



Veterinært kandidatspeciale



Effekten af opvarmning på muskelfunktion hos hest målt med akustisk myografi

Fie Kirstine Jørgensen (kmj801)

Maja Thirstrup Simonsen (cmg565)

Afleveringsdato: 01.08.2019

Vejleder: Lise Charlotte Berg

Medvejleder: Adrian Harrison

Institutnavn: Institut for Klinisk Veterinærmedicin

Forfattere: Fie Kirstine Jørgensen (kmj801)
Maja Thirstrup Simonsen (cmg565)

Titel: Effekten af opvarmning på muskelfunktion hos hest målt med akustisk myografi.

Emnebeskrivelse: Undersøgelse af effekten af opvarmning på muskelarbejde ved brug af akustisk myografi som metode til at måle ændringer i muskelfunktionen hos heste under opvarmning i skridt og trav.

ECTS point: 30

Vejleder: Lise Charlotte Berg

Medvejleder: Adrian Paul Harrison

Afleveret: 1. august 2019



Fie Kirstine Jørgensen (kmj801)



Maja Thirstup Simonsen (cmg565)

Indholdsfortegnelse

Abstract.....	4
Resumé.....	5
Forord.....	6
Taksigelse	7
Ordforklaring & forkortelser.....	8
1. Introduktion	9
1.1 Formål	9
1.2 Hypoteser	9
1.3 Specifikke mål.....	9
2. Baggrund	10
2.1 Muskler.....	10
2.2 Muskelarbejde.....	10
2.3 Muskelfibre	11
2.3.1 Fibertyper	11
2.3.2 Fordeling af fibertyper	11
2.3.3 Aktivering af fibertyper.....	12
2.4 <i>M. gluteus medius</i> (GM) & <i>M. semitendinosus</i> (ST).....	12
2.4.1 GM.....	12
2.4.2 ST.....	12
2.5 Opvarmning.....	13
2.5.1 Hvad er opvarmning	13
2.5.2 Hvorfor er opvarmning vigtigt	14
2.5.3 Typer af opvarmning.....	14
2.5.4 Opvarmning ved hestesport	15
2.6 Akustisk myografi (AMG).....	15
2.7 CURO-systemet	16
2.8 E-, S-, T-score og balance.....	17
3. Materiale og metode.....	18
3.1 Litteratursøgning	18
3.2 Ethiske overvejelser.....	18
3.3 Testpopulation	19
3.3.1 Studie 1, Travheste	19
3.3.2 Studie 2, Husarheste.....	19

3.4 Dataindsamling.....	19
3.5 Protokol.....	20
3.6 Dataanalyse.....	20
3.7 Statistisk analyse.....	21
4. Resultater.....	22
4.1 Studie 1.....	22
4.2 Studie 2.....	25
4.2.1 Del 1.....	25
4.2.2 Del 2.....	29
5. Diskussion.....	31
5.1 Studie 1.....	31
5.1.1 Effekten af 5 minutters skridt.....	31
5.1.2 Effekten af 5 minutters trav.....	32
5.2 Studie 2.....	33
5.2.1 Variation mellem dage.....	33
5.2.2 Udvikling over tid.....	34
5.3 Balance.....	35
5.4 Fejlkilder.....	36
5.4.1 Biologiske fejlkilder.....	36
5.4.2 Tekniske fejlkilder.....	37
5.5 Begrænsninger.....	38
6. Konklusion.....	39
6.1 Studie 1.....	39
6.2 Studie 2.....	39
7. Perspektivering.....	40
8. Referencer.....	42
9. Bilag.....	44
9.1 Bilag 1.....	44
9.2 Bilag 2.....	44

Abstract

Objective: To investigate the effect of warm up on the muscle function of horses using acoustic myography as a method to detect changes while warming up in walk and trot.

Hereby to investigate the following hypotheses: 1) Warm up in walk will affect the muscle function of the horse for *M. gluteus medius* and *M. semitendinosus*, 2) Warm up in trot will affect the muscle function of the horse for *M. gluteus medius* and *M. semitendinosus*

Study design and material: Prospective, experimental *in vivo* study. This thesis includes two studies. Study 1 incorporates 14 standardbred horses and study 2 incorporates 10 sport horses.

Methods: In both studies, the horses were set up with an AMG equipment, which was attached to their back by a girth. Piezoelectric sensors were placed over *M. gluteus medius* (GM) and *M. semitendinosus* (ST). In study 1, the warm up procedure consisted of 5 minutes walk (1.7 m/s) and then 5 minutes trot (5 m/s) on a treadmill. In study 2, the horses were walked by hand for 15 minutes in an indoor arena. While study 1 only included a single measurement on each horse, the measurements in study 2 were conducted over a period of three consecutive days. The data were analyzed by evaluating the muscle function for each muscle on each horse in one minute intervals.

Results: Both studies showed that warm up in walk affects the muscle function of GM and ST. Most of the results (46 of 56) showed a positive change within the muscle function following the warm up procedure. In a few cases, the results also showed a negative change. Warm up in trot showed unclear results including both increased and decreased muscle scores without statistical significance. Furthermore, study 2 showed no repeatability between the three days of measurements. The development of the muscle function did not follow the same pattern between day 1 and 2 or day 1 and 3 as there was found a statistically significant variation.

Conclusion: Warm up in walk affects the muscle function of the horse. The results insinuate a positive change for the muscles function of GM and ST as they work more effectively, there is a fever number of activated muscle fibers and the frequency, by which the fibers are activated, is decreased. However, the results were only statically significant in a few cases. Due to the partly inconclusive results of study 1, the effect of warm up in trot leading to a change in the muscle function cannot be supported. A statistically significant variation was found between the three days of measurements for study 2. It has not been possible to decide whether the changes were due to technical complications of the equipment or actual change in the muscle function. Although the results of this thesis indicates a positive effect of warm up on the muscle function, further studies are needed to approach the ideal warm up procedure.

Resumé

Formål: At undersøge effekten af opvarmning på muskelarbejde hos heste ved brug af akustisk myografi (AMG) som metode til at måle ændringer i muskelfunktion under opvarmning i skridt og trav. Herunder at undersøge hypoteserne: 1) Opvarmning i skridt giver en ændring i muskelfunktionen for *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus* hos hest. 2) Opvarmning i trav giver en ændring i muskelfunktionen for *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus* hos hest.

Studiedesign og studiemateriale: Prospektivt, eksperimentelt *in vivo* studie. Der indgår to studier i projektet. Studie 1 indeholder 14 travheste og studie 2 indeholder 10 sportsheste.

Metoder: Hestene blev udstyret med AMG måleudstyr, som blev monteret på ryggen ved hjælp af en gjord. Piezoelektriske sensorer blev placeret over *M. gluteus medius* (GM) og *M. semitendinosus* (ST). I studie 1 fulgte hestene et standardiseret opvarmningsprogram bestående af 5 minutters skridt (1,7 m/s) og derefter 5 minutters trav (5 m/s) på løbebånd. I studie 2 blev de skridtet 15 minutter for hånd i et ridehus. Målingerne blev gentaget 3 dage i træk. Data blev behandlet ved at analysere udviklingen af muskelfunktionen for GM og ST for hver hest i intervaller af 1 minut.

Resultater: For begge studier viste resultaterne, at opvarmning i skridt påvirkede muskelfunktionen for GM og ST. I størstedelen af resultaterne for skridt (46 ud af 56) skete der en positiv procentvis ændring af muskelfunktionen fra start til slut af opvarmningsproceduren. I enkelte tilfælde forekom der også et mindre fald i muskelscorerne. Resultaterne for opvarmning i trav viste ingen entydige ændringer, da der både forekom stigninger og fald af varierende grad uden statistisk signifikans. Studie 2 viste, at der ikke forekom reproducerbarhed mellem de tre målingsdage. Udviklingen for muskelfunktionen fulgte dermed ikke samme mønster for dag 1 og 2 samt dag 1 og 3, da der var en signifikant forskel i resultaterne mellem dagene.

Konklusion: Det konkluderes at opvarmning i skridt giver en ændring i muskelfunktionen hos heste. De overordnede resultater antyder en positiv effekt af opvarmning i skridt på muskelfunktionen for GM og ST, indikeret af at musklerne arbejder mere effektivt, med færre antal aktiverede fibre og med lavere frekvens af fiberaktivering i slutningen af proceduren. Dog forekommer resultaterne kun statistisk signifikante i enkelte tilfælde. Det kan ikke konkluderes, at opvarmning i trav giver en ændring i muskelfunktionen, idet der ikke forekommer entydige resultater for denne del af studiet. For studie 2 konkluderes det, at der ikke er reproducerbarhed mellem de 3 dages gentagende målinger, da der findes signifikant variation for udviklingen af muskelfunktionen for dag 1 og 2 samt for dag 1 og 3. Det har ikke været muligt at afgøre, om ændringen skyldes tekniske fejl eller en reel ændring i muskelfunktionen. Selvom resultatet for dette projekt antyder, at opvarmning har en positiv effekt for muskelfunktionen, er der stadig behov for yderligere undersøgelser for at kunne sammensætte de mest optimale opvarmningsprocedurer.

Forord

Dette veterinære speciale er udarbejdet fra februar 2019 til august 2019. Det er skrevet som en del af det afsluttende år på veterinæruddannelsen ved Københavns Universitet. Formålet med specialet er at undersøge, hvordan musklerne hos heste påvirkes under opvarmning med henblik på at kunne vejlede hesteejere og dyrlæger til at udføre den bedst mulige opvarmning for heste.

Specialet henvender sig til dyrlæger, dyrlægestuderende og andre med interesse for hestesport og opvarmning generelt. Forhåbentlig vil arbejdet med dette speciale kunne bidrage og danne grundlag for videre forskning vedrørende muskelaktivitet under opvarmning.

Taksigelse

Under udarbejdelsen af dette speciale har en række personer været involveret. Vi vil benytte lejligheden til at sige en stor tak til vores vejleder Lise Charlotte Berg og vores medvejleder Adrian Harrison for deres engagement, støtte og vejledning under projektet.

Derudover vil vi gerne takke oversergent Müller fra hesteskadronen ved Gardehusarkasernen i Slagelse for at indvilge i at udlåne heste til brug i projektet.

Der skal også lyde en stor tak til E-vet for økonomisk støtte i form af sponsorat af Snögg.

Sidst men ikke mindst vil vi gerne takke Stine Simonsen for korrekturlæsning og Tor Schneider Dengsøe for statistisk hjælp.

Ordforklaring & forkortelser

Abducere: Udadførende bevægelse

Agonistiske muskler: Muskler som udfører en bevægelse

Antagonistiske muskler: Muskler som modarbejder en bevægelse

ATP: Adenosintrifosfat, energibærende molekyle

CNS: Centralnervesystemet

CURO: Optagelses-apparat som er valideret til brug på hest.

Ekstension: Udstrækning af et led

Fatigue: Muskeltræthed

Fleksion: Bøjning af et led

GM: *Musculus gluteus medius*

Gold Standard: Den metode der anses for at være den mest korrekte, og som kan bruges til at evaluere andre metoder.

Hæmoglobin: Iltbindende protein som findes i blodet. Transporterer ilt fra lungerne og rundt i blodet.

Metabolisme: Stofskifte

Myoglobin: Iltbindende protein i skeletmuskulatur: Opbevare ilt i muskler.

Proteinfilament: En kæde af proteiner.

Proksimalt: Retning mod kroppens midtpunkt.

sEMG: Overflade Elektromyografi

Sportsheste: Heste som er i regelmæssigt arbejde af submaksimal intensitet

ST: *Musculus semitendinosus*

Vasodilation: Blodkarrenes glatte muskulatur slapper af, så karene udvider sig

1. Introduktion

Opvarmning har stor betydning for den måde, som man træner heste på. Ved flere studier er det påvist, at opvarmning både er skadesforebyggende og har en præstationsfremmende effekt¹⁻⁴.

På trods af opvarmningsens vigtighed er der stadig stor uvidenhed om, hvilken effekt forskellige opvarmningsprocedurer har for bl.a. muskelfunktionen. Indenfor hesteverdenen bygger de anvendte opvarmningsprocedurer på dogmer, vaner og tidligere erfaringer, og der mangler videnskabelige undersøgelser². Det er derfor relevant at undersøge, om de opvarmningsprocedurer, man benytter sig af, har den formodede effekt, herunder om procedurerne er optimalt sammensat. Disse overvejelser danner grundlag for emnet i dette specialeprojekt.

Der er flere metoder, hvormed man kan måle muskelfunktionen. På nuværende tidspunkt vurderes akustisk myografi (AMG) til at være en af de mest præcise, let anvendelige og non-invasive af disse metoder⁵. AMG er valideret til måling af muskelfunktion hos både heste, hunde og mennesker^{6,7}. På baggrund af dette er AMG valgt som metode til udarbejdelse af projektet.

Projektet indbefatter datamateriale fra to studier. Materialet i studie 1 er inddraget fra et tidligere projekt, hvor 14 travheste har udført samme opvarmningsprocedure på løbebånd, bestående af 5 minutters skridt og 5 minutters trav. Analysen af dette datamateriale udgjorde, sammen med tilgængelig litteratur omkring opvarmning, grundlaget for at sammensætte en protokol for studie 2, hvor 10 sportsheste er blevet skridtet for hånd i 15 minutter.

1.1 Formål

Formålet med dette specialeprojekt er at undersøge effekten af opvarmning på muskelarbejde ved brug af AMG som metode til at måle ændringer i muskelfunktion hos heste under opvarmning i skridt og trav.

1.2 Hypoteser

- Opvarmning i skridt giver en ændring i muskelfunktionen for *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus* hos hest.
- Opvarmning i trav giver en ændring i muskelfunktionen for *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus* hos hest.

1.3 Specifikke mål

- At undersøge effekten af 5 og 15 minutters skridt på muskelfunktionen af *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus*.
- At undersøge effekten af 5 minutters trav på muskelfunktionen af *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus*.
- At undersøge om muskelfunktionen udvikler sig ens ved målinger med samme procedure tre dage i træk.

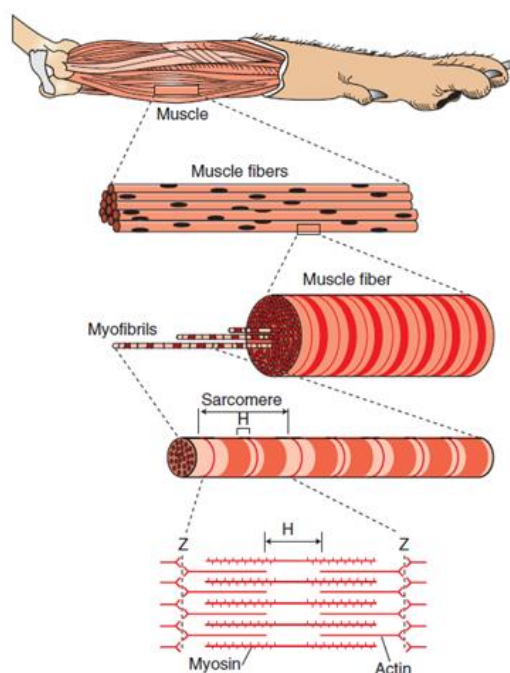
2. Baggrund

2.1 Muskler

For at kunne forstå mekanismerne ved opvarmning, er det relevant at have en grundlæggende viden om opbygningen af muskler, muskelfibre samt muskelarbejde. Det følgende afsnit redegør for den basale teori om netop disse emner.

Der findes tre forskellige muskeltyper i kroppen; skeletmuskulatur, glat muskulatur og hjertemuskulatur. Det er skeletmuskulaturen, der sørger for bevægelse af kroppen.

En skeletmuskel (jf. Figur 1) består af et varierende antal muskelfibre, som ligger parallelt med hinanden i bundter. En enkelt muskelfiber indeholder adskillige mindre underenheder kaldet myofibriller, som igen består af en række mindre kontraktile segmenter. Disse segmenter kaldes for sarcomerer, og de betegnes som den primære generator for musklens kontraktion. Sarcomeren er opbygget af to typer af proteinfilamenter kaldet aktin og myosin, som ligger parallelt i forhold til hinanden. Endestykkerne af en sarcomer udgøres af et område, som kaldes Z-disken, og her hæfter aktinfilamenterne. Midterstykket af sarcomeren kaldes for H-zonen, og herfra udspringer myosinfilamenterne⁸.



Figur 1: Oversigt over opbygning af en skeletmuskel. Musklen er opbygget af muskelfibre, som består af myofibriller. Hver myofibril består af sarcomerer, som er sammensat af to typer proteinfilamenter kaldet aktin og myosin.⁸

2.2 Muskelarbejde

2.2.1 Bevægelse og kontraktion

Bevægelse af kroppen opstår, når muskler trækker sig sammen for derved at ændre kroppens positur. Muskelkontraktioner er sammentrækninger af muskelfibre, som er nødvendige for at kunne skabe bevægelse. Ved kontraktion af musklen vil aktin- og myosinfilamenterne binde sig til hinanden og interagere, således at Z-disken og H-zonen trækkes tættere mod hinanden. For at denne interaktion mellem filamenterne kan finde sted, skal de undergå en konformationsændring. Fælles er, at begge konformationsændringer sker ved tilstedeværelsen af adenosintrifosfat (ATP). ATP er det energiholdige molekyle, som er energikilden til muskelarbejde. Det dannes bl.a. ved

metabolisme i musklerne via en aerob eller anaerob proces⁸. Både aerob og anaerob dannelse af ATP finder sted under fysisk arbejde, men fordelingen vil bl.a. være præget af; musklens sammensætning af fibre, intensiteten og varigheden af arbejdet samt tilgængeligheden af oxygen. I takt med at intensiteten og varigheden af fysisk arbejde øges, vil den anaerobe proces bidrage mere til dannelsen af ATP⁹.

2.3 Muskelfibre

2.3.1 Fibertyper

Hvordan musklen arbejder, afhænger bl.a. af, hvilke fibertyper der er aktiverede. Hestens skeletmuskulatur kan opdeles i tre forskellige fibertyper; type I, type IIA og type IIX¹⁰. Forskellen på fibertyperne er beskrevet i skema 1 nedenfor:

Typer af muskelfibre	Funktion	Fordele ved muskelarbejde	Ulemper ved muskelarbejde
Type I Langsamt oxidative fibre	Aerob metabolisme	Danner mere ATP: 1 mol glukose → 39 mol ATP Danner ikke laktat Aerob metabolisme er modstandsdygtig over for muskel fatigue	Aerob metabolisme er en langsom proces
Type IIX Hurtigt glykolytiske fibre	Anaerob metabolisme	Kræver ingen oxygen Producerer større kraft	Danner mindre ATP: 1 mol glukose → 3 mol ATP Danner og ophober laktat i musklen Tidligere muskel fatigue Producerer større kraft men i kort tid
Type IIA Hurtigt oxidative fibre	Aerob og anaerob metabolisme	Kan danne større kraft i længere tid grundet begge typer af metabolisme	

Skema 1: Skematisk oversigt over muskelfibertyper. ⁹⁻¹²

2.3.2 Fordeling af fibertyper

Sammensætningen af fibertyper er individuel for hver enkelt muskel, hvilket påvirker musklens funktion. I muskler, som har en stabiliserende funktion (statiske muskler), vil der oftest være en større andel af type I fibre, hvorimod de propulsive muskler (dynamiske muskler), som indgår i bevægelsen, har en større andel af type II fibre.¹⁰

Fordelingen af fibertyper er individuel og varierer blandt heste. Den afhænger bl.a. af køn, alder, race samt træningsstadiet^{11,13,14}.

Det er bevist, at fordelingen af muskelfibertyper ændrer sig afhængig af, hvilke træningsprogrammer og metoder der benyttes^{11,12}. Heste, der trænes til distanceridning, vil således

have høj andel af type I og type IIA-fibre, da denne type arbejde kræver relativt mere udholdenhed, hvorimod væddeløbsheste har højere andel af type IIX fibre, som kræves til eksplosivt arbejde. Det er karakteristisk for sportsheste, at de har en jævnt balanceret fordeling mellem de tre fibertyper, da denne træning anses for at være af submaximal intensitet ¹⁵.

2.3.3 Aktivering af fibertyper

Hos heste sker der en selektiv aktivering af fibertyper afhængigt af intensitet og varighed af det arbejde, der skal udføres. I takt med at intensiteten og varigheden øges, vil aktiveringen af fibertyper ske i denne rækkefølge: I → IIA → IIX ^{9,11}. Dette skyldes, at der er forskellige tærskelværdier for aktiveringen af de motorneuroner, som innerverer henholdsvis type I og type II fibre. Motorneuroner, som innerverer type I fibre, har en lavere tærskelværdi end dem, der innerverer type II fibre¹⁴. IIX aktiveres først ved arbejde af maksimal intensitet, da en anaerob metabolisme først kræves, når intensiteten af arbejdet når op over den aerobe kapacitet^{10,12}.

2.4 *M. gluteus medius (GM) & M. semitendinosus (ST)*

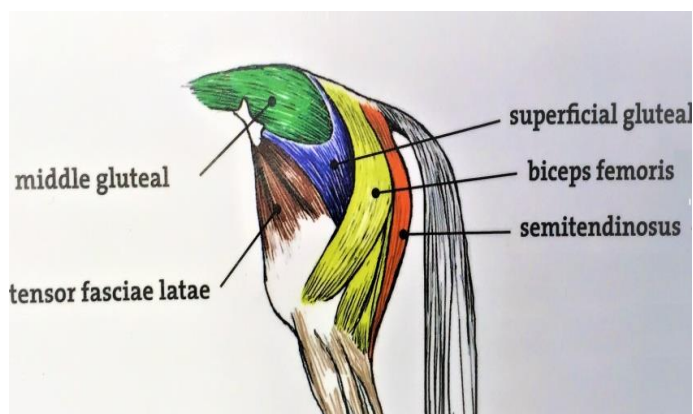
To muskler med stor betydning for hestens biodynamik er udvalgt til måling med AMG på baggrund af deres funktion og superficielle placering. Muskler proksimalt på bagparten er udvalgt, da netop disse muskler har stor indflydelse på den horisontale fremdrift og er specialiserede til at generere stor muskelkraft^{16,17}. Musklernes placering, funktion og opbygning er beskrevet i de følgende afsnit, og en skematisk oversigt kan ses i Skema 2.

2.4.1 GM

GM er hestens største muskel. Den er placeret proksimalt på bagparten (jf. Figur 2) på højre og venstre ben. Dens hovedfunktion er at ekstendere og abducere hoften¹⁶.

2.4.2 ST

ST er placeret på bagparten af hesten på hver sin side af halen (jf. Figur 2). Dens funktion under bevægelse er ekstension af hoften i standfasen og fleksion af knæ samt ekstension af has i svingfasen¹⁶.



Figur 2: Oversigt over bagpartsmusklernes anatomiske placering. *M. gluteus medius (GM)*=middle gluteal (grøn), *M. Semitendinosus (ST)*=semitendinosus (orange). (Activate Your Horse's Core af N. C. Stubbs & H. M. Clayton)

Muskel	Origo	Insertio	Funktion	Fibertypefordeling
<i>M. gluteus medius</i>	Gluteus fascie fra Ilium samt <i>M. longissimus</i>	Trochanter major	Ekstenderer hoften og abducerer bagbenet	Type I: 14 % Type IIA: 55 % Type IIX: 31 %
<i>M. semitendinosus</i>	Tuber ischiadicus	Medial overflade af den øverste del af tibia	Ekstenderer hoften i standfasen og flekterer knæ samt ekstenderer has i svingfasen.	Type I: 16 % Type IIA: 63 % Type IIX: 21 %

Skema 2: Skematisk oversigt over origo, insertio, funktion og gennemsnitlig fibertypefordeling for *M. gluteus medius* og *M. semitendinosus*^{16,18}.

2.5 Opvarmning

Størstedelen af det litterære materiale, der findes omkring opvarmning, er baseret på humane studier. Derfor er effekten af opvarmning beskrevet ud fra dette materiale, da fysiologien overordnet antages at være sammenlignelig på tværs af arter.

2.5.1 Hvad er opvarmning

Opvarmning defineres som en periode med forberedende øvelser og aktivitet, som har til formål at fremme præstationen og mindske risikoen for skader. Opvarmning forbedrer bl.a. det dynamiske muskelarbejde, hvorved muskler og led ikke er ligeså følsomme for pludselige uventede bevægelser¹⁻⁴.

Ved opvarmning øges det fysiske aktivitetsniveau, som bevirker en øget respirationsfrekvens, vasodilation og dermed øget blodgennemstrømning i det aktive væv samt en øget kropstemperatur. Temperaturstigning sker på baggrund af følgende tre faktorer: 1) Den friktion, der dannes mellem fibre, når de bevæger sig i forhold til hinanden i takt med, at musklen kontraherer. 2) Øget metabolisme i de aktive muskler. 3) Vasodilation af de intramuskulære kar^{2,19}. Når kropstemperaturen øges, vil temperaturen i muskel- og bindevævet også stige. Dette bidrager til en øget smidighed i muskler og sener samt øget mobilitet i leddene^{2,4,19,20}.

Øget temperatur påvirker flere processer, som er med til at tilpasse kroppen til fysisk arbejde. Øget vævstemperatur har positiv effekt på de metaboliske processer i kroppen, da disse er temperaturafhængige. På denne måde stimuleres metabolismen i musklerne også, hvormed hastigheden for maksimal kontraktion i musklen forbedres^{2,21}. Hastigheden for kontraktion og reaktionstid forbedres også, da opvarmning bevirker, at nerveimpulser transmitteres hurtigere igennem kroppen^{2,21}.

Øget blodgennemstrømning bidrager til en forbedret transport af oxygen til de aktive muskler. Desuden vil temperaturstigning også bidrage til, at oxygen bedre kan udnyttes fra blodet, fordi det medfører en øget nedbrydning af de iltbindende proteiner (hæmoglobin og myoglobin)².

Effektiviteten og koordineringen af muskelfunktionen forbedres ved opvarmning, da samspillet mellem agonistiske og antagonistiske muskler tilpasses, således at de antagonistiske muskler er afslappede, mens de agonistiske muskler er aktive. Dette bidrager også til en friere bevægelighed, som er mere energibesparende².

2.5.2 Hvorfor er opvarmning vigtigt

Humant er muskelskader en af de vigtigste årsager til skader hos sportsudøvere^{4,19}. I et studie af Woods et. al. (2007)⁴ undersøges effekten af opvarmning og udstrækning i forbindelse med træning, og de finder, at opvarmning har en betydelig effekt i forhold til at undgå skader. I et studie foretaget på kaniner²⁰ ses det, at der kræves større kraftpåvirkning, for at opnå muskelskade på muskler der er varme, end på muskler der ikke er varme. Det er derfor med til at forstærke teorien om, at opvarmning har effekt i forhold til forebyggelse af muskelskader²⁰.

2.5.3 Typer af opvarmning

Opvarmning kan opdeles i passiv og aktiv opvarmning, hvoraf sidstnævnte kan inddeles i generel og specifik aktiv opvarmning^{2,4,19}.

- Passiv opvarmning: Involverer metoder, som benytter sig af en ekstern varmekilde til opvarmning. Eksempler på dette kan være varmeguder, sauna, et varmt bad eller massage. Denne type opvarmning giver en mere superficiel temperaturstigning, da resultatet ofte ses som en øgning af hudtemperaturen.
- Generel opvarmning: Denne type opvarmning involverer en generel aktivitet for kroppen, som går ind og kræver bevægelse af de store muskelgrupper. Eksempler på dette vil være jogging, cykling eller strækøvelser. Fordi man får en aktivering af en stor muskelmasse på samme tid ved denne type opvarmning, bidrager den med en større generel opvarmningseffekt, der mere effektiv vil øge temperaturen i hele kroppen.
- Specifik opvarmning: Ved specifik opvarmning inkluderes bestemte øvelser, som går igen i den fysiske aktivitet, der skal udføres efter opvarmning. Denne type opvarmning

er altså målrettet mod bestemte muskler. Et eksempel på dette kan være bomtræning og mindre spring inden konkurrence springning. På den måde giver denne type opvarmning både en generel temperaturstigning, samtidig med at den træner koordineringen og det neurale respons, som kræves til den efterfølgende aktivitet.

Den ideelle type opvarmning er balanceret mellem intensitet og varighed. For lidt aktivitet kan resultere i uændret kropstemperatur, og for meget aktivitet kan medføre hurtigere fatigue i musklerne^{2,20}. Den rette kombination afhænger af flere faktorer, herunder bl.a. træningsstadiet, fysiske kompetencer og den efterfølgende præstation. Derfor tilpasses sammensætningen af opvarmningen bedst til hver enkelt atlet^{2,4}. Inden for hestesport har et studie vist, at opvarmning af lav intensitet øger kropstemperaturen mest effektivt uden at opnå fatigue eller dannelse af laktat²².

2.5.4 Opvarmning ved hestesport

Ud fra eksisterende litteratur, som inkluderer opvarmning af heste, påvises det, at den gennemsnitlige opvarmningstid er ca. 10 min, hvoraf nogle studier inkluderer både skridt, trav og galop, mens andre kun inkluderer skridt i opvarmningen. En sammenfatning af studier og opvarmningstid er vist i Skema 3:

Studie/kilde	Opvarmningstid (min)
Lund et. al (1996) ²²	13,0
Mukai et. al(2010) ²³ (3 forskellige regimer)	1) 7,6 2) 4,3 3) 3,0
Stewart et. al (2003) ²¹	15,0
Szarska et. al (2014) ²⁴	10,0
Buchner et. al (2017) ²⁵ (2 forskellige regimer)	1) 10,0 2) 12,0
Murray et. al (2007) ³	12,5
Gennemsnitlig opvarmningstid	9,7

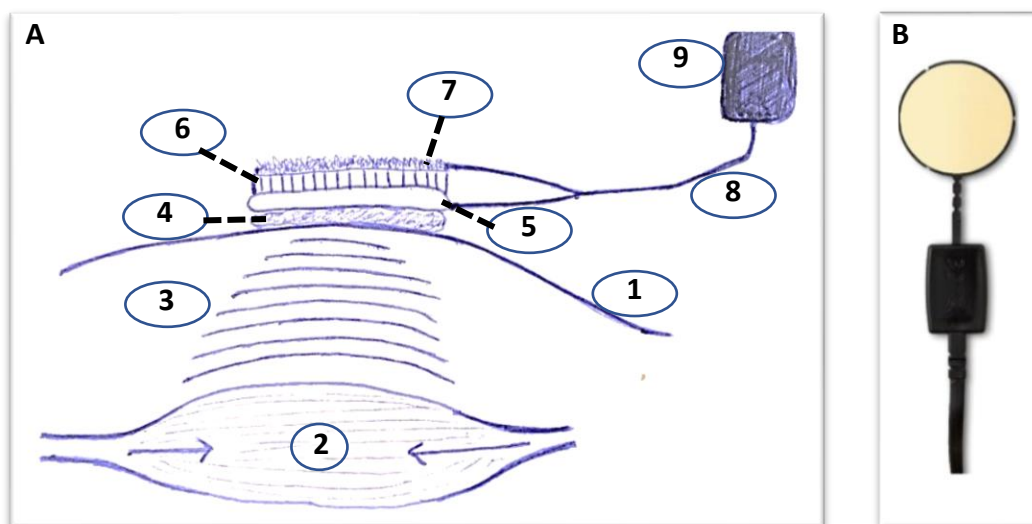
Skema 3: Skematisk oversigt over gennemsnitlige opvarmningstider i den anvendte litteratur.

2.6 Akustisk myografi (AMG)

AMG er en objektiv målemetode, som bruges til at måle muskelaktivitet non-invasivt og smertefrit. Ved muskelaktivitet sker der kontraktioner i musklerne, hvilket genererer vibrationer fra

muskelfibrene, som forplanter sig ud gennem vævet som trykbølger, og til sidst kan disse vibrationer opfanges på overfladen af huden som lydbølger^{5,26,27}.

Da lydbølgerne er af så lav frekvens, at de ikke kan høres af det humane øre, kan lyden i stedet opfanges af piezoelektriske sensorer. Disse sensorer er bygget op af en bundplade af messing med mikroskopiske sølvcoatede krystaller ovenpå. Begge dele er forbundet til en digital forstærker. Når krystallerne udsættes for tryk omplaceres de, og omsætter trykket til μV , som derefter omdannes til dB via CURO'en¹⁸. Se Figur 3.



Figur 3: Illustration af piezoelektrisk sensor. A: 1) hudoverflade 2) kontraherende muskel 3) trykbølger produceret af kontraherende muskel 4) Gel 5) Messing bundplade 6) Piezoelektriske krystaller 7) Sølv coating 8) kabler 9) Signalforstærker. B: Piezoelektrisk sensor (MyoDynamik ApS, <http://www.myodynamikequine.com/curo-use/>)

I et studie af Harrison et. al. (2013)²⁷ er det bevist, at AMG ikke påvirkes af baggrundsstøj, hvilket er med til at validere målemetoden. Samtidig er AMG i stand til at måle udelukkende på muskelkontraktion, og ikke neuromuskulære signaler, hvilket giver et mere præcist billede af selve muskelfunktionen.

2.7 CURO-systemet

AMG udstyret består af en CURO, piezoelektriske sensorer med tilhørende kabler (jf. Figur 4) og en specialdesignet app. CURO'en kan optage impulser fra de piezoelektriske sensorer, som den er i stand til at transmittere til en iPad med en specialdesignet app (CURO Clinic App - App Store), hvor impulserne transformeres til et digitalt signal⁵. På denne måde kan den vise et her-og-nu billede af muskelfunktionen under optagelsen. Systemet har en rækkevidde på 100 m



Figur 4: illustration af CURO samt piezoelektriske sensorer. (Myodynamik ApS.)

mellem CURO og iPad, hvilket gør udstyret mobilt og let anvendeligt. Det digitale signal analyseres ud fra følgende tre parametre; E-, S-, og T-score, som tilsammen beskriver, hvordan CNS kontrollerer muskelfunktion i en aktiv muskel.

2.8 E-, S-, T-score og balance

For at analysere AMG benyttes en E-, S-, og T-score, som hver især beskriver dele af muskelfunktionen²⁸.

E-scoren repræsenterer effektiviteten af muskelkontraktionen, hvor tiden for den aktive fase af muskelarbejdet sammenlignes med den inaktive fase. Således angiver E-scoren tiden, hvor musklen er aktiv under en bevægelse. Ved et givent stykke arbejde vil muskelfibrene i en muskel med en lav E-score være aktive i længere tid end i en muskel med en høj E-score. Altså vil en muskel med lav E-score være mindre effektiv^{6,28}.

S-scoren repræsenterer spatial summation. Ved spatial summation forstås mængden af muskelfibre, som aktiveres af CNS ved en given kontraktion. På en AMG optagelse vil S-scoren ses som amplituden for et signal. En lav S-score indikerer, at mange fibre er aktiverede, og det vil vise sig som en høj amplitude^{6,28}.

T-scoren repræsenterer temporal summation. Ved temporal summation forstås frekvensen, hvormed muskelfibrene aktiveres af CNS. En høj T-score indikerer en lav frekvens af aktivering^{6,28}.

ST-scoren gives på baggrund af en beregning af gennemsnittet for S- og T-scoren. Den repræsenterer den samlede kraftdannelse for musklen, idet den både inddrager, hvor mange fibre der er aktive samt frekvensen af fiberaktivering. ST-scoren tager således højde for, at der kan være forskel blandt hestene på, hvordan de udfører et givent arbejde ved enten at rekruttere flere fibre eller øge frekvensen, hvormed fibrene aktiveres¹⁸.

E-, S-, og T-scorerne kan bruges til at beregne, hvordan balancen er mellem hestens muskelarbejde i højre og venstre side. Balancen beregnes ud fra scorerne for samme muskel på højre og venstre side i følgende formel og angives som den numeriske værdi af resultatet¹⁸:

$$Balance = |(Escore_{højre} + Sscore_{højre} + Tscore_{højre}) - (Escore_{venstre} + Sscore_{venstre} + Tscore_{venstre})|$$

I Skema 4 nedenfor ses et sammendrag over betydning af diverse scorer og værdier:

Variabel	Beskrivelse	Lav værdi	Høj værdi
E - Effektivitet (s)	Synkronisering af muskelfiberaktivering under bevægelse	Dårlig koordination af muskelfiberaktivering Repræsenterer typisk flere aktive end afslappede fibre	Koordineret og synkroniseret fiberaktivering
S- Spatial summation (mV)	Antallet af muskelfibre rekrutteret for at udføre en bevægelse	Mange fibre aktiveret (høj amplitude)	Få fibre aktiveret (lav amplitude)
T - Temporal summation (Hz)	Frekvens af muskelfiberaktivering påkrævet for at udføre en bevægelse	Høj frekvens af fiberkontraktioner	Lav frekvens af fiberkontraktioner
ST - score	Den samlede kraftdannelse	Mange fibre aktiverede med høj frekvens af fiberkontraktioner	Få fibre aktiverede med lav frekvens af fiberkontraktioner
Balance	Balancen mellem muskelarbejdet i højre og venstre side	Balanceret muskelarbejde hvor højre og venstre side arbejder lige meget	Ubalanceret arbejde hvor enten højre eller venstre side arbejder mere

Skema 4: Skematisk oversigt over muskelscorerne.

Foruden balancen beskrives hver score ud fra en skala på 0-10, hvor 0 er det mindst optimale, og 10 er det mest optimale. En score over 7-8 betragtes dog også som optimalt^{7,26}.

Det ideelle muskelarbejde findes ved en muskel, som arbejder koordineret og synkroniseret (høj E-score), med få antal aktiverede fibre (høj S-score) og med lav frekvens af fiberkontraktion (høj T-score).

3. Materiale og metode

3.1 Litteratursøgning

Den primære litteratursøgning til dette studie er udført i perioden 4/2 2019 - 6/3 2019.

Litteraturen anvendt til dette studie er fremsøgt via følgende databaser: Web of Science, CAB Abstracts, Embase, Ovid MEDLINE og Google Scholar. De primære søgeord er listet i tabellen i Bilag 1.

Primære artikler er anvendt som referencer, og reviews er brugt til at skabe et overblik over eksisterende litteratur. Kun artikler på engelsk er inkluderet. Lærebøger er anvendt til at danne grundlag for baggrundsviden. Derudover er resterende artikler fundet ud fra de anvendte artiklers referencer.

3.2 Ethiske overvejelser

Målemetoden som benyttes i projektet er non-invasiv og smertefri. Der er indgået aftale med den ansvarlige for hesteskadronen ved Gardehusarkasernen i Slagelse, som er informeret om projektets omfang og har indvilliget i, at data fra hestene må bruges i dette projekt.

3.3 Testpopulation

3.3.1 Studie 1, Travheste

14 travheste; 8 hopper og 6 vallakker i alderen 5-12 år. Populationen var en blanding af trænedede og utrænede heste. Hestene fik foretaget en fuld klinisk undersøgelse inden forsøget, og de blev i den forbindelse erklæret raske.

3.3.2 Studie 2, Husarheste

Hestene, som blev brugt til projektet, er gardehusarheste fra Gardehusarkasernen i Slagelse. 10 heste blev udvalgt af kasernens egen dyrlæge på baggrund af de opstillede inklusion- og eksklusionskriterier (jf. Skema 5). Alle heste er vallakker. Hestene er opstaldet under ens forhold, har samme aktivitetsniveau, og trænes efter samme principper.

Hver mandag tilses hestene af en dyrlæge, hvilket omfatter en kort klinisk undersøgelse samt mønstring i trav. Hestenes almene tilstand blev også vurderet på målingsdagen inden udstyret blev påsat. En enkelt hest blev udskiftet inden målingerne på dag 1, da den havde en hovbyld.

Inklusion	Eksklusion
Alder: 5-15 år	Kroniske skader og sygdomme relateret til bevægeapparatet
I ridning gennem de seneste 6 mdr: regulært arbejde 4-5 gange ugentligt.	Skader relateret til bevægeapparatet ved måling
Sportsheste	
Højde: >149 cm	

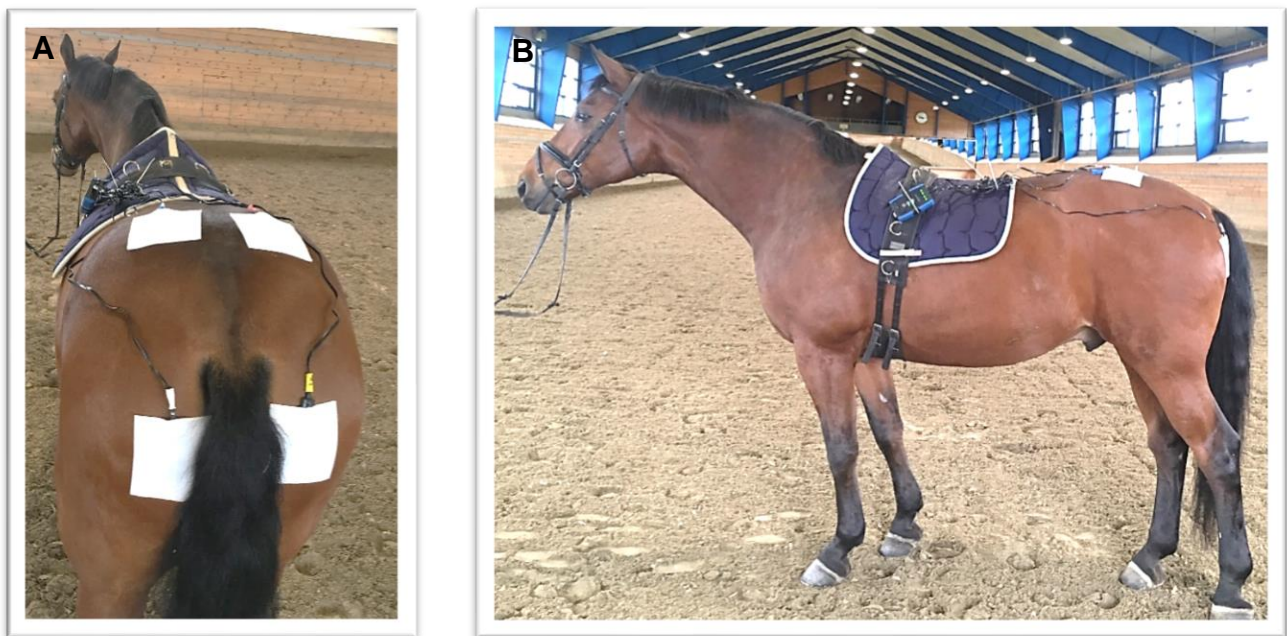
Skema 5: Oversigt over inklusionskriterier og eksklusionskriterier.

3.4 Dataindsamling

Studie 1 & 2: Hestene blev udstyret med en gjord, hvorpå CURO'en var placeret. Fra CURO'en udgik der fire ledninger, som løb ud til hver deres sensor. Der blev brugt piezoelektriske sensorer med en diameter på 50 mm til begge studier. Hver sensor blev coated med gel (Myodynamik ApS, Non-Sterile Gel, 20 ml) på begge flader for at sikre god kontakt med huden over musklen og derved mindske unødigt støj. De fire sensorer blev placeret over de udvalgte muskler på henholdsvis højre og venstre side af hesten; GM og ST. Sensorerne blev fikseret til hesten med en selvklæbende bandage (Snøgg, Animal Polster 15x20cm). Se Figur 5 for illustration af monteringen. Udstyret blev påsat af den samme person ved hver måling. Inden hver måling blev sensorerne testet ved at tappe på dem, for derved at se om signalet blev registreret i CURO-appen på den tilkoblede iPad.

Studie 1: Til studie 1 blev der brugt 0 dB sensorer. iPad'en blev indstillet til low gain, da hestene både skulle skridte og trave.

Studie 2: til studie 2 blev der brugt 6 dB sensorer. iPad'en blev indstillet til high gain, for at øge styrken af signalet, da hestene kun skulle skridte.



Figur 5: Illustration af AMG-udstyrets montering. A: Set bagfra, B: set fra siden

3.5 Protokol

Studie 1

Der blev målt på GM og ST. Hestene fulgte et standardiseret opvarmningsprogram bestående af 5 minutters skridt (1,7 m/s) og derefter 5 minutters trav (5 m/s) på løbebånd.

Studie 2

Der blev målt på GM og ST. Hestene fik boksro i minimum 5 timer inden målingerne blev foretaget. Herefter blev de skridtet for hånd i 15 minutter på stor volte, 20x80 m, i et ridehus med fiberbund. Føreren befandt sig på hestens venstre side under hele undersøgelsen. Der blev vekslet mellem højre og venstre volte efter 2,5 minutter. Der blev foretaget tre målinger af samme hest - én måling om dagen fortløbende over tre sammenhængende dage.

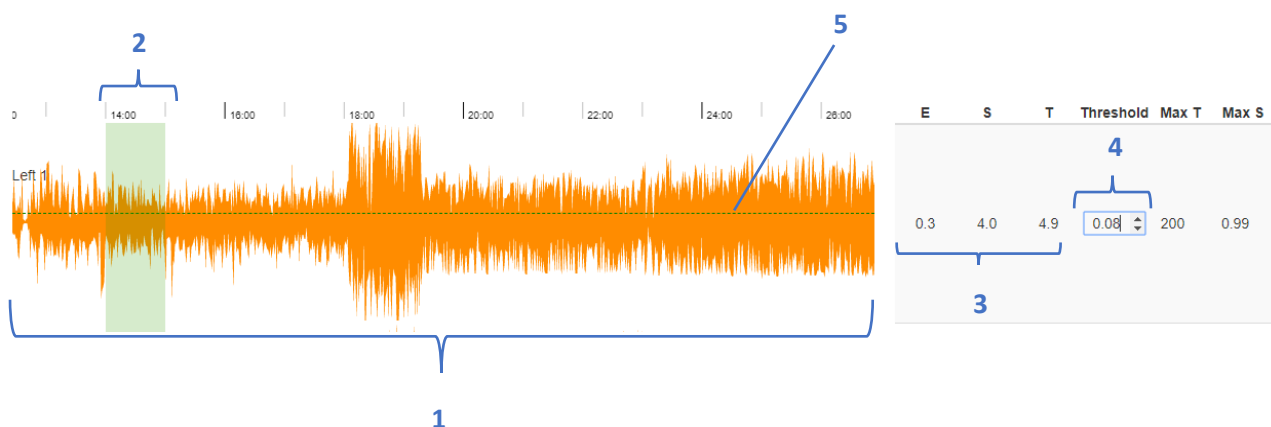
3.6 Dataanalyse

Resultaterne blev analyseret på hjemmesiden curo.softtheme.com. Datamaterialet fra hver hest blev analyseret fra minut til minut for at følge udviklingen i muskelfunktionen, og et eksempel på dette kan ses i Figur 6. Analysen udføres ved, at en markørboks manuelt indsættes over det tidsinterval af

lydfilerne, som ønskes analyseret. Ud fra indbyggede algoritmer på hjemmesiden beregnes et gennemsnit af henholdsvis E-, S- og T-scoren i det felt, hvor markørboksen er placeret. For hvert minut justeres en tærskelværdi individuelt for hver muskel, som har til formål at frasortere baggrundsstøj fra lydfilerne. Tærskelværdien justeres ved at finde det punkt, hvor der gives en værdi over 0 for alle tre scorer, og derefter hæves den yderligere med 0,02. I enkelte tilfælde, hvor signalet er meget svagt, kan tærskelværdien ikke hæves yderligere med 0,02 uden at forvrænge scorerne, og den fastsættes i stedet i det punkt, hvor der er gives en værdi over 0 for alle tre scorer. Hvis der ikke fås værdier for scorerne ved at indstille tærskelværdien på denne måde, udgår datapunktet.

Maksimal T-score (Max T) og maksimal S-score (Max S) er justeret som standardindstillingerne for hver af musklerne:

- GM: $Max T = 160$, $Max S = 0,99$
- ST: $Max T = 140$, $Max S = 0,8$



Figur 6: Figuren illustrerer analyseprogrammet på curo.softtheme.com. Den orange frekvens (1) viser lydfilen for venstre GM (Left 1). Markørboksen ses som det grønne felt (2). I højre side vises værdien for E-, S- og T-scoren (3), samt indstillingsmuligheden for tærskelværdien (4). Selve tærskelværdien ses som den stiplede linje (5), der løber igennem den orange frekvens.

3.7 Statistisk analyse

Studie 1: Den statistiske analyse blev foretaget i GraphPad Prism 8 (© 2018 GraphPad Software - <https://www.graphpad.com/scientific-software/prism/>). Datamaterialet blev testet for normalfordeling for hver score ved en D'Agostino-Pearson test. De data, som fulgte normalfordeling, blev yderligere testet med Repeated Measures One-Way Analysis of Variance (1way Anova) med Geisser- Greenhouse korrektion for at teste, om der skete en signifikant ændring

for de individuelle muskelværdier. For data, som ikke fulgte en normalfordeling fra start eller efter logaritmisk transformering, blev der udført en Friedman test.

Studie 2: Den statistiske analyse blev foretaget i GraphPad Prism 8. Initielt blev data undersøgt for normalfordeling. Derefter blev de tre dage sammenlignet med en Nested 1way Anova test for at afgøre, om der var statistisk signifikans mellem scorerne på de tre dage. I tilfælde af signifikans blev der udført Sidak's multiple comparisons post hoc test for at undersøge mellem hvilke dage, der forekom en signifikant ændring. For både højre og venstre ST blev udført en parret T-test, idet dag to udgik. Da der forekom statistisk signifikant variation mellem dagene, blev data fra hver dag analyseret individuelt. På data, der fulgte normalfordeling, blev der foretaget Repeated Measures 1Way Analysis of Variance med Geisser- Greenhouse korrektion for at undersøge for statistisk signifikans på udviklingen i muskelscore over tid. Data, der ikke fulgte en normalfordeling, undergik en Friedman test.

4. Resultater

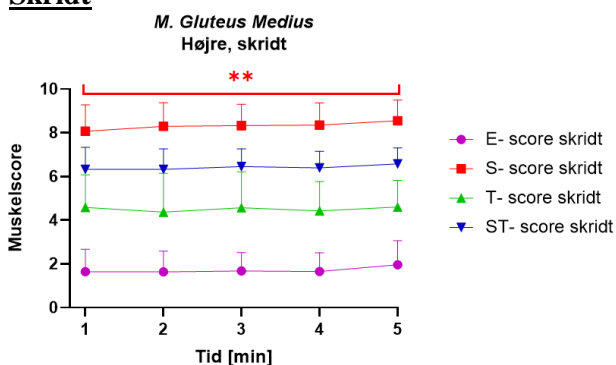
Studie 1: Ud af 56 potentielle målinger er en måling sorteret fra på grund af tekniske fejl. Der er således foretaget databehandling på 55 målinger.

Studie 2: Ud af 120 potentielle målinger er 23 sorteret fra på grund af tekniske fejl. Der er således foretaget databehandling på 97 målinger.

Resultatbehandlingen er delt op i studie 1 og studie 2, og er præsenteret muskel for muskel med individuel statistisk analyse af hver score. Error bars er kun præsenteret i positiv retning for at gøre graferne mere overskuelige. Signifikant forskel er angivet ved * ($P < 0,05$), ** ($P < 0,01$), *** ($P < 0,001$).

4.1 Studie 1

Skridt

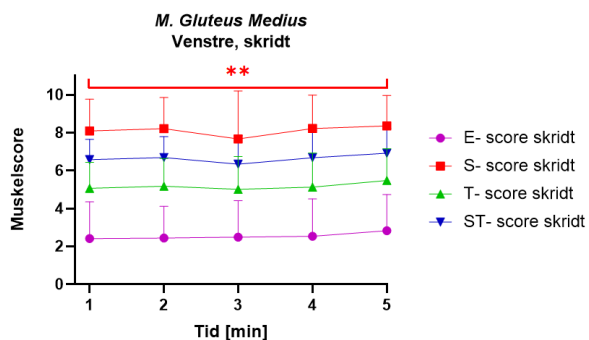


Figur 7: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for venstre M. gluteus medius i skridt. Statistisk signifikans ($P=0,002$) mellem minut 1 og minut 5 for S-scoren. Error bars=SD

Højre M. gluteus medius

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 19,51
S-score	+ 5,95
T-score	+ 0,44
ST-score	+ 7,47

Tabel 1: Den procentvise ændring fra minut 1-5 for højre M. gluteus medius i skridt.

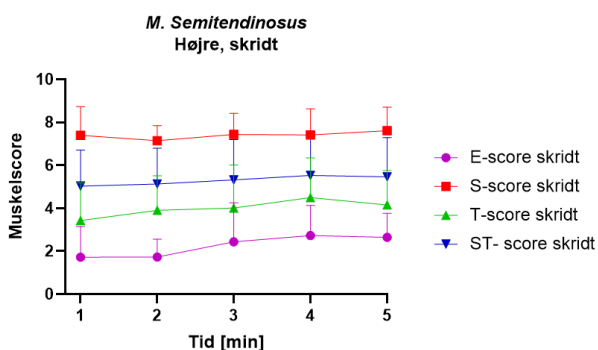


Figur 8: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for venstre gluteus medius i skridt. Statistisk signifikans ($P=0,003$) mellem minut 1 og minut 5 for S-scoren. Error bars=SD

Venstre *M. gluteus medius*

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 17,43
S-score	+ 3,34
T-score	+ 8,30
ST-score	+ 5,17

Tabel 2. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for venstre *M. gluteus medius* i skridt.

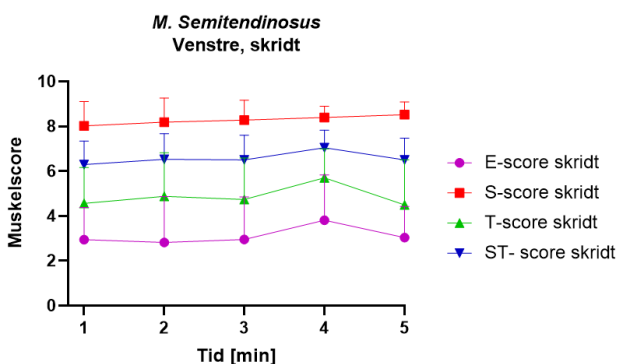


Figur 9: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for højre *M. semitendinosus* i skridt. Error bars=SD

Højre *M. semitendinosus*

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 53,49
S-score	+ 3,11
T-score	+ 20,99
ST-score	+ 8,76

Tabel 3. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for højre *M. semitendinosus* i skridt.



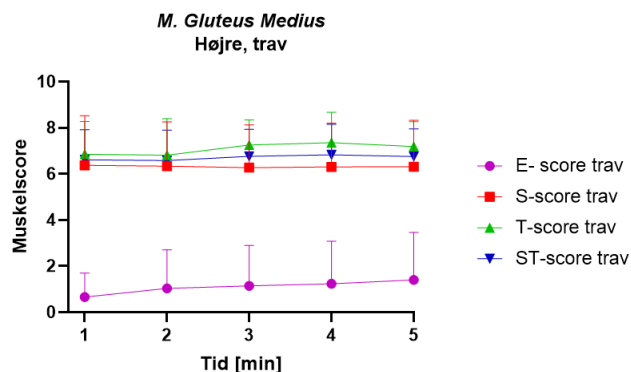
Figur 10: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for venstre *M. semitendinosus* i skridt. Error bars=SD

Venstre *M. semitendinosus*

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 3,06
S-score	+ 6,23
T-score	- 1,54
ST-score	+ 3,34

Tabel 4. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for venstre *M. semitendinosus* i skridt.

Trav

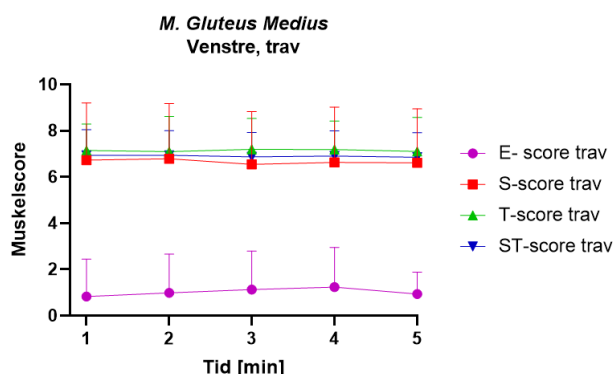


Figur 11: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for højre M. gluteus medius i trav.
Error bars=SD

Højre M. gluteus medius

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 113,64
S-score	- 0,95
T-score	+ 4,82
ST-score	+ 2,12

Tabel 5. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for højre M. gluteus medius i trav.

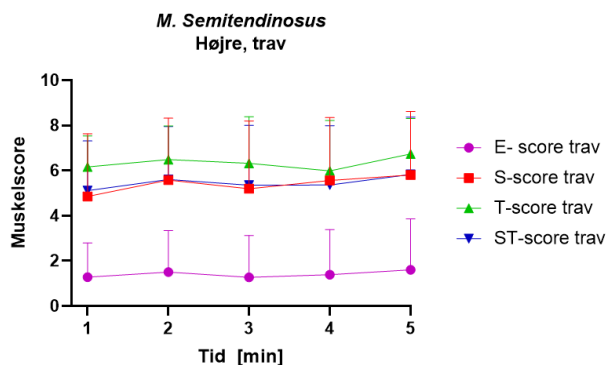


Figur 12: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for venstre M. gluteus medius i trav.
Error bars=SD

Venstre M. gluteus medius

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 13,41
S-score	- 1,82
T-score	- 0,56
ST-score	- 1,17

Tabel 6. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for venstre M. gluteus medius i trav.

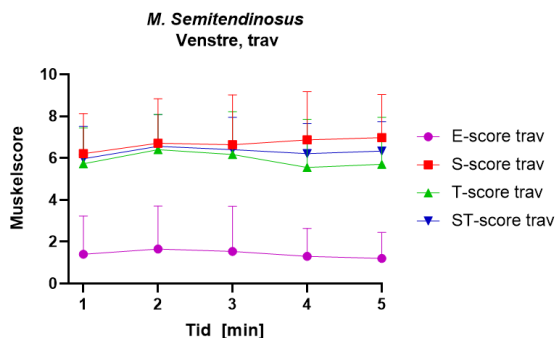


Figur 13: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for højre M. semitendinosus i trav.
Error bars=SD

Højre M. semitendinosus

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	+ 25,98
S-score	+ 20,21
T-score	+ 9,25
ST-score	+ 14,09

Tabel 7. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for højre M. semitendinosus i trav.



Figur 14: Udviklingen af E, S, T og ST scoren over 5 minutter for venstre *M. semitendinosus* i trav. Error bars=SD

Venstre *M. semitendinosus*

Procentvis ændring Minut 1-5 (%)	
Score	
E-score	- 16,67
S-score	+ 12,24
T-score	- 0,35
ST-score	+ 6,03

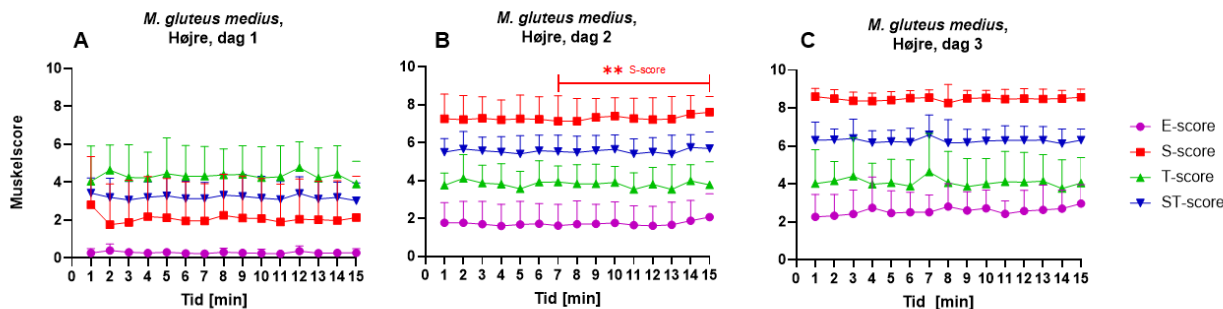
Tabel 8. Den procentvise ændring fra minut 1-5 for venstre *M. semitendinosus* i trav.

4.2 Studie 2

Data er i denne del præsenteret i to dele. Første del præsenterer forskellen på dagene. Det er angivet i tabellen under graferne, imellem hvilke dage der forekommer statistisk signifikans. Da resultaterne for del 1 viser, at der ikke er gentagelighed mellem dagene, er data delt op og analyseret dag for dag. Dette er præsenteret i del 2.

4.2.1 Del 1

Højre *M. gluteus medius*



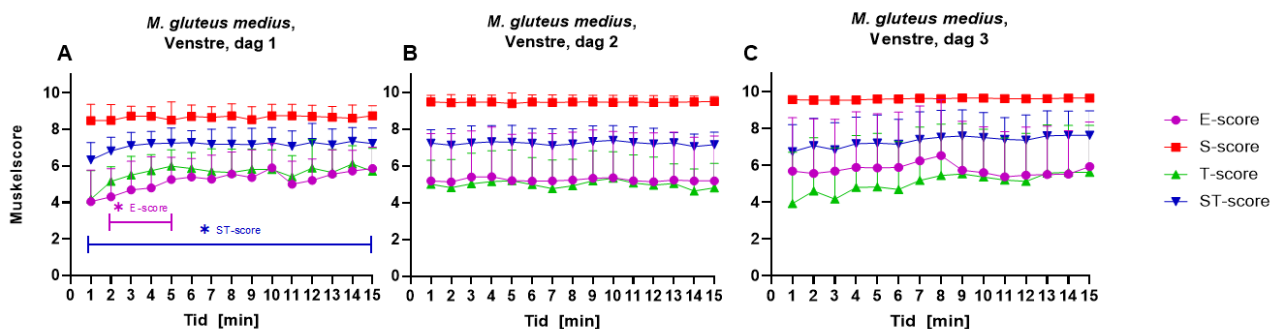
Figur 15: Udviklingen af muskelscorer for hvert minut hos samtlige 10 heste for (A) højre *M. gluteus medius* dag 1, (B) højre *M. gluteus medius*, dag 2, (C) højre *M. gluteus medius*, dag 3. Hvert punkt repræsenterer gennemsnittet af de 10 hestes værdier til et givent tidspunkt \pm standardafvigelsen. Error bars=SD. Signifikans ses på dag 2 for S-scoren fra minut 7-15, $P=0,006$

Højre *M. gluteus medius*.

	Dag 1 (A)	Dag 2 (B)	Dag 3 (C)
E-score	-	** ($P=0,002$)	*** ($P<0,0001$)
S-score	-	*** ($P<0,0001$)	*** ($P<0,0001$)
T-score	-	-	-
ST-score	-	*** ($P<0,0001$)	*** ($P<0,0001$)

Tabel 9: Tabellen angiver forskellen på scorerne imellem dag 1, 2 og 3 for højre *M. gluteus medius*. Signifikant forskel mellem dagene er angivet ved * ($P<0,05$), ** ($P<0,01$), *** ($P<0,001$) med dag 1 som udgangspunkt.

Venstre *M. gluteus medius*



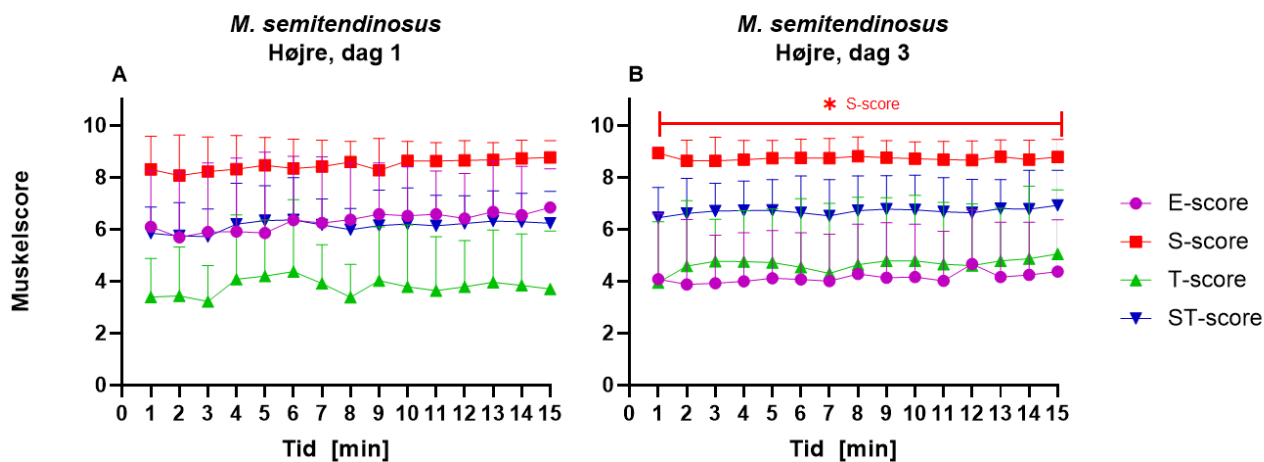
Figur 16: Udviklingen af muskelscorer for hvert minut hos samtlige 10 heste for (A) venstre *M. gluteus medius* **dag 1**, (B) venstre *M. gluteus medius*, **dag 2**, (C) venstre *M. gluteus medius*, **dag 3**. Hvert punkt repræsenterer gennemsnittet af de 10 hestes værdier til et givent tidspunkt \pm standardafvigelsen. Error bars=SD. Signifikans ses på dag 1 for E-scoren fra minut 2-5 ($P=0,04$) og ST-scoren fra minut 1-15 ($P=0,04$)

Venstre *M. gluteus medius*.

	Dag 1 (A)	Dag 2 (B)	Dag 3 (C)
E-score	-	-	-
S-score	-	* P=0,01	** P=0,003
T-score	-	-	-
ST-score	-	-	-

Tabel 10: Tabellen angiver forskellen på scorerne imellem dag 1, 2 og 3 for venstre *M. gluteus medius*. Signifikant forskel mellem dagene er angivet ved * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$), *** ($p<0,001$) med dag 1 som udgangspunkt.

Højre *M. semitendinosus*



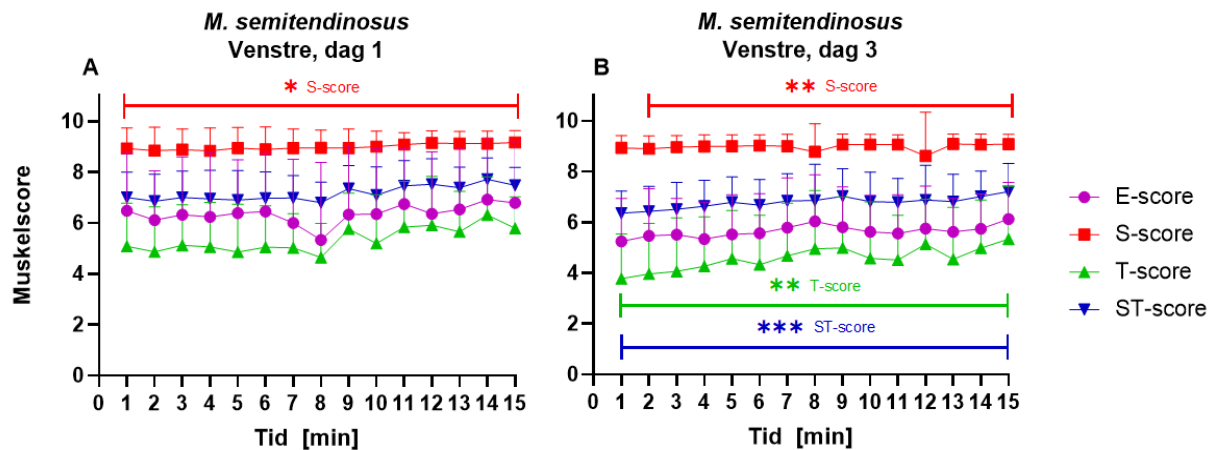
Figur 17: Udviklingen af muskelscorer for hvert minut hos samtlige 10 heste for (A) højre *M. semitendinosus* **dag 1** og (B) højre *M. semitendinosus* **dag 3**. Hvert punkt repræsenterer gennemsnittet af de 10 hestes værdier til et givent tidspunkt \pm standardafvigelsen. Signifikans ses på dag 3 for S-scoren fra minut 1-15 ($P=0,04$)

Højre *M. semitendinosus*

	Dag 1	Dag 3
E-score	-	* (fald) $P=0,02$
S-score	-	-
T-score	-	-
ST-score	-	-

Tabel 11: Tabellen angiver forskellen på scorerne imellem dag 1 og 3 for højre *M. semitendinosus*. Signifikant forskel mellem dagene er angivet ved * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$), *** ($p<0,001$) med dag 1 som udgangspunkt.

Venstre *M. semitendinosus*



Figur 18: Udviklingen af muskelscorer for hvert minut hos samtlige 10 heste for (A) venstre *M. semitendinosus* **dag 1** og (B) venstre *M. semitendinosus* **dag 3**. Hvert punkt repræsenterer gennemsnittet af de 10 hestes værdier til et givent tidspunkt \pm standardafvigelsen. Error bars=SD. Signifikans ses på dag 1 for S-scoren fra minut 1-15 ($P=0,01$), S-scoren på dag 3 i minut 2-15 ($P=0,04$), T-scoren dag 3 i minut 1-15 ($P=0,002$) og ST-scoren dag 3 i minut 1-15 ($P=0,0006$)

Venstre *M. semitendinosus*

	Dag 1	Dag 3
E-score	-	-
S-score	-	-
T-score	-	-
ST-score	-	-

Tabel 12: Tabellen angiver forskellen på scorerne imellem dag 1 og 3 for venstre *M. semitendinosus*. Signifikant forskel mellem dagene er angivet ved: * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$), *** ($p<0,001$) med dag 1 som udgangspunkt. Ingen signifikans mellem dagene observeres.

4.2.2 Del 2

Højre M. gluteus medius

E-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	+ 14,81	- 19,35	+ 12,00	<u>+ 3,7</u>
Dag 2	- 5,06	+ 4,73	+ 17,51	<u>+ 16,85</u>
Dag 3	+ 8,81	+ 10,12	+ 9,19	<u>+ 30,84</u>

Tabel 13: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for E-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for højre M. gluteus medius.

T-Score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	+ 9,88	- 4,5	- 7,78	<u>- 3,46</u>
Dag 2	- 4,80	+ 9,24	- 3,08	<u>+ 0,80</u>
Dag 3	+ 1,00	- 1,48	+ 1,25	<u>+ 0,75</u>

Tabel 15: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for T-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for højre M. gluteus medius.

S-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	- 24,20	- 1,88	+ 2,39	<u>- 23,84</u>
Dag 2	0,00	+ 1,93	+ 2,84	<u>+ 4,82</u>
Dag 3	- 2,09	+ 1,43	+ 0,35	<u>- 0,35</u>

Tabel 14: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for S-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for højre M. gluteus medius.

ST-Score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	- 4,08	- 3,65	- 4,57	<u>- 11,81</u>
Dag 2	- 1,63	+ 4,24	+ 0,88	<u>+ 3,45</u>
Dag 3	- 1,11	+ 0,48	+ 0,64	<u>0,00</u>

Tabel 16: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for ST-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for højre M. gluteus medius.

Venstre M. gluteus medius

E-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	+ 29,88	+ 12,17	- 0,68	<u>+ 43,28</u>
Dag 2	+ 0,19	+ 2,70	- 2,81	<u>0,00</u>
Dag 3	+ 2,98	- 4,43	+ 5,88	<u>+ 4,21</u>

Tabel 17 Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for E-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for venstre M. gluteus medius.

T-Score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	+ 43,30	- 3,01	- 1,72	<u>+ 36,60</u>
Dag 2	+ 3,80	+ 2,70	- 9,76	<u>- 3,80</u>
Dag 3	+ 22,90	+ 11,39	+ 28,54	<u>+ 43,26</u>

Tabel 19: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for T-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for venstre M. gluteus medius.

S-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	+ 0,35	+ 2,82	0,00	<u>+ 3,18</u>
Dag 2	- 0,95	+ 0,75	+ 0,42	<u>+ 0,21</u>
Dag 3	+ 0,21	+ 0,63	0,00	<u>+ 0,84</u>

Tabel 18 Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for S-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for venstre M. gluteus medius.

ST-Score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Dag 1	+ 14,53	+ 0,41	- 0,69	<u>+ 14,22</u>
Dag 2	+ 0,69	+ 1,51	- 3,24	<u>- 1,10</u>
Dag 3	+ 6,80	+ 4,16	+ 1,60	<u>+ 13,02</u>

Tabel 20: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for ST-scoren på henholdsvis dag 1, 2 og 3 for venstre M. gluteus medius.

Højre M. semitendinosus

E-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	- 3,94	+ 11,28	+ 4,92	+ 12,15
Dag 3	+ 0,98	+ 1,22	+ 5,05	+ 7,37

Tabel 21: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for E-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for højre M. semitendinosus.

T-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	+ 23,60	- 9,79	- 2,12	+ 9,14
Dag 3	+ 19,49	+ 1,27	+ 5,65	+ 27,85

Tabel 23: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for T-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for højre M. semitendinosus.

S-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	+ 1,93	+ 2,01	+ 1,51	+ 4,54
Dag 3	- 2,13	- 0,23	+ 0,80	- 1,57

Tabel 22: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for S-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for højre M. semitendinosus.

ST-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	+ 8,21	- 1,90	+ 0,32	+ 6,5
Dag 3	+ 4,50	+ 0,30	+ 2,52	+ 7,45

Tabel 24: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for ST-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for højre M. semitendinosus.

Venstre M. semitendinosus

E-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	- 1,54	- 0,47	+ 6,93	+ 4,78
Dag 3	+ 5,14	+ 1,81	+ 9,07	+ 16,76

Tabel 25: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for E-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for venstre M. semitendinosus.

T-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	- 4,53	+ 7,01	+ 11,56	+ 13,98
Dag 3	+ 20,90	+ 0,22	+ 16,59	+ 41,27

Tabel 27: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for T-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for venstre M. semitendinosus.

S-score

	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	+ 0,22	+ 0,67	+ 1,78	+ 2,69
Dag 3	+ 0,78	+ 0,67	+ 0,22	+ 1,68

Tabel 26: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for S-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for venstre M. semitendinosus.

ST-score

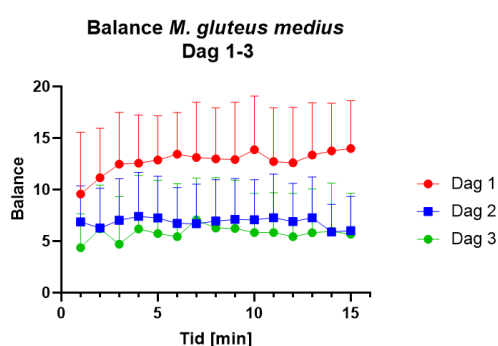
	Minut 1-5 (%)	Minut 5-10 (%)	Minut 10-15 (%)	Minut 1-15 (%)
Score				
Dag 1	- 1,43	+ 2,90	+ 5,35	+ 6,86
Dag 3	+ 6,76	+ 0,44	+ 5,72	+ 13,36

Tabel 28: Tabellen viser den procentvise ændring i fire minutintervaller for ST-scoren på henholdsvis dag 1 og 3 for venstre M. semitendinosus.

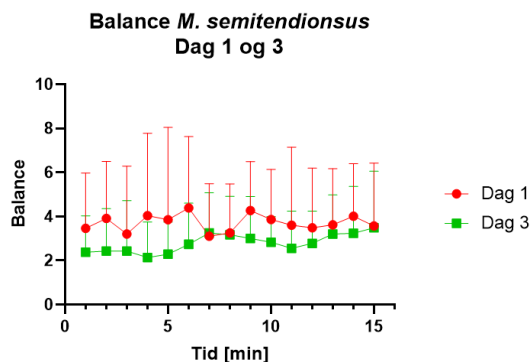
Balance

Resultaterne for balancen er illustreret i graferne herunder.

Den numeriske værdi er angivet, idet relevant data for projektet er udviklingen i balancen hos hesten, og ikke data om hvilken side der arbejder mest.



Figur 19: Udvikling af balancen for *M. gluteus medius* for dag 1-3. Punkterne repræsenterer den gennemsnitlige numeriske værdi for 10 heste i 15 minutter.



Figur 20: Udvikling af balancen for *M. semitendinosus* for dag 1 og 3. Punkterne repræsenterer den gennemsnitlige numeriske værdi for 10 heste i 15 minutter.

5. Diskussion

Formålet med dette projekt var at undersøge effekten af opvarmning i skridt og trav på muskelarbejde ved hjælp af AMG. I de følgende afsnit er resultaterne og hvert af de specifikke mål diskuteret og sammenholdt med eksisterende litteratur.

5.1 Studie 1

5.1.1 Effekten af 5 minutters skridt

Data fra studie 1 viser udviklingen i skridt for 14 travheste på løbebånd. Der ses en procentvis stigning af varierende grad for alle scorer i løbet af de 5 minutters skridt, dog med undtagelse af T-scoren for venstre ST. Stigningen er kun signifikant for S-scorens udvikling ved både højre og venstre GM. Årsagen til dette kan forklares med, at det er svært at opnå statistisk signifikans på non-parametrisk data i en lille testpopulation. Stigning, der ses for de fleste af scorerne, tyder dermed på, at der sker en påvirkning af musklerne, så de arbejder mere effektivt (E-score), med færre aktiverede fibre (S-score) og med lavere fiberaktiverings frekvens (T-score) i minut 5 set i forhold til minut 1.

Studie 1 viser desuden, at der primært sker en stigning i det sidste minut, samt at der ikke sker en stabilisering af scorerne. Det kan indikere, at disse målinger er af for kort varighed til at se den endelige effekt. I et humant studie ²¹ blev effekten af opvarmning på muskeltemperaturen og den efterfølgende præstation testet. Studiet konkluderer, at der efter gennemsnitligt 9 minutter sker en stigning i muskeltemperatur på 3 °C. Derudover konstaterede vi, at den gennemsnitlige opvarmningstid, ifølge den undersøgte litteratur, var 9,7 minutter i skridt (jvf. Skema 3). Dette understøtter vurderingen af, at 5 minutter i skridt ikke er tilstrækkeligt til at opnå opvarmning af musklerne for heste.

Samlet set, ud fra resultaterne af studie 1, vurderes det, at opvarmning i 5 minutters skridt giver en ændring i muskelfunktionen, men at ændringen ikke findes entydig statistisk signifikant.

5.1.2 Effekten af 5 minutters trav

Ved sammenligning af graferne for skridt og trav ses det tydeligt, at der sker en ændring i scorerne mellem de to gangarter. Den udvikling, der sker når hestene skifter gangart fra skridt til trav, går igen ved alle musklerne (se Bilag 2, for samlede grafer for skridt og trav). I et studie af Fenger og Harrison (2017) ²⁶ ses samme mønster for muskelfunktion hos hunde. Det fald, der sker i S-scoren, repræsenterer den øgede mængde fibre, som rekrutteres i forbindelse med den øgede belastning, der forekommer i trav ift. skridt. E-scoren falder som konsekvens af musklens mindre effektive arbejde, da den er aktiveret i længere perioder for at kunne udføre det krævede arbejde i trav. I modsætning stiger T-scoren i forbindelse med overgangen, fordi der sker et skift fra potentiel/kinetisk energi til elastisk energi. Det betyder, at man går fra udelukkende muskelarbejde til muskelarbejde plus en opsparet energi. Denne opsparede energi lagres i sener, bindevæv og ligamenter, og bliver frigivet ved bevægelse²⁶. Den elastiske energi kombineres med muskelarbejdet ved bevægelse, så musklerne ikke skal producere ligeså stor en kraft. Denne teori understøttes også af Payne et. al (2005)¹⁶, som beskriver, at senerne oplagrer energi i trav og galop, som på den måde nedsætter mængden af det arbejde, som musklerne skal udføre for at igangsætte fremadførelsen af benet.

I de efterfølgende minutter i trav er ændringerne i scorerne for muskelfunktionen varierende. I 10 ud af 16 tilfælde stiger scorerne fra minut 1 til minut 5, som indikation for, at musklerne opvarmes i løbet af travperioden. Dog er stigningen ikke signifikant, og der ses også fald i scorerne i 6 ud af 16 tilfælde. Da der ikke ses et entydigt resultat eller markante ændringer, kan der ikke drages nogen

endelig konklusion af, hvilken effekt travperioden har. Variationen i ændringen mellem stigning og fald for muskelscoren kan forklares ud fra, at der forekommer en individuel variation mellem hestene, fordi der i studie 1 blev brugt en blanding af trænedede og utrænede heste. Dette afspejles også af, at der på graferne ses en høj standardafvigelse. I et tidligere studie af J. Williams (2017)²⁹, hvor elektromyografi (EMG) er anvendt til at måle muskelfunktion, forekommer samme problemstilling. Her findes stor individvarians, og det konkluderes, at den store variation mellem hestene gør det vanskeligt at lave pålidelige sammenligninger af muskelfunktionen hos heste i forskellige grupper.

Ved påbegyndelse af projektet var det forventet, at der ville forekomme en mere markant ændring for muskelscorerne under travperioden. Resultaterne for studiet har imidlertid vist, at det er vanskeligt entydigt at afgøre, om den manglende udvikling er et resultat af; at hestene er påvirkede af den forudgående opvarmning i skridt, om hastigheden, hvormed de traver, ikke er høj nok, eller om opvarmingsperioden i trav er for kort.

Resultaterne for del 2 antyder, at der sker en påvirkning af muskelfunktionen i overgangen til trav, idet der tilføres en elastisk energi til muskelarbejdet. I de efterfølgende minutter sker der en procentvis ændring for muskelscorerne i trav, men ændringerne er ikke entydige og er uden statistisk signifikans, hvilket vanskeliggør at konkludere en effekt af travproceduren.

5.2 Studie 2

5.2.1 Variation mellem dage

Resultaterne for studie 2 viser, at der ikke er reproducerbarhed mellem dagene, og at der er signifikant variation mellem dag 1 og 2 samt dag 1 og 3 for E-, S- og ST-scoren af højre GM, for S-scoren af venstre GM samt for E-scoren af højre ST.

Flere årsager kan ligge til grund for, at der ses en signifikant stigning mellem dagene for E-, S- og ST-scoren for højre GM og S-scoren for venstre GM. Forklaringen kan ligge ved, at hestene reagerer på at være iført anderledes udstyr, samt at de blev håndteret af fremmede personer, der ikke var iført uniform. Dette kan påvirke hestene til at være mere anspændte, idet de holder sig beredt til at springe væk, fordi heste har et stærkt flugtinstant. Teorien understøttes af, at vi har en lav S-score for højre GM på dag 1 i forhold til dag 2 og 3, som afspejler at flere fibre er aktive, samt at effektiviteten (E-scoren) også har en signifikant lavere værdi på dag 1 ift. dag 2 og 3. Dog kræves yderligere undersøgelser for at kunne af- eller bekræfte teorien.

Hestene håndteres fra venstre side, og en naturlig reaktion vil være, at de derfor skyder kroppen ud mod højre side for at holde sig mere på afstand. Når de skyder kroppen ud mod højre, vil det kræve større aktivering af musklerne i højre side. Dette stemmer overens med resultaterne fra højre GM, samt den større variation mellem dagene for højre GM ift. venstre GM. Denne teori underbygges også af resultaterne for balancen. De afspejler, at der for dag 1 er større ubalance mellem højre og venstre side, hvor der klart ses en forbedring på dag 2 og 3 i takt med at hestene vænner sig til proceduren. Denne tendens har til vores kendskab ikke hidtil været undersøgt, derfor har sammenligning med tidligere studier ikke været muligt.

Da sensorerne har en begrænset levetid¹⁸, som endnu ikke er definitivt fastsat, kan ændringen for højre GM også skyldes, at denne sensor er blevet udtrættet efter målingerne foretaget på første dag. Den sensor, som blev brugt til højre GM, var den eneste sensor, der ikke blev udskiftet under de tre målingsdage.

Faldet for E-scoren for højre ST fra dag 1 til dag 3 kan eventuelt skyldes, at sensoren inden målingerne på dag 3 blev udskiftet. Dette kan have påvirket målingerne og dermed også scorerne, og det kan derfor være forklaringen på, at der ses variation imellem dagene, specielt for E-scoren. Der er ikke blevet skiftet til ubrugte sensorer. Det er derfor ikke muligt at identificere, om udskiftningen har haft positiv eller negativ effekt for signalet, fordi det ikke er muligt at sige, om den nye sensor har været brugt flere eller færre gange end den, der udskiftes. Det har ikke været muligt at give en biologisk forklaring på dette fald, og derfor formodes det at kunne tilskrives tekniske fejlkilder.

Resultaterne for studie 2 viser, at muskelfunktionen ikke udvikler sig ens ved målinger med samme procedure 3 dage i træk, da der ses statistisk signifikant variation mellem dagene. Det er ikke muligt at afgøre, om variationen skyldes tekniske fejlkilder eller reelle ændringer i muskelfunktionen.

5.2.2 Udvikling over tid

Graferne viser, at muskelscorerne for de 10 heste generelt holder sig meget stabilt med en mindre stigning for langt de fleste scorer i løbet af de 15 minutter for alle 3 dage. Stigningen indikerer altså at opvarmningen har en positiv indvirkning, idet muskelfunktionen forbedres i flere tilfælde.

For den procentvise ændring af muskelscorerne ses der en stigning i 31 ud af 40 scorer fra minut 1 til minut 15. Stigningen er dog kun signifikant i 7 ud af 40 tilfælde, også selvom der ses en større procentvis stigning for flere af dem. Det overordnede billede tyder altså på, at opvarmningen bidrager til en forbedring af muskelfunktionen indikeret af højere E-, S- og T-score.

Årsagen til at ændringen kun i få tilfælde er signifikant kan skyldes statistiske usikkerheder, da det er sværere at opnå signifikans med en lille testpopulation, og at det ligesom for studie 1 er svært at opnå statistisk signifikans for non-parametrisk data. En anden mulig forklaring kan være, at tempoet, som hestene skridter i, er for langsomt til at give en tilstrækkelig intensitetsændring for at kunne se en tydeligere effekt på muskelfunktionen.

Resultaterne for studie 1 antyder, at der sker en positiv udvikling af muskelfunktionen for GM og ST i skridt, men at denne udvikling kun i få tilfælde viser statistisk signifikans.

5.3 Balance

Det er relevant at se på balancens udvikling under opvarmning for studie 2, da de fleste discipliner indenfor hestesport kræver en symmetrisk og balanceret hest³⁰. For studie 1, hvor der bruges travheste, er det ikke realistisk at vurdere balance, da de er trænet og avlet til at trave i et meget hurtigere tempo. Det vil derfor være svært for dem at arbejde balanceret i et lavere tempo. Fra vores data for studie 2 ses en stigning i balancescoren over de 15 minutter. Dette virker umiddelbart kontraintuitivt, da vi havde forventet en bedre balance mellem siderne, jo mere opvarmet hesten blev. Tendensen til forringet balance, som følge af opvarmning, kan dog forklares ud fra effekten af opvarmning af det bindevæv, som findes i muskler og led¹⁸. Når bindevævet er koldt, er det uelastisk og stift. Det er derfor med til at stabilisere leddene og begrænse bevægeligheden. Det betyder også, at musklernes bevægelighed er mere begrænset, og en eventuel præference for at arbejde mere med den ene side end den anden maskeres. Når bindevævet varmes op, bliver det mere elastisk og fleksibelt, og det gør, at musklerne kan bevæge sig mere frit. Dermed vil en eventuel ubalance komme mere til udtryk, fordi stabiliseringen fra bindevævet gradvist forsvinder. Dog skal resultaterne for balancen behandles med forsigtighed, da dette studie ikke er designet til at undersøge balancen, og der kan derfor være mange faktorer, der spiller ind og kan påvirke resultaterne. Ydermere ses en høj standardafvigelse for resultaterne for balancen, hvilket indikerer,

at der er stor individvariation. Det bør derfor også tages i betragtning, at det er et kendt fænomen, at heste typisk favoriserer en side over den anden under arbejde⁶.

5.4 Fejlkilder

I dette afsnit diskuteres de forskellige faktorer, der kan påvirke målingerne opdelt i biologiske og tekniske fejlkilder.

5.4.1 Biologiske fejlkilder

Biologiske fejlkilder indbefatter blandt andet variationen for populationernes alder, træningsstadie og genetiske opbygning af muskler¹³, da dette påvirker sammensætningen af fibertyper i musklen. Leisson et. al (2008)¹³ har i et studie undersøgt, hvordan sammensætning af fibertyper i hestens lokomotoriske muskler ændres i takt med alder. Studiet påviser, at der forekommer en større andel af type I fibre, jo ældre hesten er. Da hestene i vores testpopulationer er mellem 5-15 år, kan denne faktor derfor også være med til at påvirke, hvordan hestene hver især responderer på opvarmning i skridt. I samme studie er det påvist, at fordelingen af fibertyper påvirkes af, hvilken træningsform hestene har været udsat for, samt hvilket træningsstadie de befinder sig i. Begge faktorer kan påvirke, at der ses en variation for, hvordan hestene responderer på opvarmningsprocedurerne, idet fordelingen af fibertyper er individuel for hestene.

Et andet studie påviser, at det hovedsageligt er type I fibre, som aktiveres, når hesten skridter^{31,32}. GM og ST er begge lokomotoriske muskler med en større andel af type II fibre. Hvis opvarmning i skridt hovedsageligt medfører aktivering af type I fibre, kan dette også være forklaringen på, at der ikke ses en signifikant ændring for muskelfunktionen, når hestene skridtes for hånd i 5 og 15 minutter, da vi ikke får aktiveret hovedbestanddelen af fibertyperne i musklerne.

En anden biologisk faktor, som kan påvirke vores målinger er, at hestene ikke har været bundet op i de 5 timer, de har stået i boks inden målingerne. Heste, som eventuelt har gået mere rundt i boksen, vil derfor have en anden påvirkning af muskelaktiviteten, før målingen går i gang, hvilket kan bidrage til variation for muskelfunktionen i de efterfølgende målinger.

Variation blandt hestene kan også opstå som følge af, at de ikke bruger de samme muskler under arbejde. I et humant studie af Harrison et al. (2012)³³ konstateres det, at en gruppe løbere, der udfører det samme stykke arbejde, har forskellig præference i forhold til at bruge enten den laterale

eller den mediale del af *M. Gastrocnemius*. Selvom det er et humant studie, er det relevant at overveje, om samme tendens gør sig gældende for heste. Ikke-publicerede studier af Harrison tyder på, at nogle heste aktiverer *M. gluteus superficialis* mere end GM under arbejde, og at GM først aktiveres senere i arbejdet¹⁸. For de heste, hvor vi ser meget svage signaler for GM, kan det altså være et resultat af, at de aktiverer *M. gluteus superficialis* mere under opvarmning.

5.4.2 Tekniske fejlkilder

Under målingerne konstateres komplikationer i forbindelse med udtrætning af de piezoelektriske sensorer, som har givet anledning til tekniske fejlkilder ved dataindsamling for studie 2.

Sensorerne blev kontrolleret inden hver måling. På trods af dette kunne det under målingerne alligevel konstateres, at signalerne i flere tilfælde var meget svage. De sensorer, der blev anvendt, har været brugt i et tidligere specialeprojekt, men det præcise antal gange, de har været anvendt, kendes ikke. På baggrund af personlig kommunikation med udstyrets udvikler A. Harrison vides det, at sensorerne har en begrænset levetid. Det er dog ikke fastlagt, præcis hvor mange målinger, sensorerne kan holde til. Når sensorerne bliver slidte, har messingpladen tendens til at løsne sig fra resten af sensoren. Det betyder, at selve signalet fra muskelkontraktionerne bliver dårligere transmitteret samtidig med, at der opstår støj på optagelserne. Det kan give en fejlfortolkning af signalerne. Et støjende signal kan give anledning til at aflæse generelt for lave scorer, fordi det eksempelvis for amplituden (S-scoren) kan ligne, at amplituden er meget høj (mange aktiverede fibre), når det i virkeligheden er støj, der forstyrrer. Omvendt kan svage signaler give anledning til at aflæse generelt for høje scorer, fordi det er svært at tilpasse tærskelværdien til de lave værdier. Tærskelværdien kan på hjemmesiden curo.softtheme.com kun indstilles med et interval på 0,01. Det betyder, at man ved de lave signaler får meget store udsving i E-, S- og T-score, når man ændrer tærskelværdien. For at kunne aflæse data mere nøjagtigt, og derved opnå mere præcise værdier for muskelscorerne, kræver det bedre mulighed for finjustering af tærskelværdien.

Yderligere studier er nødvendige for at fastsætte holdbarheden af sensorerne samt at afgøre om der findes en anden mere sensitiv metode til at teste sensorerne inden brug.

En anden usikkerhed ved udstyret er, at de sensorer, som er placeret over ST, er følsomme for, når hesten slår med halen. Dette vil give en forstyrrelse af signalet under optagelsen, som kan resultere i en fejlfortolkning af datamaterialet.

5.5 Begrænsninger

Størrelsen af de to testpopulationer giver en begrænsning for studiets styrke. Med en større population ville validiteten af resultaterne øges. Jo flere heste der inddrages, jo mere tilnærmes den sande effekt af opvarmning for heste. En større testpopulation kunne også være med til at påvirke den statistiske signifikans, da det er vanskeligt at opnå statistisk signifikans for en lille testpopulation.

Det havde været relevant at foretage flere gentagne målinger for begge studie. Det ville give et mere sikkert resultat af udviklingen af muskelfunktionen i forbindelse med opvarmning og udelukke tilfældighedsfaktorer. Derudover ville hestene med al sandsynlighed vænne sig mere til proceduren og udstyret, så også forstyrrelsen fra denne faktor kan udelukkes.

En stor begrænsning for dette studie er, at der ikke findes nogen Gold Standard for måling af muskelfunktion eller for en opvarmet muskel, hverken i forbindelse med myografi eller specifikt for E-, S-, og T-score ved AMG³⁴. Hvis der havde eksisteret bestemte grænseværdier for E-, S- og T-scoren, eller hvis et bestemt udviklingsmønster for muskelfunktionen i forbindelse med opvarmning var kendt, så havde det med større sikkerhed været muligt at konkludere, hvordan de valgte procedurer bidrager til opvarmning. Dermed kunne man også nærmere fastlægge en bestemt sammensætning for opvarmning. Med en Gold Standard havde det været muligt også at vurdere, om de ændringer, som vi ser for vores resultater, skyldes en ændring i muskelfunktionen eller komplikationer med udstyret.

6. Konklusion

6.1 Studie 1

Resultaterne for studie 1 viser, at 5 minutters skridt kun giver en signifikant ændring for S-scoren for højre og venstre GM. På trods af dette viser graferne og den procentvise ændring fra minut 1-5, at 5 minutters opvarmning i skridt alligevel påvirker muskelscorerne til en stigning af varierende grad for både GM og ST. Musklerne arbejder således mere energibesparende, idet de arbejder mere effektivt (højere E-score), med et færre antal aktiverede fibre (højere S-score) og med lavere frekvens af fiberkontraktioner (højere T-score). Resultaterne viser, at opvarmning i skridt i 5 minutter giver en ændring i muskelfunktionen for GM og ST ud fra proceduren i studie 1, idet resultaterne viser en ændring, som dog kun findes signifikant for enkelte scorer.

Ved opvarmning med 5 minutters trav (efter 5 minutters skridt) ses der ikke en statistisk signifikant ændring for muskelfunktionen fra minut 1 til minut 5. Der ses ikke nogen klar tendens i ændringen for muskelfunktionen, da muskelscorerne viser stigninger og fald af varierende grad.

Hypotesen om at opvarmning i trav giver en ændring for muskelfunktionen for GM og ST kan ikke bekræftes ud fra den opstillede procedure.

6.2 Studie 2

Resultaterne for studie 2 viser, at der ikke er reproducerbarhed mellem de tre målingsdage. Muskelfunktionen på dag 2 og 3 er forskellig fra dag 1 for alle muskler, hvilket antyder, at der sker en ændring mellem dagene. Det kan dog ikke afgøres, om denne ændring ses som følge af udtrætning og deraf udskiftning af sensorer, eller fordi der sker en ændring i muskelfunktionen hos hestene.

Hvis vi ser på udviklingen over tid, ser vi ikke nogen klar tendens eller sammenhæng, hvormed muskelfunktionen ændrer sig ved opvarmning i skridt i 15 minutter for hverken GM eller ST. Det overordnede billede antyder dog, at der for de fleste af muskelscorerne (31 af 40) sker en stigning i den procentvise ændring mellem minut 1 og 15, som indikerer, at den effekt opvarmningen har, forbedrer muskelscorerne og dermed muskelfunktionen. For studie 2 ser vi også, at opvarmning i skridt medfører en ændring for GM og ST, men ændringen findes ikke entydig statistisk signifikant.

Hypotesen om, at opvarmning i skridt giver en ændring for muskelfunktionen for GM og ST kan delvis bekræftes ud fra resultaterne for studie 1 og studie 2, idet resultaterne viser, at der sker en ændring, dog uden entydig statistisk signifikans.

7. Perspektivering

Selvom resultatet for dette specialeprojekt viser, at opvarmning har en positiv effekt på muskelfunktionen, er der stadig behov for at foretage yderligere undersøgelser for at kunne sammensætte de mest optimale opvarmningsprocedurer. Dette projekt er med til at danne et grundlag for fremtidige studier, og vores resultater kan forhåbentlig være med til at give ny viden omkring opvarmning af heste samt anvendelse af AMG-udstyret.

Et af de interessante resultater under studie 1 var den ændring, der skete i muskelscorerne i overgangen fra skridt til trav. Denne ændring vil være relevant at undersøge yderligere. Dels kunne det have relevans at måle på både statiske og dynamiske muskler for at undersøge, om der eventuelt er større aktivitet på de statiske muskler i skridt. Derudover vil det i den forbindelse også være relevant at måle hestene i f. eks 15 minutters skridt og derefter sætte dem i trav for at se, om der efter længere tids opvarmning sker et lige så stort fald i scorerne, eller om udviklingen vil være mere stabil.

Det har gennem litteraturstudiet også været klart, at flere parametre kan påvirke opvarmningen. Det vil derfor også være relevant at foretage et studie, hvor målingerne blev foretaget med rytter og ikke for hånd. Det vil være en yderligere tilnærmelse til den virkelighed, som de fleste sportsheste arbejder i.

I studie 2 var det klart, at balancen i muskelfunktionen udviklede sig bemærkelsesværdigt. Dette studie var ikke designet til at teste balancen, og derfor kan det være svært at konkludere noget ud fra resultaterne. Resultaterne giver dog anledning til at undersøge, hvordan balancen reelt udvikler sig under opvarmning i fremtidige studier. Det kunne testes ved, at hestene håndteres af deres vante personer samt at der foretages sideskift systematisk.

Derudover så vi også, at der i studie 2 ikke var gentagelighed mellem dagene. Derfor vil det være relevant at gentage studiet flere dage i træk eller på flere forskellige testpopulationer. Dette også med henblik på at undersøge om hestene reagerer på udstyret, eller om det i studie 2 har været udelukkende påvirkning af, at fremmede personer har gået med dem.

Et andet fremtidigt studie, hvor data fra dette studie eventuelt vil kunne anvendes, er ved et studie hvor opvarmningens betydning for den enkelte hest vurderes. Derved er det muligt at opnå større viden om, hvordan hver enkelt hests score udvikler sig i løbet af en opvarmningsperiode. Det formodes, at det herved kan gøre det muligt at fastlægge enten en procentvis stigning eller en

bestemt score, som hestene skal opnå for at være tilstrækkeligt opvarmede. På den måde vil man komme tættere på en Gold Standard for opvarmning, og det vil gøre fremtidige studier mere valide.

Der findes andre metoder til at måle muskelaktivitet. En af de metoder der har været meget anvendt til at måle muskelaktivitet, er overflade elektromyografi (sEMG), som måler på musklernes elektriske aktivitet. Forskellen mellem de to metoder er, at sEMG opfanger de elektriske impulser, hvor AMG opfanger lydbølger fra muskelkontraktioner. Fælles for begge metoder er, at de kan måle udviklingen af muskelfunktionen. I et studie af Harrison et. al. 2013²⁷ har de testet AMG sammen med sEMG, hvor man ser de samme tendenser i signalet for begge metoder. Det kunne også være relevant at udføre studie 2 med både sEMG og AMG påsat for at se, om de udsving, som vi ser i resultaterne for AMG, også ville vise sig med sEMG.

8. Referencer

1. Fradkin, A. J., Gabbe, B. J. & Cameron, P. A. Does warming up prevent injury in sport? The evidence from randomised controlled trials? *J. Sci. Med. Sport* **9**, 214–220 (2006).
2. Hedrick, A. Exercise physiology: physiological responses to warm-up. *Strength Cond. J.* **14**, 25–27 (1992).
3. Murray, R. C., Mann, S. & Parkin, T. D. Warm-up in dressage competitions: association with level, competition type and final score. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* **3**, 185 (2007).
4. Woods, K., Bishop, P. & Jones, E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sport. Med.* **37**, 1089–1099 (2007).
5. Harrison, A. P. A more precise, repeatable and diagnostic alternative to surface electromyography - an appraisal of the clinical utility of acoustic myography. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* **38**, 312–325 (2018).
6. Acutt, E. V., Le Jeune, S.S. & Pypendop, B.H. Evaluation of the Effects of Chiropractic on Static and Dynamic Muscle Variables in Sport Horses. *J. Equine Vet. Sci.* **73**, 84–90 (2019).
7. Claudel, C. G., Ahmed, W., Elbrønd, V.S., Harrison, A. P. & Bartels, E.M. The relation between maximal voluntary force in m. palmaris longus and the temporal and spatial summation of muscle fiber recruitment in human subjects. *Physiol. Rep.* **6**, (2018).
8. Klein, B. G. Cunningham's textbook of veterinary physiology. (Fifth edition. St. Louis, Mo. : Elsevier/Saunders, ©2013).
9. Rivero, J. L. L. & Piercy, R. J. Muscle physiology: responses to exercise and training. *Equine Exerc. Physiol. Sci. Exerc. Athl. horse* 30–80 (2008).
10. Vermeulen, R. *et al.* Effects of training on equine muscle physiology and muscle adaptations in response to different training approaches. *Vlaams Diergeneesk. Tijdschr.* **86**, 224–230 (2017).
11. Lindholm, A. Training effects on skeletal muscle in horses. *Proc. 6th Zavrnik Meml. Meet. Lipica, 9-11 Novemb. 1995.* 65-70 (1997).
12. Votion, D. M. *et al.* Muscle energetics in exercising horses. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* **4**, 105–118 (2007).
13. Leisson, K., Jaakma, Ü. & Seene, T. Adaptation of equine locomotor muscle fiber types to endurance and intensive high speed training. *J. Equine Vet. Sci.* **28**, 395–401 (2008).
14. Rose, R. J. Muscle response to exercise. *Equine Vet. Data* **4**, 227–228 (1983).
15. Rivero, J. L. L. A scientific background for skeletal muscle conditioning in equine practice. *J. Vet. Med. Ser. A* **54**, 321–332 (2007).
16. Payne, R. C., Hutchinson, J. R., Robilliard, J. J., Smith, N. C. & Wilson, A. M. Functional specialisation of pelvic limb anatomy in horses (*Equus caballus*). *J. Anat.* **206**, 557–574 (2005).
17. Merkens, H. W., Schamhardt, H. C., Van Osch, G. J. & Van den Bogert, A. J. Ground reaction force patterns of Dutch warmblood horses at normal trot. *Equine Vet. J.* **25**, 134–7 (1993).
18. A.P. Harrison. Personlig kommunikation. *Lector, Dep. Vet. Anim. Sci. Teleph. +4529464432. E.mail adh@sund.ku.dk* (2019).

19. Safran, M.R., Seaber, A. V. & Garrett, W. E. Warm-up and muscular injury prevention an update. *Sport. Med.* **8**, 239–249 (1989).
20. Safran, M. R., Garrett, W. E., Seaber, A. V., Glisson, R. R. & Ribbeck, B. M. The Role of warmup in muscular injury prevention. *Am. J. Sports Med.* **16**, 123–129 (1988).
21. Stewart, D., Macaluso, A. & De Vito, G. The effect of an active warm-up on surface EMG and muscle performance in healthy humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* **89**, 509–513 (2003).
22. Lund, R. J. *et al.* Effect of three different warm-up regimens on heat balance and oxygen consumption of Thoroughbred horses. *J. Appl. Physiol.* **80**, 2190–2197 (1996).
23. Mukai, K., Hiraga, A., Takahashi, T., Ohmura, H. & Jones, J. H. Effects of three warm-up regimens of equal distance on circle dot o(2) kinetics during supramaximal exercise in Thoroughbred horses. *EQUINE Vet. J.* **42**, 33–39 (2010).
24. Szarska, E., Cywinska, A., Ostaszewski, P. & Kowalska, A. Effectiveness of training programmes used in two stables of thoroughbred race horses. *Pol. J. Vet. Sci.* **17**, 681–685 (2014).
25. Buchner, H. H. F., Zimmer, L., Haase, L., Perrier, J. & Peham, C. Effects of whole body vibration on the horse: actual vibration, muscle activity, and warm-up effect. *J. Equine Vet. Sci.* **51**, 54–60 (2017).
26. Harrison, A. P., Fenger, C. The Application of Acoustic Myography in Canine Muscle Function and Performance Testing. *SOJ Vet. Sci.* **3**, 1–6 (2018).
27. Harrison, A.P., Danneskiold - Samsøe, B., Bartels, E. M. Portable acoustic myography - A realistic noninvasive method for assessment of muscle activity and coordination in human subjects in most home and sports settings. *Physiol. Rep.* **1**, (2013).
28. Jensen, A.- M., Ahmed, W., Elbrønd, V. S., Harrison, A. P. The Efficacy of Intermittent Long-term Bell Boot Application for the Correction of Muscle Asymmetry in Equine Subjects. *J. Equine Vet. Sci.* **68**, 73–80 (2018).
29. Williams, J. M. Electromyography in the horse: a useful technology? *J. Equine Vet. Sci.* **60**, 43–58 (2018).
30. Weishaupt, M. A., Hogg, H. P., Auer, J. A. & Wiestner, T. Velocity-dependent changes of time, force and spatial parameters in Warmblood horses walking and trotting on a treadmill. *Equine Vet. J.* **42**, 530–537 (2010).
31. Gottlieb, M. Muscle glycogen depletion patterns during draught work in Standardbred horses. *Equine Vet. J.* **21**, 110–5 (1989).
32. Yamano, S., Kawai, M., Minami, Y., Hiraga, A. & Miyata, H. Differences in muscle fiber recruitment patterns between continuous and interval exercises. *J. Equine Sci.* **21**, 59–65 (2010).
33. Harrison, A. P., Molsted, S., Pingel, J., Langberg, H. & Bartels, E. M. Clinical implications of muscle-tendon &-force interplay: surface electromyography recordings of m. vastus lateralis in renal failure patients undergoing dialysis and of m. gastrocnemius in individuals with Achilles tendon damage. in *EMG Methods for Evaluating Muscle and Nerve Function* (IntechOpen, 2012).
34. Hug, F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? *J. Electromyogr. Kinesiol.* **21**, 1–12 (2011).

9. Bilag

9.1 Bilag 1

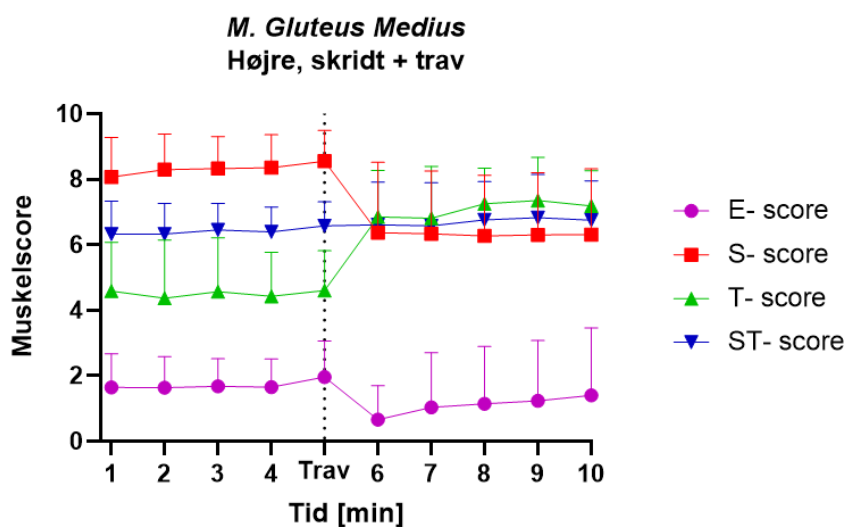
Søgestreng anvendt til litteratursøgning.

Aspekt 1	AND	Aspekt 2	AND	Aspekt 3	AND	Aspekt 4
Horse		Muscle		Warm up		AMG
OR		OR		OR		OR
Equine		Musculoskeletal		Excercise		Acoustic myography
OR		OR		OR		OR
Sports horse		Muscle power		Training		CURO
		OR		OR		
		Muscle activity		Workout		
				OR		
				Movement		
				OR		
				Warm-up		

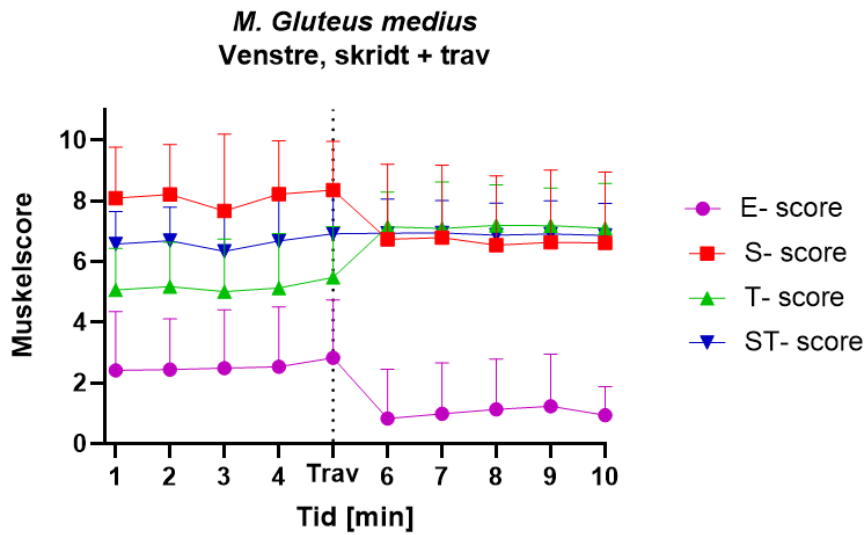
9.2 Bilag 2

Grafer over de 4 muskler for skridt og trav samlet.

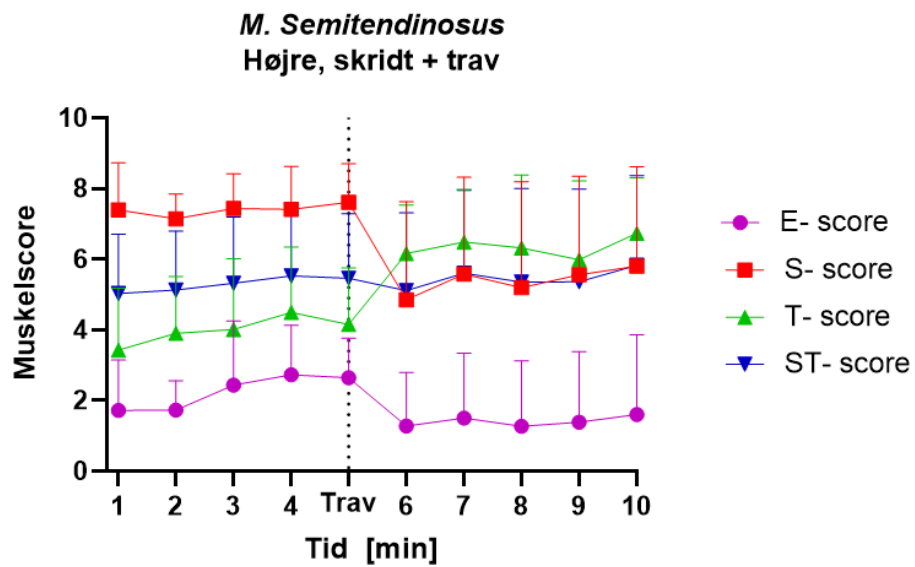
Højre GM



Venstre GM



Højre ST



Venstre ST

M. Semitendinosus
Venstre, skridt + trav

