



*Sveriges lantbruksuniversitet*  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi

# Hur rör sig huden på en häst?

Validering av metodik för rörelseanalys  
av halskotpelaren hos häst

Eva Olsson

*Uppsala*

*2013*

*Examensarbete inom veterinärprogrammet*

*ISSN 1652-8697  
Examensarbete 2013:58*



## Hur rör sig huden på en häst?

Validering av metodik för rörelseanalys  
av halskotpelaren hos häst

How does the skin move on the neck of the horse?

Validation of a method for motion analysis  
of the cervical spine in the horse

Eva Olsson

*Handledare: Anna Bergh, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi  
Biträdande handledare: Marie Rhodin, Institutionen för kliniska vetenskaper*

*Examinator: Lars Roepstorff, Enheten för hippologutbildning*

*Examensarbete inom veterinärprogrammet, Uppsala 2013  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi  
Kurskod: EX0754, Nivå A2E, 30hp*

*Nyckelord: hudförskjutning, halskotpelare, häst, rörelseforskning, hudmarkörer  
Key words: skin displacement, equine, motion analysis, skin markers*

*Online publication of this work: <http://epsilon.slu.se>  
ISSN 1652-8697  
Examensarbete 2013:58*



## **INNEHÅLL**

<b>SAMMANFATTNING.....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>2</b>
<b>INLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>LITTERATURÖVERSIKT .....</b>	<b>5</b>
Anatomi .....	5
Kotpelaren .....	5
Ligament och muskler .....	6
Hud .....	7
Rörelseforskning på häst.....	7
Teknisk utveckling .....	7
Hudförskjutning .....	7
<b>MATERIAL OCH METODER .....</b>	<b>11</b>
Material .....	11
In vitro studie .....	11
In vivo studie .....	11
Metoder .....	11
Hudmarkörer .....	11
Röntgenteknik .....	11
Studiedesign.....	12
Kompletterande studie av halskotpelarpreparat.....	16
Bildanalys .....	16
<b>RESULTAT.....</b>	<b>18</b>
<b>DISKUSSION.....</b>	<b>21</b>
<b>REFERENSER .....</b>	<b>24</b>

## **SAMMANFATTNING**

Höghastighetsfilmning är en teknik som ofta används inom rörelseforskning på häst, särskilt för att registrera ledrörelse. Reflektoriska hudmarkörer sätts på anatomiska landmärken, vilka sedan filmas med höghastighetskameror. En felkälla med dessa mätningar är att huden förskjuts jämfört med underliggande skelett. Detta fenomen beskrevs första gången i början av 1900-talet och har sedan dess studerats relativt omfattande framför allt för hästens extremiteter men även för ryggen. Däremot har hudförskjutningen på halsen inte studerats tidigare och det var syftet med det här arbetet.

Halskotorna på fem hästar markerades med röntgentäta hudmarkörer för att sedan röntgas i olika positioner, normal position, placerad ”i form” med välvd nacke och nosen i lodrätt plan samt med ”nos mot karpus”. Utifrån röntgenbilderna beräknades hudförskjutningen genom att mäta markörernas förflyttning jämfört med kotkroppen. Arbetet begränsades till beskrivning av hudförskjutningen över C5 och C6.

Vid positionen ” i form” jämfört med normal position försköts huden generellt i dorsal och kranial riktning och vid positionen ”nos mot karpus” jämfört med normal position försköts huden generellt i ventral och ytterligare kranial riktning.

I denna studie fick medelvärdena av hudförskjutningen relativt hög standardavvikelse vilket kan förklaras av det begränsade antalet hästar, att de manuella beräkningarna inte blir exakt korrekt trots noggrannhet samt att en viss lateralflexion eller rotation kan förekomma i bilderna då detta är mycket svårt att skilja från de effekter som olika förstoringseffekter i bilden ger upphov till.

Men studien tyder på en hudförskjutning över halsen som var upp till 6-7 cm i vissa fall och hudförskjutningen är ett fenomen som man måste ha i åtanke vid användning av hudmarkörer vid rörelseforskning på halsen på hästar.

## **SUMMARY**

In motion analysis research in horses, it is common to use skin markers placed on anatomical landmarks that are recorded with high-speed cameras. The information from the studies can then be used to calculate for example joint angles and range of motion. One source of error in these measurements is that the skin is displaced compared to the underlying bone. This phenomenon was first described in the early 1900s, and has since been studied, especially focusing on the horse's limbs, but also on the back. However, the skin displacement of the neck has not been studied before and it was the aim of this study.

The cervical vertebrae of five horses were marked with radiopaque skin markers and then x-rayed in different positions; normal position, "in shape" with a curved neck and nose in the vertical plane and with the "nose against carpus". Based on the x-ray images skin displacement was calculated by measuring the marker's movements compared to the vertebrae. The study was limited to the description of the skin displacement over C5 and C6.

In the position "in shape" compared to the normal position the skin was displaced in dorsal and cranial direction and in the position "nose against carpus" compared to the normal position the skin was displaced in ventral and further cranial direction.

In this study, the relatively high standard deviation of the mean values of the skin displacement can be explained by the limited number of horses, the manual calculations that might not be exactly correct and by the fact that a certain amount of lateral flexion or rotation may occur in the photos, as this is very difficult to distinguish from the effects that different magnification effects in the image gives rise to.

But the study suggests a skin displacement over the neck of up to 6-7 cm and skin displacement is a phenomenon that must be kept in mind when using skin markers in motion analysis research of the neck of horses.

## INLEDNING

Hästvärlden växer sig allt större och i Sverige finns det idag drygt 360 000 hästar, vilket gör det till ett av de hästtätaste länderna i Europa jämfört med antalet invånare (Jordbruksverket, 2010). Många hästar används inom rid- och körsport, där träning och tävling ställer allt högre krav på hästens rörelseapparat med avseende på styrka, koordination och hållbarhet.

För att kunna möta dessa krav på välfungerande och välmående hästar så bedrivs forskning om hästars rörelseapparat. Ett område är biomekanisk forskning, vilket syftar till att bättre förstå hur rörelse sker. Inom biomekanik studeras kinematik som beskriver rörelsen utan att inkludera krafterna som påverkar den och kinetiken som beskriver både rörelsen och de krafter som påverkar den. Rörelsemekanik beskriver i sin tur vad som händer med kroppar som utsätts för krafter. Resultaten från forskningen används bland annat inom konvalescensträning efter skador, men även i skadeförebyggande syfte.

En viktig metodik inom biomekanisk forskning på hästar är höghastighetsfilmning. Vissa höghastighetskameror skickar ut infrarött ljus som reflekteras av hudmarkörer som placeras på anatomiska landmärken på hästen. Det reflekterade ljuset registreras av kamerorna och data samlas in och bearbetas av en speciell mjukvara. Beroende på antal kameror och deras placering kan man få en tredimensionell bild av hudmarkörernas position och utifrån dessa beräkna bland annat ledvinklar och rörelseomfång. Användningen av hudmarkörer har fördelar i och med att det är en icke invasiv teknik som kan användas i klinisk praktik, jämfört med benfasta markörer som kräver kirurgiska ingrepp. Nackdelen med användningen av hudmarkörer är dock att huden kan förflytta sig annorlunda jämfört med det underliggande skelettets rörelse. För att kunna bedöma skelettets faktiska rörelse krävs korrigering av felkällan som hudförskjutningen utgör (Van Weeren et al., 1992).

Den specifika hudförskjutningen på hästens extremiteter och rygg har studerats och beräkning av korrigeringsformler har gjorts (Van Weeren et al., 1992). Hudförskjutningen i rörelse är signifikant över både ryggen (Faber et al., 2001) och proximala delarna av extremiteterna. En studie visar en hudförskjutning över femur på upp till 15 centimeter i skritt (Van Weeren et al., 1990). Studier på distala delarna av extremiteterna visar dock att hudförskjutningen är försumbar och inte behöver korrigeras för (Van Weeren et al., 1992). De flesta av dessa studier har jämfört hudmarkörer med benfasta markörer på samma individer. Detta innebär att dessa hästar har behövt genomgå kirurgi för placeringen av de benfasta markörerna (Faber et al., 2001).

I en pilotstudie testades en annan metod för att bedöma hudförskjutning över tornutskotten vid manken. Huden över T6, T10 och T13 markerades med röntgentäta markörer och hästen röntgades med halsen i normal position samt vid två olika grader av flexion. Resultaten visade en signifikant hudförskjutning, framför allt vid de främre bröstkotorna vid flexion av halsen, men undersökningarna gjordes inte på tillräckligt stort material för att kunna dra säkra slutsatser (Rhodin, 2008).



I takt med det ökande antalet studier som använder höghastighetsfilmning och hudmarkörer för att beskriva rörligheten specifikt i halskotpelaren (Clayton et al., 2010), är det viktigt att veta hur stor hudförskjutningen är just i det området. Syftet med denna studie var att testa en metod för att beskriva hudförskjutning på halsen på hästar genom att använda röntgentäta hudmarkörer och registrera deras lokalisering med hjälp av röntgenteknik. I studien undersöktes hudförskjutningen i förhållande till halskotpelaren vid två olika grader av ventroflexion och en lateralflexion av halsen.

Hypotesen var att hudens rörelse på halsen och i mankområdet är större än skelettets rörelse vid ventroflexion och förskjutningen är större i den kaudala delen av halsen jämfört med den kraniala delen samt större vid en ökad grad av flexion av halsen. Ytterligare en hypotes var att denna teknik fungerar för att beskriva hudförskjutningen på halsen.

## LITTERATURÖVERSIKT

### Anatomi

#### *Kotpelaren*

Hästen har sju halskotor, 18 bröstkotor, sex ländkotor, fem korskotor och 15-21 svanskotor (Dyce et al., 2010). De två första halskotorna, *atlas* och *axis* är anatomiskt avvikande från de andra. Den första, *atlas*, utgörs av två laterala massor som sammanlänkas av en dorsal och en ventral båge och kotan har därmed inte någon egentlig kotkropp. Den andra halskotan, *axis*, är den längsta kotan och utgörs av en kotkropp med ett kraftigt tornutskott som i bakre änden har ledytor som ledar mot tredje halskotans ledutskott. I *axis* framkant finns dens, en konvex bred ledyta som ledar mot atlas motsvarande kaudala konkava ledyta. De fem följande halskotorna har rudimentära tornutskott och större delade tvärsnitt, jämfört med bröstkotorna som har höga tornutskott och korta tvärsnitt. Bröstkotornas tvärsnitt har urgröppningar som revbenen ledar emot. Bröstryggens höga tornutskott hämmar kraftig böjning och sträckning. Ländkotorna har kortare tornutskott men betydligt längre tvärsnitt. De breda tvärsnitten hämmar kraftig lateral böjning. Korskotorna är hos häst sammanvuxna till ett korsben som ledar mot bäckenet. Svanskotorna kan variera i antal (Sisson and Grossman, 1975). Kotornas utformning påverkar deras rörlighet i olika plan, böjning och sträckning, lateral böjning samt rotation. Halskotorna tillåter störst rörlighet i alla plan.

Av de sju halskotorna utmärker sig framför allt de två första som annorlunda och rörligheten i olika plan skiljer sig väsentligt mellan alla kotorna (Clayton and Townsend, 1989). Leden mellan skallbasen och första halskotan, atlantooccipitalleden, har benämnts som en gångjärnsled vilket innebär att den bara medger rörelse i ett plan, böjning och sträckning, men Clayton och Townsend visade 1989 att leden även medger viss lateral böjning och rotation. Den laterala böjningen begränsas av atlas laterala benvingar och störst lateral böjning var möjlig när leden var sträckt.

Leden mellan *atlas* och andra halskotan, atlantoaxialleden kallas för en vridled (engelskans pivot joint) och medger framförallt rotation. Atlas har två konvexa ledytor kaudiolateralt som ledar mot *axis* karniolaterala ytor och sluter om dens på *axis*. Clayton och Townsend (1989) visade att 73% av halsryggens totala rotation sker i atlantoaxialleden. Böjning och sträckning är begränsad i leden, böjning hindras av kraftiga ligament medan sträckning begränsas av att dens på *axis* pressas mot atlas kaudoventrala båge.

De efterföljande lederna i halsryggen är mer likartade, de kraniala ledytorna i de centrala lederna mellan kotkropparna är konkava och motsvarande ytor på de kaudala ledytorna är konvexa (Clayton and Townsend, 1989). Dessa kotor har även ledutskott i kranial och kaudal riktning, *processus articularis cranialis et caudalis*, som ledar mot närliggande kotors motsvarande ledutskott. Dessa sträcker sig mer lateralt på de bakre halskotorna. Rörelseomfånget är i stort sätt samma mellan de fem resterande kotorna och utgörs framförallt av ventroflexion samt lateral flexion.

## **Ligament och muskler**

Hela kotpelaren stabiliseras av flera kraftiga ligament. *Ligamentum nuchae* är ett kraftigt ligament som avgränsar båda sidornas halsmuskulatur och hjälper till att hålla upp en stor del av huvudets tyngd. Ligamentet är uppdelat i två delar, en som fäster in mot bakre delen av skallbenet och fortsätter bak till första korskotan, efter manken benämns det som *ligamentum supraspinosus*. Den andra delen är ett kraftigt utplattat fibröst ligament som fäster in dorsalt på C2-C7 och utgår från *processus spinosus* på T2 och T3 (Dyce et al., 2010). I kotkanalen dorsalt om kotkroppen finns *ligamentum longitudinale dorsalis* och ventralt om kotkropparna *ligamentum longitudinale ventralis*.

Ryggen och halsen har ett stort antal muskler, både stora och små. Jag väljer att beskriva de största och viktigaste här. *Longissimus dorsi* brukar kallas för kroppens största och längsta muskel (Sisson and Grossman, 1975). Det är en segmenterad muskel som utgår från *ilium*, de tre främsta korskotorna samt länd- och bröstkotor och *ligamentum supraspinosus* och fäster in på *processus transversus* och *processus articularis* på ländkotorna, *processus transversus* på bröstkotorna, *processus spinosus* och *processus transversus* på C4-C7 samt lateralt på respektive revben utom det första. Muskeln sträcker ryggen och halsen tillsammans med andra muskler. I ländregionen går muskeln ihop med *m. gluteus medius*. Ensidig kontraktion ger lateral flexion av ryggen.

En av halsens viktigaste muskler är *musculus splenius* som utgår från *processus spinosus* på T3-T5 och fäster in på skallbasen, atlasvingarna och *processus transversus* på C3-C5 (Sisson and Grossman, 1975). Dess funktion är att höja hals och huvud, sträcka halsen samt vid ensidig kontraktion – lateral flexion av halsen.

En annan viktig halsmuskel är *musculus brachiocephalicus*, en stor sammansatt muskel som löper från skallbasen på var sida av halsryggraden ner till proximala humerus, samt fascian över bog och överarm (Sisson and Grossman, 1975). Då huvudet är fixerat verkar muskeln genom att föra fram frambenet och sträcka bogleden. När istället benet är fixerat verkar muskeln vid dubbelsidig kontraktion genom att sänka huvud och hals samt böja halskotpelaren. Vid enkelsidig kontraktion ger muskeln istället lateral flexion av halsen.

Ytterligare en muskel vars verkan är att sänka hals och huvud samt böja halskotpelaren vid dubbelsidig kontraktion är *musculus sternocephalicus* (Sisson and Grossman, 1975). Denna utgår från *manubrium sterni* och fäster på kaudala kanten av *mandibula*. Vid enkelsidig kontraktion ger även denna muskel lateral flexion av halskotpelaren. Genom dess infästning på *mandibula* verkar muskeln även också genom att sträcka temporomandibularleden, det vill säga öppna munnen.

*Musculus multifidi* är en segmenterad muskel som man intresserat sig för inom rehabiliteringsforskning då man anser att en stärkning av denna muskel bidrar till en ökad stabilisering av kotpelaren (Sisson and Grossman, 1975). Muskeln består av flera segment som utgår från laterala delen av korsbenet, ledutskotten på ländkotorna samt tvärutskotten på bröstkotorna. De fäster in på tornutskotten på de två första korskotorna, ländkotorna,

bröstkotorna och sista halskotan. Enkelsidig kontraktion ger lateral flexion medan dubbelsidig kontraktion ger sträckning av ryggen och halsen.

Halsen består ytterligare av ett stort antal mindre och större muskler som stabiliserar halskotpelaren samt samverkar till böjning, sträckning, rotation och lateral flexion, men jag väljer att inte gå in djupare på dessa i detta arbete.

### **Hud**

Huden är kroppens största organ och omsluter hela kroppen. Den övergår i slemhinnor vid kroppsöppningarna. Den skyddar kroppen mot till exempel mikroorganismer och håller inne fukt för att skydda mot uttorkning. Huden utgörs av flera lager, utifrån och in: *epidermis* (ytligt epitel), *dermis* (fibröst lager) *subcutis* (lucker bindväv samt fett). Tack vare att *subcutis*, det vill säga underhuden, utgörs av lucker bindväv medger den relativt stor rörlighet av huden över underliggande vävnad. Underhuden är olika eftergivlig på olika delar av kroppen, beroende på om hudrörlighet är positivt eller ej. Den är mindre eftergivlig till exempel i läppar och ögonlock och betydligt mer eftergivlig till exempel över nacke och rygg (Dyce et al., 2010). Dess tjocklek varierar och är som tjockast i fäste för man och svans (Sisson and Grossman, 1975).

## **Rörelseforskning på häst**

### **Teknisk utveckling**

Rörelseforskning på häst har en lång historia, redan år 1877 kunde Muybridge visa att hästar har en svävningssfas i trav genom en fotografisk studie där han satte upp flera enkla kameror efter varandra som sedan tog bilder på en häst som travade förbi (Hobbs et al., 2010). Under 1900-talet skedde en omfattande teknikutveckling och system med sammankopplade kameror utvecklades, där data sedan analyserades av en dator. Från början kunde endast rörelser studeras i 2D-format, men efter det har även system för mätning i 3D-format utarbetats. Det finns olika typer av kameror. En vanlig variant är en kamera som skickar ut infrarött ljus som sedan reflekteras av markörerna. Det reflekterade ljuset träffar en ljuskänslig platta som skapar en signal i videokameran. Signalerna skickas sedan över till datorn som räknar ut var i 3D-rummet som markören befinner sig.

### **Hudförskjutning**

Problemet med att huden förskjuts jämfört med underliggande strukturer beskrevs inom human rörelseforskning för första gången 1910 av en tysk forskare vid namn R. Fick enligt Fredricson och Drevemo (1972). Inom rörelseforskning på hästar omnämns det för första gången 1937 av A. Aepli, en annan tysk forskare. Han undvek problemet genom att olja in hästen för att åstadkomma tydlig kontrast av de utstickande delarna under huden och filma huden direkt istället för att använda hudmarkörer.

Fredricson och Drevemo (1972) gjorde ett första försök att uppskatta hudförskjutningens storlek för att se om denna gick att bortse ifrån. De hade i sina studier filmat hästar med hudmarkörer fästa på olika anatomiska landmärken och misstänkte en systemisk felkälla i och

med hudförskjutningen. De märkte ut anatomiska landmärken på båda frambenen på en häst och manipulerade sedan benet genom att sträcka och böja benet i olika positioner. Medan benet hölls i respektive position palperade de på nytt landmärkena och märkte dessa på nytt. Benet fotograferades med de multipla märkningarna. Deras slutsats var att hudförskjutningen är av sådan rang att den måste antas påverka mätresultaten i de proximala delarna av hästens framben, det vill säga från och med armbågen och uppåt. Längre distalt kunde de inte påvisa någon hudförskjutning. De konstaterade också begränsningen av deras lilla studie att den gjordes stillastående och hudförskjutningen antas vara annorlunda i snabb rörelse.

Det dröjde dock till 80-talet innan studier gjordes som faktiskt uppskattade magnituden av hudförskjutningen i rörelse hos hästar. van Weeren et al. (1986, 1988) studerade hudförskjutningen på distala delarna av extremiteterna på holländska halvblod i skritt. De jämförde hudmarkörer med dioder (LED – light emitting diodes) som placerades i benet från medialsidan så att ljuset från dioden syntes genom huden (Van Weeren and Barneveld, 1986). Resultaten visade att hudförskjutningen över kota är liten och kan bortses ifrån, men att den vid karpus och tarsus uppgår till 2 cm (Van Weeren and Barneveld, 1986; Vanweeren et al., 1988).

van Weeren et al. (1990) studerade och kvantifierade hudförskjutningen i de proximala delarna av extremiteterna på fyra holländska halvblod i skritt. I studien jämfördes hudmarkörer med benfasta, transkutana markörer i form av Steinmann pins. Ett potentiellt problem som uppstår med denna metod är att de transkutana benmarkörerna kan påverka hudens rörlighet. Detta undersöktes i en liten förstudie, där man palperade laterala epikondylen och kraniala och kaudala delen av *tuberculus majus* på femur och markerade i huden i maximal böjning, maximal sträckning och en position däremellan. Detta upprepades sedan flera gånger på samma häst efter att benmarkören hade placerats och man fann att hudförflyttningen var densamma även med den transkutana benmarkören, det vill säga huden var tillräckligt elastisk för att detta inte skulle påverka studiens resultat.

I studien fick hästarna skritta jämsides med en kamera som rörde sig i samma hastighet och parallellt med hästen (Van Weeren et al., 1990). Bilderna studerades och hudmarkörernas placering mättes jämfört med de benfasta markörerna. Graden av hudförskjutningen definierades genom att dela upp rörelsen i x- och y-led baserat på informationen från de benfasta markörerna. I studien kom man fram till att huden förflyttats mellan 1 till 4 centimeter över distala delen av *scapula* och mellan 13 och 17 cm över kaudala delen av *tuberculum majus* på *femur*.

I en studie från 1992 har van Weeren et al. räknat ut formler för att korrigera för hudförskjutningen över fram- och bakbenens leder. De jämförde hudens rörelse över underliggande ben, genom en kombination av tidigare använda tekniker, dels med LED's inopererade från medialsidan som ger ljus som syns genom huden och dels genom transkutana benmarkörer, sk Steinmann pins. Att två olika metoder användes beror på att LED-metoden är begränsad till distala delen av extremiteterna eftersom de måste placeras kirurgiskt från medialsidan och detta är inte möjligt av anatomiska skäl längre proximalt.

Även i denna studie beräknades hudförskjutningen genom att dela upp förskjutningen i x- och y-led, genom att jämföra med informationen från de benfasta markörerna (Van Weeren et al., 1992). En formel för hudförskjutning uträknades och korrigerade med benlängden för att få en funktionell formel för hästar med olika kroppsstorlekar. Resultatet visade att hudförskjutningen över distala leder, *kota*, *karpus* samt *tarsus* bildade ett linjärt samband med graden av böjning i leden.

Sha et al. (2004) utarbetade en korrigeringsformel för hudförskjutningen över *radius* i tre dimensioner. Studien gjordes i trav på fyra hästar. En transkutan benfixerad markör jämfördes med sex stycken hudmarkörer fästa på förutbestämda platser på *radius*. Samtliga markörer filmades med höghastighetskamera och hudförskjutningen beräknades i procent av segmentslängden (*radius* längd) och översattes till faktiskt längd. Hudförskjutningen motsvarade i genomsnitt 26 mm. Den största hudförskjutningen under en stegcykel var 65 mm, vilket var för markören lateralt på proximala delen av *radius*. Den minsta hudförskjutningen sågs på den mest distala markören på *radius* och beräknades till 3 mm (Sha et al., 2004). Detta stämmer med tidigare studier som har visat större hudförskjutning på proximala delarna av extremiteterna jämfört med distalt (Fredricson and Drevemo, 1972; Van Weeren and Barneveld, 1986; Vanweeren et al., 1988).

Det finns även studier som jämför hudmarkörer med benfasta markörer för att studera hudförskjutningen på ryggen på hästar. Faber et al. (2001) studerade fem hästar markerade med hudmarkörer på ett antal bröst- och ländkotor, en korskota samt bägge *tuber coxae*. Hästarna fick sedan skritta och trava på löpband och markörerna filmades med höghastighetskameror. De fäste sedan transkutana benfasta markörer i form av Steimann pins på samma lokalisationer och upprepade studien på löpbandet. Därefter jämfördes data från respektive metod med avseende på uppskattning av böjning-sträckning, lateral böjning samt rotation av bröst- och ländrygg samt bäcken. En statistisk analys gjordes för att studera om det fanns några signifikanta skillnader mellan resultaten från de benfasta markörerna och hudmarkörerna, för att se i vilken utsträckning hudmarkörernas rörelse stämde med skelettets faktiska rörelse. Resultaten visade en tillfredsställande nivå på mätningar med hudmarkörerna vad gäller böjning och sträckning av bröst och ländryggen, samt rotation av bäckenet i både skritt och trav. När det gäller lateral böjning var resultaten med hudmarkörer endast tillfredsställande för mittersta delen av brösttryggen och kaudala delen av ländryggen i skritt, medan hela bröst- och ländryggens laterala böjning kunde mätas i trav.

Schwencke et al. (2012) studerade hudförskjutningen hos hund. De använde sig av fyra labrador retrievers och markerade anatomiska landmärken såsom kraniala och distala delen av *spina scapula*, *trochanter majus* och laterala epikondylen av *humerus*. Hundarna filmades med höghastighetskamera när de gick i skritt på ett löpband. Man beräknade hur markörerna på respektive ben rörde sig i förhållande till varandra. Då benets form inte förändras under stegcykeln kan markörernas förändring i avstånd till varandra antas motsvara hudförskjutningen över benet. I studien sågs att avståndet mellan markörerna ändrades under stegcykeln, men i och med att det endast jämfördes hudmarkörernas avstånd till varandra

kunde studien inte uppskatta något värde på hudens förskjutning jämfört med benet, utan endast visa att huden faktiskt rör sig jämfört med skelettet.

I samma studie sattes röntgentäta markörer på tornutskottet på L6 samt över knäleden. Sedan registrerades markörerna och underliggande skelettala strukturer med fluoroskopi medan hundarna skrittade på löpbandet (Schwencke et al., 2012). Markörens förskjutning vid L6s rörelse i kraniokaudal riktning och markören över knäledens rörelse både i kraniokaudal riktning samt i proximodistal riktning beräknades genom att jämföra fyra bilder ur en stegcykel. De fyra positionerna var stående med 90 graders vinkel i knäleden (position 1), då tån lämnar marken (position 2), maximal böjning av knäleden (position 3) samt tåisättning (position 4). Stående med 90 grader i knäleden valdes som normalposition och markörens placering jämfördes med de i de andra positionerna. Studien begränsas av det låga antalet undersökta hundar (n=4).

För markören vid L6 kunde man se en signifikant hudförflyttning i kaudal riktning på 0,4 cm för position 2 och 0,7 cm för position 4 (Schwencke et al., 2012). Däremot visade position 3 inte någon signifikant hudförflyttning. Markören vid knäet visade förflyttning både i kraniokaudal och i proximodistal riktning. Totalt 2,1 cm i kraniokaudal riktning under en hel stegcykel, varav kranial förskjutning i position 2 och kaudal förskjutning i position 3. I proximodistal riktning sågs endast en proximal hudförskjutning på 0,7 cm i position 2, men inte i någon av de andra positionerna.

## MATERIAL OCH METODER

### Material

#### *In vitro studie*

En häst (häst nr 1 i tabell 1) som skulle avlivas av andra orsaker än denna studie användes i en pilotstudie för att prova ut metodiken.

#### *In vivo studie*

Studien genomfördes på fem hästar av rasen varmblodig travare ägda av SLU (se tabell 1). Studiens upplägg var godkänt av en försöksdjursetisk kommitté (C 261/11).

Tabell 1. Ingående individer i studien

Häst	Mankhöjd	Vikt	Ras	Ålder	Kön
1	158 cm	493 kg	Varmblodig travare	17 år	Sto
2	157 cm	536 kg	Varmblodig travare	20 år	Sto
3	164 cm	523 kg	Varmblodig travare	12 år	Sto
4	163 cm	491 kg	Varmblodig travare	11 år	Sto
5	167 cm	547 kg	Varmblodig travare	12 år	Hingst

### Metoder

#### *Hudmarkörer*

Kommersiella hudmarkörer vilka målats med bariumsulfat samt blysänken (Biltema) applicerades på förutbestämda anatomiska landmärken på huden genom att använda dubbelhäftande tejp (Biltema).

#### *Röntgenteknik*

För att åskådliggöra de röntgentäta markörerna som fästs på hästarna användes röntgenteknik, med en portabel röntgenapparat (Elema-Schönander) med digitala exponeringsplattor som framkallas i ett digitalt system (Ajex Meditech). De exponeringsvärden som användes syns i tabell 2 nedan. För respektive häst togs 3-4 projektioner, av tillräcklig kvalitet, per position.

Tabell 2. Exponeringsvärden

Halskotor	kV	mAs
Ventroflexion		
C1-C5	75	24
C5-C7	90	48
Lateral flexion		
C1-C6	90	48



Samtidigt som hästarna röntgades registrerades hudmarkörer på hästarna med höghastighetskameror för att exakt kunna beskriva deras position i rummet vid tidpunkten för röntgenbilden, se figur 1, denna del av studien ingår dock inte i detta arbete.



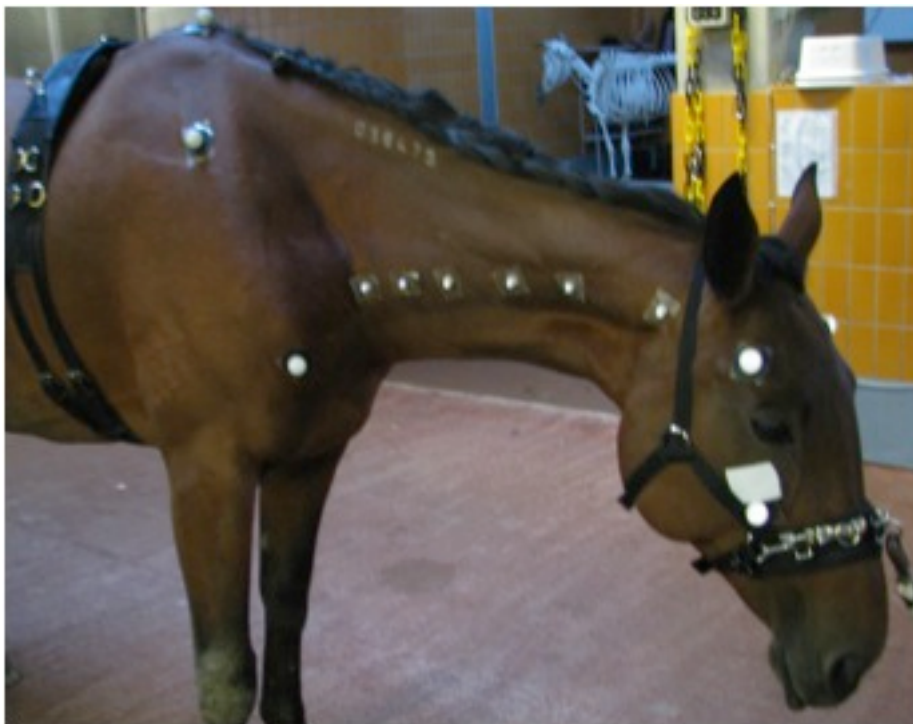
*Figur 1. Placering av höghastighetskameror runt hästen vid röntgenundersökningen.*

### **Studiedesign**

Hästarna förbereddes genom att borstas rena och därefter palperades tvärutskotten ut för C1-C6. På vänster sida av halsen fästes hudmarkörer i form av blyänken (3 mm i diameter) som klämdes fast i pälsen med hjälp av en tång, se figur 2. På höger sida av halsen markerades halskotorna med kommersiella markörer (1 cm i diameter), doppade i bariumsulfat och fastsatta på dubbelhäftande tejp, se figur 3.



*Figur 2. Små markörer, blysänken fästa i pälsen på vänster sida av halsen (markerade med pilar.) De stora vita markörerna är till för höghastighetsfilmningen.*



*Figur 3. De stora markörerna på höger sida av halsen, sex stycken. De större markörerna på huvud, bog och manke är till för höghastighetsfilmningen.*

Hästen sederades med en kombination av detomidin och butorfanol intravenöst inför registreringen, och medicineringen itererades vid behov.

Hästen utrustades med en kapson och longergjord med fästringar. En inspänningstygel sattes fast i kapsonen och gjorden för att få en exakt position av halsen vid position 2.

Därefter röntgades hästarna i fyra olika positioner:

- Position 1: Normal position - avspänd hals och nosen rakt framåt, se figur 4.
- Position 2: Flexion "I form" - hästens hals placeras som i form enligt FEIs beskrivning med lodrät nosrygg, se figur 5.
- Position 3: Flexion "Nos mot karpus"- en kraftigare grad av flexion med nosen mot karpus, se figur 6.
- Position 4: Lateralflexion - nosen mot sadelstaden.



*Figur 4. Position 1: Normal position.*



*Figur 5. Position 2: Flexion "I form".*



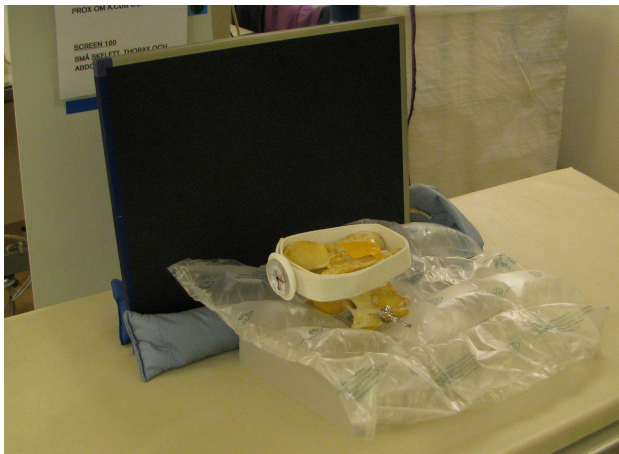
*Figur 6. Position 3: Flexion "Nos mot karpus". Denna häst var ej med i studien.*

Samtliga röntgenbilder togs med 90 graders vinkel mot kotorna med kotans mittpunkt i centrum för bilden och 90 grader mot röntgenplåten. För respektive position togs 3-4 stycken bilder för att täcka in området mellan skallbas till C6.

Inför denna studie testades tekniken i en pilotstudie på en häst med samma studieupplägg. Denna häst röntgades i normalposition, nos mot framkotor samt lateral flexion. Denna häst avlivades sedan (av andra skäl än denna studie) och placerades i en matta upphängd i travers för att efterlikna stående position. Den röntgades därefter i samma positioner som levande hästarna.

### **Kompletterande studie av halskotpelarpreparat**

För att kunna dokumentera effekten av kotans placering under röntgenbildtagningen (grad av lateralflektion samt rotation) samt grad av förstoringseffekt gjordes en kompletterande röntgen av en separat kota och halskotpelare, se figur 7. Kotan/kotpelaren placerades först helt rak (kontrollerad med vattenpass samt Myrinmätare) samt därefter med 1 cm rotation och med 1 cm lateralflexion.



*Figur 7. Kompletterande röntgenstudie av halskotpelarpreparat.*

### **Bildanalys**

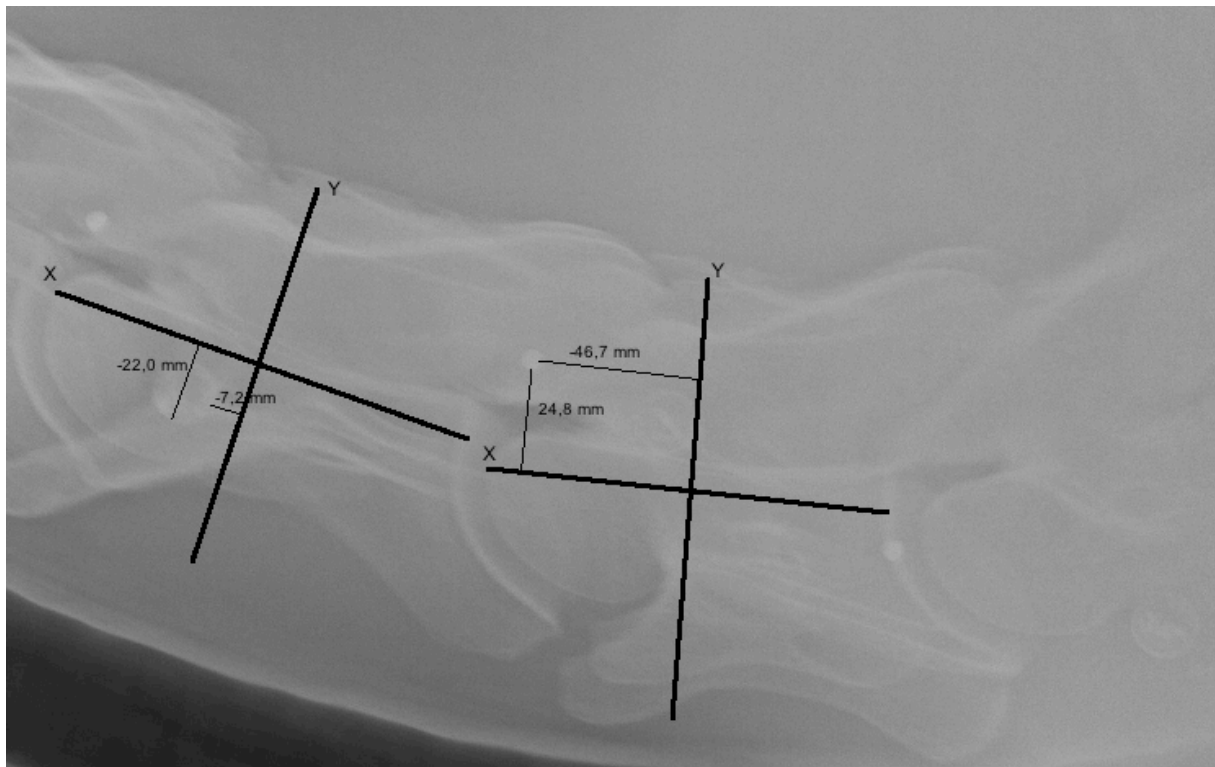
De tre bästa bilderna av C5-C6 området (position 1: normal position, position 2: Flexion "I form" samt position 3: Flexion "Nos mot karpus") valdes ut från respektive häst. Bilder från position 4 bearbetades inte och kommer inte att redovisas i detta arbete. I övriga bilder mättes storleken på markörerna och jämfördes med deras verkliga storlek och därigenom beräknades en kvot för förstoringseffekten för respektive markör och bild. Därefter beräknades förstoringseffekten för kotorna i respektive bild genom att ta ett medelvärde av kvoterna för markörerna i samma bild då kotkroppen kan antas vara mitt emellan markörerna.

I och med att bilder med olika förstoringseffekt jämförs med varandra, det vill säga bilderna av olika positioner av samma häst, användes förstoringsskvoterna för att korrigera mätningarna i bilderna av position 2 och 3 så att de hade samma förstoringseffekt som bilden av position 1.

För att uppskatta eventuell rotation/flexion i bilderna mättes skillnaden i höjddled och längdled mellan respektive transversalutskott på respektive kota och kotans längder jämfördes.

Därefter ritades ett koordinatsystem över både C5 och C6 där y-axeln löper centralt längs kotkroppens längdaxel och x-axeln skär y-axeln i kotkroppens mitt. I detta koordinatsystem

mättes sedan markörernas position i samtliga bilder enligt figur 8. Markörernas förflyttning beräknades uppdelat i x-led och i y-led i mm genom att subtrahera avståndet från kotan i koordinatsystemet i position 2 med avståndet från kotan i position 1 (normal position), sedan samma sak för position 3. Det vill säga förflyttningen av markören jämfört med kotan så att man kan bortse från kotans rörelse i bilderna. Därefter beräknades medelvärdet samt standardavvikelse av förflyttning i respektive position i x-led och y-led för samtliga hästar uppdelat på varje kota.



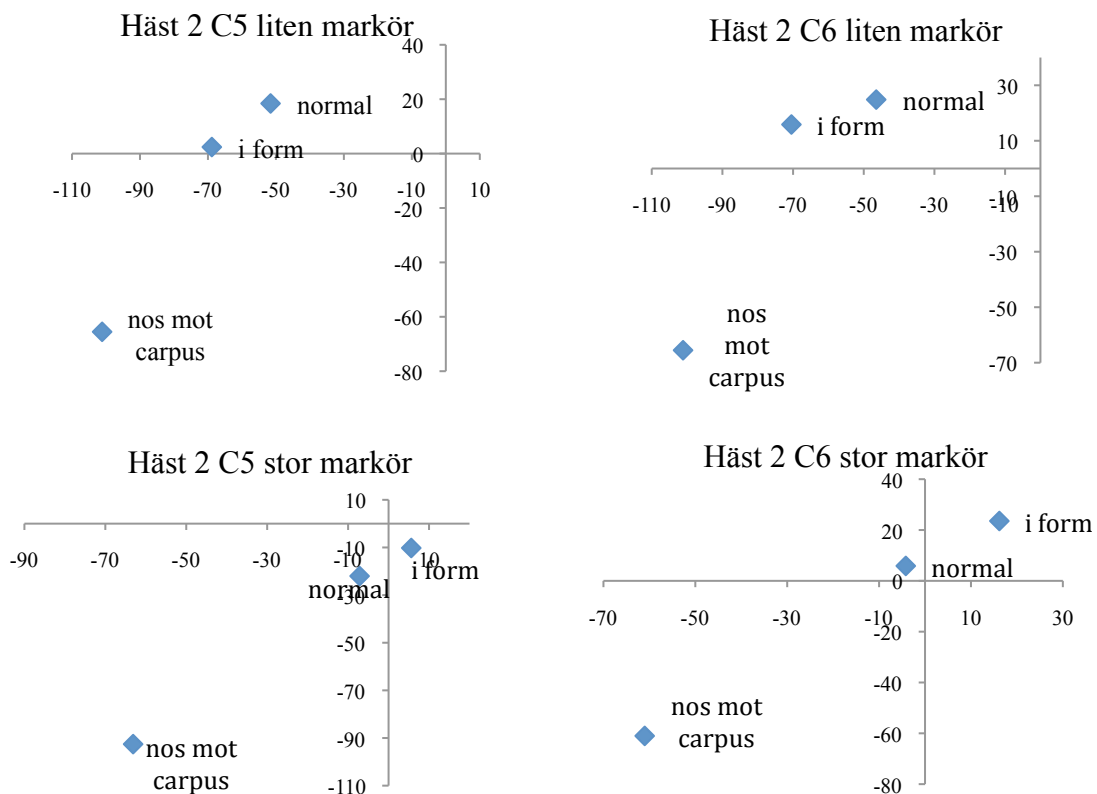
Figur 8. Exempel på hur markörernas position mäts i x/y-system över kotorna.

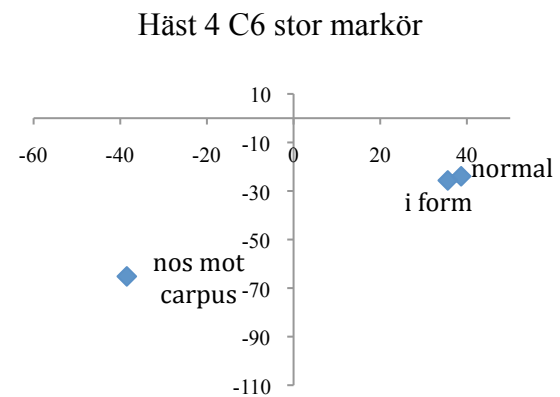
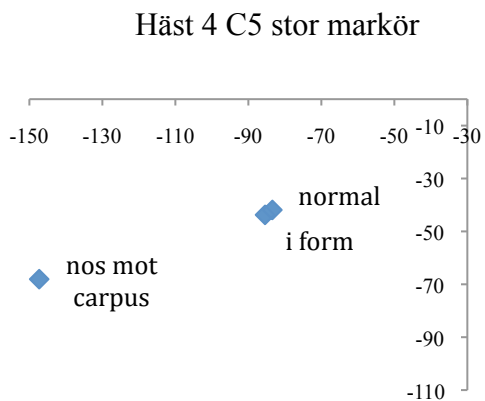
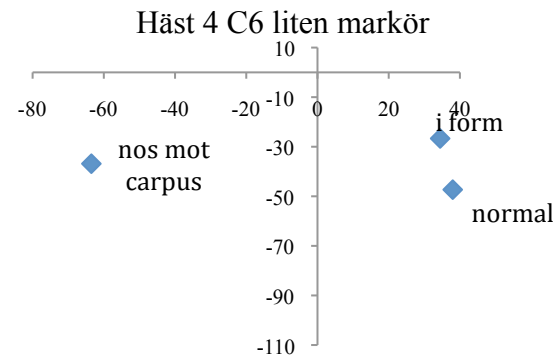
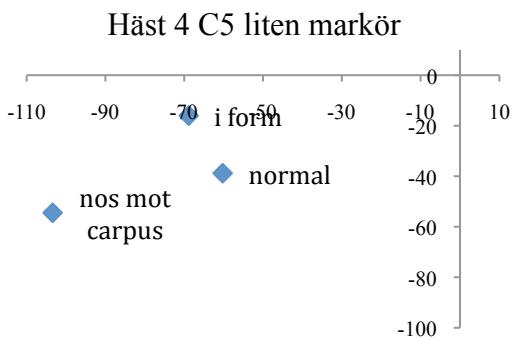
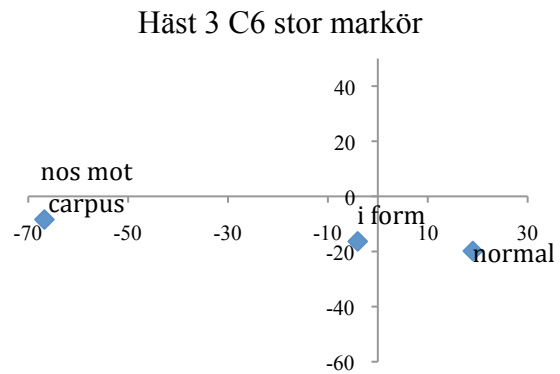
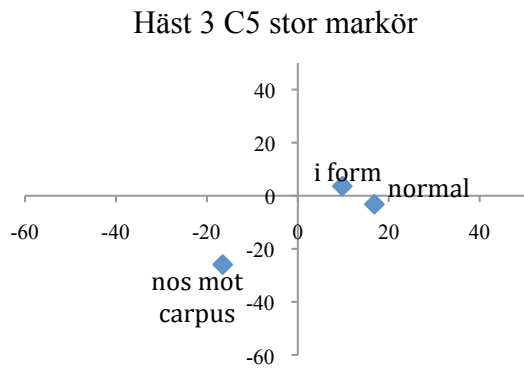
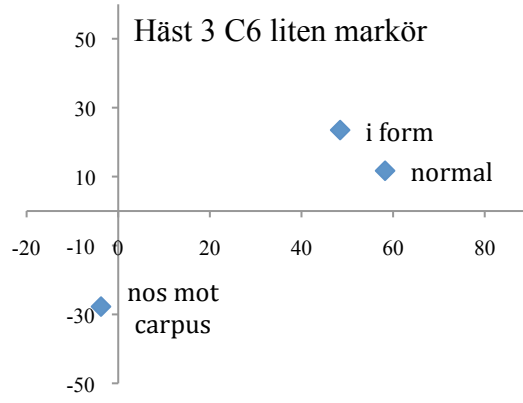
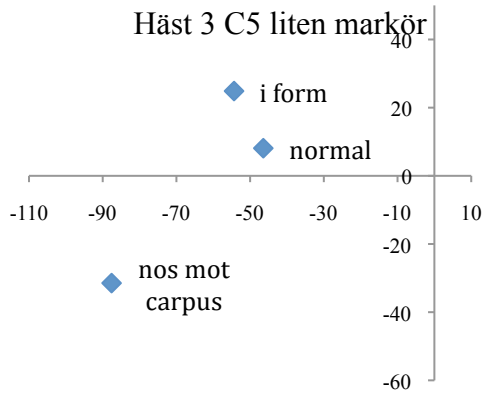
## RESULTAT

För att begränsa arbetet valdes området C5 och C6 för beräkning av hudförskjutningen och enbart i position 2 och 3 (flexion av olika grader). Resultaten från den initiala bildbearbetningen vad gäller korrigerings av röntgen projektionerna visade att skillnaderna i bildernas grad av lateralflektion och rotation var i de flesta fall mycket små (från någon millimeter till i enstaka fall 1-2cm).

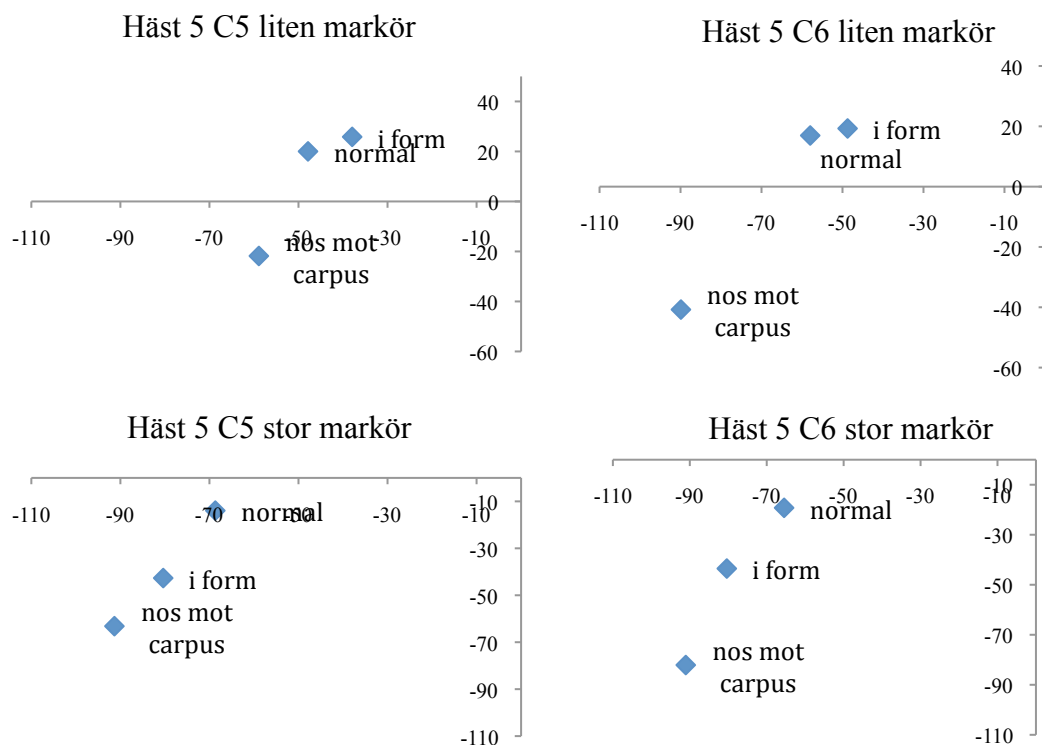
Resultaten från det kompletterande försök med röntgen av kotpreparat visade att förstoringseffekter av transversalutskott på kotan (då de befinner sig olika långt från röntgenplåten) ger en illusion i bilden av att bilden är roterad/lateralflekterad, trots att den är helt rak.

Nedan ses figur 9, diagram över markörernas förskjutningar för respektive häst i de olika positionerna. Varje diagram visar en markörs placering i respektive position (normal, ”i form” och ”nos mot karpus”) jämfört med kotan. I de flesta fall har markörerna rört sig i kraniodorsal riktning vid positionen i form jämfört med normal och i kranioventral riktning i positionen nos mot karpus.









Figur 9. Diagram över hudförskjutningen vid respektive markör och häst. Punkterna märkta "normal", "i form" samt "nos mot carpus" i diagrammen visar markörens position i förhållande till kotkroppen i de olika positionerna för att åskådliggöra hudens förskjutning vid markören i de olika positionerna.

Resultatet av hudförskjutningen illustreras i tabell 3 uppdelat på förskjutning i x-led och y-led där resultatet från hästarna har slagits samman och delats upp för kota C5 och C6.

Tabell 3. Medelvärde av förskjutningen av markörerna i bilden i mm (standardavvikelse inom parantes) jämfört med normal position för häst 2-5

	Medelförflyttning i x-led i form	Medelförflyttning i y-led i form	Medelförflyttning i x-led i nos mot carpus	Medelförflyttning i y-led i nos mot carpus
C5	-3,5 (10,6)	2,6 (17,1)	-39,9 (17,0)	-43,4 (23,9)
C6	-6,1 (15,3)	2,9 (15,1)	-64,7 (26,1)	-42,1 (36,4)

## DISKUSSION

Studien på fyra hästar visar att markörerna generellt har förskjutits i kranial och dorsal riktning jämfört med kotan när hästen är placerad i form jämfört med normalpositionen. När hästen sedan har placerats i positionen med nos mot karpus har markörerna förskjutits ytterligare kranialt samt ventralt jämfört med kotan.

När hästen placeras i form välvs de dorsala halsmusklerna vilket kan förklara att huden förskjuts i dorsal riktning. I den låga position med nos mot karpus sträcks istället halsmuskulaturen ut vilket förklarar att huden förskjuts i ventral och kranial riktning (Moore, 2010).

Standardavvikelsen för hud förskjutningarna är generellt relativt hög. Detta kan ha flera orsaker, bland annat att mätningarna som utförts manuellt aldrig kan bli helt exakta, trots noggrannhet. Dessutom kan en orsak vara en viss effekt av lateralflexion eller rotation av halsen när röntgenbilderna togs alternativt att bilden inte tagits helt exakt 90 grader mot halsen eller helt exakt lodrätt. Vår kompletterande studie visade att även ett helt rak bild kan ge intryck av att vara sned i och med de olika förstörningseffekterna i bilden vilket ger ett överlapp av till exempel ledutskotten. Samma sak visades av Withers et al. (2009) som studerade normal röntgenanatomi av halskotpelaren på hästar genom att röntga halskotpelarpreparat samt levande hästar. De visade att de olika förstörningseffekterna av respektive ledutskott skiljer i medeltal 11 % vilket gör att även en helt rak bild ger intryck av att vara sned.

Det går dock inte att bortse från att en viss rotation/lateral flexion kan förekomma i bilderna i denna studie, då det i och med olika förstörningseffekter är svårt att skilja en normalvariation från en faktisk snedhet och detta kan vara en av förklaringarna till de höga standardavvikelserna.

En aspekt i mätningarna som begränsar möjligheten att räkna ut markörernas förskjutning på halsen exakt är att de i röntgenbilden jämförs med kotkroppen och kotkroppen och markören har olika förstörningseffekt i bilden eftersom de befinner sig på olika avstånd från bildplattan. Men trots detta kan ändå en generell trend av förskjutning ses.

I denna studie av enbart röntgenbilderna går det ej att dra exakta slutsatser för hur huden förskjuts på halsen jämfört med halskotorna vid ventroflexion, men genom att kombinera undersökningen med resultatet från höghastighetsfilmningsresultatet bör säkrare slutsatser kunna dras. Genom att studera 3D-bilderna från höghastighetsfilmningen som skett samtidigt som röntgenbilderna tagits kan man veta hästens exakta position och därigenom välja röntgenbilder som tagits när hästen är helt rak.

För att studera mer exakt hur huden rör sig på halsen på hästar vid olika grader av flexion krävs att man säkert kan jämföra hudmarkörens position med kotkroppens position i ett 3D-system. För att detta ska kunna ske kan man placera benfasta markörer transkutant vid varje kota som ska undersökas. Denna behöver minst tre reflekterande punkter på ytan, vilkas

position sedan kan bestämmas i ett 3D-system med hjälp av höghastighetsfilmning. Samtidigt kan även reflekterande hudmarkörer undersökas och därigenom kan hudförskjutningen bestämmas. Detta är samma teknik som bland annat använts av Faber et al. (2001), Sha et al. (2004) med flera. Detta bör kunna utföras på avlivade hästar som placeras upphängda i hängmatta. Man måste dock återigen tänka på att de transkutana benfasta markörerna kan påverka hudens rörelse. van Weeren et al. konstaterade i sin studie från 1990 att hudförskjutningen inte störs av de transkutana benmarkörerna när de kontrollerade detta i sin förstudie. Men de studerade de transkutana markörernas effekt över distala femur där huden i princip ligger direkt över ben. Detta går inte att överföra direkt på halsen då man har en kraftigare muskelmassa mellan ben och hud på halsen som ytterligare skulle kunna påverka hudens rörelse, för att kunna använda denna typ av markörer på halsen måste detta först kontrolleras.

Ett alternativ för att bestämma hudmarkörernas position i ett 3D-rum är att använda sig av dubbla röntgenbilder, tagna med 90 gradersvinkel till varandra samtidigt, det vill säga rakt från sidan samt rakt ovanifrån. Utifrån detta skulle man sedan kunna beräkna markörernas exakta position och därigenom bestämma hudförskjutningen.

Den senare metoden har en klar fördel i och med att den liksom metoden som använts i studien som beskrivs i detta arbete inte är invasiv. För att kunna använda transkutana benmarkörer behövs sannolikt avlivade hästar, alternativt behöver levande hästar utsättas för de invasiva ingreppen. Genom att använda enbart röntgenteknik kan levande hästar användas och ingen kirurgi krävs. En annan aspekt man behöver ha i åtanke är dock att hästar och personal som är involverade i studien i så fall utsätts för röntgenstrålning.

Denna studie visar dock trots sina begränsningar att huden förskjuts jämfört halskotpelaren i olika positioner, upp till 6-7 cm då hästen har nosen mot karpus jämfört med normal position. Detta stämmer med tidigare studier av hudförskjutning som gjorts på andra delar av hästen, till exempel van Weeren et al. (1990) som visade en hudförskjutning på 1-4 cm över distala delen av skapula eller Sha et al. (2004) som visade en hudförskjutning över radius på 2-6 cm.

Hudförskjutningen på halsen är en felkälla som man måste ha i åtanke när man utför biomekaniska studier av halskotpelaren på hästar med hjälp av hudmarkörer och höghastighetsfilmning. Position av hudmarkörer används ofta för att driva biomekaniska modeller. På halsen kan hävarmen mellan två markörer i sagittalplanet vara ganska kort vilket gör att en liten translation kan ge stora vinkelförändringar. Av denna anledning är det extra viktigt att det görs fortsatt arbete med att definiera och kvantifiera hudförskjutning över halskotpelaren

Resultatet av studien tyder också på att förskjutningen blir större vid en kraftigare ventroflexion vilket var en av hypoteserna. Huruvida förskjutningen är större i kaudala delen av halsen jämfört med den kraniala delen av halsen och hur huden förskjuts vid lateral flexion vilket var de andra hypoteserna förblir däremot obesvarat i och med att arbetet fick begränsas i sin omfattning. Ytterligare studie krävs för att ge svar på detta. Hypotesen att detta studieupplägg kan beskriva hudförskjutningen på halsen stämmer till den grad att vi kan visa

att en hudförskjutning förekommer och att den måste tas i beaktning vid studier av hudmarkörer på halsen på hästar men för att bestämma den exakta hudförskjutningen behövs ytterligare studier.

## REFERENSER

- Clayton, H. M. & Townsend, H. G. G. (1989) Kinematics of the cervical spine of the adult horse. *Equine Veterinary Journal*, 21, 189-192.
- Clayton, H.M., Kaiser, L.J., Lavagnino & M., Stubbs, N.C. (2010) Dynamic mobilisations in cervical flexion: Effects on intervertebral angulations. *Equine Veterinary Journal*, 42, 688-694.
- Dyce, K. M., Sack, W. O. & Wensing, C. J. G. (2010) *Textbook of veterinary anatomy*, Missouri: Saunders Elsevier.
- Faber, M., Schamhardt, H., van Weeren, R. & Barneveld, A. (2001) Methodology and validity of assessing kinematics of the thoracolumbar vertebral column in horses on the basis of skin-fixated markers. *American Journal of Veterinary Research*, 62, 301-306.
- Fredricson, I. & Drevemo, S. (1972) Methodological aspects of kinematics of the joints in the forelimbs of fast-moving horses. *Acta Veterinaria Scandinavica*, supplement 37, 93-136.
- Hobbs, S.J., Levine, D., Richards, J., Clayton, H., Tate, J. & Walker, R. (2010) Motion analysis and its use in equine practice and research. *Veterinary Medicine Austria*, 97, 55-64.
- Jordbruksverket. (2010) *Hästar och anläggningar med häst*.  
[http://www.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/Amnesomraden/Statistik,%20fakta/Husdjur/JO24/JO24SM1101/JO24SM1101\\_kommentarer.htm](http://www.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/Amnesomraden/Statistik,%20fakta/Husdjur/JO24/JO24SM1101/JO24SM1101_kommentarer.htm) [ 2012-09-21].
- Moore, J. (2010) General biomechanics: the horse as a biological machine. *Journal of Equine Veterinary Science*, 30, 379-383.
- Rhodin, M. (2008) *A biomechanical analysis of relationship between head and neck position, vertebral column and limbs in the horse at walk and trot*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Schwencke, M., Smolders, L. A., Bergknut, N., Gustas, P., Meij, B. P. & Hazewinkel, H. A. (2012) Soft tissue artifact in canine kinematic gait analysis. *Veterinary Surgery*, 41(7), 829-37.
- Sha, D. H., Mullineaux, D. R. & Clayton, H. M. (2004) Three-dimensional analysis of patterns of skin displacement over the equine radius. *Equine Veterinary Journal*, 36, 665-670.
- Sisson, S. & Grossman, J. R. (1975) *The anatomy of domestic animals*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Van Weeren, P. R. & Barneveld, A. (1986) A technique to quantify skin displacement in the walking horse. *Journal of Biomechanics*, 19, 879-884.
- Van Weeren, P. R., Bogert, A. J. v. d. & Barneveld, A. (1988) Quantification of skin displacement near the carpal, tarsal and fetlock joints of the horse. *Equine Veterinary Journal*, 10, 203-208.
- Van Weeren, P. R., Bogert, A. J. v. d. & Barneveld, A. (1990) Quantification of skin displacement in the proximal parts of the limbs of the walking horse. *Equine Veterinary Journal*, 110-118.
- Van Weeren, P. R., Vandenbergert, A. J. & Barneveld, A. (1992) Correction models for skin displacement in equine kinematic gait analysis. *Journal of Equine Veterinary Science*, 12, 178-192.
- Withers, J. M., Voute, L. C., Hammond, G. & Lischer, C. J. (2009) Radiographic anatomy of the articular process joints of the caudal cervical vertebrae in the horse on lateral and oblique projections. *Equine Veterinary Journal*, 41, 895-902.