. N. Am. – Equine*, 2002. 18. 321–353.
44. NAGATA, S. – TAKEDA, F. et al.: Plasma adrenocorticotropin, cortisol and catecholamines response to various exercises. *Equine Vet. J. Suppl.*, 1999. 30. 570–574.
45. NAVERI, H.: Blood hormone and metabolite levels during graded cycle ergometer exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1985. 45. 599–604.
46. PERSSON, S. G. B. – LARSSON, M. – LINDHOLM, A.: Effects of training on adrenal-cortical function and red-cell volume in trotters. *Zbl. Vet. Med. A.*, 1980. 27. 261–268.
47. PETRUSE, C. – CHIRILA, A. B. et al.: Dynamic of plasma cortisol in response to physical training in Thoroughbred horses. *J. Biotechnol. Suppl.*, 2015. 208. 92–93.
48. PREUSS, D. – SCHOofs, D. et al.: The stressed student: influence of written examinations and oral presentations on salivary cortisol concentrations in university students. *Stress*, 2010. 13. 221–229.
49. RONSEN, O. – HAUG, E. et al.: Increased neuroendocrine response to a repeated bout of endurance exercise. *Med. Sci. Sport. Exer.*, 2001. 33. 568–575.
50. ROSE, R. M.: Endocrine responses to stressful psychological events. *Psychiat. Clin. N. Am.*, 1980. 3. 251–276.
51. SELYE, H.: The evolution of the stress concept. *Am. Sci.*, 1973. 61. 692–699.
52. SIMMONS, P. S. – MILES, J. M. et al.: Increased proteolysis. An effect of increases in plasma cortisol within the physiologic range. *J. Clin. Invest.*, 1984. 73. 412–420.
53. SNOW, D. H. – MACKENZIE, G.: Some metabolic effects of maximal exercise in the horse and adaptations with training. *Equine Vet. J.*, 1977. 9. 134–140.
54. SNOW, D. H. – ROSE, R. J.: Hormonal changes associated with long distance exercise. *Equine Vet. J.*, 1981. 13. 195–197.
55. STARCKE, K. – WOLF, O. T. et al.: Anticipatory stress influences decision making under explicit risk conditions. *Behav. Neurosci.*, 2008. 122. 1352–1360.
56. TYLER, C. M. – GOLLAND, L. C. et al.: Changes in maximum oxygen uptake during prolonged training, overtraining and detraining in horses. *J. Appl. Physiol.*, 1996. 81. 2244–2249.
57. TYLER, C. M. – GOLLAND, L. C. et al.: Skeletal muscle adaptations to prolonged training, overtraining and detraining in horses. *Pflügers. Arch. Eur. J. Physiol.*, 1998. 436. 391–397.
58. VALBERG, S. – GUSTAVSSON, B. E. et al.: Blood chemistry and skeletal muscle metabolic responses during and after different speeds and durations of trotting. *Equine Vet. J.*, 1989. 21. 91–95.
59. VANHELDER, W. P. – RADOMSKI, M. W. et al.: Hormonal and metabolic response to three type of exercise duration and external work output. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1985. 54. 337–342.
60. VIRU, A. – SMIRNOVA, T.: Involvement of protein synthesis in the action of glucocorticoids on the working capacity of adrenalectomized rats. *Int. J. Sports Med.*, 1985. 6. 225–228.

Közlésre érk.: 2016. márc. 8.