

Utvärdering av hästars rörelsemönster vid longering

Marie Rhodin och Karin Roethlisberger Holm

Bakgrund

Longering har blivit ett allt vanligare och viktigare moment i samband med hältutredning av ridhästar. Trots detta finns det inga vetenskapliga studier av hur den halta hästens rörelsemönster påverkas av det böjda spåret. Vid longering påverkas symmetrin i hästens rörelsemönster även hos ohalta hästar s.k. ”voltasymmetri” vilket har visats i ett antal studier (Clayton and Sha 2006, Starke et al 2011, Pfau et al. 2012). I studierna har endast ett fåtal hästar studerats och därför vore det intressant att studera detta på ett större antal hästar. Om klinikern använder samma kriterier (asymmetri i huvud- och bäckenrörelse) vid hältbedömning på böjt spår som på rakt spår finns det en risk att ohalta hästar bedöms som halta när de longeras.

I samband med hältidiagnostik bedöms hästens rörelsemönster av en veterinär. Keegan *et al.* (2010) visade att vid lindriga frambenshälor på rakt spår var överensstämmelsen mellan erfarna veterinärers bedömningar ca 66% om hästen var halt eller ej och för bakbenshälor var resultatet ca 58%. Vetskapen om att hästen har bedövats påverkar bedömningen vilket Arkell *et al.* (2006) visade i en studie och i den verkliga hältutredningssituationen borde denna påverkan vara ännu större när både djurägare och veterinären kan ha en önskan att hästen ska vara mindre halt efter en bedövning eller behandling. Motsvarande studie saknas för hästar som bedöms vid longering.

När en häst avlastar ett ben pga. smärta kan den få en kompensatorisk hälta på ett annat ben (Weishaupt *et al.*, 2004, 2006, Kelmer *et al.*, 2005). Den kompensatoriska hältan är ej smärtutlöst och försvinner när den ursprungliga hältan försvinner som vid en bedövning. Vid en primär frambenshälta fås en eventuell kompensatorisk hälta ofta på det diagonala bakbenet (ex vänster fram och höger bak). Vid en primär bakbenshälta ses däremot en eventuell kompensatorisk hälta på samma sidas framben (ex vänster bak och vänster fram). Detta kan innebära att veterinären i vissa fall väljer fel ben att utreda. Hur dessa kompensatoriska mekanismer fungerar på volt är ännu inte studerat.

Det finns ingen tydlig ”gold standard” för hur hästen skall bedömas och hältan graderas på böjt spår. Det böjda spåret ändrar belastningsförhållandena på hästens extremiteter vilket kan påverka en eventuell hälta. Om hästen har ett dubbelsidigt ortopediskt lidande kan den röra sig symmetrisk på rakt spår men asymmetrisk vid longering. Därför är longering även ett viktigt moment vid besiktning av hästar. Voltens storlek samt underlagets karaktär är faktorer som påverkar hästens rörelsemönster. Hur voltasymmetrier, den primära hältan samt kompensatoriska hältmekanismer interagerar är ännu inte studerat vid longering. Det finns en risk att den subjektiva bedömningen är en stor felkälla när hästar utreds med lindriga hälor/rörelsestörningar men hur stor den är vill vi studera närmare.

Objektivitet

Objektivitet vid bedömning av hälor är en mycket viktig faktor för att minska felkällan vid diagnosticering samt vid all typ av ortopedisk forskning där man är intresserad av hältgrad. *Lameness Locator* som använts i detta forskningsprojekt är ett accelerometersystem som är validerat för att detektera belastningshälor hos hästar som travar på rakt spår (Keegan *et al.*

2011). Systemet är trådlöst och lätt att använda och i en pilotstudie på 10 hästar har systemet visat sig fungera för registrering av rörelser på volt på såväl ohalta som halta hästar.

Vid en hältutredning bedöms symmetrin i hästens rörelser och veterinären avgör när en asymmetri är tillräckligt stor för att anses kliniskt signifikant (hälta). Ibland anses hästen ohalt på rakt spår men vid olika provokationstester som tex longering blir en asymmetri tydlig. Ibland kan det vara svårt att avgöra om och hur en asymmetri påverkar hästens prestation eller välfärd beroende på hästens användningsområde. Det finns därför ett stort behov av att studera hur variationen i den svenska ridhästpopulationen ser ut med avseende på asymmetrier i rörelsemönstret på rakt spår och vid longering.

Syftet med projektet

Målet var att ta reda på hur stor överensstämmelsen respektive variationen är mellan erfarna hästveterinärers bedömning av lindriga hältor på volt. Genom att studera hur hästens rörelsemönster påverkas av det böjda spåret för så väl ohalta som halta hästar kan sedan kunskapen om detta användas för utbildning av veterinärer, vilket kan ge en mer enhetlig bedömning och därmed säkrare diagnostik. Vi kommer även att få en uppfattning om hur den svenska ridhästpopulationen ser ut med avseende på asymmetrier/hältor.

Frågeställningar

- Hur påverkas symmetrin i rörelsemönstret hos ridhästar när de longeras? **Studie 1**
- Hur stor är överensstämmelsen mellan olika hästpraktiserande veterinärers bedömning av hästars rörelser på volt? **Studie 2**
- Förkommer kompensatoriska hältmekanismer (som visats på rakt spår) även på volt, och hur ser dessa i så fall ut? **Studie 3**
- Finns det skillnader, i hästarnas symmetri, mellan hästar av olika åldrar/ som tävlar i olika discipliner/som tävlar på olika nivå, när de travar på rakt spår eller longeras? **Studie 4**

Material och metoder

Studie 1 Evaluation of the motion pattern of the horse at lunging

Hästar

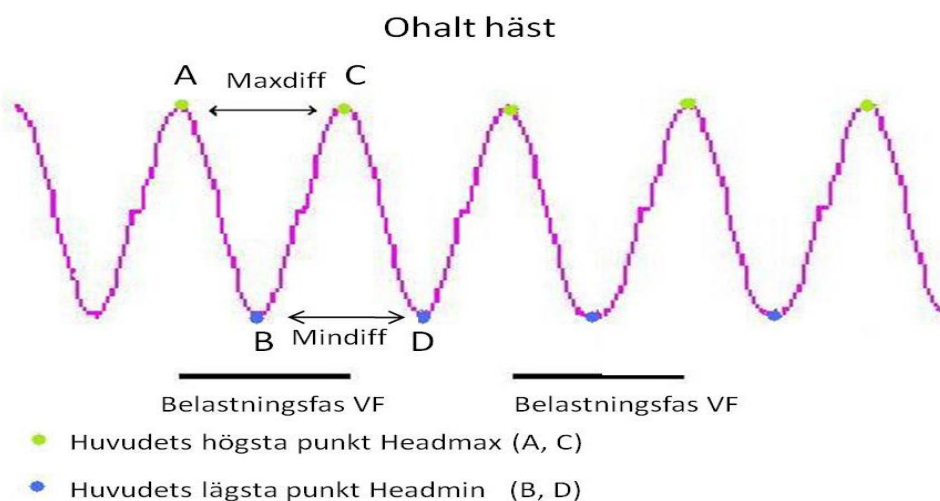
I studien ingick 201 hästar (100 svenska hästar och 101 hästar i USA) av olika ras, ålder och med olika användningsområde (dressyr, hoppning, fälttävlan), som fungerade väl i träning, tävling och ansågs ohalta av sin ägare. Hästarna mättes med ett rörelseanalyssystem (se nedan) på rakt spår samt vid longering i höger respektive vänster varv. Voltstorlek var mellan 10-20m och underlaget sand eller grus. Hästarna som överskred tröskelvärdet (se dataanalys nedan) för rörelsemätningarna på rakt spår, och därmed definierades som halta, exkluderades från studien och 94 hästar kvarstod.

Utrustning

Det validerade rörelseanalyssystemet Lameness Locator består av två sensorer med accelerometrar samt en sensor med mikrogyro. Sensor 1 och 2, enaxlade accelerometrar, fästes till huvudlaget samt till korset. Sensor 3, ett gyroskop, fästes dorsalt på kotbenet höger fram för att identifiera stegcykeln. Sensordata samlades trådlöst i denna studie med 200 Hz i realtid när hästen travade och data analyserades i det tillhörande mjukvaruprogrammet.

Dataanalys

Accelerometerdata från huvud- och bäckenrörelsen omvandlades till positionsdata och gyroskopdata användes för att bestämma var i stegcykeln asymmetrierna uppstod. Huvudet och bäckenet har en sinusformad rörelse med två maxima och två minima per stegcykel (fig1). Skillnaden i minimihöjd för huvudet (HDmin) och bäckenet (PDmin) mellan höger och vänster understödsfas samt skillnader i maxhöjd för huvudet (HDmax) och bäckenet (PDmax) efter höger och vänster understödsfas beräknades. Medelamplituden och tecknet för dessa fyra variabler under en mätning ger information om vilket ben hästen är halt ifrån samt grad av asymmetri. Positiva värden innebär en högerbenhälta och negativa värden en vänsterbenhälta. Det finns framtagna tröskelvärden för systemet när en asymmetri anses kliniskt signifikant (hälta) för mätningar på rakt spår. För att klassas som frambenshälta ska medelvärdet av HDmin och/eller HDmax vara ≥ 6 mm samt vara högre än standardavvikelsen (SD). För att klassas som bakbenshälta ska medelvärdet av PDmin och/eller PDmax vara ≥ 3 mm samt vara högre än SD.



Figur 1 Huvudets rörelse i trav. Bäckenet har en liknande sinusidal rörelse med två maxima och minima per stegcykel.

Statistisk metod

Medelvärden för HDmin, HDmax, PDmin, and PDmax jämfördes mellan de olika aktiviteterna: rakt spår, longering vänster samt höger varv med ANOVA eller Friedmans test beroende på om variabeln var normalfördelad eller ej. Signifikansnivå på P-värden < 0.05 valdes.

Studie 2 Erfarna hästpraktiserande veterinärers subjektiva bedömning av hältor hos hästar som longeras i trav

En webbaserad undersökning där erfarna hästpraktiserande veterinärer fick bedöma filmade hästars rörelsemönster när de longerades i trav.

Hästar

I studien ingick filmer av 23 hästar (medel 11 år). Sex stycken var ponnyer och övriga hästar var av halvblodstyp. Två av hästarna hade inducerade hältor och återkom med hältor på olika ben i flera olika filmer. Samtliga deltagande hästar klassificerades som halta eller ohalta

utifrån resultatet av en objektiv rörelseanalys genomförd på rakt spår. I samband med mätningstillfället filmades hästarna när det travade på volt. Voltens storlek bedömdes vara mellan 8 och 10 meter i diameter. Underlagen som hästarna travade på var olika hårda men grusbaserade.

Utrustning

Hästarna utrustades med det rörelseanalyssystem som beskrivits ovan.

Dataanalys

Dataanalys av rörelsemönstret som beskrivits ovan.

Deltagarna

En inbjudan att delta i enkäten skickades via e-post till 462 veterinärer där majoriteten var hästpraktiserande veterinärer (veterinärerna skulle ha minst 5 års erfarenhet inom ortopedi på häst samt arbeta heltid med häst).

Enkäten

För att nå ut till ett stort antal deltagare utformades undersökningen som en webbaserad enkät. Till detta anlätades en konsult som utförde det tekniska arbetet. Enkäten byggdes i programvaran LimeSurvey, vilken är specialgjord för att göra webbaserade enkäter och som uppfyller de krav som ställs på utformningen. Enkäten inleddes med en välkomstsida med information om studiens mål samt instruktioner för genomförandet av enkäten. Därefter följde en sida där deltagaren fick fylla i information om sig själv.

Filmer

Totalt ingick 60 stycken filmer (20 s långa). Indelningen av filmerna baserades på värdena som uppmäts vid mätning med rörelseanalyssystemet på rakt spår och 21 stycken frambenshältor, 19 stycken bakbenshältor och 10 stycken ohalta hästar ingick. Av dessa filmer upprepades 10 filmer en gång. Varje film kunde ses ett valfritt antal gånger innan den skulle bedömas. Enkäten utformades så att varje ben bedömdes på en skala 0 till 5 inklusive halvgrader och därefter ställdes frågan: Vilket ben skulle du börja utreda vid en eventuell hältutredning? Deltagaren skulle då välja det mest halta benet eller den primära hältan om flera ben ansågs halta, vilket förklarades i instruktionen till enkäten.

Statistik

För att få en bild av om konsensus rådde mellan de olika bedömarna användes Fleiss' och Cohens kappa (κ). Fleiss' kappa är en metod för att analysera tillförlitligheten mellan olika bedömare som kan användas för ett obegränsat antal bedömare till skillnad från Cohens kappa som endast jämför två stycken bedömare. Cohens kappa tar även hänsyn till att bedömare bara genom slumpen kan göra samma bedömning. Vid full samstämmighet är $\kappa = 1$ och om ingen samstämmighet utöver slumpen råder är $\kappa = 0$. Den bedömning av överensstämmelsen mellan deltagarna som användes var $< 0,3$ för dålig, $0,3-0,5$ för acceptabel, $0,51-0,8$ för bra och $> 0,8$ för mycket bra överensstämmelse. Kappa medelvärden mellan erfarna veterinärer med och utan specialistutbildning jämfördes med hjälp av ett t-test där $p \leq 0,05$ bedömdes vara statistiskt signifikant.

Studie 3 Influence of lunging on head and pelvic movement asymmetry and compensatory effects in horses with induced lameness

Hästar

Tio svenska halvblod, valacker, medelålder 12 år som fungerade väl i träning och ansågs ohalta av sin ägare ingick i studien.

Inducering av hälta

Induceringen av en reversibel engradig hälta skedde genom att en mutter svetsades till hästskor som hästarna skoddes med. Sedan skruvades en skruv in i muttern och orsakade ett tryck mot sulan i tån. Alla hästar inducerades på alla fyra ben men ett i taget. Hältan inducerades av en erfaren veterinär som bedömde hältgraden när hästen travade fram och tillbaka på ett rakt spår.

Utrustning

Hästarna utrustades med rörelseanalyssystemet som beskrivits ovan samt Pegasus Limb Phasing[®] system som består av fyra sensorer med microgyro. Dessa fästes på hästarnas skenben för att studera benrörelsens synkronisering i svänningsfasen.

Dataanalys

Dataanalys av rörelsemönstret som beskrivits ovan.

Utförande

Hästens rörelsemönster registrerades på rakt spår samt vid longering i båda varven innan någon hälta inducerades. Sedan inducerades en grads hälta, enligt klinikern, på ett ben i taget och rörelsemönstret registrerades när hästen travade på rakt spår samt vid longering i höger och vänster varv. Detta gav 150 registreringar.

Statistik

Medelvärden och tecken för HDmin, HDmax, PDmin and PDmax beräknades för varje registrering och variablerna testades om de var normalfördelade. Mixade modeller användes för att studera effekten av det böjda spåret och eventuella kompensatoriska hältmekanismer. Även eventuella interaktioner mellan det böjda spåret och kompensatoriska effekter studerades med mixade modeller. P-värde för signifikanta resultat sattes till $< 0,05$.

Studie 4 Normalvariation av asymmetrier i trav hos svenska ridhästar

Hästar

Normalgruppen

I studien ingick 53 hästar av halvblodstyp (14 ston och 39 valacker), medelålder 11,8 år. Hästarna var i full tränings/tävlingskondition och ansågs friska av sin ägare eller tränare. Hästarna användes till dressyr och/eller hoppning och var på olika utbildningsnivåer. Alla mätningar med rörelseanalyssystemet utfördes i hästarnas hemmiljö på hårt grusunderlag.

Klinikfall

Totalt 41 hästar av varierande ålder, kön och ras som sökt till Universitetsdjursjukhusets hästklinik med anledning av hälta 2009-2011 ingick i studien. Hästarna undersöktes av en av två veterinärer vilka båda har lång ortopedisk erfarenhet. Hästarnas rörelser registrerades med rörelseanalyssystemet i samband med andra forskningsprojekt.

Statistisk analys

Normalgruppen

Antalet hästar som avseende en eller flera parametrar (HDmax, HDmin, PDmax och PDmin) överskred gränsvärdet för asymmetri har beräknats och presenteras i procent av antalet hästar. Andelen hästar med asymmetrier i procent har sedan fördelats på fram- respektive bakbensasymmetrier. Fördelning av hästar med asymmetrier (antal och procent) relativt till ålder och disciplin har också beräknats. Normalgruppens median för varje parameter jämfördes också mot klinikmaterialets medianvärden för dito i både den asymmetriska respektive den symmetriska gruppen.

Resultat

Studie 1 *Evaluation of the motion pattern of the horse at lunging*

Det böjda spåret gav upphov till en asymmetri i hästens rörelsemönster där en inner bakbensasymmetri (PDmin) var mest framträdande men även en yttre frambensasymmetri kunde ses. Mindre än 50 % av hästarna uppvisade liknande asymmetrier (ex inner bakben PDmin, PDmax) när höger och vänster varv jämfördes (Tabell 1).

Tabell 1 Bakbensasymmetrier i båda varven

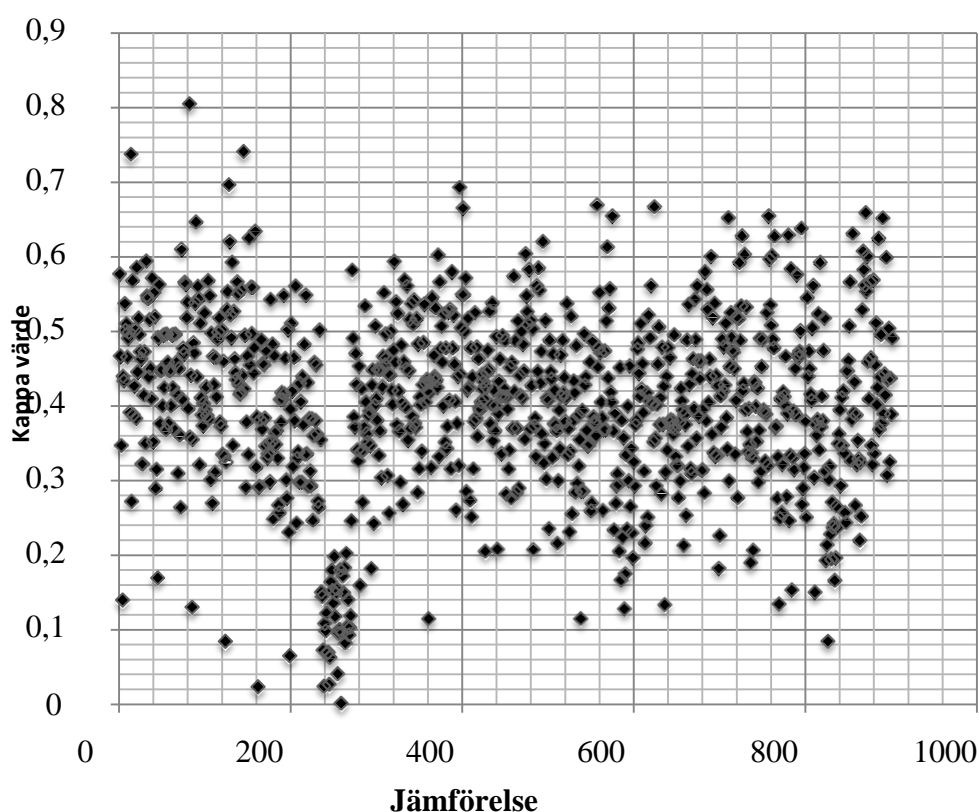
		Vänster varv				
		PDmin - PDmax -	PDmin - PDmax +	PDmin + PDmax -	PDmin + PDmax +	Total
Höger varv	PDmin + PDmax +	13	16	0	1	30
	PDmin + PDmax -	11	24	4	5	44
	PDmin - PDmax +	1	1	2	3	7
	PDmin - PDmax -	5	3	1	4	13
Totalt		30	44	7	13	94

Antal hästar med olika kombinationer av bakbensasymmetrier. Vänster varv presenteras kolumnvis och höger varv radvis. Diagonalen (fet stil) visar antal hästar som är symmetriskt asymmetriska mellan de båda varven.

Studie 2 Erfarna hästpraktiserande veterinärers subjektiva bedömning av hältor hos hästar som longeras i trav

Totalt svarade 94 veterinärer på enkäten varav 43 st var erfarna hästpraktiserande veterinärer med inriktning ortopedi som inkluderades i denna studie.

Spridningen i bedömningen av vilket ben som skulle börja utredas varierade mycket mellan de olika filmerna. Cohens kappa baserat på det ben som valts att börja utreda var 0,41 (median) (fig. 2) och Fleiss kappa gav ett kappa värde på 0,34 med ett standard error på 0,002. vilket ger ett 95 % konfidensintervall (KI) $\pm 0,004$.



Figur 2. Spridning av Cohens kappa på vilket ben som valts att börja utredas – samtliga jämförelser. Y-axel motsvarar kappa värdet. X-axeln motsvarar numret på jämförelsen (N=903)

Specialistutbildning

Av de 43 stycken erfarna hästveterinärer hade 29 stycken någon typ av specialistutbildning alternativt var under utbildning. Skillnaden mellan veterinärer med respektive utan specialistutbildning med avseende på vilket ben de valde att börja utreda var ej statistiskt signifikant med ett p-värde på 0,22.

Studie 3 Influence of lunging on head and pelvic movement asymmetry and compensatory effects in horses with induced lameness

När hästarna longerades påverkades PDmin, HDmin och HDmax signifikant av det böjda spåret en s.k. voltorsakad asymmetri. Även kompensatoriska hältmekanismer som visats på rakt spår kunde ses vid longering. Dessa två asymmetrier adderades till den primära hältan vilket gör att till exempel en lindrig bakbenschälta accentueras som innerben och minskar som ytterben. Om den voltorsakade inner bakbenschälten är lika stor som den yttre bakbenschälten kan hästen röra sig med perfekt bäckensymmetri på volt trots att den är halt. Hältan som inducerats i denna studie påverkade inte synkroniseringen av benen i svängningsfasen.

Studie 4 Normalvariation av asymmetrier i trav hos svenska ridhästar

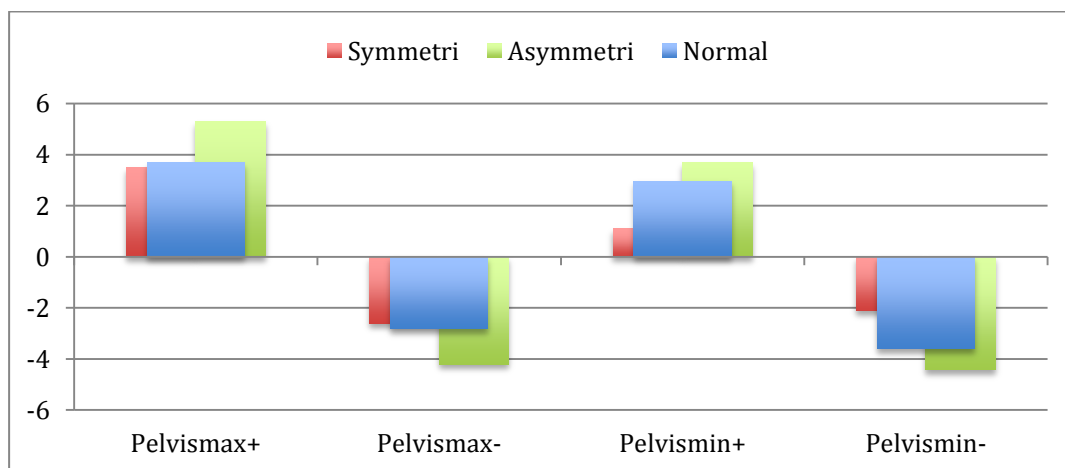
Av de 53 hästarna i normalgruppen uppfyllde 35 stycken (66,0%) grundkriteriet för asymmetri dvs. medelvärdet för en symmetrivariabel överskred gränsvärdet samt att medelvärdet för denna var högre än dess standardavvikelse (tabell 2). Andelen asymmetriska

dressyrhästar var större än andelen asymmetriska hopphästar men materialet var i minsta laget för att säkerställa denna skillnad statistiskt.

Tabell 2. visar antal och procent av hästarna i normalgruppen, n=53, som har en asymmetri som överskrider gränsvärdet.

Typ av asymmetri	Antal hästar	Andel
Frambensasymmetri	18	34,0%
Bakbensasymmetri	28	52,8%
Fram+bakbensasymmetri	11	20,8%
Total antal asymmetriska	35	66,0%

Som grupp betraktat hamnade normalhästarna mellan grupperna som bedömts som symmetriska (ohalta) respektive asymmetriska (halta) på kliniken när grad av asymmetri studerades för 3 (HDmin, PDmin och PDmax) av 4 variabler (fig 3).



Figur 3. Jämförelse av medianer för normalgrupp, symmetrisk klinikgrupp och asymmetrisk klinikgrupp gällande bakben.

Diskussion

När friska hästar longeras blir huvud- och bäckenrörelsen naturligt asymmetrisk till en grad som skulle klassats som en hälta om den setts på rakt spår. Man måste ta hänsyn till denna "voltasymmetri" när man bedömer hältor vid longering. Den tydligaste asymmetrin som sågs var en som liknade en inner bakbenshälta. Om voltasymmetrin och hältan är på olika ben kan hästen röra sig alltför symmetriskt för att en hälta ska kunna observeras i ena varvet men när voltasymmetrin och hältan sammanfaller blir en hälta på det aktuella benet tydlig när man byter varv. Man kan dock inte förvänta sig att friska hästar rör sig likadant i de två varven då många hästar visar en tydlig sidighet. Kompensatoriska hältmekanismer som studerats på rakt spår förekommer även vid longering. Även dessa asymmetrier måste man ta hänsyn till när man bedömer halta hästar på böjt spår.

Överensstämmelsen mellan erfarna hästveterinärers subjektiva bedömning av hältor när hästar travar på volt är endast acceptabel och blir inte påtagligt bättre då veterinärer har en

hästspecialistutbildning. Ökad kunskap om halta och ohalta hästarnas rörelsemönster på volt kan förhoppningsvis ge en bättre överensstämmelse mellan veterinärer om denna kunskap sprids i veterinärutbildningen eller vid fortbildningskurser. Det finns ett behov av objektiv rörelseanalys i all ortopedisk forskning där hältor är av intresse, och ibland även som ett komplement till klinikveterinären.

Ett skrämmande stort antal, 66 %, av de "friska" ridhästar som undersökts uppvisar rörelseasymmetrier på rakt spår i storleksordning med de asymmetrier som hästar som utreds på klinik har. Andelen asymmetriska hästar ökar ännu mer vid longering. Vi vet inte i vilken omfattning dessa funna asymmetrier är smärtutlösta och påverkar hästens välfärd och prestation. Antingen utreds många hästar onödigt mycket i vår strävan efter perfekt symmetri, något som väldigt få hästar kan uppnå eller så tränas och tävlas många hästar som borde behandlas för smärtsamma ortopediska lidanden. Detta är ett område som kräver mycket mer forskning då det kan vara ett potentiellt djurskyddsproblem både om halta hästar inte utreds och om ohalta hästar utreds i onödan.

Resultatförmedling

Vetenskapliga artiklar

Rhodin M., Roepstorff L., Pfau T. and Egenvall A. Influence of lunging on head and pelvic movement asymmetry and compensatory effects in horses with induced lameness. *Veterinary Journal* (submitted) 2012.

Marie Rhodin, DVM, PhD; Lars Roepstorff, DVM, PhD ; Ashley French; Kevin G. Keegan, DVM, MS, and Agneta Egenvall, DVM, PhD. Evaluation of the motion pattern of the horse at lunging. *American Journal of Veterinary Research* (submitted 2012)

Internationella konferenser

Rhodin M, Roepstorff L, Roethlisberger Holm K, French A., Keegan, K. and Egenvall A.. Evaluation of the motion pattern of the horse at lunging. 8th International Conference for Equine Exercise Physiology. Cape Town, South Africa, 2010.

Rhodin M, Roepstorff L and Egenvall A. Influence of lunging on head and pelvic movement asymmetry and compensatory effects in horses with induced lameness. 7th International Conference on Canine and Equine Locomotion. Strömsholm, Sweden, 2012.

Examensarbeten veterinärprogrammet (Publicerat elektroniskt, Epsilon, SLU)

Marie Hammarberg 2011 *Erfarna hästpraktiserande veterinärers subjektiva bedömning av hältor hos hästar som longeras i trav*.Handledare Marie Rhodin (vetenskaplig artikel under bearbetning)

Johanna Lindal 2011 *Mindre erfarna veterinärers subjektiva bedömning av hältor hos hästar som longeras i trav*.Handledare Marie Rhodin

Pia Haffling 2012 *Normalvariation av asymmetrier i trav hos svenska ridhästar*.Handledare Marie Rhodin (Data ska kompletteras för en vetenskaplig publikation)

Research internship

Tonca Root, utbytesstudent från universitetet i Utrecht, Holland, 2011 *Study on objective technical evaluation systems tested on mild lameness* (Pegasus Limb Phasing[®] system)
Handledare Marie Rhodin, Lars Roepstorff

Övrig resultatförmedling till näringen

SVSs Hästsektions vinterkurs januari 2011, Marie Rhodin och Marie Hammarberg
Information om projektet och delresultat presenteras på kursen där ca 100 veterinärer deltog.

Ett stående moment i veterinärutbildningen är en föreläsning om hältbedömning med praktisk träning som delvis bygger på resultaten från denna forskning.

En populärvetenskaplig artikel planeras till tidskriften Ridsport när de vetenskapliga artiklarna publicerats.

Referenser

- Arkell, M., R. M. Archer, et al. (2006). "Evidence of bias affecting the interpretation of the results of local anaesthetic nerve blocks when assessing lameness in horses." *Vet Rec* **159**(11): 346-9.
- Clayton HM. and Sha DH. (2006) Head and body centre of mass movement in horses trotting on a circular path. *Equine vet J*, vol 36, nr Suppl 38, 462-467
- Keegan KG, Dent EV, Wilson DA, Janicek J, Kramer J, Lacarrubba A, Walsh DM, Cassells MW, Esther TM, Schiltz P, Frees KE, Wilhite CL, Clark JM, Pollitt CC, Shaw R, Norris T.(2010) Repeatability of subjective evaluation of lameness in horses. *Equine vet J*. Mar;42(2):92-7
- Kelmer G, Keegan KG, Kramer J, Wilson DA, Pai FP, Singh P. (2005) Computer-assisted kinematic evaluation of induced compensatory movements resembling lameness in horses trotting on a treadmill. *Am J Vet Res*. Apr;66(4):646-55.
- Keegan, K.G., Kramer, J; Yonezawa, Y.,Maki, H., Pai, P.F, Dent, E., Kellerman, T., Wilson D. and Reed, S. 2011. Assessment of repeatability of a wireless, inertial sensor-based lameness evaluation system for horses. *American Journal of Veterinary Research*. Sep;72(9):1156-63.
- Pfau T., Stubbs N., Kaiser L., Brown L. and Clayton H. M. 2012. The Effect of Trotting Speed and Circle Radius on Movement Symmetry in Horses during Lunging on a Soft Surface. *American Journal of Veterinary Research* (in press).
- Starke SD, Willems E, May SA, Pfau T. (2011)Vertical head and trunk movement adaptations of sound horses trotting in a circle on a hard surface. *Veterinary Journal*
doi:10.1016/j.tvjl.2011.10.019.
- Weishaupt MA, Wiestner T, Hogg HP, Jordan P, Auer JA. (2004) Compensatory load redistribution of horses with induced weightbearing hindlimb lameness trotting on a treadmill. *Equine Vet J*.Dec;36(8):727-33.
- Weishaupt MA, Wiestner T, Hogg HP, Jordan P, Auer JA. (2006) Compensatory load redistribution of horses with induced weight-bearing forelimb lameness trotting on a treadmill. *Vet J*. Jan;171(1):135-46. Epub 2004 Nov 11.