



Ultraljudsmätning av benens muskulatur

– reliabilitet av tvärsnittsmätning hos häst

Ultrasonographic measurements of leg musculature – reliability of cross-sectional measurements of equine musculature

Tina Hansen

Självständigt arbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Veterinärprogrammet
Uppsala 2021



Ultraljudsmätning av benens muskulatur – reliabilitet av tvärsnittsmätning hos häst

Ultrasonographic measurements of leg musculature – reliability of cross-sectional measurements of equine musculature

Tina Hansen

Handledare: Elin Hernlund, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi
Bitr. handledare: Axel Wallman, Legitimerad veterinär Mälaren Hästklirik AB
Bitr. handledare: Quentin Pleyers, Legitimerad veterinär Pleyers Veterinär AB
Examinator: Anna Bergh, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i veterinärmedicin
Kurskod: EX0869
Program/utbildning: Veterinärprogrammet
Kursansvarig inst.: Institutionen för kliniska vetenskaper

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2021
Omslagsbild: Åse Gillmert

Nyckelord: Muskulatur, Häst, Ultraljud, Tvärsnitt, Repeterbarhet, Reproducerbarhet, Intrareliabilitet, Interreliabilitet, ICC, Rehabilitering

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Att mäta muskelutveckling kan vara användbart exempelvis för att monitorera hypertrofi i samband med prestationshöjande träning eller utvärdera muskelutveckling i samband med rehabilitering efter skada. Ultraljudsmätning har visats vara en snabb, enkel, repeterbar och tillförlitlig metod för att mäta muskulatur på människa och hund. På häst saknas det validerade metoder för att mäta muskulatur. Denna studie är ett första steg mot att validera en metod för att mäta muskelutveckling hos häst. Studien syftar till att undersöka repeterbarheten och reproducerbarheten av tvärsnittsmätning med ultraljud.

I en experimentell studie har tre observatörer gjort upprepade ultraljudsmätningar på elva hästar enligt ett standardiserat protokoll. Mätningar har gjorts distalt om armbågen på frambenet samt proximalt och distalt om knäleden på bakbenet. Observatörerna har gjort fyra olika endimensionella tvärsnittsmätningar av muskelgrupperna i respektive anatomiskt område. För att analysera överensstämmelsen inom och mellan observatörerna har intraklasskorrelation beräknats.

Beräkningarna visar generellt på god till utmärkt intrareliabilitet men dålig till måttlig interreliabilitet. Detta indikerar att mätningarna är repeterbara men ej särskilt reproducerbara. Det har uppmärksammas brister i mätmetodens utformning som sannolikt har påverkat reliabiliteten. Bristerna innefattar bland annat mätplanens placering, vinkel på ultraljudsproben och mängden applicerat tryck. Studien ger indikationer på att tvärsnittsmätning med ultraljud kan vara en enkel och repeterbar metod för mätning av muskulatur hos häst. Upprepade mätningar av en och samma häst bör göras av samma person och enligt rekommendationer kring brister i mätmetodens utformning. För att utveckla interreliabiliteten och validera metoden krävs mer forskning.

Nyckelord: Muskulatur, Häst, Ultraljud, Tvärsnitt, Repeterbarhet, Reproducerbarhet, Intrareliabilitet, Interreliabilitet, ICC, Rehabilitering

Abstract

Measurements of muscular development could be useful e.g., to monitor muscular hypertrophy in response to performance enhancing training or to evaluate muscular development during rehabilitation after injury. Ultrasonographic cross-sectional measurements has shown to be fast, simple, repeatable and reliable when measuring musculature in humans and in dogs. There is no validated method available for horses as of today. This study aims to be a first step towards validating a method to measure muscular development in horses. The study seeks to investigate the repeatability and reproducibility of ultrasonographic cross-sectional measurements.

In an experimental study, three observers performed multiple ultrasonographic measurements of eleven horses. Measurements were taken distal to the elbow in the front leg and proximal as well as distal to the stifle in the hind leg. The observers made four different one-dimensional cross-sectional measurements for each of the various anatomical areas. Intraclass correlation coefficient (ICC) were calculated to analyze agreement within and between observers.

Calculations demonstrated a good to excellent intra-observer reliability but a poor to moderate inter-observer reliability. These results indicate that measurements are repeatable but not very reproducible. Several shortcomings regarding the design of the measuring method has been noticed. Some of these involve the position of the measuring planes, the angle of the ultrasonographic transducer and the applied amount of pressure. These shortcomings may explain some of the poor reliability. This study indicates that ultrasonographic cross-sectional measurements could be a simple and repeatable method to measure equine musculature. Repeated measurements should be performed by the same individual for each patient and in accordance with the recommendations that has been given regarding the measuring method. More studies need to be conducted in order to develop the inter-observer reliability and validate this method.

Keywords: Musculature, Equine, Ultrasound, Cross-sectional, Repeatability, Reproducibility, Intra-observer reliability, Inter-observer reliability, ICC, Rehabilitation

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	9
Figurförteckning.....	10
Förkortningar	11
1. Inledning.....	13
2. Litteraturoversikt	15
2.1. Generell muskellära.....	15
2.2. Hästens anatomi.....	16
2.2.1. Underarm	16
2.2.2. Lår	18
2.2.3. Skank	19
2.3. Att mäta muskelutveckling – potentiella användningsområden	24
2.3.1. Musklers anpassning till träning.....	24
2.3.2. Atrofi.....	24
2.3.3. Följa rehabilitering.....	25
2.4. Korrelation mellan kvantitativa muskelmått och muskelstyrka	25
2.4.1. Tvärsnittsarea och muskelstyrka	25
2.4.2. Muskelomfång och muskelstyrka.....	26
2.5. Tillgängliga metoder för att mäta muskulatur	27
2.5.1. Datortomografi	27
2.5.2. Omfångsmätning med måttband	28
2.5.3. Ultraljud.....	29
2.6. Viktiga faktorer för en bra mätmetod	31
3. Material och metod	33
3.1. Studieprotokoll.....	33
3.2. Hästar	33
3.3. Ultraljudsmätning av muskler	34
3.3.1. Underarm	34
3.3.2. Lår	35
3.3.3. Skank	36
3.3.4. Utrustning.....	36
3.3.5. Observatörer	37

3.3.6. Förberedelse av mätområden.....	37
3.4. Statistiska metoder	37
4. Resultat.....	39
5. Diskussion.....	43
5.1. Tolkning av ICC	43
5.2. Mätmetodens utformning.....	45
5.3. Studiedesign	48
5.4. Konklusion	49
Referenser.....	51
Tack	55
Populärvetenskaplig sammanfattning	56
Bilaga 1.....	58

Tabellförteckning

Tabell 1. Hästens underarmsmuskulatur.....	17
Tabell 2. Hästens proximala bakbensmuskulatur	20
Tabell 3. Hästen distala bakbensmuskulatur.....	22
Tabell 4. Hästar i studien	34
Tabell 5. Resultat från tvärsnittsmätningar av muskulatur uppmätt med ultraljud (i cm). Data presenterad som medelvärde (M) ± standardavvikelse (SD)....	39
Tabell 6. Intra-observatörsreliabilitet och inter-observatörsreliabilitet uppmätt med intra-klass korrelationskoefficient (ICC).....	41
Tabell 7. Parvis jämförelse av inter-observatörsreliabilitet uppmätt med intra-klass-korrelationskoefficient (ICC)	42

Figurförteckning

Figur 1. Mätplan framben	35
Figur 2. Mätplan proximala bakbenet	35
Figur 3. Mätplan distala bakbenet.....	36
Figur 4. Låddiagram över frambenets mätningar	40
Figur 5. Låddiagram över proximala bakbenets mätningar	40
Figur 6. Låddiagram över distala bakbenets mätningar.....	40
Figur 7. Kranial mätning av proximala bakbenet. Exempel A	46
Figur 8. Kranial mätning av proximala bakbenet. Exempel B	46
Figur 9. DT-bild, tvärsnitt av mätplan distala bakbenet	47
Figur 10. Mätplan framben	58
Figur 11. Ultraljudsbilder framben	59
Figur 12. Mätplan proximala bakbenet.....	60
Figur 13. Ultraljudsbilder proximala bakbenet.....	61
Figur 14. Mätplan distala bakbenet.....	62
Figur 15. Ultraljudsbilder distala bakbenet.....	63

Förkortningar

ANOVA	Analysis of variance (variationsanalys)
ATP	Adenosintrifosfat
Cau	Caudal (kaudal)
Cra	Cranial (kranial)
CV	Coefficient of variation (variationskoefficient)
DEXA	Dual-energy x-ray absorptiometry (röntgenabsorptiometri med dubbel energi)
DT	Datortomografi
ICC	Intraclass correlation coefficient (intraklasskorrelationskoefficient)
LM Cau	Lateromedial caudal (lateromedial kaudal)
LM Cra	Lateromedial cranial (lateromedial kranial)
M	Medelvärde
SD	Standardavvikelse
MRT	Magnetresonanstomografi
Obs.	Observatör
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
UL	Ultraljud

1. Inledning

Hästen har över tid utvecklats från ett gräsbetande djur på den nordamerikanska prärien till en extraordinär atlet i människans tjänst. När hästen domesticerades användes den främst som mjölkdjur, draghäst och transportmedel. Med tiden har hästens användning förändrats och idag verkar hästen huvudsakligen som sporthäst. I takt med att denna förändring skett har även kraven vi ställer på hästen ändrats. Hästarna ska vara fungerande, hållbara och högpresterande individer.

Vid träning sker en rad olika fysiologiska anpassningar som resulterar i en ökad atletisk kapacitet. Den muskuloskeletala apparaten är ett organsystem som i allra högsta grad anpassar sig för att förbättra den fysiologiska prestationen. I respons till träning kan muskler svara genom remodelering eller genom hypertrofi av muskelfibrer (Hinchcliff *et al.* 2008). På motsvarande sätt kan muskler även genomgå atrofi i samband med immobilisering eller nedsatt användning. I studier på människa har det påvisats ett samband mellan muskelstyrka och dess tvärsnittsarea (Haxton 1944; Ikai & Fukunaga 1968; Maughan *et al.* 1983a; b; Maughan & Nimmo 1984) samt mellan muskelstyrka och muskelomfång (Arangio *et al.* 1997; Bamman *et al.* 2000; Alahmari *et al.* 2017). Att mäta muskelutveckling i form av hypertrofi eller atrofi kan därför utgöra ett indirekt mått på förändringar i muskelstyrka. Att mäta muskelutveckling kan vara användbart för att monitorera hypertrofi i samband med prestationshöjande träning, för att utvärdera atrofi vid olika sjukdomstillstånd eller för att monitorera resultat av rehabilitering efter skada (Millis & Ciuperca 2015). Mätning av muskulatur är också användbart för att upptäcka asymmetrier i muskelmassa vilket kan indikera oliksidig träning eller visa på en underliggande ortopedisk problematik (Stubbs *et al.* 2010).

Uttalad hypertrofi och atrofi av muskulatur kan ses med blotta ögat men subtila förändringar kan vara svåra att fånga upp. För att komma runt det problemet och göra en mer objektiv bedömning har antropometriska metoder, ultraljud (UL), datortomografi (DT) och magnetresonanstomografi (MRT) börjat användas för att mäta muskulatur på hund (Millis & Ciuperca 2015). DT och MRT anses vara gold standard-metoder för att göra kvantitativ bedömning av kroppssammansättning hos hund (Bullen *et al.* 2017). Dessa metoder uppvisar dock begränsningar i form av kostnad, tillgänglighet, exponering för strålning och krav på djup sedering eller anestesi. Av dessa anledningar har intresset för UL ökat.

Ultraljudsmätning har visats vara en snabb, enkel, repeterbar och tillförlitlig metod för att mäta muskulatur på människa (Weiss 1984; Doxey 1987; Dupont *et al.* 2001; Miyatani *et al.* 2002; Perkin *et al.* 2003; Reeves *et al.* 2004) och hund (Sakaeda & Shimizu 2016; Bullen *et al.* 2017). På häst saknas det validerade metoder för att mäta muskelutveckling.

Detta examensarbete har som syfte att undersöka repeterbarheten och reproducerbarheten för tvärsnittsmätning av muskulatur hos häst genom att låta flera observatörer göra upprepade ultraljudsmätningar enligt ett standardiserat protokoll. Mätningar görs distalt om armbågen på frambenet samt proximalt och distalt om knäleden på bakbenet. Målet är att examensarbetet ska utgöra ett första steg mot att validera en metod för tvärsnittsmätning av muskulatur hos häst. Hypotesen är att ultraljudsmätning av muskulatur är en användbar metod för att mäta muskelutveckling även hos häst.

2. Litteraturöversikt

2.1. Generell muskellära

En muskel består av ett antal muskelbuntar som hålls samman av ett lager bindväv (Sjaastad *et al.* 2016). Varje muskelbunt består i sin tur av ett antal muskelfibrer som även de hålls samman av ett lager bindväv. Muskelfibrerna utgörs framförallt av myofibriller som består av två olika typer av myofilament; aktin och myosin. Myofilamenten är arrangerade i ett repetitivt mönster. Myofilamentens längd är konstant men aktin- och myosin-filamenten kan glida relativt varandra vilket gör att avståndet emellan dem minskar och muskeln kontraherar.

Muskelfibrer brukar delas in i två olika grupper baserat på hur snabbt fibrerna kan kontrahera (Sjaastad *et al.* 2016). Typ II-fibrer kan hydrolysera ATP snabbt och har därför en snabbare kontraktionshastighet än typ I-fibrer. Typ II-fibrer kan vidare delas in i Typ IIa, typ IIb och typ IIx baserat på deras förmåga att arbeta aerobt respektive anaerobt. Typ IIa fibrer bildar främst ATP genom oxidativ fosforylering vilket kräver tillgång till syre. Typ IIb fibrer har höga halter av glykolytiska enzymer och kan istället använda sig av glykolys för att täcka sitt behov av ATP. Typ IIx har intermediära egenskaper och typ I fibrer är enbart oxidativa.

Muskler kan ha fibrer som är antingen parallella eller pennata (Narici 1999). Det förstnämnda innebär att muskelfibrerna är orienterade i samma riktning som muskelns kraftaxel. Pennata muskler har fibrer som är orienterade oblikt i relation till kraftens riktning och som fäster till insertionssenor med en vinkel, en så kallad pennationsvinkel. Den kraft som en muskel kan generera är proportionell mot muskelns fysiologiska tvärsnittsarea. Den fysiologiska tvärsnittsarean tar hänsyn till musklernas fiberriktning och mäts i rät vinkel mot samtliga muskelfibrer. I en parallellt arrangerad muskel är den fysiologiska tvärsnittsarean densamma som den anatomiska tvärsnittsarean (vinkelrätt mot muskelns längdriktning). Hos pennata muskler är den fysiologiska tvärsnittsarean beroende av muskelns volym, avståndet mellan ursprung- och insertionssenor samt pennationsvinkeln.

2.2. Hästens anatomi

2.2.1. Underarm

Underarmens muskler har som funktion att böja, sträcka och stabilisera karpal- och tålederna (Back & Clayton 2013). Karpalledens extensorer och flexorer har långa muskelbukar och korta senor jämfört med tåledernas extensorer och flexorer som kännetecknas av långa senor i relation till musklernas längd. Se en sammanställning av underarmens muskler i tabell 1.

De digitala och karpala extensorerna består av:

- *M. extensor carpi radialis*
- *M. extensor carpi obliquus*
- *M. extensor digitorum communis*
- *M. extensor digitorum lateralis*

De digitala och karpala extensorerna upptar den kraniolaterala delen av underarmen (Dyce *et al.* 2010). Samtliga extensorer (med undantag för *M. extensor carpi obliquus* som utgår lateralt från radius skaft) utgår distalt på den kraniolaterala delen av humerus och övergår i insertionssenor innan de passerar karpus. *M. extensor carpi radialis*, *M. extensor digitorum communis* och *M. extensor digitorum lateralis* kännetecknas av långa och medellånga muskelfibrer samt låg pennationsvinkel (Brown *et al.* 2003).

De digitala och karpala flexorerna består av:

- *M. ulnaris lateralis*
- *M. flexor digitorum superficialis*
- *M. flexor digitorum profundus*
- *M. flexor carpi ulnaris*
- *M. flexor carpi radialis*

Flexorerna utgår distalt på den kaudomediala delen av humerus och upptar den kaudomediala delen av underarmen (Dyce *et al.* 2010). *M. flexor digitorum profundus* består av tre huvud; *caput humerale*, *caput radiale* och *caput ulnare*. *M. flexor digitorum profundus* humerala och ulnara huvud samt *M. flexor carpi radialis* kännetecknas av långa och medellånga muskelfibrer samt låg pennationsvinkel (Brown *et al.* 2003). *M. flexor digitorum profundus* radiale huvud, *M. flexor carpi ulnaris*, *M. ulnaris lateralis* och *M. flexor digitorum superficialis* kännetecknas av korta muskelfibrer och hög pennationsvinkel.

Tabell 1. Hästens underarmsmuskulatur. Information sammanställd från Brown et al. (2003), Dyce et al. (2010) och Back & Clayton (2013).

Muskel	Ursprung	Fäste	Funktion	Genomsnittlig fiberlängd (mm)	Genomsnittlig pennationsvinkel (grader)
<i>M. extensor carpi obliquus</i>	Lateralt radius skaft	Mediala griffelbenshuvudet	Extension av karpalleder	-	-
<i>M. extensor carpi radialis</i>	Kraniolateralt distala humerus	Dorsoproximalt metakarpalben III	Extension av karpalleder	76,0 ± 12,9	16,0 ± 15,0
<i>M. extensor digitorum communis</i>	Kraniolateralt distala humerus	<i>Processus extensorius</i> på distala falangbenet	Extension av karpal-, metakarpofalang- och falangleder	81,4 ± 16,1	13,3 ± 9,7
<i>M. extensor digitorum lateralis</i>	Kraniolateralt distala humerus	Dorsoproximalt, proximala falangbenet	Extension av karpal- och metakarpofalangleder	42,2 ± 7,7	17,5 ± 4,3
<i>M. flexor carpi radialis</i>	Kaudomedialt distala humerus och kaudomedialt ulna	Mediala griffelbenshuvudet	Flexion av karpalleder	89,7 ± 13,2	6,7 ± 5,5
<i>M. flexor carpi ulnaris</i>	Kaudomedialt distala humerus	<i>Os carpi accessorium</i>	Flexion av karpalleder	18,3 ± 6,4	31,6 ± 9,2
<i>M. flexor digitorum profundus</i>	Kaudomedialt distala humerus (H), proximalt ulna (U) och proximalt radius (R)	Palmart distala falangbenet	Flexion av karpal-, metakarpofalang- och falangleder	H 43,8 ± 39,9 R 10,6 ± 4,3 U 37,2 ± 10,3	H 21,6 ± 14,2 R 32,3 ± 12,5 U 20,3 ± 11,1
<i>M. flexor digitorum superficialis</i>	Kaudomedialt distala humerus och kaudomedialt distala radius (förstärkningsband)	Palmarodistalt proximala falangbenet och palmarproximalt mellansta falangbenet	Flexion av karpal-, metakarpofalang- och proximala falangleder	7,5 ± 2,9	41,6 ± 9,7
<i>M. ulnaris lateralis</i>	Kraniolateralt, distala humerus	<i>Os carpi accessorium</i> och metakarpalben IV	Flexion av karpalleder	17,4 ± 4,2	34,3 ± 9,9

2.2.2. Lår

Musklerna i det proximala bakbenet kännetecknas av stor muskelmassa samt stor muskelvolym vilket är associerat med en stor fysiologisk tvärsnittsarea (Back & Clayton 2013). Musklerna har även i regel långa muskelfibrer och fäster antingen direkt till benet eller via korta senor. Dessa muskler besitter hög förmåga att generera kraft. Det proximala bakbenets muskler brukar delas in i fyra grupper; gluteal muskulatur, medial muskulatur, quadriceps och hamstrings (Dyce *et al.* 2010). Se sammanställning av proximala bakbenets muskulatur i tabell 2.

Den gluteala muskulaturen består av:

- *M. gluteus superficialis*
- *M. gluteus medius*
- *M. gluteus profundus*
- *M. tensor fascia latae*

M. tensor fascia latae är lårets mest kraniala muskel. *M. gluteus superficialis*, som ligger kaudalt om *M. tensor fascia latae*, är den minsta av gluteus-musklerna (Back & Clayton 2013). *M. gluteus medius* är lårets största muskel sett till muskelmassa och fysiologisk tvärsnittsarea och är den bakbensmuskel med störst förmåga att generera kraft. *M. gluteus medius* har långa muskelfibrer och pennationsvinkel i intervallet 15-45 grader (Payne *et al.* 2005). Både *M. gluteus profundus* och *M. gluteus superficialis* har kortare muskelfibrer men liknande pennationsvinkel.

De mediala musklerna består av:

- *M. gracilis*
- *M. sartorius*
- *M. pectineus*
- *M. adductor*

Samtliga mediala muskler kan adducera benet. *M. sartorius* och *M. pectineus* kan även verka som höftböjare. *M. adductor* kan förutom att adducera benet även sträcka höftleden. *M. adductor* är en stor muskel som består av två delar (*M. adductor magnus* och *M. adductor brevis*) (Payne *et al.* 2005). Muskeln kännetecknas av en varierande längd på muskelfibrerna och en hög pennationsvinkel.

Hamstrings-muskulaturen består av:

- *M. semitendinosus*
- *M. semimembranosus*
- *M. biceps femoris*

M. biceps femoris har tre huvuden (intermediate, vertebral, caudal) och spridda insertionsplatser vilket resulterar i bred funktion. Muskeln kan båda extendera höftleden, utöva flexion på knäleden och extendera hasleden. Muskeln hjälper även till att stabilisera höft- och knäled. Alla muskelhuvuden kännetecknas av långa muskelfibrer och varierande pennationsvinkel (Payne *et al.* 2005). *M. semitendinosus* och *M. semimembranosus* är lårets mest kaudala muskler (Dyce *et al.* 2010). *M. semimembranosus* är medialt placerad om *M. semitendinosus* och dess huvudsakliga funktion är sträckning av höftleden. *M. semitendinosus* övergår i akillessenan och kan även utöva extension av hasleden samt flexion av knäleden på obelastat ben. *M. semimembranosus* har stor variation i muskelfibrernas längd (Payne *et al.* 2005). En del fibrer sträcker sig från ursprung till fäste medan andra stannar av längs vägen. *M. semitendinosus* har två huvuden (vertebral, pelvic) som båda har långa muskelfibrer och hög pennationsvinkel.

M. quadriceps har fyra huvuden; *m. vastus lateralis*, *m. vastus medialis*, *m. vastus intermedius* och *m. rectus femoris* (Budras *et al.* 2012). *M. rectus femoris* utgår från ileum medan övriga huvud utgår från proximala delarna av femur. Samtliga fäster in gemensamt till patella. *M. quadriceps* huvudsakliga funktion är extension av knäleden (utföra mothållande eccentrict arbete då kroppstyngden läggs på benet). *M. rectus femoris* är även en potentiell höftböjare med avseende på sitt ursprung på ileum (Dyce *et al.* 2010). Samtliga *M. quadriceps* huvud har relativt korta muskelfibrer och hög pennationsvinkel (Payne *et al.* 2005).

2.2.3. Skank

Muskulerna i det mer distala bakbenet har en mindre volym än musklerna i de proximala delarna (Back & Clayton 2013). Muskulerna karakteriseras även av kort fiberlängd och hög pennationsvinkel vilket resulterar i att de är specialiserade för att generera kraft ekonomiskt. Skankens muskulatur har som funktion att böja, sträcka och stabilisera has- och tålederna (Dyce *et al.* 2010). Se sammanställning av skankens muskulatur i tabell 3. Den kranio-laterala delen av skanken upptas av muskler som skapar flexion av hasleden och extenderar tålederna. *M. tibialis cranialis* och *M. peroneus tertius* är involverade i flexionen av hasleden. *M. extensor digitorum longus* och *M. extensor digitorum lateralis* sträcker sig till falangbenen och är därför aktiva både i flexion av hasleden och extension av tålederna.

De kaudala musklerna består av *M. gastrocnemius*, *M. popliteus*, *M. soleus*, *M. flexor digitorum superficialis* och *M. flexor digitorum profundus* (Dyce *et al.* 2010). *M. popliteus* är en liten muskel som hjälper till att böja knäleden och rotera benet inåt. *M. gastrocnemius* och *M. soleus* är aktiva i extensionen av hasleden. *M. flexor digitorum superficialis* och *M. flexor digitorum profundus* fäster in på distala falangbenen och kan därför både extendera hasleden och ge flexion av tålederna.

Tabell 2. Hästens proximala bakbensmuskulatur. Information sammanställd från Payne et al. (2005), Dyce et al. (2010), Budras et al. (2012) och Back & Clayton (2013).

Muskel	Ursprung	Fäste	Funktion	Genomsnittlig fiberlängd (mm)	Genomsnittlig pennationsvinkel (grader)
<i>M. adductor</i>	Ventralt bäckenet	Kaudalt på femur, mediala femurkondylen och knäledens mediala kollateralligament	Adduktion av benet, extension av höftled	176 (80-390)	35 (25-40)
<i>M. biceps femoris</i>	Sacrum (vertebral head (V)) och <i>tuber ischiadicum</i> (intermediate head (I), caudal head (C))	<i>Fascia lata</i> , patella, laterala patellarligamentet, <i>crista tibia</i> och via <i>akillesenan tuber calcanei</i>	Extendera höftleden, flexa knäleden, extendera hasleden,	I 235 (190-260) V 258 (130-330) C 245 (170-300)	I 27 (20-40) V 37 (28-50) C 39 (30-45)
<i>M. gluteus medius</i>	<i>M. longissimus dorsi</i> , <i>tuber coxae</i> , sacrum, ileumvingen	<i>Trochanter major</i>	Extendera höftleden	203 (135-300)	28 (15-45)
<i>M. gluteus profundus</i>	<i>Spina ischiadica</i>	<i>Trochanter major</i>	Abduktion av benet	118 (42-220)	30 (15-40)
<i>M. gluteus superficialis</i>	<i>Tuber coxae</i> och <i>fascia glutea</i>	<i>Trochanter tertius</i>	Abduktion av benet, flexion av höftled	102 (55-190)	36 (28-50)
<i>M. gracilis</i>	<i>Symphysis pelvina</i> och <i>tendo prepubicus</i>	Underbenets fascia och mediala patellarligamentet	Adduktion av benet	123 (80-175)	31 (22-35)
<i>M. pectineus</i>	<i>Tendo prepubicus</i> och kranialt på <i>os pubis</i>	Medialt på femur	Flexion av höftleden, adduktion av benet	78 (49-320)	29 (13-50)

M. quadriceps

<i>M. rectus femoris</i>	Ileumskaftet	Patella	Extension av knäleden, flexion av höftleden	98 (40-152)	40 (25-53)
<i>M. vastus intermedius</i>	Proximalt på femur	Patella	Extension av knäleden	105 (60-220)	41 (30-55)
<i>M. vastus lateralis</i>	Proximalt på femur	Patella	Extension av knäleden	155 (92-220)	36 (30-40)
<i>M. vastus medialis</i>	Proximalt på femur	Patella	Extension av knäleden	119 (90-145)	33 (25-41)
<i>M. sartorius</i>	<i>Fascia iliaca</i>	Mediala delarna av knäleden	Adduktion av benet, flexion av höftleden	376 (250-460)	21 (20-25)
<i>M. semimembranosus</i>	<i>Tuber ischiadicum</i>	Femurs mediala epikondyl, tibias mediala kondyl	Extension av höftled	342 (80-760)	35 (20-45)
<i>M. semitendinosus</i>	Sacrum (vertebral head (V)), <i>Tuber ischiadicum</i> (pelvic head (P))	Medialt på tibia, <i>fascia cruris</i> och via akillessenan <i>tuber</i> <i>calcanei</i>	Extension av höft- och hasled, flexion av knä- led på obelastat ben	V 274 (105-289) P 312 (180-355)	V 28 (20-35) P 35 (25-45)
<i>M. tensor fascia latae</i>	<i>Tuber coxae</i>	<i>Fascia lata</i>	Flexion av höftled	97 (60-150)	34 (20-43)

Tabell 3. Hästens distala bakbensmuskulatur. Information sammanställd från Payne et al. (2005), Dyce et al. (2010), Budras et al. (2012) och Back & Clayton (2013).

Muskel	Ursprung	Fäste	Funktion	Genomsnittlig fiberlängd (mm)	Genomsnittlig pennationsvinkel (grader)
<i>M. extensor digitorum lateralis</i>	Knäledens laterala kollateralligament och intilliggande delar på tibia och fibula	Förenas med <i>Extensor digitorum longus</i> sena	Assisterar <i>Extensor digitorum longus</i> funktion	70 (35-110)	28 (20-45)
<i>M. extensor digitorum longus</i>	<i>Fossa extensoria</i> distalt på femur	<i>Processus extensorius</i> på distala falangbenet	Flexion av hasled, extension av metakarpofalang- och falangleder	81 (60-110)	29 (25-45)
<i>M. flexor digitorum profundus</i>					
<i>M. flexor digitorum lateralis</i>	Kaudalt på tibia och fibula	Plantart på distala falangbenet	Extension av hasled och flexion av metakarpofalang- och falangleder	10 (3-55)	44 (30-60)
<i>M. flexor digitorum medialis</i>	Tibias laterala kondyl	Plantart på distala falangbenet	Extension av hasled och flexion av metakarpofalang- och falangleder	70 (4-100)	27 (12-40)
<i>M. tibialis caudalis</i>	Kaudalt på tibia och fibula	Plantart på distala falangbenet	Extension av hasled och flexion av metakarpofalang- och falangleder	57 (40-117)	31 (20-60)
<i>M. flexor digitorum superficialis</i>	<i>Fossa supracondylaris</i> , kaudodistalt på femur	Plantarodistalt proximala falangbenet och plantarproximalt mellansta falangbenet	Extension av hasled, flexion av knä-, metakarpofalang- och proximala falangleder	3 (1-6)	52 (40-60)

<i>M. gastrocnemius</i>	<i>Fossa supracondylaris</i> , kaudodistalt på femur	<i>Tuber calcanei</i> via akillessenan	Flexion av knäled, extension av hasled	L 56 (36-70) M 48 (25-99)	L 34 (30-45) M 36 (20-45)
<i>M. peroneus tertius</i>	<i>Fossa extensoria</i> distalt på femur	<i>Os tarsale III</i> och <i>IV</i> , calcaneus och metatarsalben III	Passiv flexion av hasleden vid flexion av knäleden	-	-
<i>M. popliteus</i>	Femurs laterala kondyl	Kaudomedialt på tibia	Flexion av knäleden och inåtrotation av benet	38 (21-170)	42 (35-50)
<i>M. soleus</i>	Fibulahuvudet	<i>M. gastrocnemius</i> laterala huvud	Assisterar vid extension av hasen	121 (110-151)	22 (22-22)
<i>M. tibialis cranialis</i>	Femurs laterala kondyl och <i>tuberositas tibiae</i>	Metatarsalben III och <i>os tarsale I+II</i>	Flexion av hasleden	40 (17-218)	41 (25-60)

2.3. Att mäta muskelutveckling – potentiella användningsområden

2.3.1. Musklers anpassning till träning

Muskelfibrerna i hästars skelettmuskulatur besitter hög strukturell och funktionell formbarhet vilket gör att muskulaturen har en ansenlig potential att anpassa sig till träning (Rivero 2007). Anpassningen kan i huvudsak ske på två olika tillvägagångsätt. Det ena innebär att myofibrerna ökar i storlek (hypertrofi) men behåller sina strukturella, biokemiska och fysiologiska egenskaper. Den huvudsakliga följderna av denna anpassning är en ökad muskelstyrka. Det andra tillvägagångsättet innebär att myofibrerna förvärvar nya enzymatiska och strukturella egenskaper men förblir i samma storlek. Detta ger i sin tur en ökad resistens mot utmattning men även en minskad inre kontraktionshastighet. I praktiken sker ofta anpassning genom en kombination av de båda principerna. Vilken typ av anpassning som är mest uttalad beror bland annat på basal muskelstatus (exempelvis ålder, kondition, ras) samt träningsens karaktär (exempelvis intensitet, duration, frekvens).

För att undersöka strukturella och enzymatiska förändringar hos muskelfibrer brukar fysiologiska, biokemiska, histokemiska och molekylära analyser utföras på material från muskelbiopsier (Rivero 2007). I kontrast till detta kan makroskopiska indikationer på muskelhypertrofi i vissa fall ses med blotta ögat. Subtila förändringar kan däremot vara svåra att fånga upp. Ultraljud kan potentiellt vara ett hjälpmedel som ger en mer objektiv och exakt bedömning av hypertrofin. Stubbs *et al.* (2011) har i en studie på åtta hästar använt ultraljud för att påvisa en ökad tvärsnittsarea hos *M. multifidus* efter dynamiska mobiliseringsövningar under tre månaders tid. I en studie av Heck *et al.* (1996) genomgick två ponnyer ett progressivt styrketränningsprogram under åtta veckors tid. Även i denna studie kunde ultraljud användas för att påvisa hypertrofi av frambenets muskulatur i form av en ökad tvärsnittdiameter hos *M. ulnaris lateralis*, *M. flexor digitorum superficialis* och *M. flexor digitorum profundus*.

2.3.2. Atrofi

En mindre önskvärd förändring av muskulatur är atrofi. Atrofi kan orsakas av en skada mot den motoriska nerven som försörjer muskeln (neurogen) eller bero på en direkt skada eller atrofi av muskelfibrerna (myogen) (Valberg 2018). Myogen atrofi kan uppstå till följd av exempelvis trauma, genetisk sjukdom eller inaktivitet. Vidare delas atrofi in i generell eller fokal atrofi baserat på sin utbredning. Även subtila minskningar i muskelmassa kan ge upphov till uttalad påverkan på prestationen. Det är därför av stor vikt att kunna diagnosticera dessa tillstånd. Ultraljud kan vara

ett diagnostiskt hjälpmedel för att detektera atrofi. Stubbs *et al.* (2010) har använt ultraljud för att detektera atrofi av *M. multifidus* genom att jämföra muskelns tvärsnittsarea på höger respektive vänster sida hos 22 hästar. I studien gjordes även undersökning av ryggraden efter avlivning och det fanns indikation på ett samband mellan patologiska lesioner i skelettet och atrofi av *M. multifidus*. Chalmers *et al.* (2014) har använt ultraljud för att följa förändringar hos *M. cricoarytenoideus lateralis* och *M. cricoarytenoideus dorsalis* efter unilateral resektion av *N. recurrens* hos 28 hästar. Resultat från studien tyder på att ultraljud kan vara användbart för att detektera atrofi av de laryngeala musklerna hos häst.

2.3.3. Följa rehabilitering

Ultraljud kan även vara användbart för att följa resultat av rehabilitering. Emond *et al.* (2016) har presenterat en retrospektiv fall-serie som består av 27 hästar med perifer neuropati i ett framben. Samtliga hästar undersöktes med ultraljud i samband med att diagnos ställdes. Sju av hästarna gjorde även uppföljande ultraljudsundersökning efter en tids rehabilitering. Författarna konstaterade att ultraljud var användbart för att utvärdera muskelatrofi vid den initiala undersökningen samt för att bedöma återhämtning av muskelmassa under rehabiliteringsperioden.

2.4. Korrelation mellan kvantitativa muskelmått och muskelstyrka

Det är svårt att mäta muskelstyrka på djur. På människa brukar maximal muskelstyrka bedömas genom att låta personen lyfta en last med maximal ansträngning (Maughan *et al.* 1983a). För att kunna genomföra denna uppgift behöves både förståelse och vilja att genomföra den. Det är svårt att på ett standardiserat sätt motivera en grupp av djur att utöva en maximal ansträngning och därmed också svårt att bedöma deras muskelstyrka på ett konsekvent sätt. Av denna anledning har muskelstyrka främst studerats hos människa.

2.4.1. Tvärsnittsarea och muskelstyrka

Det finns flera studier som undersökt korrelationen mellan muskelstyrka och tvärsnittsarea hos människor (Haxton 1944; Ikai & Fukunaga 1968; Maughan *et al.* 1983a; b; Maughan & Nimmo 1984). Haxton (1944) beräknade den fysiologiska tvärsnittsarean hos *M. Soleus* och *M. gastrocnemius* hos sex individer genom att först beräkna relationen mellan anatomisk och fysiologisk tvärsnittsarea hos kador. Därefter användes denna konstant för att beräkna den fysiologiska tvärsnittsarean hos levande individer utifrån anatomisk tvärsnittsarea beräknat på vadmuskulaturens omkrets. Den fysiologiska tvärsnittsarean sattes sedan i relation till den

maximala styrkan vid plantar flexion av ankelleden. Ikai och Fukunaga (1968) jämförde anatomisk tvärsnittsarea uppmätt med ultraljud med muskelstyrka i överarmens flexorer hos 245 människor. Maughan *et al.* (1983a) jämförde den maximala kraften hos knäledens extensorer med tvärsnittsarean hos *M. rectus femoris*, *M. vastus lateralis*, *M. vastus medialis* och *M. vastus intermedius* uppmätt med DT hos 50 individer. Maughan *et al.* (1983b) genomförde en studie med samma upplägg som Maughan *et al.* (1983a) men med en studiepopulation som bestod av sex manliga maratonlöpare, sex manliga sprinters och 30 friska, manliga individer som utövade varken maratonlöpning eller sprint. Maughan & Nimmo (1984) utvecklade metoden beskriven ovan av Maughan *et al.* (1983a, 1983b) genom att komplettera med en biopsi av *M. vastus lateralis* för att undersöka proportionerna av olika muskelfibrer hos 15 individer.

Samtliga studier har funnit en positiv korrelation mellan muskelstyrka och tvärsnittsarea. Det föreligger däremot en ganska stor variation i uppmätt muskelstyrka per enhet tvärsnittsarea mellan de olika studierna. Haxton (1944) uppmätte den absoluta muskelkraften till 3,9 kg per kvadratcentimeter (cm²). Ikai & Fukunaga (1968) rapporterade motsvarande siffra till 4,7 kg/cm², Maughan *et al.* (1983a, 1983b) en variation mellan 7,07 och 13,57 kg/cm² respektive en variation mellan 6,63 och 12,55 kg/cm² och Maughan & Nimmo (1984) en variation mellan 7,09 och 10,85 kg/cm².

Även om det föreligger en stor variation i muskelstyrka per enhet tvärsnittsarea är det konstaterat att det föreligger ett positivt samband mellan tvärsnittsarea och muskelstyrka. Det har ännu inte konstaterats vad som ger upphov till den stora variationen. Det har föreslagits att variationen kan bero på vilken typ av muskelfibrer som muskeln består av. Maughan & Nimmo (1984) kunde inte finna någon korrelation mellan uppmätt tvärsnittsarea och proportionen av muskelfibrer och inte heller någon korrelation mellan proportionen av muskelfibrer och uppmätt muskelstyrka. Maughan & Nimmo (1984) föreslår istället att variationen kan bero på motivation vid mättillfället, biomekaniska skillnader i anatomi eller träningsstatus hos testpersonerna.

2.4.2. Muskelomfång och muskelstyrka

Förutom sambandet mellan tvärsnittsarea och muskelstyrka har det även gjorts undersökningar av sambandet mellan omfång och muskelstyrka. Alahmari *et al.* (2017) undersökte sambandet mellan olika antropometriska mått (kroppsmått) och greppstyrka hos 125 friska män från Saudiarabien, däribland underarmens omkrets. Studien visade signifikant korrelation mellan greppstyrka och underarmsomkrets. Även Arangio *et al.* (1997) har undersökt sambandet mellan muskelomfång och muskelstyrka. I studien uppmättes quadriceps- och hamstringsmuskulaturens styrka

samt lårmuskulaturens omkrets hos 33 individer som genomgått operation för unilaterala främre korsbandsskada. Nio individer genomgick även en MRT-undersökning för beräkning av quadriceps och hamstringens tvärsnittsarea. Det skadade benet uppvisade signifikant lägre styrka, omkrets och tvärsnittsarea. Studien påvisade en positiv korrelation mellan muskelstyrka och omkrets för det friska benet men ingen korrelation mellan styrka och omkrets för det skadade benet. Arangio *et al.* (1997) hänvisar till Lorentzon *et al.* (1989) som föreslår att avsaknad av korrelation kan bero på en nedsatt förmåga att aktivera quadriceps under viljestyrd kontraktion. För både det friska och det skadade benet gick det även att påvisa en positiv korrelation mellan tvärsnittsarea och muskelstyrka men ingen korrelation mellan tvärsnittsarea och omkrets.

Bamman *et al.* (2000) undersökte korrelationen mellan maximal viljestyrd kontraktion av plantara fotledsflexorer och uppskattad muskelstorlek uppmätt med röntgenabsorptiometri med dubbel energi (dual-energy x-ray absorptiometry, DEXA), MRT och antropometriska metoder hos 39 friska kvinnor. Med DEXA mättes både total fettfri kroppsmassa (total body lean mass) och den fettfria kroppsmassan i nedre benet (lower leg lean mass). Med MRT mättes anatomisk tvärsnittsarea, fysiologisk tvärsnittsarea och muskelvolym för *M. gastrocnemius* och *M. soleus*. De antropometriska måtten innefattade kroppsvikt, vadmått och uppskattade tvärsnittsarea baserat på omkrets och hudveckstjocklek i vad-området. Bamman *et al.* (2000) fann en positiv korrelation mellan muskelstyrka och samtliga index för muskelstorlek utom kroppsvikt. Korrelationen var dock signifikant högre för mått uppmätta med MRT jämfört med antropometri och DEXA.

Det har generellt påvisats ett positivt samband mellan muskelomfång och muskelstyrka. Studien av Bamman *et al.* (2000) tyder dock på att sambandet är tydligare mellan muskelstyrka och tvärsnittsarea uppmätt med MRT än mellan muskelstyrka och omfång.

2.5. Tillgängliga metoder för att mäta muskulatur

2.5.1. Datortomografi

DT introducerades på 1970-talet av G. N. Hounsfield (Carlson-Newberry & Costello 1997). Den nya tekniken var revolutionerande och försåg tvärsnittsbilder med hög upplösning. Med DT kan anatomiska gränser mellan hud, subcutant fett, muskelmassa och ben enkelt visualiseras. På sent 70-tal började DT användas för att kvantifiera muskelmassa. Idag anses DT och MRT vara gold standard-metoderna för kvantitativ bedömning av kroppssammansättning hos hund (Bullen *et al.*

2017). Användningen av DT begränsas delvis av att det är en kostsam undersökningsmetod men också att tillgången på utrustning är begränsad. En annan nackdel med DT är att patienten utsätts för en betydande mängd joniserande strålning. För att kunna genomföra undersökningen på djur krävs dessutom antingen djup sedering eller anestesi. Av dessa anledningar används DT för bedömning av kroppssammansättning främst i forskningssammanhang.

2.5.2. Omfångsmätning med måttband

En enkel och praktisk metod för att göra en indirekt bedömning av muskelmassa hos hund är omkretsmätning med måttband (Smith *et al.* 2013). Omkretsmätningar går snabbt att genomföra, är billigt och går lätt att applicera i en klinisk miljö. Jämfört med klinisk undersökning och palpation ger omfångsmätning en mer objektiv bedömning av muskelmassan. Nackdelen med omfångsmätningar är det ej går att särskilja muskelmassa från ben och fettvävnad (Sakaeda & Shimizu 2016). Det går inte heller att göra bedömningar av enskilda muskler. Trots sina begränsningar anses omfångsmätning användbart och används frekvent i klinisk verksamhet. Det förekommer dock viss diskrepans kring omfångsmätningens repeterbarhet och reproducerbarhet.

Smith *et al.* (2013) lät fyra observatörer göra omkretsmätningar av proximala underarmen, mellersta överarmen, proximala skanken och mellersta låret på 20 labradorer. Samtliga observatörer genomförde tre mätningar av varje anatomiskt område vid två separata tillfällen. Resultaten visade att det endast var mätningar av proximala underarmen som kunde genomföras med god interobservatörs- och intraobservatörsreliabilitet. En av observatörerna kunde också genomföra tillförlitliga mätningar av skank och lår med avseende på intraobservatörsreliabilitet.

Baker *et al.* (2010) testade fyra olika mätinstrument för att se om utrustningen influerade inter- och intrareliabiliteten. I studien testades måttbandet Gulick II med spänningsindikator, det ergonomiska måttbandet SECA201, omkrets-måttbandet QM2000 samt ett ihopdragbart måttband i nylon. I studien gjorde tre observatörer omkretsmätningar av mellersta låret, *tuberositas tibia*, has och carpus på fem blandrashundar. Samtliga observatörer genomförde tre mätningar med vardera mätinstrument för varje anatomiskt område. Studien visade att samtliga mätinstrument kunde producera resultat med precision och reliabilitet och att inget mätinstrument var överlägset något annat. Baker *et al.* (2010) konstaterade även att det fanns en viss interobservatörsvariation.

McCarthy *et al.* (2018) har försökt ta reda på varför det föreligger stor inter- och intraobservatörsvariation genom att undersöka olika variabler som potentiellt skulle

kunna påverka omkretsmätningar hos hund. Två observatörer gjorde omkretsmätningar av låret med hasen i full extension, full flexion och uppskattad stående position. Observatörerna gjorde även jämförande mätningar vid 50 % och 70 % av lårets längd, innan och efter att pälsen klippts, på vaken och sederad hund samt innan och två veckor efter operation av främre korsbandet. Alla mätningarna gjordes tre gånger på tio olika hundar. Full extension av hasleden gav signifikant lägre omkrets jämfört med fullständig flexion och uppskattad stående position. Sedering och klippning gav inga signifikanta skillnader på omkretsen. Samtliga mätningar uppvisade utmärkt interobservatörs- och intraobservatörsreliabilitet med bäst överensstämmelse vid 70 % av lårets längd och hasleden i full extension.

Duerr *et al.* (2016) undersökte om klippning av pälsen påverkar omfångsmätningar av låret, hur stor inter- och intraobservatörvariationen är under konstanta förhållanden samt om laser kan vara ett hjälpmedel i samband med omkretsmätning. Studien bestod av två delar; en studie på kadaver och en studie på levande hundar i klinisk miljö. Fyra observatörer fick göra tre omkretsmätningar av mellersta låret med och utan laserguidning på åtta golden retrievers i klinisk miljö. I kadaverstudien hade en modell tagits fram för att simulera muskelhypertrofi och lät lårets omkrets expanderas till tre olika nivåer. Fyra observatörer fick mäta lårets omkrets tre gånger för respektive nivå innan och efter att pälsen klipptes. Observatörerna fick även mäta med och utan laserguidning. Studien visade på hög inter- och intraobservatörvariation både under konstanta förhållanden (kadaver-modell) och i klinisk miljö. Laserguidning gav lägre interobservatörvariation men det gick inte att påvisa några statistiskt signifikanta skillnader.

Trots att försök gjorts att identifiera olika variabler som påverkar variationen inom och mellan olika observatörer vid omfångsmätning föreligger det fortsatt stor diskrepans huruvida metoden är reproducerbar och repeterbar eller inte.

2.5.3. Ultraljud

Ultraljud är ett snabbt, säkert, icke-invasivt, relativt billigt och lättillgängligt diagnostiskt verktyg (Abe *et al.* 2015). Med ultraljud går det, som med DT, att skilja på fett och muskulatur (Esformes *et al.* 2002). Ultraljud har fördelen gentemot DT att patienten inte utsätts för någon joniserande strålning. Dessutom kan ultraljudsundersökningar genomföras utan anestesi (Sakaeda & Shimizu 2016). Ultraljud uppvisar dock även en rad begränsande faktorer. Bland annat är ultraljudsbildens synfält beroende av storleken på proben (Katayose & Magee 2001) vilket begränsar möjligheten att visualisera hela tvärsnittsarean för stora muskelbukar (Noorkoiv *et al.* 2010). Av denna anledning har det inte gått att mäta tvärsnittsarea utan enbart muskeltjocklek på större muskelbukar. Reeves *et al.* (2004) har undkommit detta problem genom att skapa ett kollage av flera ultraljudsbilder för att visualisera hela

tvärsnittsarean av en större muskel. Vidare är ultraljud också begränsat i avseendet att det inte går att erhålla bilder av sådant som ligger bakom hyperekoiska vävnader så som ben (Katayose & Magee 2001).

På människa finns det flera studier som undersöker korrelationen mellan ultraljud respektive DT eller MRT (Dupont *et al.* 2001; Esformes *et al.* 2002; Reeves *et al.* 2004). En studie av Reeves *et al.* (2004) visade på god korrelation mellan tvärsnittsarea uppmätt med ultraljud och tvärsnittsarea uppmätt med MRT för *M. vastus lateralis*. Dupont *et al.* (2001) påvisade en god korrelation mellan muskeltjocklek uppmätt med ultraljud och muskeltjocklek uppmätt med MRT för *M. deltoideus* och *M. supraspinatus*. Esformes *et al.* (2002) beräknade muskelvolym baserat på en serie tvärsnittsmätningar gjorda med ultraljud och en serie tvärsnittsmätningar gjorda med MRT för *M. tibialis anterior*. Även i denna studie påvisades en god korrelation mellan mätningar gjorda med ultraljud och MRT. I samtliga studier uppvisades dessutom en hög korrelation vid upprepade mätningar och samtliga författare drog slutsatsen att mätningarna med ultraljud var reproducerbara (Dupont *et al.* 2001; Esformes *et al.* 2002; Reeves *et al.* 2004).

Det finns två studier som undersöker ultraljudsmätning av muskulatur hos hund (Sakaeda & Shimizu 2016; Bullen *et al.* 2017). Sakaeda & Shimizu (2016) undersökte validiteten genom att jämföra muskeltjocklek uppmätt med ultraljud med muskeltjocklek och tvärsnittsarea uppmätt med MRT. I studien gjordes mätningar av *M. quadriceps femoris*, *M. biceps femoris*, *M. semitendinosus* och *M. semimembranosus* i fem olika plan mellan *trochanter major* på femur och patellas proximala kant hos sammanlagt tio beaglar. Sakaeda & Shimizu kunde visa på god korrelation mellan tvärsnittsarea och muskeltjocklek uppmätt med MRT och muskeltjocklek uppmätt med ultraljud för *M. quadriceps femoris*, *M. biceps femoris* och *M. semitendinosus*. Ingen korrelation gick att påvisa för *M. semimembranosus*.

Bullen *et al.* (2017) undersökte validiteten för ultraljudsmätning av muskulatur genom att jämföra muskeltjocklek uppmätt med ultraljud med muskeltjocklek uppmätt med DT. Studiematerialet bestod av 25 hundar som genomgick DT-undersökning som diagnostiskt verktyg med anledning av kritisk sjukdom. Vilken muskel/muskel-grupp som undersöktes för respektive patient berodde på vilken region som DT-undersökningen var avsedd för. Detta resulterade i spridd grupp undersökta muskler. Undersökningarna omfattade *M. temporalis*, *M. infraspinatus*, *M. supraspinatus*, armbågs-flexorer och -extensorer, epaxial muskulatur i ländryggen samt höftledens extensorer. Resultaten visade på god överensstämmelse mellan muskeltjocklek uppmätt med DT och muskeltjocklek uppmätt med ultraljud för samtliga undersökta muskler med undantag för höftledens extensorer.

En studie har undersökt reproducerbarheten och repeterbarheten för ultraljudsmätningar av muskeltjocklek hos häst (Lindner *et al.* 2010). Lindner *et al.* (2010) lät tre observatörer mäta muskeltjocklek med ultraljud på fem hästar under tre på varandra följande dagar. De muskler som mättes var *M. extensor carpi radialis*, *M. extensor digitorum longus*, *M. gluteus medius*, *M. longissimus lumborum*, *M. semitendinosus* och *M. semimembranosus*. *M. extensor carpi radialis* och *M. extensor digitorum longus* mättes både under flexion och extension. Resultatet visade på en hög interobservatörsvariation för *M. supraspinatus* och flexad *M. extensor digitorum longus*. Bäst överensstämmelse mellan observatörerna uppmättes för *M. longissimus lumborum* och extenderad *M. extensor carpi radialis*. Det påvisades även en hög intraobservatörsvariation för *M. supraspinatus* och *M. extensor digitorum longus*.

2.6. Viktiga faktorer för en bra mätmetod

För att en mätmetod ska vara användbar måste det gå att lita på att resultaten från den är tillförlitliga. För att bedöma kvalitén hos en mätmetod används ofta kriterierna validitet, reliabilitet och känslighet för förändring (responsiveness) (Gadotti *et al.* 2006).

Reliabilitet handlar om i vilken utsträckning en mätmetod kan producera samma resultat vid upprepade mätningar (Carmines & Zeller 1979). Reliabilitet kan delas in i bland annat intraobservatörsreliabilitet och interobservatörsreliabilitet. Intraobservatörsreliabilitet handlar om repeterbarheten hos mätningar genomförda av en och samma person vid upprepade tillfällen. Interobservatörsreliabilitet handlar om reproducerbarheten hos upprepade mätningar av ett och samma subjekt men genomförda av olika personer. Intraklasskorrelationskoefficient (intraclass correlation coefficient, ICC) brukar användas för att utvärdera intraobservatörsreliabilitet och interobservatörsreliabilitet (Portney & Watkins 2009).

Beräkning av ICC baseras på uppskattad varians inom populationen framtagen genom variationsanalys (analysis of variance, ANOVA) (Koo & Li 2016). ICC kan anta ett värde mellan 0,00 och 1,00. Höga värden indikerar en god reliabilitet. En riktlinje är att värden under 0,50 indikerar dålig reliabilitet, värden mellan 0,50-0,75 indikerar måttlig reliabilitet, värden mellan 0,75-0,90 indikerar god reliabilitet och värden över 0,90 indikerar utmärkt reliabilitet.

Validitet handlar om hur väl en metod mäter det som den faktiskt är avsedd till att mäta (Portney & Watkins 2009). Validitet brukar delas in i fyra olika typer; ytvaliditet (face validity), innehållsvaliditet (content validity), begreppsvaliditet (construct validity) och kriterievaliditet (criterion-related validity). Ytvaliditet har lägst

validitet och baseras enbart på att metoden *verkar* mäta det den ska. Ytvaliditet är trots allt viktigt för att den som utför testet ska känna att det är relevant och ha motivation att göra det. Innehållsvaliditet används främst för frågeformulär eller examinationer och avser hur väl testet representerar ämnesområdet i fråga. Begreppsvaliditet handlar om ett tests förmåga att mäta ett abstrakt koncept som exempelvis smärta. Kriterievaliditet är det mest objektiva och praktiska sättet att bedöma validitet. Ofta görs en bedömning genom att jämföra en ny testmetod med en så kallad "gold standard-metod" som redan har konstaterat validitet.

Responsiveness är ett begrepp som avser hur känslig en metod är för förändring (Portney & Watkins 2009). Detta är ett viktigt kriterie för en metod som avser mäta förändring över tid. Metoden måste vara känslig nog att identifiera förändringar både inom och mellan patienter. Förändringarna måste också vara proportionella mot förändringar i patientens status. Metoden ska dessutom generera resultat som är konstanta så länge patientens status är oförändrat.

3. Material och metod

3.1. Studieprotokoll

Studien ämnade att undersöka reproducerbarhet och repeterbarhet för tvärsnittsmätning av muskulatur med ultraljud. I denna studie avser tvärsnittsmätningar endimensionella mätningar av mjukdelsdjup. För att studera repeterbarhet och reproducerbarhet fick tre observatörer göra upprepade mätningar av underarm, lår och skank enligt ett standardiserat protokoll på totalt elva hästar. Parallellt med denna studie genomfördes även en studie med syfte att undersöka reproducerbarhet och repeterbarhet för omfångsmätning av muskulatur. Studierna använde samma material och mätningarna skedde vid samma tillfällen. Resultat från omfångsmätningarna publiceras i ett annat examensarbete.

En av hästarna som genomgick mätningar för studien avlivades farmakologiskt och benen separerades från kroppen. De avlägsnade benen undersöktes därefter med DT. Data från denna häst är tänkt att användas i en framtida studie med syfte att undersöka validitet genom att jämföra ultraljudsmätningarna med DT som anses vara gold-standard metoden för bedömning av kroppssammansättning.

3.2. Hästar

Totalt elva hästar ingick i studien. Nio av hästarna tillhörde Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Dessa hästar var uppstallade på Veterinärmedicinskt och husdjursvetenskapligt centrum i Ultuna och används för undervisning på veterinärprogrammet. Resterande två hästar var patienter som inkom för avlivning till en privatägd hästklinik i Mälardalsområdet. Medverkande i studien godkändes av djurägarna genom ett signerat djurägarmedgivande. Undervisningshästarna var godkända att användas i studien enligt etiskt tillstånd med diarienummer 15533/2018. Samtliga hästar hade varierande anamnes av ortopediska tillstånd. Könsfördelningen var fem valacker och sex ston. Se sammanställning i tabell 4.

Tabell 4. Hästar i studien.

Häst	Ras	Användningsområde	Kön
1	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Sto
2	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Valack
3	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Valack
4	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Sto
5	Varmblodig travare	Privatägd	Valack
6	Svenskt varmblod	Undervisningshäst	Sto
7	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Sto
8	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Valack
9	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Sto
10	Okänd ponnyras	Privatägd	Valack
11	Varmblodig travare	Undervisningshäst	Sto

3.3. Ultraljudsmätning av muskler

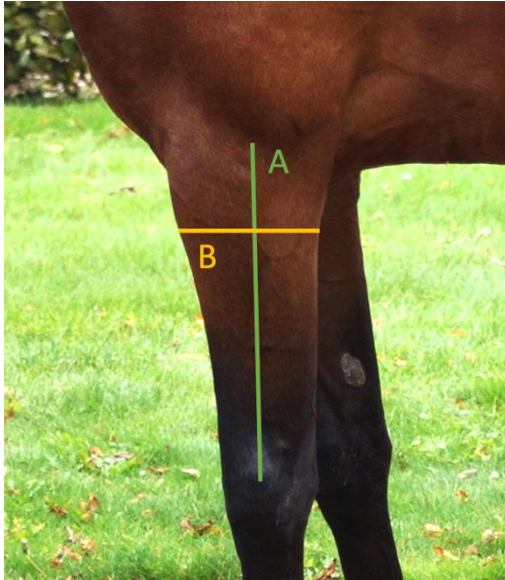
Hästarna placerades med fram- och bakben i en subjektivt neutral position där skenbenen var vertikala. I denna position uppmättes ledvinklar för armbågsled, knäled och hasled. Under mätningarnas gång var observatörerna noggranna med att säkerställa att benens positionering ej förändrades nämnvärt. Undersökning av undervisningshästarna på SLU genomfördes utan sedering. Hästarna från hästkliniken i Mälardalsområdet sederades inför avlivning och därför genomfördes även ultraljudsundersökningarna under sedering. För detaljerade mätinstruktioner se bilaga 1.

3.3.1. Underarm

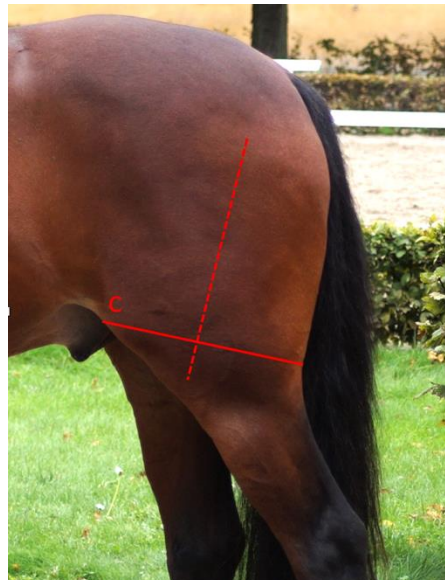
Avståndet (A) från laterala epikondylen på humerus till processus styloideus lateralis på radius uppmättes. Därefter etablerades ett horisontellt plan (B) vinkelrätt mot radius i en nivå som korresponderade till 25 % av avståndet (A) med utgångspunkt från humerus laterala epikondyl. Se illustration av mätplanet i figur 1. Fyra mätningar gjordes i detta plan.

1. Kranialt (Cra): proben placerades kranialt på underarmen och avståndet till radius kraniala begränsning uppmättes.
2. Lateromedialt kranialt (LM Cra): proben placerades kraniolateralt på underarmen och avståndet mellan muskulaturens laterala och mediala begränsningar uppmättes kranialt om radius.

3. Lateromedialt kaudalt (LM Cau): proben placerades kaudolateralt på underarmen och avståndet mellan muskulaturens laterala och mediala begränsningar uppmättes kaudalt om radius.
4. Kaudalt (Cau): proben placerades kaudalt på underarmen och avståndet till radius kaudala begränsning uppmättes.



Figur 1. Mätplan framben.



Figur 2. Mätplan proximala bakbenet.

3.3.2. Lår

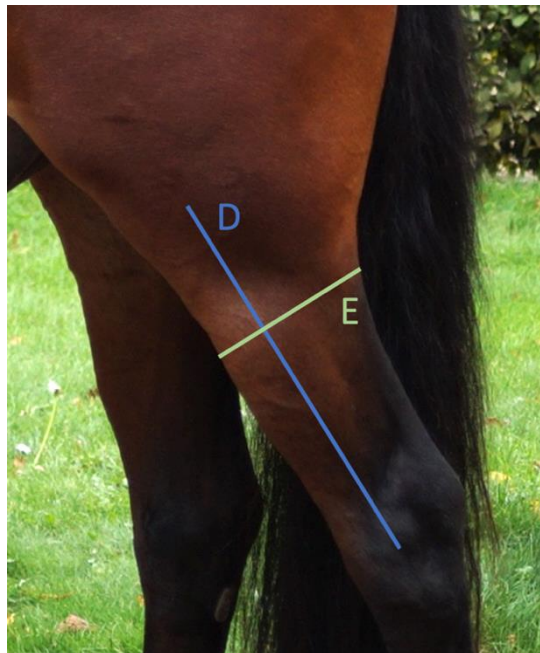
Femurs vinkel fastställdes genom att palpera trochanter majors kraniala del på femur och ledfickan mellan laterala patellarligamentet och knäledens laterala kollateralligament. Därefter etablerades ett plan (C) vinkelrätt mot femur som tangerade patellas proximala kant. Se illustration av mätplanet i figur 2. Fyra mätningar gjordes i detta plan.

1. Kranialt (Cra): proben placerades kranialt på låret och avståndet till femurs kraniala begränsning uppmättes.
2. Lateromedialt kranialt (LM Cra): proben placerades kraniolateralt på låret i en punkt mittemellan lårets kraniala begränsning och femur. Avståndet mellan lårmuskulaturens laterala och mediala begränsning uppmättes.
3. Lateromedialt kaudalt (LM Cau): proben placerades kaudolateralt på låret i en punkt mittemellan femur och lårets kaudala begränsning. Avståndet mellan lårmuskulaturens laterala och mediala begränsning uppmättes.
4. Kaudalt (Cau): proben placerades kaudalt på låret och avståndet till femurs kaudala begränsning uppmättes.

3.3.3. Skank

Avståndet (D) från ledfickan mellan laterala patellarligamentet och knäledens laterala kollateralligament till tibias laterala malleol uppmättes. Därefter etablerades ett plan (E) vinkelrätt mot tibia i en nivå som korresponderade en tredjedel av avståndet (D) med utgångspunkt från knäledens ledficka. Se illustration av mätplanet i figur 3. Fyra mätningar gjordes i detta plan.

1. Kranialt (Cra): proben placerade kranialt på skanken och avståndet till tibias kraniala begränsning uppmättes.
2. Lateromedialt kranialt (LM Cra): proben placerades kraniolateralt på skanken och avståndet mellan muskulaturens laterala och mediala begränsningar uppmättes kranialt om tibia.
3. Lateromedialt kaudalt (LM Cau): proben placerades kaudolateralt på skanken och avståndet mellan muskulaturens laterala och mediala begränsningar uppmättes kaudalt om tibia.
4. Kaudalt (Cau): proben placerades kaudalt på skanken och avståndet till tibias kaudala begränsning uppmättes.



Figur 3. Mätplan distala bakbenet.

3.3.4. Utrustning

Ultraljudsundersökningarna gjordes med två olika ultraljudsmaskiner av B-mode modalitet; EXAPad mini veterinary ultrasound scanner (IMV imaging, France) och Titan High-resolution ultrasound system (Sonosite, USA). För EXAPad användes

en 5-2,5 MHz convex transducer (IMV imaging C360A). För Titan användes en 5-2 MHz Curved Transducer (Sonosite C60). Avståndsmätningar gjordes med digitala skjutmått på stillbilder.

3.3.5. Observatörer

Samtliga avståndsbedömningar med ultraljud mättes av tre observatörer. En av observatörerna har flera års erfarenhet av ultraljud. Övriga observatörer hade ingen tidigare praktisk erfarenhet av ultraljudsundersökningar men introducerades till undersökningstekniken inför studiens start. Samtliga observatörer upprepade varje mätning tre gånger. Observatörerna läste själva av resultatet för varje mätning. Observatörernas mätordning var ej förutbestämd utan varierande från häst till häst.

3.3.6. Förberedelse av mätområden

Varje mätområde förbereddes på ett standardiserat sätt inför ultraljudsundersökning. Mätplanen (B), (C) och (E) etablerades enligt instruktion ovan och pälsen klipptes med en klippmaskin i ett par centimeter brett band för varje mätplan. På huden applicerades en riklig mängd sprit för att förbättra den akustiska kontakten. För samtliga mätningar placerades proben vinkelrätt mot kroppsytan. Observatörerna var instruerade att applicera minsta möjliga tryck med proben för att undvika kompression av musklerna.

3.4. Statistiska metoder

Data från ultraljudsmätningarna har sammanställts med deskriptiv statistik. De olika observatörernas medelvärden jämfördes med varandra med hjälp av en-vägs variansanalys (one-way ANOVA) och ett post-hoc Tukey-test med en signifikansnivå på 5 %.

Data har även analyserats avseende överensstämmelse inom och mellan olika observatörer. För att analysera överensstämmelse beräknades intraclass correlation coefficient (ICC). ICC beräknades baserat på en single measures, absolute-agreement, two-way mixed-effects model. För överensstämmelse inom observatörerna (intraobservatörsreliabilitet) beräknades ICC utifrån varje observatörs tre upprepade mätningar. För överensstämmelse mellan observatörerna (interobservatörsreliabilitet) beräknades ICC utifrån varje observatörs första mätning. För de mätningar där interobservatörsreliabiliteten bedömdes vara dålig ($ICC < 0,50$) beräknades även ICC parvis för samtliga möjliga kombinationer av observatörer. För en av mätningarna beräknades även ett korrigerat värde för ICC där ett extremvärde som låg mer än fyra standardavvikelser ifrån medelvärdet exkluderades från beräkningarna.

Hästens höger och vänster sida räknades som separata subjekt. Då det genomförts mätningar på elva hästar resulterade det i att varje observatör registrerat mätningar för 22 subjekt. Det saknas fullständiga mätningar av proximala bakbenet och distala bakbenet för höger sida på en av hästarna. Av denna anledning har beräkningar för proximala och distala bakbenet baserats på 21 subjekt.

Statistikprogrammet Statistical Package for the Social Sciences (IBM Corp. Released 2020. IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 27.0. Armonk, NY: IBM Corp) har använts för samtliga statistiska beräkningar.

4. Resultat

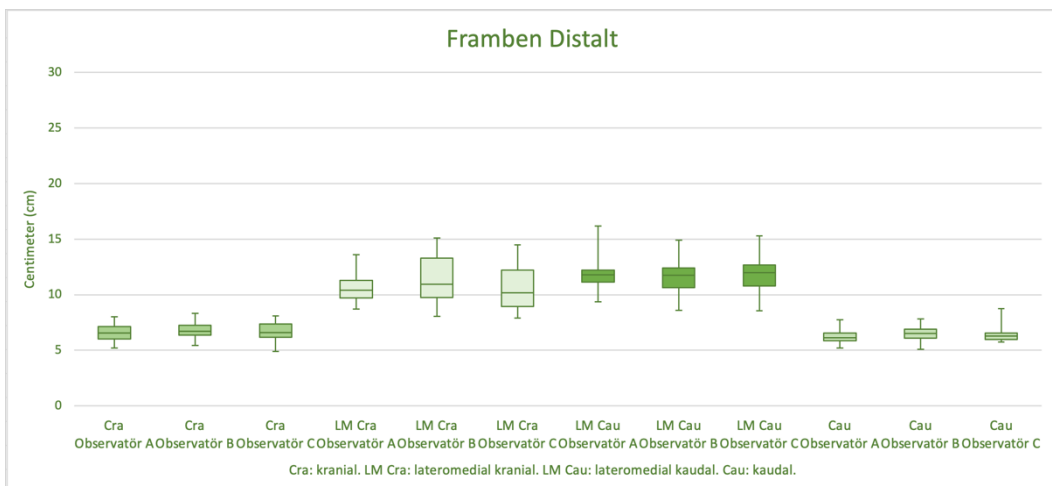
I tabell 5 presenteras medelvärden och standardavvikelse för tvärsnittsmätningarna med ultraljud uppdelat för respektive mätning och respektive observatör. Medelvärdet för observatör A skiljer sig signifikant från övriga observatörer vid den kraniala mätningen av proximala bakbenet. Det förekommer även signifikanta skillnader mellan observatör B och övriga observatörer för kraniala lateromediala mätningen av frambenet. Vidare uppvisar medelvärdet för observatör C signifikanta skillnader för den kraniala mätningen på distala bakbenet och kaudala lateromediala mätningen på distala bakbenet.

Tabell 5. Resultat från tvärsnittsmätningar av muskulatur uppmätt med ultraljud (i cm.) Data presenterad som medelvärde (M) ± standardavvikelse (SD).

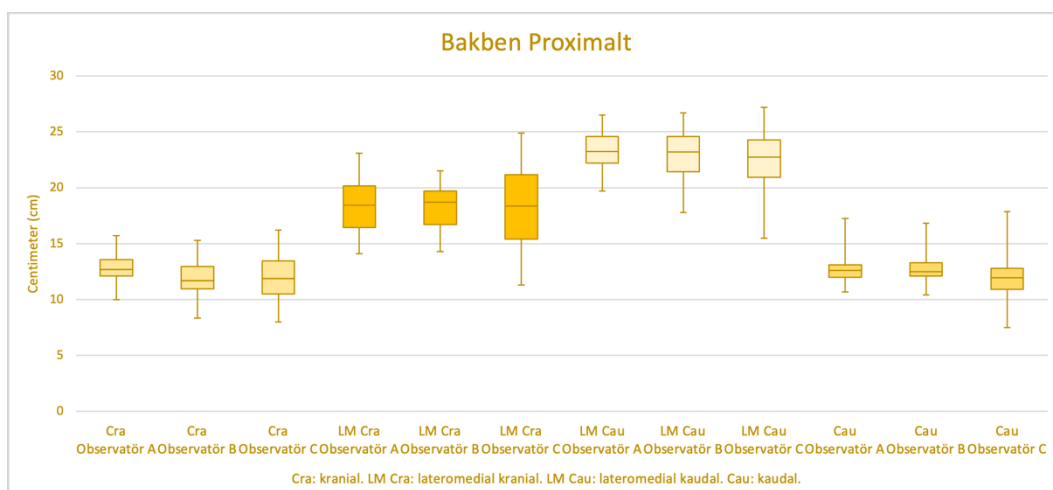
	Obs. A M ± SD	Obs. B M ± SD	Obs. C M ± SD	Totalt M ± SD
Framben				
Cra	6,556 ± 0,745	6,766 ± 0,706	6,707 ± 0,714	6,676 ± 0,724
LM Cra	10,60 ± 1,227	11,45 ± 1,905*	10,61 ± 1,969	10,89 ± 1,770
LM Cau	11,82 ± 1,252	11,65 ± 1,367	11,73 ± 1,489	11,73 ± 1,368
Cau	6,202 ± 0,571	6,539 ± 0,588	6,375 ± 0,529	6,372 ± 0,577
Bakben prox.				
Cra	12,76 ± 1,217*	11,88 ± 1,711	12,01 ± 2,060	12,22 ± 1,734
LM Cra	18,39 ± 2,290	18,18 ± 2,044	18,57 ± 3,575	18,38 ± 2,720
LM Cau	23,33 ± 1,697	22,92 ± 2,279	22,80 ± 2,405	22,89 ± 2,209
Cau	12,80 ± 1,279	12,71 ± 1,085	12,18 ± 2,091	12,56 ± 1,571
Bakben dist.				
Cra	5,151 ± 0,879	5,324 ± 0,899	7,167 ± 1,148*	5,889 ± 1,343
LM Cra	12,16 ± 1,347	12,08 ± 1,567	11,88 ± 1,952	12,04 ± 1,638
LM Cau	11,30 ± 0,767	11,34 ± 0,854	11,83 ± 0,908*	11,50 ± 0,876
Cau	8,317 ± 0,531	8,360 ± 0,400	8,531 ± 0,789	8,406 ± 0,603

M: medelvärde. SD: standardavvikelse. Obs.: Observatör. Cra: kranial. LM Cra: lateromedial kranial. LM Cau: lateromedial kaudal. Cau: kaudal. Prox.: proximalt. Dist.: distalt. Asterisk (*) indikerar att medelvärdet skiljer sig signifikant från övriga observatörers medelvärde (P<0,05)

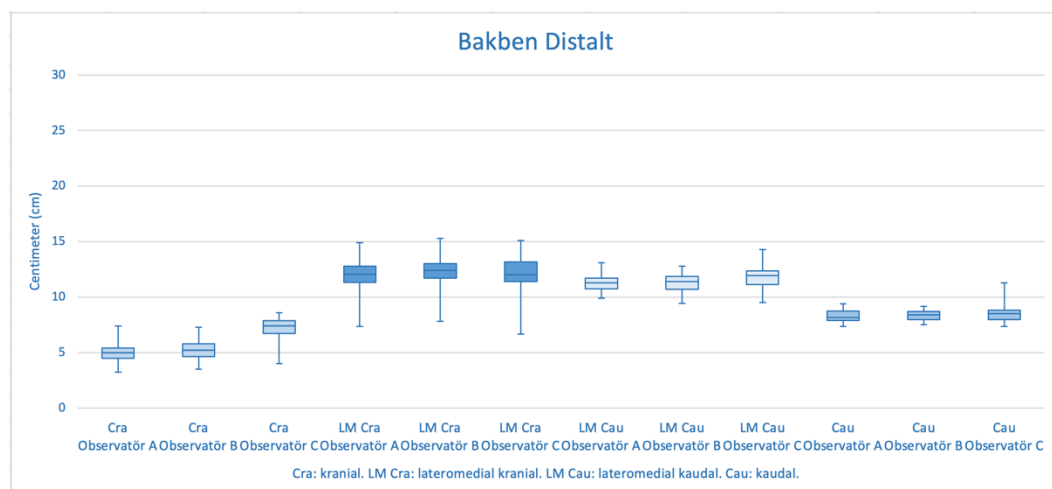
Värden för frambenet, proximala bakbenet och distala bakbenets mätningar presenteras grafiskt med hjälp av låddiagram i figur 4, figur 5 respektive figur 6.



Figur 4. Låddiagram över frambenets mätningar. Uppdelat för respektive mätning och respektive observatör. Värde på Y-axel i centimeter (cm).



Figur 5. Låddiagram över proximala bakbenets mätningar. Uppdelat för respektive mätning och respektive observatör. Värde på Y-axel i centimeter (cm).



Figur 6. Låddiagram över distala bakbenets mätningar. Uppdelat för respektive mätning och respektive observatör. Värde på Y-axel i centimeter (cm).

I tabell 6 presenteras ICC-värden för respektive observatör och respektive mätning. I fjärde kolumnen presenteras även inter-observatörs ICC beräknat på observatörernas första mätning för respektive mätområde. Det föreligger god till utmärkt intrareliabilitet för samtliga mätningar och samtliga observatörer med undantag för den kaudala mätningen av frambenet för observatör B och den kraniala mätningen av proximala bakbenet för observatör A. Det föreligger dålig till måttlig interreliabilitet för samtliga mätningar.

Tabell 6. Intraobservatörsreliabilitet och interobservatörsreliabilitet uppmätt med intraklass-korrelationskoefficient (intra-class correlation coefficient, ICC).

	Obs. A ICC	Obs. B ICC	Obs. C ICC	Inter-obs. ICC
Framben				
Cra	0,909	0,947	0,914	0,676
LM Cra	0,892	0,948	0,958	0,187*
LM Cau	0,875	0,791	0,938	0,216*
Cau	0,795	0,682	0,859	0,406
Bakben prox.				
Cra	0,641	0,868	0,935	0,415
LM Cra	0,867	0,892	0,956	0,579
LM Cau	0,922	0,919	0,910	0,707
Cau	0,932	0,822	0,956	0,420
Bakben dist.				
Cra	0,901	0,929	0,938	0,183
LM Cra	0,816	0,931	0,958	0,563
LM Cau	0,879	0,834	0,862	0,519
Cau	0,773	0,832	0,847	0,175* (0,503)

Obs.: Observatör. ICC: intra-class correlation coefficient. Cra: kranial. LM Cra: lateromedial kranial. LM Cau: lateromedial kaudal. Cau: kaudal. Prox.: proximalt. Dist.: distalt. **Röd färg** indikerar dålig överensstämmelse (ICC<0,50), **orange färg** måttlig överensstämmelse (ICC 0,50-0,75), **blå färg** god överensstämmelse (ICC 0,75-0,90) och **grön färg** utmärkt överensstämmelse (ICC>0,90). Asterisk (*) indikerar att variansen mellan subjekten ej är signifikant för den aktuella mätningen (P>0,05). Parenteser indikerar ett korrigerat ICC där extremvärden exkluderats från beräkningarna.

I tabell 7 presenteras ICC-värden som beräknats parvis för samtliga kombinationer av observatörer. Parvis beräkning har enbart gjorts för de mätningar där interobservatörsreliabiliteten bedömdes som dålig (ICC<0,50, se tabell 6). Resultaten visar på stor skillnad i parvis överensstämmelse för den lateromediala kraniala mätningen av frambenet, kraniala mätningen av proximala bakbenet samt kraniala och kaudala mätningarna av distala bakbenet.

Tabell 7. Parvis jämförelse av interobservatörsreliabilitet uppmätt med intraklasskorrelationskoefficient (intra-class correlation coefficient, ICC).

	Obs. A-Obs. B ICC	Obs. A-Obs. C ICC	Obs. B-Obs. C ICC
Framben			
LM Cra	0,077	0,688	-0,049
LM Cau	0,250	0,116	0,276
Cau	0,406	0,414	0,398
Bakben prox.			
Cra	0,376	0,244	0,591
Cau	0,485	0,392	0,422
Bakben dist.			
Cra	0,762	0,068	0,163
Cau	0,700	0,057	-0,028

Obs.: Observatör. ICC: intra-class correlation coefficient. Cra: kranial. LM Cra: lateromedial kranial. LM Cau: lateromedial kaudal. Cau: kaudal. Prox.: proximalt. Dist.: distalt. **Röd färg** indikerar dålig överensstämmelse (ICC<0,50), **orange färg** måttlig överensstämmelse (ICC 0,50-0,75), **blå färg** god överensstämmelse (ICC 0,75-0,90) och **grön färg** utmärkt överensstämmelse (ICC>0,90).

5. Diskussion

I denna studie har syftet varit att undersöka repeterbarheten och reproducerbarheten för tvärsnittsmätning av muskulatur hos häst genom att låta flera observatörer göra upprepade ultraljudsmätningar enligt ett standardiserat protokoll. Repeterbarhet och reproducerbarhet har analyserats genom att beräkna ICC inom och mellan observatörerna. Intrareliabiliteten är god till utmärkt för samtliga mätningar och samtliga observatörer med undantag för den kaudala mätningen av frambenet för observatör B och den kraniala mätningen av proximala bakbenet för observatör A. Interreliabilitet är dålig till måttlig för samtliga mätningar. Detta indikerar att repeterbarheten är god men att reproducerbarheten är dålig.

5.1. Tolkning av ICC

Det är positivt att studien uppvisar indikationer på god repeterbarhet. Intraobservatörsreliabiliteten varierar mellan 0,641 och 0,958. Med undantag för den kaudala mätningen av frambenet för observatör B och kraniala mätningen av proximala bakbenet för observatör A ligger samtliga ICC över 0,75. Enligt riktlinjer från Koo & Li (2016) bedöms intraobservatörsreliabiliteten som god till utmärkt. Det innebär att en och samma person kan göra upprepade mätningar av ett och samma subjekt med god tillförlitlighet. Till författarens vetskap finns det endast en annan studie som undersökt repeterbarheten av tvärsnittsmätningar med ultraljud hos häst (Lindner *et al.* 2010). Studien gjorde tvärsnittsmätningar av enskilda muskler istället för hela muskelgrupper och bedömde repeterbarheten genom att beräkna variationskoefficient (coefficient of variation, CV) istället för ICC. Resultat från studien tyder på att det går att genomföra repeterbara mätningar av *M. longissimus lumborum* och *M. semitendinosus* och stödjer hypotesen att tvärsnittsmätningar med ultraljud hos häst är repeterbara.

Interobservatörsreliabiliteten är generellt sämre än intraobservatörsreliabiliteten. ICC-värdena mellan observatörerna varierar mellan 0,175-0,707. Samtliga värden är lägre än 0,75 och enligt riktlinjer från Koo & Li (2016) bedöms reliabiliteten därför som dålig till måttlig. Även Lindner *et al.* (2010) rapporterar en hög variation

då olika observatörer gör tvärsnittsmätningar med ultraljud hos häst och rekommenderar därför att upprepade mätningar bör göras av en och samma person. Även vid omfångsmätning på hund är variationen mellan olika observatörer generellt hög (Baker *et al.* 2010; Smith *et al.* 2013; Duerr *et al.* 2016). Smith *et al.* (2013) har beräknat ICC-värden för interobservatörsreliabilitet som varierar från 0,23-0,68. Resultat från denna studie är alltså ej avsevärt sämre än vad som presenterats av Smith *et al.* (2013), utan även andra metoder för att mäta muskulatur hos djur uppvisar brister i interobservatörsreliabilitet. Även om interreliabiliteten i denna studie är sämre än önskvärt behöver den sättas i relation till vilka alternativ som finns tillgängliga. Det finns inga validerade mätmetoder för häst utan i dagsläget används främst okulär bedömning och palpation av muskulatur. Detta är desto mer subjektiva metoder och interreliabiliteten är sannolikt ännu lägre än för ultraljudsmätning. Sammantagen bedömning är att ultraljudsmätningar anses ok då mätningar av en och samma häst genomförs av samma person

Ett lågt ICC-värde kan i huvudsak ha två olika anledningar; (1) observatörernas överensstämmelse är dålig eller (2) variabiliteten mellan subjekten är låg (Portney & Watkins 2009). ICC beräknas utifrån en uppskattad varians inom populationen och för att demonstrera reliabilitet krävs en variabilitet mellan subjekten. Vid analys av data framgick att det saknades signifikanta skillnader mellan subjekten för den kraniala lateromediala mätningen av frambenet, kaudala lateromediala mätningen av frambenet och kaudala mätningen av distala bakbenet. Detta kan vara en av anledningarna till låga värden av ICC för dessa mätningar. Att variabiliteten mellan subjekten är låg kan bero på att gruppen av hästar som undersökts är för homogen. Testgruppen består till stor del av varmblodiga travare av liknande storlek som ej var i aktiv träning. För att få större heterogenitet inom gruppen bör hästar av varierande ras, storlek och träningsstatus inkluderas i framtida studier.

Tolkningen av ICC blir mer komplicerad när fler än två observatörer analyseras samtidigt (Portney & Watkins 2009). Detta eftersom en dålig överensstämmelse kan involvera samtliga observatörer, vissa observatörer eller endast en observatör. Av denna anledning har ICC-värdena för interreliabilitet analyserats vidare avseende parvis överensstämmelse mellan observatörerna. Vid denna analys framgick det att det fanns stora skillnader i överensstämmelse mellan Observatör B och övriga observatörer för den kraniala lateromediala mätningen av frambenet. Vidare identifierades även stora skillnader i överensstämmelse mellan Observatör C och övriga observatörer för den kraniala mätningen av distala bakbenet och kaudala mätningen av distala bakbenet. Se specificerade värden i tabell 7. Det har även identifierats signifikanta skillnader mellan observatörernas medelvärden för både den kraniala lateromediala mätningen av frambenet och kraniala mätningen av dis-

tala bakbenet (se tabell 5). Både ICC-värdena och de signifikanta skillnaderna mellan medelvärdena talar för stor inter-observatör variation gällande dessa mätningar. Potentiella anledningar till detta diskuteras längre ned.

Det finns däremot inte några signifikanta skillnader mellan de olika observatörernas medelvärden för den kaudala mätningen av distala bakbenet. Observatörerna upplevde även att denna mätning var relativt lätt att genomföra varpå de låga värdena av ICC var oväntade. Vid en vidare inspektion av data för den aktuella mätningen identifieras ett avvikande värde hos observatör C som ligger mer än fyra standardavvikelser ifrån medelvärdet (M: 8,41 cm, SD: 0,60 cm², Värde: 11,3 cm). Vid beräkning av ett korrigerat ICC där detta värde exkluderas utfaller interobservatörs-ICC till 0,503. Överensstämmelsen mellan observatörerna är betydligt bättre när extremvärdet exkluderas men är fortsatt enbart måttlig. Vid den kaudala mätningen av distala bakbenet fanns flera hyperekoiska horisontella linjer i det akustiska fältet, sannolikt till följd av en reverberationsartefakt. En reverberationsartefakt uppstår då ultraljudsvågor studsar fram och tillbaka mellan två parallella högreflekterande ytor, exempelvis prob och skelett (Baad *et al.* 2017). Detta resulterar i multipla hyperekoiska linjer på olika djup. Det är möjligt att extremvärdet uppkommit till följd av att Observatör C mätt till en reverberationsartefakt istället för till tibia.

5.2. Mätmetodens utformning

Under datainsamlingens gång har det uppmärksammats en del svårigheter avseende vissa mätningar vilket sannolikt, till viss del, kan förklara dålig överensstämmelse mellan observatörerna. Svårigheterna som upptäcktes gäller dels de lateromediala mätningarna på frambenet. På en del hästar sträckte sig de pektorala musklerna så pass distalt att de nådde frambenets mätplan. När observatörerna mätte avståndet mellan underarmsmuskulaturens laterala och mediala begränsningar var det svårt att visualisera gränsen mellan underarmsmuskulaturen och de pektorala musklerna. Detta resulterade i att observatörerna i vissa mätningar inkluderade de pektorala musklerna och i andra mätningar inte gjorde det. Detta kan förklara varför det förekommer signifikanta skillnader mellan observatörernas medelvärden gällande den kraniala lateromediala mätningen och även förklara den låga interreliabiliteten för de lateromediala mätningarna. Då det är underarmsmuskulaturens tvärsnitt som är av intresse bör inte de pektorala musklerna inkluderas i mätningen.

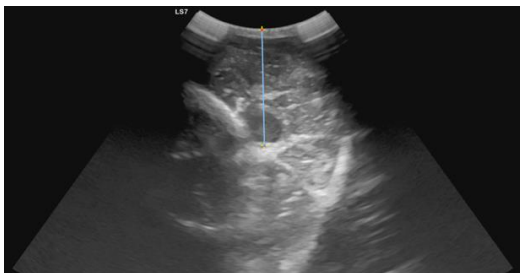
Ett alternativ för att underlätta de lateromediala mätningarna på frambenet är att förflytta hela mätplanet ett par centimeter mer distalt. Då undviks risken att de pektorala musklerna inkluderas i mätplanet. Däremot är underarmens muskelmassa som störst i nivå med nuvarande mätplan och en nackdel med att förflytta mätplanet distalt är således att mindre muskelmassa inkluderas i mätningarna. Vid en generell

hypertrofi eller atrofi av underarmsmuskulaturen är förändringarna sannolikt mest uttalad där muskelmassan är som störst. Det är därför möjligt att det är lättast att upptäcka förändring i nuvarande mätplan.

En annan svårighet som alla observatörer uppmärksammade är hur känslig muskulaturen är för tryck. Detta var framförallt påtagligt vid den kraniala mätningen av proximala bakbenet. Här kunde avståndet till femur variera med flera centimeter beroende på hur mycket tryck som applicerades med proben. Detta är sannolikt en bidragande faktor till att intraobservatörsreliabiliteten för observatör A endast är måttlig och interobservatörsreliabiliteten är dålig gällande den kraniala mätningen av proximala bakbenet. Dupont *et al.* (2001) visade att ett starkt tryck med proben kunde pressa samman *M. deltoideus* till 50 % eller mer. Då muskelns volym är relativt konstant kommer en minskning i en dimension sannolikt resultera i en kompensatorisk ökning i en annan dimension. Av denna anledning bör mängden applicerat tryck ha mindre betydelse vid mätning av tvärsnittsarea jämfört med mätning av muskeltjocklek.

För att minska felen som uppstår till följd av högt applicerat tryck är det väsentligt att undersökningsområdena förbereds på ett korrekt sätt. Pälsten bör rakas bort och på huden bör det appliceras en riklig mängd sprit eller ultraljudsgel (Dupont *et al.* 2001). Detta för att förbättra den akustiska kontakten och minska mängden tryck som behövs för att tillgodose en god kontakt mellan prob och hud. Vidare bör varje observatör vara uppmärksam på vilket tryck de applicerar med proben och sträva efter minsta möjliga tryck som ger en tillräckligt god bildkvalité.

Det uppstod även frågetecken kring mätningarna på det distala bakbenet. Dels gäller det den kraniala mätningen. Observatör C valde att placera proben kranialt på skanken, vinkelrätt mot huden. Se exempel A i figur 7. Observatör A och Observatör B valde att placera proben kranialt på skanken men att vinkla den så att tibias yta var parallellt placerad gentemot proben. Se exempel B i figur 8. Beroende på hur proben vinklas kommer tvärsnittet av musklerna att variera. Detta förklarar varför det är signifikanta skillnader mellan observatörernas medelvärden och även varför interreliabiliteten är dålig. Det bör förtydligas i metodbeskrivningen huruvida



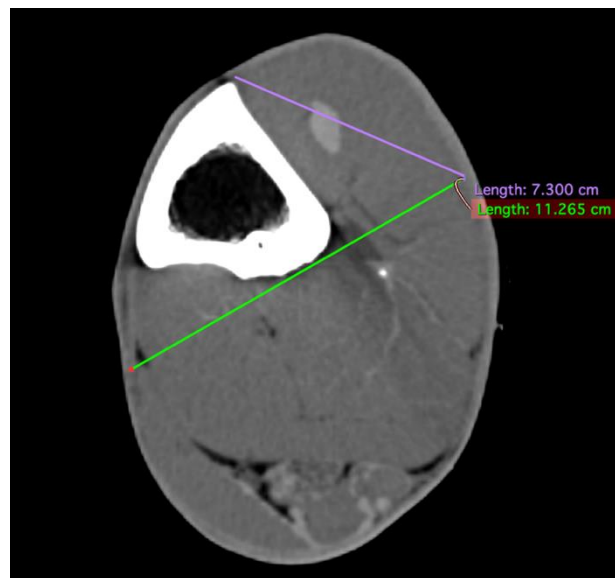
Figur 7. Kranial mätning av proximala bakbenet. Exempel A. Observera skillnaden på tibias lutning jämfört med figur 8.



Figur 8. Kranial mätning av proximala bakbenet. Exempel B. Observera att tibias yta är parallell med proben.

proben bör placeras vinkelrätt mot huden eller om proben ska vinklas så att tibia är parallell gentemot proben.

Förutom den diskrepans som uppstod kring den kraniala mätningen uppmärksammades även missförstånd kring den lateromediala mätningen som gjordes kranialt om tibia på distala bakbenet. I de proximala delarna av skanken är muskelmassan framförallt lokaliserad kaudalt om tibia. Det är därför svårt att få ett lateromedialt tvärsnitt av muskelmassan kranialt om tibia. Observatörerna har placerat proben kraniolateralt på skanken vid den kraniala lateromediala mätningen men behövt vinkla proben för att kunna mäta ett tvärsnitt. I vissa fall har proben vinklats i en kranial riktning och därmed representerar mätningen ett oblikt tvärsnitt av muskulaturen kraniolateralt om tibia (lila linje, figur 9). I vissa fall har proben vinklats i en kaudal riktning och därmed representerar mätningen ett oblikt tvärsnitt av både muskulaturen kraniolateralt om tibia och muskulaturen kaudalt om tibia (grön linje, figur 9). Med tanke på hur anatomin ser ut i skanken, framförallt avseende avsaknaden av muskelmassa kranialt om tibia, hade det sannolikt varit bättre att endast göra ett lateromedialt tvärsnitt av muskulaturen kaudalt om tibia och bortse från det kraniala lateromediala tvärsnittet. Ett alternativ till den kraniala lateromediala mätningen är att placera proben på samma plats som i den ursprungliga instruktionen men att istället för att mäta avståndet mellan muskulaturens laterala och mediala begränsning mäta avståndet till tibias laterala begränsning. Då kan detta mått representera extensorernas muskelmassa.



Figur 9. DT-bild, tvärsnitt av mätplan distala bakbenet

Det är också möjligt att variation i benens positionering, inklusive ledvinklar, grad av belastning och muskulaturens anspänning kan ge upphov till en stor mätvariation inom och mellan observatörerna. Vid en studie som utvärderat omfångsmätning av

muskulatur hos hund har det rapporterats att full extension av hasleden gav signifikant lägre låromkrets jämfört med fullständig flexion och uppskattad stående position (McCarthy *et al.* 2018). Även om observatörerna uppmanats att vara uppmärksamma på att benens position inte ändrades nämnvärt under mätningarnas gång är det möjligt att subtila förändringar kan ha haft signifikant betydelse. Hur muskelgruppernas tvärsnitt påverkas av benets positionering och muskulaturens anspänning behöver studeras vidare.

I denna studie har det gjorts endimensionella tvärsnittsmätningar av hela muskelgruppers mjukdelsdjup till skillnad från många andra studier där det gjorts tvådimensionella tvärsnittsmätningar av enskilda musklers area. Målet är att ta fram en objektiv och användbar metod för att bedöma muskelmassa hos häst. Metoden behöver både vara snabb, enkel och lätt att applicera i klinisk verksamhet. Att göra mätningar av enskilda musklers tvärsnittsarea är både mer tidskrävande och ställer högre krav på anatomikunskaper och ultraljudserfarenhet jämfört med endimensionella mätningar av hela muskelgrupper. Det är i många fall svårt att visualisera gränserna mellan olika muskelbukar vilket försvårar mätning av enskilda muskler. Vidare är ultraljudsbildens synfält beroende av storleken på proben (Katayose & Magee 2001) vilket begränsar möjligheten att visualisera hela tvärsnittsarean för stora muskelbukar (Noorkoiv *et al.* 2010). Vid endimensionella mätningar är mätningarna framförallt beroende av djup och ej lika mycket av storleken på ultraljudsbildens synfält.

Vidare är det viktigt att ta hänsyn till metodens användningsområde. Som beskrivet i litteraturöversikten kan mätning av muskulatur vara användbart för att monitorera hypertrofi i samband med prestationshöjande träning, för att monitorera atrofi vid olika sjukdomstillstånd, för att monitorera muskelutveckling i samband med rehabilitering efter skada (Millis & Ciuperca 2015) och för att upptäcka asymmetrier i muskelmassa (Stubbs *et al.* 2010). En metod behöver inte vara användbar för samtliga syften. Metoden beskriven i denna studie är troligtvis användbar för att monitorera en generell hypertrofi eller atrofi, exempelvis hypertrofi i samband med prestationshöjande träning. Det är sannolikt mer användbart att mäta enskilda muskler vid fokal hypertrofi eller atrofi, exempelvis atrofi till följd av en nervskada.

5.3. Studiedesign

I studien läste observatörerna själva av resultaten för varje mätning. Observatörerna förde därefter in mätvärdet i ett dokument som var gemensamt för samtliga observatörers mätningar. Observatörerna var alltså varken blindade för sina egna eller de andra observatörernas mätningar. Det finns en potentiell risk att observatörerna lå-

ter minnet av sina föregående mätningar eller av andra observatörers mätningar påverka sina nästkommande mätningar. Detta kan resultera i att observatören anpassar sin ultraljudsbild eller sin mätning tills ett värde som liknar de föregående uppnås. Det optimala hade varit att en observatör tar fram en stillbild av mätplanet som undersöks, markerar ut mellan vilka punkter mätningen ska göras och att det därefter är en separat assistent som gör mätningen och dokumenterar resultatet. Det bör endast vara den assistent som läser av och dokumenterar resultaten som har tillgång till det dokument där mätningarna sammanställs. På så sätt blir observatörerna blindade för både sina egna och de andra observatörernas mätningar vilket minskar risken för bias. I denna studie samlades det in ~400-800 observation per dag och det fanns inte tillräckligt med resurser för att genomföra blindade mätningar.

Intraobservatörsreliabiliteten är generellt god till utmärkt vilket talar för att repeterbarheten är bra. Tiden som förflyter mellan mätningar är däremot relativt kort eftersom samtliga mätningar på ett ben görs i en följd. För att ytterligare testa intraobservatörsreliabiliteten hade det varit värdefullt att göra mätningar under två på varandra följande dagar. Om det förflyter längre tid mellan mätningarna minskar risken ytterligare att observatörerna minns sina föregående mätningar. Däremot ökar också risken för att muskelmassan hos de undersökta hästarna förändras. Då kan det vara svårt att avgöra om variationen beror på förändringar hos subjektet eller en dålig överensstämmelse inom observatörerna.

5.4. Konklusion

Studien har generellt visat på god intraobservatörsreliabilitet vilket indikerar att mätningarna går att repetera då dem genomförs av en och samma person. Studien har också visat på en dålig till måttlig interobservatörsreliabilitet vilket indikerar att mätresultaten är svåra att reproducera då mätningarna genomförs av olika personer. Det har identifierats en rad olika potentiella orsaker till en dålig interreliabilitet. Många av dem är relaterade till brister i metodens utformning. Om mätinstruktionerna revideras och förtydligas kan reliabiliteten sannolikt förbättras. Det behövs även fler studier som utvärderar hur benens positionering och musklernas anspänning påverkar muskelgruppernas tvärsnitt. Vidare är det också önskvärt med studier där observatörerna är blindade för sina egna och varandras resultat och där mätningar görs under uppföljande dagar för att ytterligare testa repeterbarheten och reproducerbarheten. När det har utvecklats en metod som är repeterbar och reproducerbar behöver även validiteten konfirmeras.

Slutsatsen är att det finns indikationer på att tvärsnittsmätning med ultraljud kan vara en enkel och repeterbar metod för mätning av muskulatur hos häst. Upprepade

mätningar av en och samma häst bör göras av samma person och enligt de rekommendationer som framförts i diskussionen. För att utveckla interreliabiliteten och validera metoden krävs mer forskning

Referenser

- Abe, T., Loenneke, J.P. & Thiebaud, R.S. (2015). Morphological and functional relationships with ultrasound measured muscle thickness of the lower extremity: a brief review. *Ultrasound*, vol. 23 (3), ss. 166–173
- Alahmari, K.A., Silvian, S.P., Reddy, R.S., Kakaraparthi, V.N., Ahmad, I. & Alam, M.M. (2017). Hand grip strength determination for healthy males in Saudi Arabia: A study of the relationship with age, body mass index, hand length and forearm circumference using a hand-held dynamometer. *The Journal of International Medical Research*, vol. 45 (2), ss. 540–548
- Arangio, G.A., Chen, C., Kalady, M. & Reed, J.F. (1997). Thigh muscle size and strength after anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, vol. 26 (5), ss. 238–243
- Baad, M., Lu, Z.F., Reiser, I. & Paushter, D. (2017). Clinical Significance of US Artifacts. *RadioGraphics*, vol. 37 (5), ss. 1408–1423
- Back, W. & Clayton, H.M. (red.) (2013). *Equine Locomotion*. Second edition. Edinburgh [Scotland]; New York: Saunders Elsevier.
- Baker, S.G., Roush, J.K., Unis, M.D. & Wodiske, T. (2010). Comparison of four commercial devices to measure limb circumference in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, vol. 23 (06), ss. 406–410
- Bamman, M.M., Newcomer, B.R., Larson-Meyer, D.E., Weinsier, R.L. & Hunter, G.R. (2000). Evaluation of the strength-size relationship in vivo using various muscle size indices. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 32 (7), ss. 1307–1313
- Brown, N.A.T., Kawcak, C.E., McIlwraith, C.W. & Pandy, M.G. (2003). Architectural properties of distal forelimb muscles in horses, *Equus caballus*. *Journal of Morphology*, vol. 258 (1), ss. 106–114
- Budras, K.-D., Sack, W.O., Röck, S., Horowitz, A. & Berg, R. (2012). *Anatomy of the Horse: with Aaron Horowitz and Rolf Berg*. Hannover, Germany: Schlütersche Verlagsgesellschaft.
- Bullen, L.E., Evola, M.G., Griffith, E.H., Seiler, G.S. & Saker, K.E. (2017). Validation of ultrasonographic muscle thickness measurements as compared to the gold standard of computed tomography in dogs. *PeerJ*, vol. 5, s. e2926

- Carlson-Newberry, S.J. & Costello, R.B. (1997). *Imaging Techniques of Body Composition: Advantages of Measurement and New Uses. Emerging Technologies for Nutrition Research: Potential for Assessing Military Performance Capability* National Academies Press (US).
- Carmines, E. & Zeller, R. (1979). *Reliability and Validity Assessment*. Thousand Oaks, California, United States of America: SAGE Publications, Inc.
- Chalmers, H.J., Viel, L., Caswell, J.L. & Ducharme, N. (2015). Ultrasonographic detection of early atrophy of the intrinsic laryngeal muscles of horses. *American Journal of Veterinary Research*, vol. 76 (5), ss. 426–436
- Doxey, G. (1987). The association of anthropometric measurements of thigh size and B-mode ultrasound scanning of muscle thickness. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, vol. 8 (9), ss. 462–468
- Duerr, F.M., Bascuñán, A.L., Kieves, N., Goh, C., Hart, J., Regier, P., Rao, S., Foster, S. & Palmer, R. (2016). Evaluation of factors influencing thigh circumference measurement in dogs. *Veterinary Evidence*, vol. 1 (2).
- Dupont, A.C., Sauerbrei, E.E., Fenton, P.V., Shragge, P.C., Loeb, G.E. & Richmond, F.J. (2001). Real-time sonography to estimate muscle thickness: comparison with MRI and CT. *Journal of Clinical Ultrasound: JCU*, vol. 29 (4), ss. 230–236
- Dyce, K.M., Sack, W.O. & Wensing, C.J.G. (2010). *Textbook of Veterinary Anatomy*. 4th ed. St. Louis, Mo: Saunders/Elsevier.
- Esformes, J.I., Narici, M.V. & Maganaris, C.N. (2002). Measurement of human muscle volume using ultrasonography. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 87 (1), ss. 90–92
- Emond, A.-L., Bertoni, L., Seigneur, M., Coudry, V., Denoix, J.-M., 2016. Peripheral neuropathy of a forelimb in horses: 27 cases (2000–2013). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, vol. 249, 1187–1195
<https://doi.org/10.2460/javma.249.10.1187>
- Gadotti, I., Vieira, E. & Magee, D. (2006). Importance and clarification of measurement properties in rehabilitation. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, vol. 10 (2), ss. 137–146
- Haxton, H.A. (1944). Absolute muscle force in the ankle flexors of man. *The Journal of Physiology*, vol. 103 (3), ss. 267–273
- Heck, R.W., Mckeever, K.H., Alway, S.E., Auge, W.K., Whitehead, R., Bertone, A.L. & Lombardo, J.A. (1996). Resistance training-induced increases in muscle mass and performance in ponies. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 28 (7), ss. 877–883
- Hinchcliff, K.W., Kaneps, A.J. & Geor, R.J. (red.) (2008). *Equine Exercise Physiology: The Science of Exercise in the Athletic Horse*. Edinburgh; New York: Saunders/Elsevier.
- Ikai, M. & Fukunaga, T. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Internationale Zeitschrift*

Fur Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie, vol. 26 (1), ss. 26–32

- Katayose, M. & Magee, D.J. (2001). The cross-sectional area of supraspinatus as measured by diagnostic ultrasound. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, vol. 83 (4), s. 4
- Koo, T.K. & Li, M.Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, vol. 15 (2), ss. 155–163
- Lindner, A., Signorini, R., Vassallo, J., Tomatis, F., Flores, F.M., Gagliano, M.E., Curriotti, J. & Terragona, E. (2010). Reproducibility and repeatability of equine muscle thickness measurements with ultrasound. *Journal of Equine Veterinary Science*, vol. 30 (11), ss. 635–640 New York: Elsevier Science Inc.
- Lorentzon, R., Elmqvist, L.G., Sjöström, M., Fagerlund, M. & Fuglmeyer, A.R. (1989). Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear: muscle size, morphology, and mechanical output before reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, vol. 17 (3), ss. 423–429
- Maughan, R.J. & Nimmo, M.A. (1984). The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males. *The Journal of Physiology*, vol. 351, ss. 299–311
- Maughan, R.J., Watson, J.S. & Weir, J. (1983a). Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 50 (3), ss. 309–318
- Maughan, R.J., Watson, J.S. & Weir, J. (1983b). Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, vol. 338, ss. 37–49
- McCarthy, D.A., Millis, D.L., Levine, D. & Weigel, J.P. (2018). Variables affecting thigh girth measurement and observer reliability in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 5, s. 203
- Millis, D.L. & Ciuperca, I.A. (2015). Evidence for canine rehabilitation and physical therapy. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, vol. 45 (1), ss. 1–27
- Miyatani, M., Kanehisa, H., Kuno, S., Nishijima, T. & Fukunaga, T. (2002). Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 86 (3), ss. 203–208
- Narici, M. (1999). Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 9 (2), ss. 97–103
- Noorkoiv, M., Nosaka, K. & Blazevich, A.J. (2010). Assessment of quadriceps muscle cross-sectional area by ultrasound extended-field-of-view imaging. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 109 (4), ss. 631–639

- Payne, R., Hutchinson, J., Robilliard, J., Smith, N. & Wilson, A. (2005). Functional specialisation of pelvic limb anatomy in horses (*Equus caballus*). *Journal of Anatomy*, vol. 206 (6), ss. 557–574
- Perkin, H.M., Bond, E.A., Thompson, J., Woods, E.C. & Smith, C. (2003). Real time ultrasound: An objective measure of skeletal muscle. *Physical Therapy Reviews*, vol. 8 (2), ss. 99–108 Taylor & Francis.
- Portney, L.G. & Watkins, M.P. (2009). *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. 3rd Edition. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
- Reeves, N.D., Maganaris, C.N. & Narici, M.V. (2004). Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 91 (1), ss. 116–118
- Rivero, J.-L.L. (2007). A scientific background for skeletal muscle conditioning in equine practice. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, vol. 54 (6), ss. 321–332
- Sakaeda, K. & Shimizu, M. (2016). Use of B-mode ultrasonography for measuring femoral muscle thickness in dogs. *The Journal of Veterinary Medical Science*, vol. 78 (5), ss. 803–810
- Sjaastad, Ø.V., Sand, O & Hove, K. (2016). *Physiology of Domestic Animals*. 3rd edition. Oslo: Scandinavian Veterinary Press.
- Smith, T.J., Baltzer, W.I., Jelinski, S.E. & Salinardi, B.J. (2013). Inter- and intratester reliability of anthropometric assessment of limb circumference in labrador retrievers. *Veterinary Surgery*, vol. 42 (3), ss. 316–321
- Stubbs, N.C., Kaiser, L.J., Hauptman, J. & Clayton, H.M. (2011). Dynamic mobilisation exercises increase cross sectional area of musculus multifidus. *Equine Veterinary Journal*, vol. 43 (5), ss. 522–529
- Stubbs, N.C., Riggs, C.M., Hodges, P.W., Jeffcott, L.B., Hodgson, D.R., Clayton, H.M. & McGowan, C.M. (2010). Osseous spinal pathology and epaxial muscle ultrasonography in Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, (38), ss. 654–661
- Valberg, S.J. (2018). Muscle conditions affecting sport horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, vol. 34 (2), ss. 253–276 (Equine Sports Medicine)
- Weiss, L.W. (1984). The use of B-mode ultrasound for measuring the thickness of skeletal muscle at two upper leg sites. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, vol. 6 (3), ss. 163–167

Tack

Tack till Mälaren Hästklinik och Axel Wallman för gott samarbete under examensarbetet. Varma hälsningar även till Quentin Pleyers för stort engagemang under mätmetodens utformning och insamlingen av data. Slutligen tack till Natascha Jansson som varit en fantastisk medstudent under hela arbetets gång.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Idag används hästen huvudsakligen som sporthäst och vi ställer höga krav på att de ska vara fungerande, hållbara och högpresterande individer. När hästen tränas anpassar sig kroppen efter en ökad belastning vilket resulterar i en förbättrad atletisk kapacitet. Muskler är i hög grad anpassningsbara. Att mäta muskelutveckling kan vara användbart för att monitorera en ökning i muskelmassa i samband med träning, för att monitorera en minskning i muskelmassa vid olika sjukdomstillstånd, för att monitorera muskelutveckling i samband med rehabilitering efter skada och för att upptäcka asymmetrier i muskelmassa.

En uttalad ökning eller minskning av muskelmassa kan ses med blotta ögat men subtila förändringar kan vara svåra att fånga upp. För att komma runt det problemet och göra en mer objektiv bedömning har olika diagnostiska hjälpmedel börjat användas vid bedömning av muskelmassa. En enkel och snabb metod är omfångsmätning med måttband. Då mäts omkretsen av en större muskelgrupp, exempelvis lår-muskulaturen. På senare tid har intresset för ultraljud ökat mer och mer. Med hjälp av ultraljud går det att göra mätningar av enskilda musklers tvärsnittsarea. I flera studier har det påvisats ett positivt samband mellan muskelstyrka och tvärsnittsarea. Att mäta tvärsnittsarea kan således vara ett indirekt sätt att mäta muskelstyrka.

Ultraljud har fördel gentemot omfångsmätning i det avseendet att muskler kan särskilja från övriga vävnader som hud, ben och fett. Ultraljud har visats vara snabbt, enkelt, repeterbart och tillförlitligt vid mätning av muskulatur på människa och hund. Det saknas dock forskning som utvärderar användningen på häst. Detta examensarbete utgör ett första steg i att utveckla en metod för ultraljudsmätning av muskulatur hos häst. Arbetet syftar till att undersöka om tvärsnittsmätningar av stora muskelgrupper är repeterbart, det vill säga om en och samma person kan göra upprepade mätningar med god överensstämmelse. Arbetet syftar även till att testa om metoden är reproducerbar och på liknande sätt testa om olika personer kan göra upprepade mätningar med god överensstämmelse.

I denna studie har tre olika personer gjort upprepade ultraljudsmätningar på elva hästar enligt ett standardiserat protokoll. Mätningar har gjorts i tre olika anatomiska områden; mellan armbågen och framknät på frambenet (underarmen) samt ovanför och nedanför knäleden på bakbenet (lår och skank). För varje anatomiskt område

har samtliga personer gjort fyra olika tvärsnittsmätningar tre upprepade gånger. Mätningarna utgör ett tvärsnitt av muskelgrupperna i området och således inte ett tvärsnitt av en enskild muskel.

Data som har samlats in har därefter analyserats avseende överensstämmelse inom och mellan de olika personerna. Resultat från studien tyder på att då upprepade mätningar görs av en och samma personer är tillförlitligheten god till utmärkt, det vill säga att de upprepade mätningarna i hög grad stämmer överens med varandra. Däremot är tillförlitligheten dålig till måttlig då mätningarna upprepas av olika personer, det vill säga mätningar har låg grad av överensstämmelse mellan olika personer. Det har identifierats några olika brister i mätmetodens utformning som kan förklara varför överensstämmelsen är dålig. Om instruktionerna justeras och förtydligas kan tillförlitligheten sannolikt förbättras.

Slutsatsen är att det finns indikationer om att tvärsnittsmätning med ultraljud kan vara användbart för att mäta muskulatur hos häst. Upprepade mätningar av en och samma häst bör göras av samma person och enligt de rekommendationer som diskuterats i diskussionen. För att utveckla metoden och förbättra överensstämmelsen mellan olika personers mätningar krävs mer forskning.

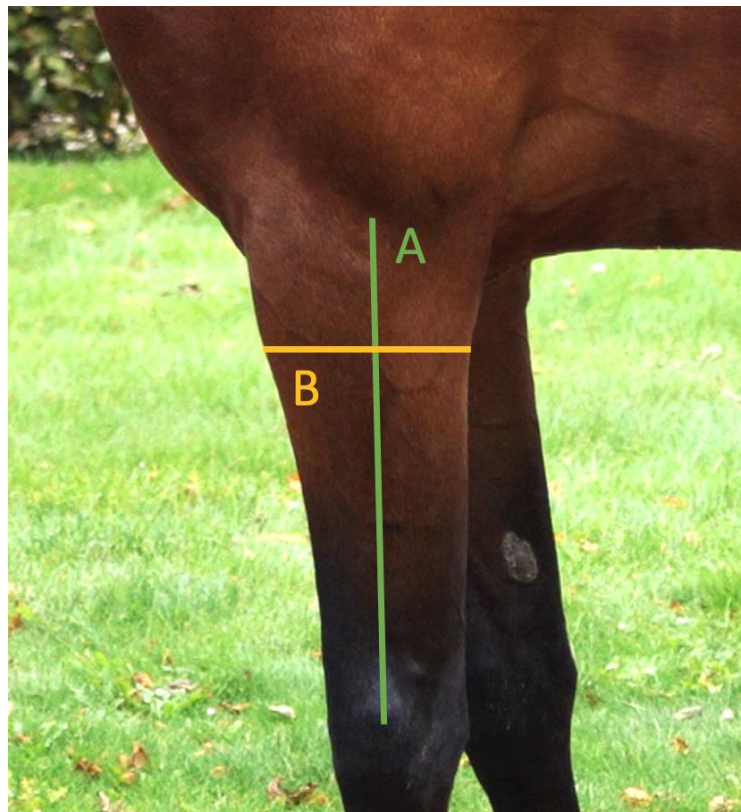
Bilaga 1

Antebrachium

Place the horse with the front leg in a subjectively neutral position with the cannon bone subjectively vertical

1. Measure the length of the segment defined by the lateral epicondyle of humerus and the lateral styloid process of radius. (A)
2. Establish a plane (B) perpendicular to radius and passing by the more proximal quartile of the segment A. Four measurements will be taken at this level.

Muscles are imaged in a transverse section defined by the plane B, the US beam should stay in the plane B. All measurements are taken with minimal pressure required to have a quality of image sufficient for measurement.



Figur 10. Mätplan framben.

(1) Cranial approach (Cra)

1. Place the probe cranially on the antebrachium and the US beam in the plane B.
2. Make sure radius is placed in the middle of the sector
3. Measure the length of the segment passing in the middle of the beam and defined by the adipose-muscle interface and the muscle-bone interface.

(2) Latero-medial approach cranial to radius (LM Cra)

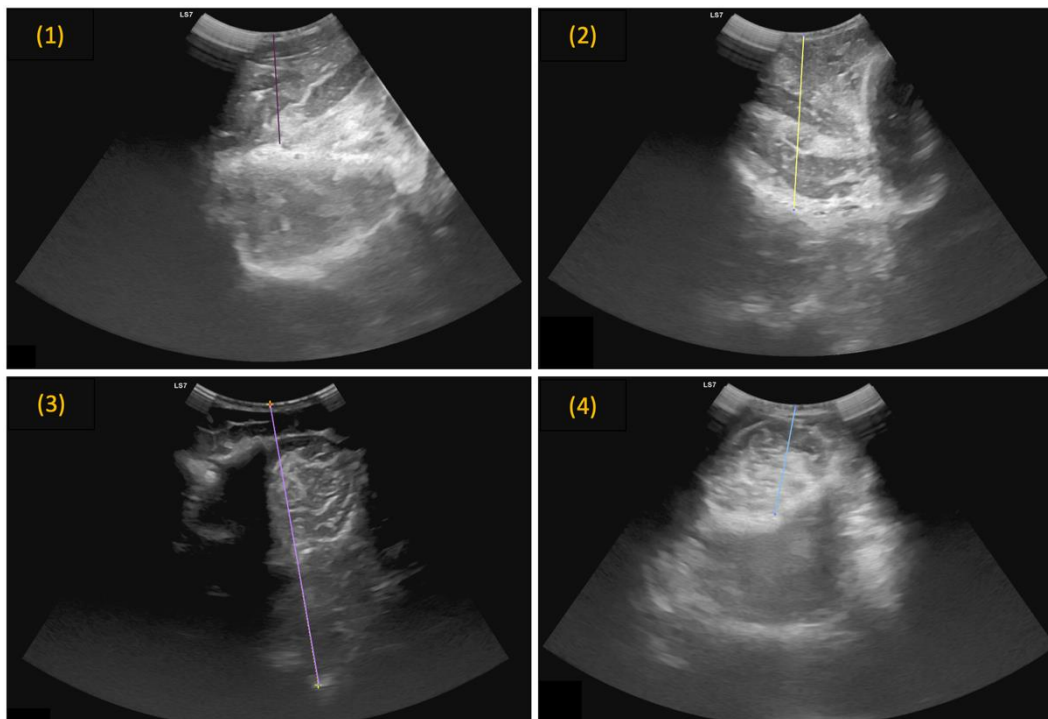
4. Move the probe in a lateral direction, with the US beam in the Plane B. Place the probe cranial to the radius at the thickest portion of the muscle.
5. Measure the length of the muscle segment defined by the lateral adipose-muscle interface and the medial muscle-adipose interface.

(3) Latero-medial approach caudal to radius (LM Cau)

6. Move the probe in a caudal direction, with the US beam in the Plane B. Place the probe caudal to the radius at the thickest portion of the muscle.
7. Measure the length of the muscle segment defined by the lateral adipose-muscle interface and the medial muscle-adipose interface.

(4) Caudal approach (Cau)

8. Place the probe caudally on the antebrachium and the US beam in the plane B.
9. Make sure radius is placed in the middle of the sector
10. Measure the length of the segment passing in the middle of the beam and defined by the adipose-muscle interface and the muscle-bone interface.



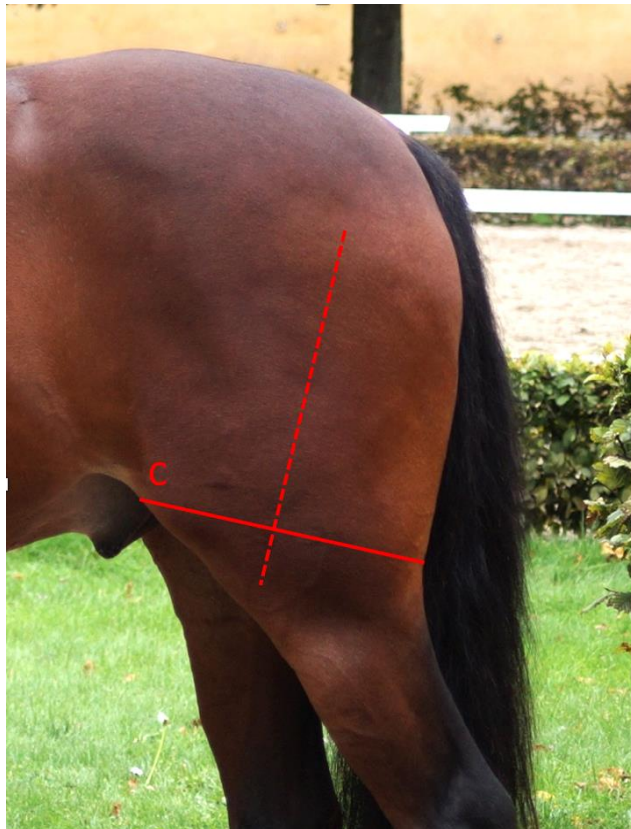
Figur 11. Ultraljudsbilder framben.

Thigh

Place the horse with the hind leg in a subjectively neutral position with the cannon bone subjectively vertical

1. Mark a line (pen/clip the fur) extending from the greater trochanter of femur to the joint space between the lateral patellar ligament and the lateral collateral ligament of the stifle. The line is marked to establish the angle of femur.
2. Mark another line on the lateral aspect of the thigh that is perpendicular to femur and origins at the proximal border at the base of patella. This will define a plane C perpendicular to the femur and tangential to the most proximal point of the patella. Four measurements will be taken at this level.

Muscles are imaged in a transverse section defined by the plane C, the US beam should stay in the plane C. All measurements are taken with minimal pressure required to have a quality of image sufficient for measurement



Figur 12. Mätplan proximala bakbenet. Observera att hästen på bilden ej är placerad i en korrekt position (metatarsalbenet ej vertikalt).

(1) Cranial approach (Cra)

1. Place the probe cranially on the thigh just proximal to the base of patella and the US beam in the plane C.
2. Make sure femur is placed in the middle of the sector
3. Measure the length of the segment passing in the middle of the beam and defined by the adipose-muscle interface and the muscle-bone interface.

(2) Latero-medial approach Quadriceps (LM Cra)

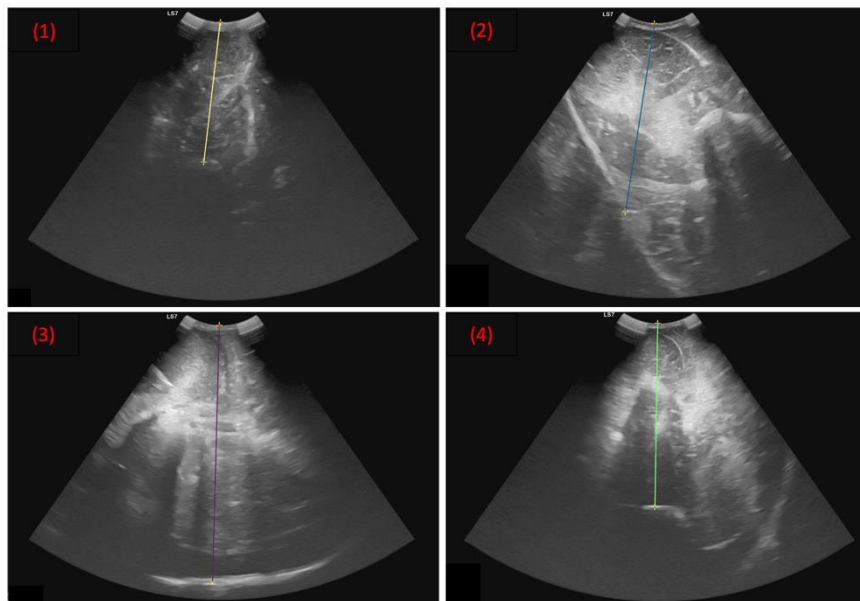
4. Advance the probe in lateral direction with the US beam in plane C. Place the probe at 50% of the distance between the cranial border of the thigh and femur. Visualize the intersection between M. quadriceps vastus medialis and M. sartorius at the medial border of thigh.
5. Measure the length of the segment defined by the adipose-muscle interface at the lateral aspect of the plane C and the muscle-adipose interface at the intersection between the M. quadriceps vastus medialis and the M. sartorius

(3) Latero-medial approach Hamstrings (LM Cau)

6. Advance the probe further caudally with the US beam in the Plane C. Place the probe at 50% of the distance between the femur and the caudal border of the thigh.
7. Measure the length of the segment defined by the adipose-muscle interface at the lateral aspect and the muscle-adipose interface at the medial aspect.

(4) Caudal approach (Cau)

8. Place the probe caudally on the thigh and the US beam in the plane C.
9. Measure the length of the segment passing in the middle of the beam section and defined by the adipose-muscle interface and the muscle-bone interface.

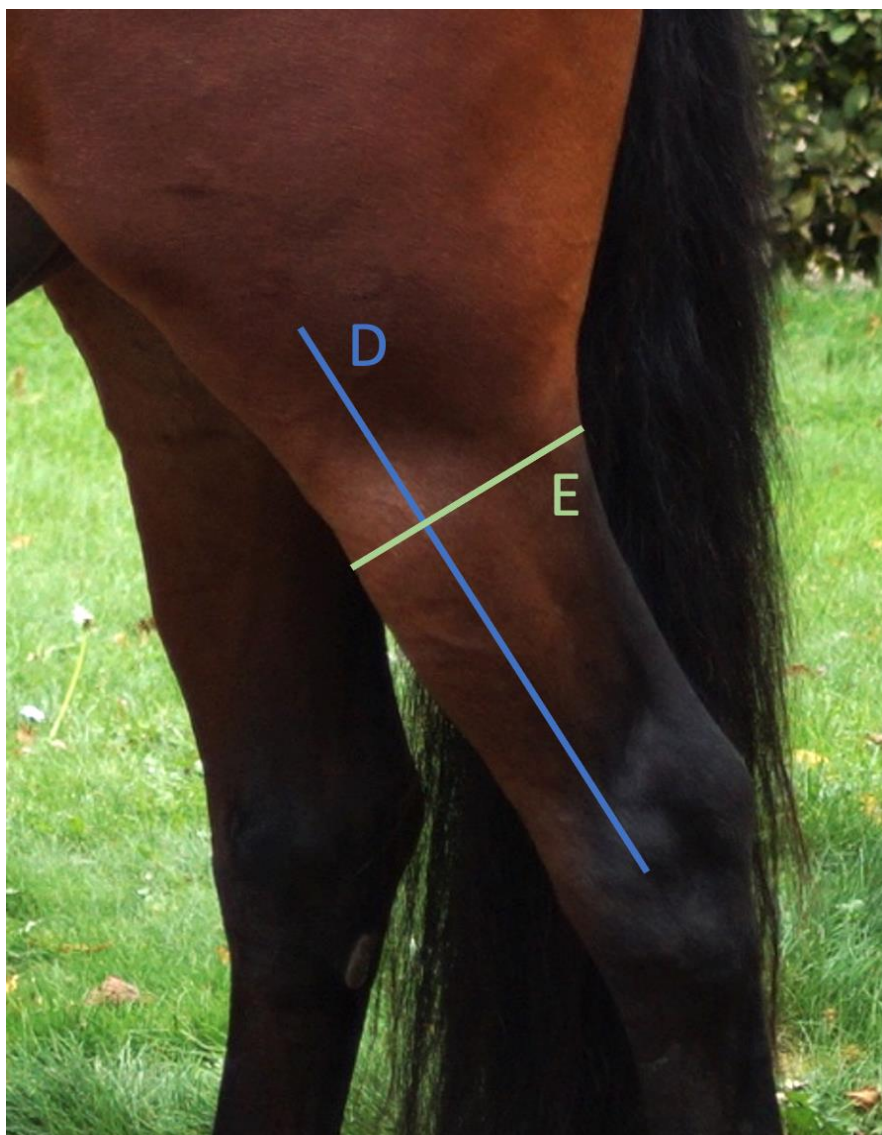


Figur 13. Ultraljudsbilder proximala bakkenet.

Distal hind leg

1. Measure the length of the segment defined by the joint space between the lateral patellar ligament and the lateral collateral ligament of the stifle and the lateral malleolus of tibia. (D)
2. Establish a plane perpendicular to the tibia passing by the point between the first and second third of the distance D.(E)

Muscles are imaged in a transverse section defined by the plane E, the US beam should stay in the plane E. All measurements are taken with minimal pressure required to have a quality of image sufficient for measurement.



Figur 14. Mätplan distala bakbenet. Observera att hästen på bilden ej är placerad i en korrekt position (metatarsalbenet ej vertikalt).

(1) Cranial approach (Cra)

1. Place the probe cranially to the tibia and the US beam in the plane E.
2. Make sure tibia is placed in the middle of the sector
3. Measure the length of the segment passing in the middle of the beam and defined by the adipose-muscle interface and the muscle-bone interface.

(2) Latero-medial approach cranial to tibia (LM Cra)

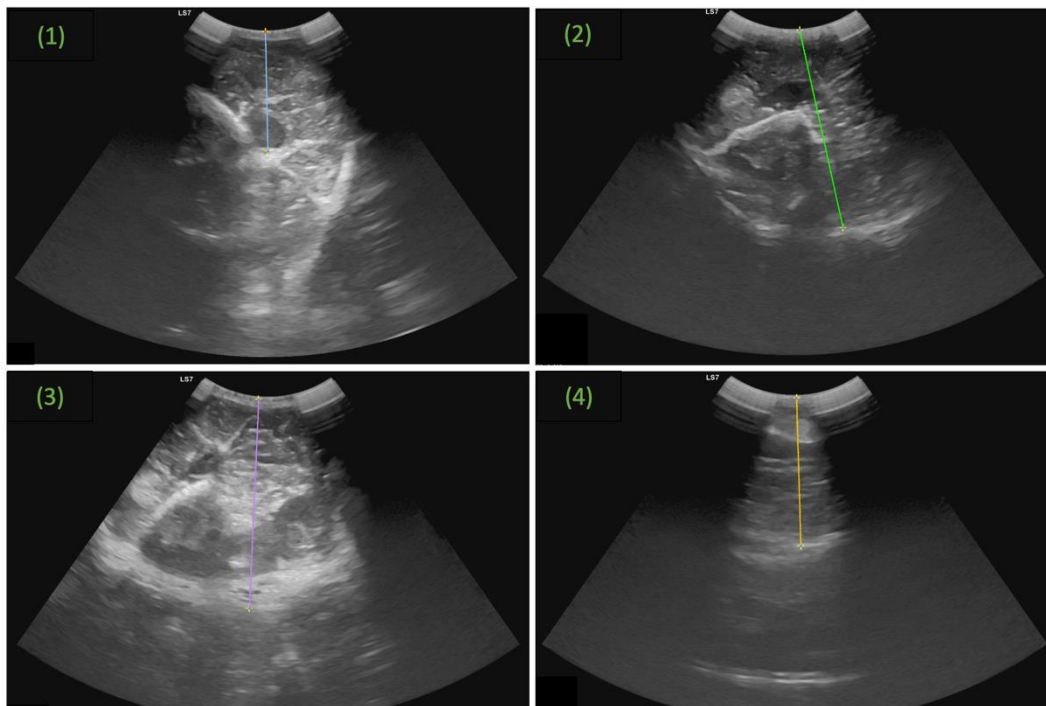
4. Move the probe in a lateral direction, with the US beam in the Plane E. Place the probe cranial to the tibia at the thickest portion of the muscle.
5. Measure the length of the segment defined by the lateral adipose-muscle interface and the medial muscle-adipose interface.

(3) Latero-medial approach caudal to tibia (LM Cau)

6. Move the probe in a caudal direction, with the US beam in the Plane E. Place the probe caudal to the tibia at the thickest portion of the muscle.
7. Measure the length of the segment defined by the lateral adipose-muscle interface and the medial muscle-adipose interface.

(4) Caudal approach (Cau)

8. Move the probe in a caudal direction, with the US beam in the Plane E. Place the probe caudally at the leg with tibia place in the middle of the sector
9. Measure the length of the segment passing in the middle of the beam section and defined by the adipose-muscle interface and the muscle-bone interface.



Figur 15. Ultraljudsbilder distala bakbenet.