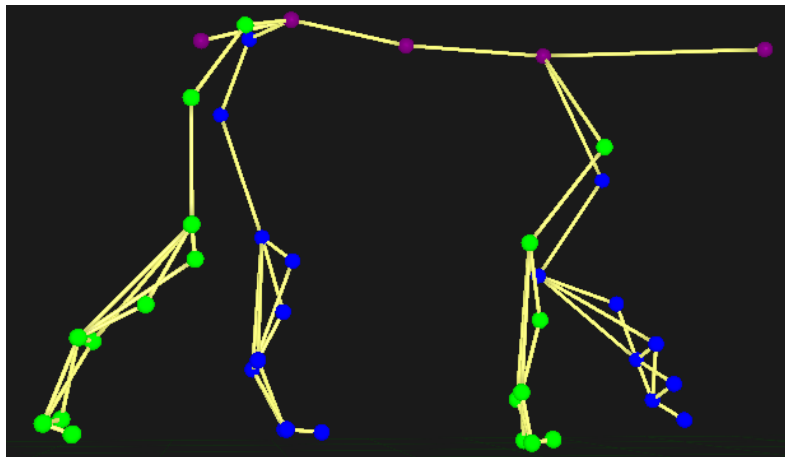


Projektrapport

Rörelsefunktion och artrosutveckling efter operation av främre korsbandsskada hos hund



Pia Gustås

Institutionen för kliniska vetenskaper
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

UPPSALA
2015-12-31

Sammanfattning

Ruptur av främre korsbandet bedöms vara en av de vanligaste ortopediska skadorna hos hund. Det kan vara en akut traumaorsakad ligamentskada men är ofta resultatet av mer långvarig överbelastning. I samband med utvecklingen av skadan startar också utvecklingen av osteoartrit (artros) i den drabbade knäleden vilket bidrar ytterligare till smärta och nedsatt funktion. En hunds rörelsefunktion förändras neuromotoriskt vid smärta och funktionsnedsättning. Även efter kirurgisk åtgärd finns risken för en kvarstående funktionsnedsättning som riskerar att bidra till fortsatt utveckling av artros. Att objektiva mäta rörelser utgör både en möjlighet att undersöka funktionen och en nödvändighet för att kunna utvärdera behandlingar inom rörelsesystemet, men förutsätter en utveckling av befintliga metoder för att ge i sammanhanget relevanta resultat.

Syftet med projektet är att utveckla metoder inom kinematik, kinetik och inversdynamik som med hög noggrannhet kan beskriva och analysera skillnader i hundars rörelser. I projektet mäts och analyseras rörelsefunktionen vid två tillfällen hos hundar som har opererats för främre korsbandsskada och befinner sig i återgångsfas till normal fysisk aktivitet. De opererade hundarna jämförs både inom individ och med friska hundar i en kontrollgrupp.

Resultaten från studien är under bearbetning. Till denna projektrapport har preliminära kinematiska resultat tagits fram, baserat på inomindividdata från 6 av de opererade hundarna i studien. Tydliga fynd i det preliminära resultatet visar att hundarnas rörelser hos det opererade benet skiljde sig signifikant från det oopererade benet vid båda mättillfällena.

Att redan det preliminära resultatet kan anses visa på tydliga skillnader beror på dels en tydlig signifikans men också på att det är resultat som kan förväntas vara relevanta. Ett av huvudsyftena med studien var att undersöka om kinematik fungerar som mätmetod för att kunna upptäcka för det mänskliga ögat subtila men ändå systematiska skillnader i en korsbandsopererad knäled. Dessa preliminära resultat talar för att så är fallet.

Metoden förväntas att generellt kunna användas för att tydliggöra och förenkla bedömningen av hundens rörelsefunktion. Den praktiska tillämpningen av resultaten av studien finns bland annat inom kirurgi, sportmedicin och rehabilitering:

- Klinisk diagnostik och uppföljning
- Forskning och utveckling
- Utbildning i rörelselära, hältdiagnostik och rehabilitering för djurhälsopersonal
- Utbildning i rörelselära för domare, tränare m fl.

Tack till:

Agria och Svenska kennelklubbens forskningsfond, med hjälp av vars medel denna studie har kunnat genomföras.

Alla ägare till de korsbandsopererade hundarna och till de friska kontrollhundarna, och i förekommande fall även hundägares familj och vänner, som genom att resa till Uppsala vid upprepade tillfällen för att låta sina hundar delta i studien har bidragit till att studien gick att genomföra.

Evidensia Djursjukvård AB, Specialistdjursjukhuset Strömsholm, för hjälp med rekrytering av hundar till studien.

Alla medarbetare som bidragit till genomförandet av hela eller delar av studien:

Linnea Söderberg, Flexiveterinären, Kristinehamn

Lennart Sjöström, Evidensia Specialistdjursjukhuset Strömsholm

Anna Byström, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi

Ann Essner, Evidensia Gefle samt doktorand vid institutionen för neurovetenskap, Uppsala universitet

G. Robert Colborne, tidigare Bristol University, nu Massey University, Nya Zeeland

De tidigare veterinärstudenter och numera legitimerade veterinärer som gjorde sina examensarbeten vid veterinärprogrammet som olika pilotstudier till projektet, och vars arbeten även har bidragit till bakgrundsinformationen i denna rapport:

Kristina Borgeblad

Linnea Söderberg (fd Larsson)

Miriam Kjörk Granström

Kjerstin Pettersson för deltagande i delar av planering, pilotstudier och förberedande arbete till projektet.

Miriam Kjörk Granström för deltagande i delar av pilotstudier och förberedande arbete till projektet.

Anne-Sofie Lagerstedt (tidigare avdelningsansvarig) och Björn Ekestén (prefekt), Institutionen för kliniska vetenskaper, för tillhandahållande av utrustning.

Qualisys AB, för alltid tillgänglig support, för snabba leveranser när markörer tagit slut och för kontinuerlig hjälp med utbildning av medarbetare inom projektet.

Rodby Innovation AB, för snabb hjälp och support av löpband.

Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi med prof Lars Roepstorff, för att man lånat ut sina 6 st Oquskameror med tillhörande utrustning, så att studien slutligen gick att genomföra med hela 14 st Oquskameror

Innehållsförteckning

1. Inledande del

1.1 Titelsida	1
1.2 Sammanfattning	2
1.3 Tack	3
1.4 Innehållsförteckning	4

2 Rapportdel

2.1 Inledning	5
2.2 Bakgrund	5
2.3 Motivering, status, syfte och frågeställning.....	12
2.4 Material och metoder	15
2.5 Resultat	20
2.6 Diskussion	20

3 Avlutande del

3.1 Referenslista	21
-------------------------	----

Bilagor

Bilaga 1. Ekonomisk rapport

2 Rapportdel

2.1 Inledning

Främre korsbandsskada är en av de vanligaste orsakerna till bakbenshälta och osteoartrit (artros) i knäleden hos hund. Idag är kirurgi den rekommenderade behandlingen för att så snabbt som möjligt nå stabilitet och återfå knäledens funktion. Flera operationsmetoder förekommer, och flera hundra publicerade vetenskapliga rapporter berör kirurgisk behandling av främre korsbandsskada hos hund. Det är dock fortfarande oklart vilken av förekommande operationsmetoder som leder till bäst resultat med avseende på återställande av knäledens funktion och att bromsa den fortsatta utvecklingen av osteoartrit. Det är inte bara vid behandling av knäledsskador som det saknas metoder för utvärdering av rörelser och återgång i funktion, som motsvarar den utvecklade nivån hos dagens metoder inom bildiagnostik och kirurgi. Bristen på objektiva utvärderingar av behandlingsresultat med avseende på återgång i funktion är något som gäller för skador och sjukdomar i rörelseapparaten generellt. Den främsta anledningen till detta är att det saknas objektiva metoder som med tillräcklig säkerhet och noggrannhet kan mäta och beskriva rörelsefunktionen hos hundar.

2.2 Bakgrund (detta stycke är baserat på utdrag ur Kristina Borgeblads och Linnea Söderbergs examensarbeten)

Främre korsbandsruptur bedöms vara både den vanligaste ortopediska skadan och även den mest frekventa orsaken till hälta (Canapp Jr. 2007, Jandi & Schulman 2007). Enligt en studie (Egenvall m.fl. 2000) gjord på svenska hundar är just korsbandsruptur den vanligaste diagnosen vad gäller ledproblem även i Sverige.

Anatomi och funktionell anatomi

Knäleden är en komplex led. Ledytorna bildas av femur (lårbenet), tibia (skenbenet) och patella (knäskålen). Leden stabiliseras passivt av ledkapsel, menisker samt flera ligament (ledband). Kollateralligamenten stabiliserar leden i sidled. Det mediala kollateralligamentet (ledbandet på insidan) sträcker sig från mediala epikondylen på femur och fäster in mediallyt på tibia samt i mediala menisken. Någon del av ligamentet är alltid sträckt i hela ledens rörelseomfång. Det laterala kollateralligamentet utgår från femurs laterala epikondyl och fäster in i fibulahuvudet. Kollateralligamentet är sträckt då knäleden är extenderad medan ligamentet slappas vid knäflexion. Detta ger upphov till att en viss inåtrotation av tibia i förhållande till femur tillåts vid knäflexion och

att tibia utåtroteras i förhållande till femur så kallad "screw home mechanism", då knäleden extenderas och laterala kollateralligamentet sträcks (Canapp Jr. 2007).

Inne i leden finns en medial och en lateral menisk, samt ett främre och ett bakre korsband. Meniskernas funktion består bland annat i att stabilisera leden, öka kongruensen, samt bidra till proprioception och fungera som kraftutjämnare. Meniskerna sitter förankrade i ledkapseln, samt med hjälp av ligament. (Canapp Jr. 2007) Korsbanden består av ett främre och ett bakre ligament, som i sin tur vardera består av två delar. Det främre korsbandet utgår från fossa intercondylaris på laterala femurkondylen och löper kranialt i distal riktning för att fästa in kranialt i området mellan kondylerna på tibiaplatån (Rooster m.fl. 2006, König & Liebich 2009). Det främre korsbandet är uppdelat i två delar, en kraniomedial och en kaudolateral del benämnda efter sin inbördes infästning på tibia (Rooster m.fl. 2006). Den kraniomediala delen är sträckt i hela ledens rörelseomfång, medan den kaudolaterala delen är sträckt vid extenderat knä och slappas vid knäflexion (Hayashi m.fl. 2004). Bakre korsbandet består också av två delar, men detta är mindre påtagligt än hos det främre korsbandet. Det bakre korsbandet utgår från fossa intercondylaris på mediala femurkondylen och sträcker sig i kaudal och distal riktning för att fästa in på tibia (König & Liebich 2009). Korsbandens funktion är att motverka krafter i kraniokaudal riktning. Det främre korsbandet motverkar även inåttrotation av tibia i förhållande till femur. De båda korsbanden bidrar också till ledproprioception. Korsbanden täcks av ett synovialmembran och skyddas på så sätt från den nedbrytande synoviala miljön. Ligamenten är således i praktiken att betrakta som extraartikulära, trots att de är placerade inne i knäleden (Rooster m.fl. 2006).

I korsbanden finns gott om nervreceptorer (så kallade mekanoreceptorer), vilka bidrar till ledproprioception och skyddsreflexer som syftar till att skydda korsbanden och leden från att skadas. Synovialmembranet som täcker korsbanden är välinnerverat, nerverna sträcker sig även in i ligamentens centralare delar. Dessa nervers funktion tros framförallt vara autonom blodflödesreglering och smärtekänslighet (nociception). Själva korsbanden i sig anses vara tämligen smärtokänsliga. Viss smärta förmodas dock kunna uppfattas från de fria nervändslut som har påträffats i ligamenten. Korsbanden består, liksom meniskerna, framförallt av kollagen typ II. Aktivt stabiliseras knäleden av omgivande muskulatur såsom m. quadriceps, m. gastrocnemius, m. popliteus och hamstringsmuskulaturen (Rooster m.fl. 2006). I en studie på sexton friska labradorer var normalt passivt rörelseomfång i knäleden hos 95% av individerna mellan 40-43 grader vid maximal flexion och 160-164 grader vid maximal extension (Jaegger m.fl. 2002).

Främre korsbandsruptur

Ligament så som till exempel kollateralligament kan läka spontant. Detta ses inte hos mjukvävnader inuti leden som till exempel korsband och menisker (Spindler 2006). Bakomliggande orsaker som

har diskuterats på humansidan är bland annat synovians negativa inverkan på läkningen, förändringar i cellernas metabolism vid en skada och att cellernas inre blivit allt för skadade för att läkning skall kunna ske (Murray 2009). Det har dock nu konstaterats både på hund och människa att korsbandet, till skillnad från till exempel kollateralligamentet, inte bildar en fibrin-trombocyt plugg. Således bildas ej heller överbryggande ärrvävnad mellan de två skadade ligamentändarna (Murray 2009, Hayashi m.fl. 2004, Hayashi m.fl. 2003). Dock ses hos hund reparationssvar hos det synovialmembran som täcker korsbanden, men detta ger inte bildning av den fibrin-trombocytplugg (Hayashi m.fl. 2004, Hayashi m.fl. 2003) som är en förutsättning för att vävnaden skall läka. En förklaring till att detta inte sker är att intraartikulärt plasmin bryter ner pluggen. Vid ett trauma ökar mängden plasmin via en uppreglering av enzymet urokinas-plasminogenaktivator (Murray 2009).

Främre korsbandsruptur hos hund beror sällan på enbart ett trauma, vanligare orsakas rupturen av långvarig överbelastning och degenerativa processer i ligamentet. Orsaker till spontan ruptur som diskuteras kunna predisponera är bland annat övervikt, storväxt ras, felaktiga benvinklar, kastrationsstatus (Buote m.fl. 2009) ökande ålder ledinflammationer och immunmedierade artropatier (J. M. Johnson & A. L. Johnson 1993). Johnson och Johnson (1993) menar att raka knä- och hasvinklar predisponerar, likväl som genu varum och valgum. Hos unga hundar med raka bakbensvinklar så som labrador, mastiff och chow chow har en ökande prevalens av korsbandsskador konstaterats de senaste två decennierna (Piermattei Donald L m.fl. 2006). Det är vanligt med rupturer av främre korsbandet även i den kontralaterala knäleden. Omkring en tredjedel av de hundar som spontant rupturerat sitt ena främre korsband kommer enligt en studie att inom två år även rupturera sitt andra främre korsband (Piermattei Donald L m.fl. 2006).

Diagnosen främre korsbandsruptur ställs oftast vid en klinisk undersökning. Typiska tecken är varierande grad av hälta, svullnad framförallt medialt över knäleden (så kallad medial buttress), varierande grad av smärta, positiv främre draglåda och positivt tibia-kompressionstest (Kirby 1993). Om tillståndet varat under en längre tid och kan betecknas som kroniskt, ses ofta atrofi av lårmuskulaturen och en förtjockning av ledkapseln till följd av fibrotisering (Fossum W Theresa m.fl. 2007). Positiv främre draglåda och/eller positivt tibia- kompressionstest är diagnostiskt. Röntgen, MR och artroskopi kan vara till hjälp i svårbedömda fall eller för att utesluta andra orsaker till knäproblemet (J. M. Johnson & A. L. Johnson 1993).

Behandlingen av hundar med korsbandsruptur syftar till att bromsa utvecklandet av degenerativ ledsjukdom, vilket är en vanlig följd (J. M. Johnson & A. L. Johnson 1993, Piermattei Donald L m.fl. 2006). Marshall och Olsson visade i sin studie (1971) att långvarig instabilitet i knäleden orsakar kraftiga degenerativa förändringar och meniskrupturer. Instabilitet ger också upphov till smärta och

hälta, vilka ej längre förelåg hos hundarna då knäleden blev stabilare (Marshall & Olsson 1971). Behandlingen vid korsbandsruptur är antingen konservativ eller kirurgisk. Ingen konsensus råder dock gällande vilket som anses vara att föredra (Piermattei Donald L m.fl. 2006). Konservativ behandling betraktas som en möjlig strategi för hundar med låg kroppsvikt. Pond visade i en studie (1972) att hundar som vägde < 20 kilo fick en tillfredsställande knäfunktion vid konservativ behandling. Detta resultat sammanfaller väl med ytterligare en studie där konservativt behandlade hundar med en vikt på <15 kg erhöll en nöjaktig knäfunktion, medan tyngre hundar hade sämre resultat (Vasseur 1984). Dessa studier säger emellertid inget om knäfunktionen i ett längre perspektiv. I en experimentell studie uppgavs dock hundarna ha en mild hälta, muskelatrofi och ledsvullnad sju månader efter den inducerade korsbandsrupturen. Efter ungefär tjugo månader syntes ej någon hälta och en förtjockad ledkapsel kunde palperas (Marshall & Olsson 1971). Generellt ses en initial förbättring hos hundar efter en akut ruptur, vilket Johnson och Johnson (1993) förklarar med att den akuta inflammationen och hemartrosen upphör, samt att leden stabiliseras av att ledkapseln fibrotiseras och förtjockas. En återkommande hälta är då ofta orsakad av att artrosen progredierat, menisken gått sönder och/eller att ett partiellt rupturerat korsband gått av helt (J. M. Johnson & A. L. Johnson 1993). Trots att en klinisk förbättring sker efter den akuta skadan fortskrider den degenerativa processen i knäleden. Efter en vecka kan påbörjad uppfibrillering av brosket ses, efter två veckor ses en ökad vaskularisering runt leden. Osteofytbildning inleds mellan en och tre veckor efter rupturen, når sitt maximum vid två månader, för att sedan börja avta två år efter skadan. Medial ledsvullnad kan palperas efter cirka en månad. Fibrotiseringen av vävnader runt leden påbörjas sex veckor efter skadan. Ytterligare en vecka senare kan vanligen en meniskskada konstateras. Vid drygt tre månader börjar synoviten avta och vid fyra månader börjar brosket i knäleden brytas ner och osteoartriten är ett faktum.(J. M. Johnson & A. L. Johnson 1993).

För att optimera knäfunktionen och minimera den degenerativa utvecklingen förordas i viss litteratur kirurgi oberoende av hundens storlek (Marshall & Olsson 1971, Piermattei Donald L m.fl. 2006, Fossum W Theresa m.fl. 2007, Jerre 2009). Andra menar att hänsyn skall tas till hundens storlek, aktivitetsnivå/användningsområde samt graden av instabilitet och skadans duration. En vikt på mer än 20 kilo, hög aktivitetsnivå/arbetande hundar, kraftig instabilitet som befaras leda till snabb och kraftig utveckling av leddegeneration samt hälta som varat i över två månader, skulle då föranleda kirurgisk- snarare än konservativ behandling (Pond 1972). Syftet med kirurgisk behandling är att skapa en stabilare led och på så sätt minimera utvecklingen av osteoartrit (Kirby 1993, J. M. Johnson & A. L. Johnson 1993, Fossum W Theresa m.fl. 2007). I experimentella studier på hund där man inducerat en främre korsbandsruptur för att sedan omedelbart reparera korsbandet har man sett att dessa hundar ej utvecklade osteoartrit (Kirby 1993). Detta skulle i så fall tala för snabbt insatt kirurgisk behandling av främre korsbandsskada.

Det finns en mängd olika operationsmetoder för att åtgärda en främre korsbandsskada. De flesta av hundarna i denna studie har opererats med tibial plateau leveling osteotomy (TPLO), vilket är en vanligt förekommande metod. TPLO syftar till att minska tibias förskjutning i kranial riktning, det vill säga en minskning av så kallad "tibial thrust" avses med operationen. Då hunden belastar sitt ben trycks tibia och femur mot varandra. En kranialt riktad kraft bildas då med avseende på tibia, eftersom tibiaplatån lutar i kaudodistal riktning. Tibia förskjuts vid belastning således framåt relativt femur, vilket normalt motverkas av bland annat det främre korsbandet. Då främre korsbandet rupturerat kan en patologisk förskjutning av tibia ske i kranial riktning. Denna förskjutning minskas med TPLO. Stabiliseringen av knäleden uppnås genom osteotomi av tibia. Benfragmentet vrids distalt och kaudalt så att lutningen på tibiaplatån reduceras. Därmed minskas även tibias framåtgång, det vill säga "tibial thrust". Osteotomin stabiliseras slutligen med en platta (Piermattei Donald L m.fl. 2006). Extrakapsulär stabilisering även kallad "lina", är en annan vanlig operationsmetod, som även den syftar till att minimera den ökade rörligheten i knäleden. Detta sker genom att en sutur fästes från tibia, vanligen crista tibia, till sesamoidbenen, i regel den laterala fabellen (Fossum W Theresa m.fl. 2007). Suturen syftar således till att mekaniskt motverka tibial thrust samt medial rotation av tibia.

Vad kan då förväntas postoperativt med avseende på funktion, rörelseomfång, smärta, muskelatrofi och andra parametrar som kan antas påverkade av skadan och operationen? I en studie på 280 hundar som opererades med TPLO för främre korsbandsruptur och kontrollerades postoperativt efter 12 och 24 månader visade flertalet en rörelseinskränkning på < 10 grader preoperativt. Hundarna med flexionsinskränkning förbättrades med hjälp av fysioterapi postoperativt, medan samma tydliga förbättring inte kunde ses hos hundar med en extensionsdefekt. Extensionsdefekten var positivt korrelerad till hälta och osteoartrit i knäleden, och en inskränkning på > 10 grader gav upphov till en funktionsnedsättande hälta. Således bedömdes en extensionsdefekt mer negativt påverka hundens dagliga aktiviteter jämfört med en flexionsinskränkning (Jandi & Schulman 2007). I en studie av Jerre (2009) utvärderades 39 korsbandsskadade hundar preoperativt vid fyra, 12 och 24 veckor efter kirurgi med lina. Hundarna bedömdes med avseende på hälta, muskelmassa och funktionsnivå med hjälp av VAS skattningsskala. Preoperativt visade samtliga hundar måttlig till kraftig hälta. Flertalet hade även minskat låromfång jämfört med det friska benet, samt även nedsatt aktivitetsnivå och funktion i form av stelhet efter vila och reducerad hoppförmåga. En månad postoperativt kvarstod ungefär samma låromfång som innan operationen och den övervägande majoriteten hundar var fortfarande halta om än i mindre grad (lindrigt till måttligt). Aktivitetsnivån hade ökat något och funktionsnedsättningarna hade överlag minskat. Detta gällde med undantag för förmågan att hoppa och problem förknippat med kallt väder. Efter 12 veckor var samtliga hundar fortfarande halta. Andelen lindrigt och kraftigt halta patienter hade dock ökat, skillnaden i muskelmassa hade minskat och funktion samt aktivitetsnivå hade ytterligare förbättrats. Vid 24 veckor postoperativt uppvisade majoriteten av hundarna ingen skillnad avseende låromfång och hälta bedömdes som lindrig eller måttlig. Majoriteten av hundarna hade återfått hela eller nästan hela sin normala aktivitetsnivå. Hos flertalet hundar kunde heller ingen

skillnad i ledlaxitet känns i det opererade benet i jämförelse med den intakta knäleden (Jerre 2009). M G Conzemijs (2005) undersökte 131 korsbands- och meniskskadade labradorer på kraftmätningsskiva preoperativt samt två och sex månader postoperativt. Resultatet visade att majoriteten (> 85 %) av hundarna ett halvår efter operation inte återfått ett normalt rörelsemönster. Vad gäller pre- och postoperativ smärta vid korsbandsruptur är detta en mer svårbedömd parameter då det lämnar utrymme för subjektiva tolkningar om mätmetoder som visuell analog skala (VAS) eller numerical rating scale (NRS) används. Dessa metoder har i en studie uppvisat dålig korrelation med mer objektiva parametrar så som hjärtfrekvens, andningsfrekvens och medelartärtryck. Även de objektiva mätmetoderna kan dock påverkas av andra orsaker än smärta, exempelvis rädsla, stress, läkemedel och så vidare (M G Conzemijs 1997).

Om objektiv rörelsebedömning - Kinematisk analys

Vanligen bedöms hundarna subjektivt, men då objektiva mätmetoder har visat sig vara känsligare (Saleh & Murdoch 1985, Evans m.fl. 2005, Gillette & T. Craig Angle 2008) skulle det således vara positivt om de objektiva mätmetoder som finns i ökad omfattning kunde användas i klinisk verksamhet. Vidare skulle objektiva mätmetoder möjliggöra en ökad reproducerbarhet, en förbättrad möjlighet att följa varje individs framsteg postoperativt på både kortare och längre sikt, samt kanske även förbättra möjligheten till ett mer individanpassat rehabiliteringsprogram.

En fullständig och korrekt kinematisk analys, av även de enklaste rörelserna, kräver stora volymer av data och ett stort antal kalkyleringar som i sin tur genererar många grafiska kurvor för tolkning (Winter, 2005). Därför används automatiserade kinematiska system vid genomförande av djupare kinematiska analyser. På marknaden finns flera olika sådana system tillgängliga men majoriteten fungerar enligt samma huvudprincip (Lanshammar, 1996). Markörer placeras vid specifika anatomiska hållpunkter på den individ som ska studeras (Gillette & Angle, 2008; McLaughlin, 2001; Lanshammar, 1996). Vanligtvis är markörerna tillverkade av ett reflekterande material och belyses av infrarött ljus (Lanshammar, 1996). Ljusreflektionen från markörerna registreras av ett antal kameror placerade runt mätområdet (Robertsson, 2004) (Gillette & Angle, 2008). Konventionella kinematiska analysystem identifierar markörernas relativa positioner, koordinater, i det tredimensionella rummet (Gillette & Angle, 2008; McLaughlin, 2001). Med hjälp av markörernas koordinater kan sedan mjukvaruprogram använda matematiska formler för att beräkna numeriska värden som beskriver rörelsen (Gillette & Angle, 2008).

Parametrar och variabler som beskriver rörelse

Gångmönstret hos en individ kan kinematiskt beskrivas med så kallade spatio-temporala parametrar och kinematiska variabler. Gånghastighet, steglängd, stegfrekvens, svängningstid och

belastningstid är exempel på spatio-temporala parametrar (Lanshammar, 1996) medan ledvinklar, linjär- och angulär förflyttning (displacement) och hastighet/acceleration för olika bensegment hör till de kinematiska variablerna (Robertsson, 2004). De spatio-temporala parametrarna antar ett värde för varje stegcykelmätning (Lanshammar, 1996) medan kinematiska variabler beskriver på vilket sätt en punkts position förändras över tid (Robertsson, 2004) Detta utgör bakgrunden till att de benämns just parametrar respektive variabler (Lanshammar, 1996). En hel tidsserie av värden måste därmed samlas in för att beskriva de kinematiska variablerna medan exempelvis gånghastigheten (en spatio-temporal parameter) kan bestämmas enbart genom att klocka tiden för att ta sig en känd sträcka (Lanshammar, 1996).

Spatio-temporala parametrar

Spatio-temporala parametrar är ganska enkla att mäta och ger viktig information om rörelseförmågan hos patienten. Gånghastighet är ett exempel på spatio-temporal parameter och denna är av särskild vikt eftersom den används som referensvariabel vid djupare kinematiska analyser (Lanshammar, 1996).

Temporala parametrar är tidsbaserade och beskriver tiden för olika delar av stegcykeln. Stegcykeltiden är en av de temporala parametrarna och avser tiden från en händelse i stegcykeln tills samma händelse inträffar igen (Lanshammar, 1996). Hos hund kan man beräkna stegcykeltiden som tiden mellan två på varandra följande isättningar av vänster baktass (Gustås et al., 2013). Belastningsfasen definieras som perioden då tassen når och bibehåller kontakten med underlaget och svävningssfasen definieras som perioden då tassen är i luften (DeCamp, 1997). Belastningsfas och svävningssfas hos ett ben motsvarar tillsammans ett steg (DeCamp, 1997). Belastningstiden räknas som tiden mellan tassens första kontakt med underlaget och tassens upplyft vid belastningsfasens slut (Gustås et al., 2013). Genom att dividera belastningstiden med stegcykeltiden får man fram den så kallade relativa belastningstiden (Gustås et al., 2013).

Mellan de olika spatio-temporala parametrarna finns flera samband, exempelvis kan gånghastigheten beräknas genom att dividera stegcykellängden med stegcykeltiden. För att gånghastigheten ska öka måste således antingen stegcykeltiden minska (minskad tid för varje steg) eller gångcykellängden öka (längre steg). Gånghastigheten har även samband med analysvariabler, exempelvis ledvinklar som ökar vid ökad gånghastighet (Lanshammar, 1996).

Kinematiska variabler

Förflyttning, hastighet och acceleration beskriver som ovan nämnts hur en punkts position förändras över en tidsperiod. Förflyttning definieras som förändringen i position, hastighet är derivatan av förflyttning och acceleration är derivatan av hastighet (Robertsson, 2004).

Ledvinklar är en annan typ av kinematisk variabel som används vid rörelsestudier hos hund (DeCamp, 1997). Ledvinkeln motsvarar vinkeln mellan två intilliggande bensegment i kroppen och beräknas från minimum tre koordinater, se figur 3, eller två så kallade segmentvinklar (Robertsson, 2004).

Inomindividvariation

Traditionellt har man huvudsakligen använt diskreta variabler från enskilda leder vid kinematiska studier. Nyligen har man dock på humansidan visat att denna typ av variabler inte klarar att fånga komplexiteten i kroppens koordination på ett effektivt sätt och man rekommenderar numera studier av den så kallade inomindividvariationen (Bartletti et al., 2007). Man menar att traditionellt designade studier som jämför grupper av individer riskerar att dölja viktig information (Bartletti et al., 2007). Denna typ av information har tidigare betraktats som brus från slumpmässiga processer (Decker et al., 2011). Idag anser man i stället att normalt rörelsemönster karaktäriseras av en optimal nivå av rörelsevariabilitet, vilken möjliggör flexibilitet, anpassning och förmåga att svara på oväntat stimuli (Decker et al., 2011). Variabiliteten betraktas som funktionell och används mer och mer inom humansidan vid rörelsestudier, bland annat för att utvärdera teknik och prestation inom olika sporter (Mullineaux & Uhl, 2010).

I de flesta studier av hundars kinematik har man valt att jämföra grupper av hundar (Torres et al., 2013; Bockstahler et al., 2012; Fu et al., 2010).

I en studie av Gustås et al. (2013) konstaterade man att beaktande av inomindividvariationen även hos hund kan ha en avgörande betydelse för att upptäcka skillnader i kinematiska studier. Utifrån resultatet i den sistnämnda studien föreslår man att man alltid bör beakta inomindividvariationen vid analys av kinematiska och spatio-temporala data från hund just för att inte gå miste om relevant information.

2. 3 Motivering, syfte och frågeställning

Motivering av studien

Kinematisk rörelseanalys av hundar är relativt nytt inom veterinärmedicinsk forskning (McLaughlin, 2001) och i dagsläget är kunskapen om hundens biomekanik i leder och muskler begränsad (Bockstahler et al., 2012). Forskargrupper konstaterar ideligen att fortsatta studier inom objektiv rörelseanalys behövs för att komma närmare sanningen (Bockstahler et al., 2012; Fu et al., 2010; Holler et al., 2010). Gillette & Angle (2008) menar att kinematisk analys kan inkorporeras i rörelseforskning på många olika sätt men att det är upp till klinikern eller forskaren att utnyttja och

utforska dess fulla kapacitet. De konstaterar vidare att mer forskning inom kinematisk metodutveckling behövs eftersom analysen är beroende av optimal studiedesign för att generera noggranna och riktiga mätvärden.

Praktisk nytta

Objektiva mätmetoder med förmåga att skilja onormal rörelse från normal rörelse behöver utvecklas för att kunna utvärdera rörelsefunktionen hos hundar. Detta är nödvändigt för att kunna utvärdera och utveckla och förbättra behandlingsmetoder inom kirurgi och inom rehabilitering.

Att objektivt kunna mäta rörelsefunktionen hos en hund efter en korsbandsskada, så att man kan följa utvecklingen i funktion över tid och att kunna jämföra med normal rörelsefunktion är en förutsättning för att kunna utvärdera behandlingsresultatet. Att kunna utvärdera behandlingsresultatet ur en funktionell synvinkel är i sin tur en förutsättning att kunna fortsätta utveckla bättre behandlingsmetoder inom såväl kirurgi som rehabilitering.

Många skador och sjukdomar i rörelseapparaten riskerar att leda till utveckling av osteoartrit eller andra tillstånd med smärta och nedsatt funktion, vilket riskerar att sänka livskvaliteten för den drabbade hunden. Att kunna göra objektiva utvärderingar av behandlingsresultat är en förutsättning för kvalitetssäkring och för att öka evidensnivån inom ortopedisk kirurgi och rehabilitering.

Projektets status

Insamlingen av rörelsedata hos opererade hundar och hos den friska kontrollgruppen är avslutad. Inmätningar har gjorts med teknik för digital 3D-filmning av rörelser, dels på löpband och dels på marken i kombination med kraftmätningsskiva. Resultaten från projektet är under bearbetning, dock kan preliminära data redovisas i denna slutrapport.

Syfte och frågeställningar

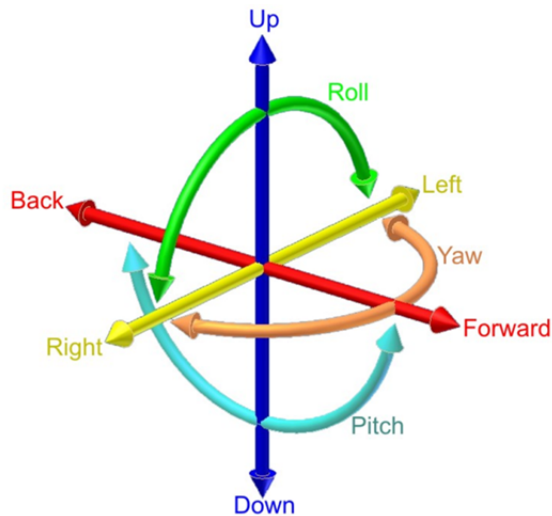
Syftet med det aktuella projektet var att utnyttja befintlig teknik inom kinematik och kinetik för att utveckla en metod som har en tillräcklig noggrannhet för att framgångsrikt kunna mäta och beskriva knäledsfunktionen hos hundar. Metoden innebar bland annat utvecklande och utvärdering av nya mer ändamålsenliga 3-D modeller för markörplacering.

Målet var att undersöka på vilket sätt rörelsemönstret förändras postoperativt efter en främre korsbandsruptur, att kunna beskriva och studera skillnader i rörelsefunktionen mellan opererade

och friska hundar, mellan opererad och ej opererad knäled hos korsbandsskadade individer, och att kunna beskriva skillnader i den opererade knäledens funktion mellan olika tidpunkter under återhämtningen hos hundar opererade för främre korsbandsskada.

Huvudfrågeställningen var om man med olika kinematiska och kinetiska metoder, ensamma eller i kombination, kan skilja rörelsemönstret hos opererade hundar från oopererade hundar i en kontrollgrupp. Kan man genom att göra klassisk kinematik mer systematisk bara genom användandet av löpband och utökade markörmodeller se skillnader?

Jämfört med tidigare studier användes och utvärderades dels en utökad markörmodell och användandet av 3-D variabler (studie av rörelser utnyttjande 6 frihetsgrader (6DOF), det vill säga både rotation och linjär rörlighet beskriven utifrån de 3 axlarna i rummets koordinatsystem, se teckning nedan). Dels användes inversdynamik. Dels undersöktes skillnaden mellan rörelse på löpband och på löpargång.



Den nya markörmodellen medger studier av hundens rörelser utnyttjande 6 frihetsgrader (6DOF), det vill säga både rotation och linjär rörlighet beskriven utifrån de 3 axlarna i ett koordinatsystem Teckning:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:6DOF_en.jpg

Försökets utformning möjliggjorde insamling av data för att besvara huvudfrågeställningen utifrån en serie av varierande men basala frågeställningar inom objektiv rörelseanalys.

I samtliga frågeställningar ställdes samma grundläggande hypotes:

H_0 : Metoden visar ingen skillnad.

H_1 : Metoden visar skillnad.

2.4 Material och metoder

2.4.1

Studien är godkänd av Uppsala försöksdjursetiska nämnd, diarienummer C111/12.

2.4.2 Hundar

Korsbandsopererade hundar.

En grupp av 55 korsbandsopererade hundar valdes ut bland hundar opererade vid Specialistdjursjukhuset Strömsholm och som under den planerade perioden för inmätning skulle befinna sig i återgångsfas till normal fysisk aktivitet. Av dessa sorterades 20 st bort på grund av andra skador, sjukdomar eller komplikationer efter operation. Inbjudan att delta i studien skickades till ägarna av 35 hundar bosatta i Västmanland, Uppland, Södermanland, Närke, Värmland, Västergötland, Gästrikland och Västerbotten. 20 djurägare tackade ja och deltog i studien vid ett mättillfälle, i det andra mättillfället deltog 17 djurägare med sina hundar. Samtliga hundar röntgades i samband med operation, alla hundar visade tecken på OA i den opererade knäleden enligt röntgen eller vid artroskopi. Följande raser fanns representerade i gruppen: Berner sennen, American staffordshire bullterrier, Amerikansk bulldog, Schnauzer, Chow-chow, Australian shepherd, Engelsk bulldog, Flat coated retriever, Rottweiler, New foundland, Cane corso, Grand danois, Boxer, Golden retriever, Bearded collie, Engelsk staffordshire bullterrier, Border collie blandras.

20 hundar deltog i det första inmätningstillfället mellan 2,5 och 8 månader efter operation. Av dessa deltog 17 hundar även vid det andra inmätningstillfället, minst 4 veckor och högst 8 veckor efter det första inmätningstillfället vilket i gruppen av hundar innebar 4-9 månader efter den senaste operationen.

Friska kontrollhundar.

Gruppen av friska kontrollhundar valdes med målsättning att få en liknande rasdisposition som i gruppen av opererade hundar. Inbjudan till studien med förfrågan efter hundar skickades till veterinärstudenter och personal vid SLU och via medarbetares kontaktnät via facebook.

Kontrollhundar som inte sedan tidigare hade vana att gå på löpband tränades upprepade gånger (minst 4) vid ett tillfälle att skritta och trava i olika hastighet på löpbandet. Träningstillfället var ej på samma dag som det första mättillfället.

2.4.3 Datainsamling

Samma dag som hundarna filmades på löpband, genomgick de en allmän klinisk och en ortopedisk undersökning. Vid undersökningen mättes ledvinklar i knälederna då hunden låg avslappnad på sidan med goniometri. Muskelomfång över femur och tibia på båda bakbenen mättes med måttband. Hundarnas vikt registrerades.

De korsbandsopererade hundarna hade tidigare vana vid rörliga underlag genom att de hade genomfört rehabträning på undervattenslöpband. Innan första inmätningen fick hundarna 3 gånger gå upp på löpbandet samt skritta en stund för att vänja sig vid försöksbetingelserna. Djurägaren stod i de flesta fall med vid sidan av löpbandet vid det första tillfället, men fick sedan gå och sätta sig på lämplig plats eller om de ville lämna lokalen.

Samma förare användes till hundarna vid samtliga inmätningar. Alla hundarna bar ett så kallat retrieverkoppel vid inmätningen.

Långhåriga hundar klipptes där hudmarkörer skulle placeras.

Sfäriska markörer med en diameter på 12 mm fästes på huden med så kallat teaterlim. Samma person klistrade fast samtliga markörer.

Markörerna placerades på väl definierade anatomiska lokalisationer, medan hundarna stod upp och med extremiteterna i en neutral position motsvarande jämn belastning stående på alla 4 benen.

Löpbandet som användes var av märket Rodby (Rodby Innovation AB, Vänge, Sverige) och mattan på löpbandet var tillverkat i gummimaterial. Hunden fick röra sig i 3 olika hastigheter där hunden bedömdes komfortabel för respektive gångart. Samma hastigheter användes vid samtliga mättillfällen. Innan första mättillfället tränades hunden vid upprepade tillfällen i rörelselaboratoriet, både på löpbandet och längs gången. Först då hunden bedömdes invand genomfördes första datainsamlingen.

Förutom vid rörelse på löpband så samlades även data då hunden rörde sig i skritt och trav längs en löpargång där en kraftmätningsskiva var placerad i en nedsänkning i golvet centralt längs gången. Gången hade ett underlag av betong som var beklätt med en halkfri linoleummatta. Hunden rörde sig längs hela gångens längd men inmätning skedde inom ett markerat område med kraftplattan i mitten. Hunden var kopplad och leddes i först skritt och sedan trav längs gången av en handler som gick växelvis på höger respektive vänster sida om hunden. Mätvolymen (det område som täcktes av kamerorna så att filmning kunde ske) definierades med kraftmätningsskivan centrerad, och täckte 2 meter framför respektive bakom plattan, vilket innebär att kinematisk mätning utfördes över en sträcka på 4 m.

Oqus rörelseanalyssystem (Qualisys AB, Göteborg) med 14 höghastighetsvideokameror användes för insamling av tredimensionell kinematisk data. Hundarnas rörelser registrerades i den 3-

dimensionella mätvolymen med hjälp av 41 st sfäriska markörer av reflexmaterial som hade klitrats på huden med teaterlim över definierade anatomiska lokalisationer. Rörelsedata samlades in med en samplingshastighet på 500 bilder/s (500 Hz). Datan grundbearbetades och redigerades (så kallad "tracking") med hjälp av mjukvaran Qualisys Track Manager (QTM).

Alla hundarna filmades när de gick i skritt på löpbandet. Varje hund filmades under minst 3 sekvenser om vardera 1 minut och i olika skritthastigheter. Hastighet valdes efter vad som såg ut som en bekväm hastighet för hunden, med målsättning att hundarna skulle gå i en långsam skritt. (Gustås et al). Hundarna i kontrollgruppen filmades även under motsvarande upplägg i trav, dvs minst 3 sekvenser a 1 minut i olika hastigheter.

Därefter filmades alla hundar över kraftmätningssplattan. Inledningsvis filmades de stillastående, för att dokumentera postural svajning. Hundarna stod med ett bakben i taget på kraftplattan. För varje bakben filmades 3 sekvenser a 20 sekunder.

Alla hundarna filmades därefter när de gick i skritt över kraftmätningssplattan. Hundarna skrittade upprepade gånger genom mätvolymen så att kraftplattan träffades minst 10 gånger med höger respektive vänster sidas framben och bakben. Hundarna i kontrollgruppen upprepade samma procedur även i trav.

2.4.4 Bearbetning och analys av data

Insamlad data från QTM, både rörelsedata och kraft, delades in i enskilda steg med hjälp av specialskriften mjukvara (Matlab). Tassisättning och tassens upplyft bestämdes för varje ben enligt en metod som har använts för hästar på löpband. Även vidare bearbetning av kinematisk och kinetisk data utfördes i Matlab.

För inversdynamik användes en specialskriften mjukvara som tillhandahölls för detta projekt genom medverkan av G.R. Colborne.

2.4.5 Temporospatiala parametrar och kinematiska variabler

Parametrar och variabler som har beskrivits som representativa för basala gångartskaraktistika valdes för analys.

Temporospatiala parametrar var för varje enskilt ben stegtid (tiden mellan två på varandra följande tassisättningar), belastningstid (tiden då tassen var i marken, det vill säga tiden mellan tassisättningen och tassens upplyft i slutet av belastningsfasen) samt relativ belastningstid (belastningstid/stegtid).

Kinematiska variabler var det totala rörelseomfånget, beräknad från differensen mellan maximal och minimal ledvinkel under en stegcykel i respektive karpal-, armbågs-, has- och knäled, samt den totala pendelrörelsen baserat på skillnaden mellan protraktions- och retraktionsvinkeln för varje enskilt framben respektive bakben.

2.4.6 Stelkroppsmodeller för 6DOF-beräkningar

För beräkning av rotation framben och bakben runt respektive bensegments longitudinella axel samt runt den mediolaterala axeln genom tibiotarsaleden respektive radiokarpaleden användes stelkroppsmodeller baserade på markörplaceringar speciellt utvecklade för detta projekt.

Markörplaceringarna valdes baserat på försöksledarens erfarenhet från tidigare studier (Gustås et al; Schwencke et al).

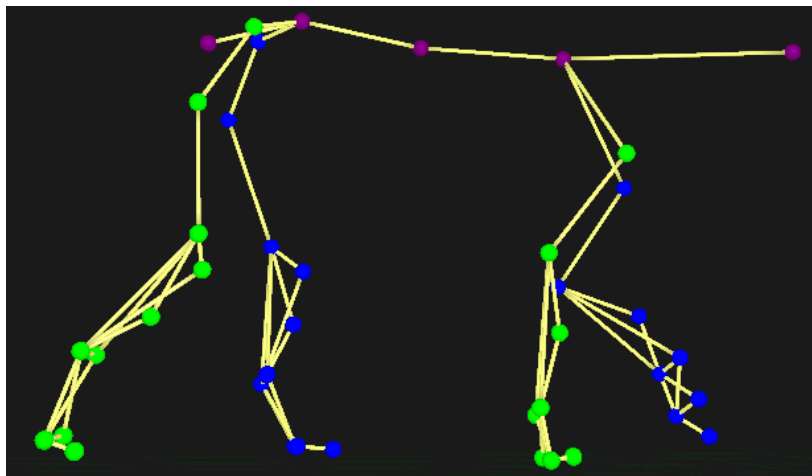


Bild: Inmätning av en av de korsbandsopererade hundar som deltog i studien i skritt på löpband. Det finns idag ett stort behov av att utveckla metoder inom rörelseanalys för att nå en precision inom hältdiagnostik och rehabilitering som motsvarar dagens noggrannhet inom kirurgi och bilddiagnostik. En ny 3-dimensionell markörmodell (översta bilden) för höghastighetsfilmning av hundar och som möjliggör analys av 6 frihetsgrader (6DOF) hos olika leder och bensegment har därför tagits fram inom projektet.

Tibia/fibulasegmentets longitudinella axel markerades distalt på laterala malleolen på fibula och proximalt på femurs distala epikondyl. Rotationen hos tre triangulära stelkroppar baserade på den longitudinella axeln registrerades med hjälp av markörer placerade cranialt på crista tibia, cranialt på tibia ortogonalt mot den longitudinella axelns mittpunkt, samt på den mediala malleolen på tibia.

Metatarsus longitudinella axel markerades distalt på femte metatarsalbenet och distalt på laterala malleolen på fibula. Rotationen hos två triangulära stelkroppar baserade på den longitudinella axeln registrerades med hjälp av markörer placerade på den mediala malleolen på tibia respektive distalt medialt på det andra metatarsalbenet.

Radius/ulnasegmentets longitudinella axel markerades distalt på laterala processus styloideus på ulna och proximalt på humerus distala epikondyl. Rotationen hos två triangulära stelkroppar runt den longitudinella axeln registrerades med hjälp av markörer placerade cranialt på radius ortogonalt mot den longitudinella axelns mittpunkt, samt på den mediala processus styloideus på radius.

Metacarpus longitudinella axel markerades distalt på femte metacarpalbenet och distalt på laterala processus styloideus på ulna. Rotationen hos två triangulära stelkroppar runt den longitudinella axeln registrerades med hjälp av markörer placerade på den mediala processus styloideus på radius respektive distalt medialt på det första eller andra metacarpalbenet.

Beräkningen av rotation runt den longitudinella axeln hos varje stelkropp utfördes med Eulerekvationer i QTM samt i en specialskriften matlabscripT.

2.4.7 Statistik

Medelvärden för varje hund och variabel bearbetades statistiskt med variansanalys (ANOVA, the Mixed procedure) i statistiskprogrammet SAS. Faktorer som inkluderades var mättillfälle, opererat ben, och individ, samt två-vägsinteraktioner mellan dessa faktorer. Individ och interaktioner med individ modellerades som slumpfaktor och övriga som fixa faktorer. Interaktioner mellan individ och övriga faktorer behölls i modellen om det förbättrade Akaikis informationskriterium för modellen. För fixa faktorer tillämpades en signifikansnivå $p < 0.1$ för att ingå i den slutgiltiga modellen för variabeln i fråga. Från den slutgiltiga modellen beräknades estimat och standardfel (standard error) för effekterna av de signifikanta ($p < 0.1$) fixa faktorer.

2.5 Resultat

Resultaten från studien är under bearbetning. Till denna projektrapport har preliminära kinematiska resultat tagits fram, baserat på data från 6 av de opererade hundarna i studien:

Kinematiska data visade en tydlig signifikant skillnad för traction-retraction, dvs hela benets pendelutslag, som var mindre på det opererade bakbenet vid båda mättillfällena.

För knälederna syntes en tendens till ett större rörelseuttag vid det andra mättillfället jämfört med det första, för båda bakbenen. Skillnaden är signifikant men relativt liten, med ett medelvärde på enbart 1,6 grader. Fler hundar behöver därför analyseras innan man kan uttala sig om detta enbart är en tendens eller om det kommer visa sig vara ett relevant resultat.

För karpaleden syntes ett signifikant större rörelseuttag på den ipsilaterala sidan till den opererade benet vid det första mättillfället. Rörelseuttaget höll sig för armbågsleder och hasleder på en nivå så att det syntes ingen skillnad varken mellan ipsilaterala respektive kontralaterala sidan till opererade benet, eller mellan mättillfällena hos hundarna i den preliminära gruppen.

Temporospatiala data visade att stegtiden var aningen kortare vid första mättillfället än vid det andra. Belastningstiden skilde sig inte mellan vare sig benpar eller mättillfälle.

Den relativa belastningstiden visar dock med en både tydlig och signifikant skillnad att det opererade bakbenet belastas kortare tid av stegcykeln jämfört med övriga ben, vilket är tydligt både vid första och andra mättillfället.

Två tydliga fynd i det preliminära resultatet visar alltså att hundarnas rörelser hos det opererade benet skiljde sig signifikant från det oopererade benet vid båda mättillfällena. Det ena var att traction-retraction, dvs hela benets pendelutslag, var mindre på det opererade bakbenet vid båda mättillfällena. Det andra tydliga fyndet var att även relativ belastningstid var kortare på det opererade benet jämfört med det oopererade vid båda mättillfällena.

2.6 Diskussion

Att redan det preliminära resultatet kan anses visa på tydliga skillnader beror på dels en tydlig signifikans men också på att det är resultat som kan förväntas vara relevanta. När hundarna mättes in hade det gått så lång tid efter operationstillfället att den snabba fasen av vävnadsläkning var över. Vi vet idag att hundar som är opererade för främre korsbandsskada har osteoartrit, varför det kan förväntas att hundarna vid denna tidpunkt efter operationen ej helt har återgått till en normal rörelsefunktion. Att detta då skulle kunna visa sig genom relativ belastningstid i kombination med en kortare pendelrörelse av hela benet är sannolikt, vilket styrker det preliminära resultatets trovärdighet.

Ett av huvudsyftena med studien var att undersöka om kinematik fungerar som mätmetod för att kunna upptäcka för det mänskliga ögat subtila men ändå systematiska skillnader i en korsbandsopererad knäled. Dessa preliminära resultat talar för att så är fallet.

Slutsatser

Utvecklingen av metoder för rehabilitering efter korsbandsskada och förbättring av nuvarande kirurgiska metoder förutsätter att det finns metoder med kapacitet att objektivt och med tillräcklig noggrannhet kan mäta skillnader i rörelsefunktionen hos hundar. De preliminära resultaten i denna studie talar för att kinematik kan vara en sådan metod, förutsatt att spatio-temporala parametrar och kinematiska variabler används för att detektera förändringar i jämförande data från en och samma hund.

Metoden kommer kunna tydliggöra och förenkla bedömningen av hundens rörelser. Tillämpningen finns bland annat i kirurgi, sportmedicin och rehabilitering:

- Klinisk diagnostik och uppföljning
- Forskning och utveckling
- Utbildning i rörelselära, hältdiagnostik och rehabilitering för djurhälsopersonal
- Utbildning i rörelselära för domare, tränare m fl.

3 Avlutande del

3.1 Referenslista

Audigie, F., Pourcelot, P., Degueurce, C., Denoix, J.M., Geiger, D. & Bortolussi, C. (1998). Asymmetry in placement of bilateral skin markers on horses and effects of asymmetric skin marker placement on kinematic variables. *American Journal of Veterinary Research*, 59(8), ss. 938-944.

- Bartletti, R., Wheat, J. & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*, 6(2), ss. 224-243.
- Bockstahler, B.A., Prickler, B., Lewy, E., Holler, P.J., Vobornik, A. & Peham, C. (2012). Hind limb kinematics during therapeutic exercises in dogs with osteoarthritis of the hip joints. *American Journal of Veterinary Research*, 73(9), ss. 1371-1376.
- Budsberg, S.C., Verstraete, M.C. & Soutas-Little, R.W., 1987. Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 48(6), ss.915-918.
- Buote, N., Fusco, J. & Radasch, R., 2009. Age, tibial plateau angle, sex, and weight as risk factors for contralateral rupture of the cranial cruciate ligament in Labradors. *Veterinary Surgery: VS: The Official Journal of the American College of Veterinary Surgeons*, 38(4), ss.481-489.
- Canapp Jr., S.O., 2007. The Canine Stifle. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 22(4), ss.195-205.
- Colborne, G.R. m.fl., 2005. Distribution of power across the hind limb joints in Labrador Retrievers and Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research*, 66(9), ss.1563-1571.
- Conzemius, M.G., 1997. Correlation between subjective and objective measures used to determine severity of postoperative pain in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 210(11), s.1619.
- Conzemius, M.G., 2005. Effect of surgical technique on limb function after surgery for rupture of the cranial cruciate ligament in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 226(2), s.232.
- DeCamp, C.E., 1997. Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 27(4), ss.825-840.
- Decker, L.M., Moraiti, C., Stergiou, N. & Georgoulis, A.D. (2011). New insights into anterior cruciate ligament deficiency and reconstruction through the assessment of knee kinematic variability in terms of nonlinear dynamics. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 19(10), ss. 1620-1633.
- Dogan, S. m.fl., 1991. Canine intersegmental hip joint forces and moments before and after cemented total hip replacement. *Journal of Biomechanics*, 24(6), ss.397-407.
- Egenvall, A. m.fl., 2000. Gender, age and breed pattern of diagnoses for veterinary care in insured dogs in Sweden during 1996. *The Veterinary Record*, 146(19), ss.551-557.
- Evans, R., Horstman, C. & Conzemius, M., 2005. Accuracy and Optimization of Force Platform Gait Analysis in Labradors with Cranial Cruciate Disease Evaluated at a Walking Gait. *Veterinary Surgery*, 34(5), ss.445-449.
- Faber, M., Johnston, C., van Weeren, P.R. & Barneveld A. (2002). Repeatability of back kinematics in horses during treadmill locomotion. *Equine Veterinary Journal*, 34(3), ss. 235-241.
- Fossum W Theresa m.fl., 2007. *Small animal surgery*, St. Louis: Mosby Elsevier.
- Fu, Y.C., Torres, B.T. & Budsberg, S.C. (2010). Evaluation of a three-dimensional kinematic model for canine gait analysis. *American Journal of Veterinary Research*, 71(10), ss. 1118-1122.

- Gillette, R.L. & Angle, T.C., 2008. Recent developments in canine locomotor analysis: a review. *Veterinary Journal* (London, England: 1997), 178(2), ss.165-176.
- Gustås, P., Pettersson, K., Honkavaara, S., Lagerstedt, A-S. & Byström, A. (2013). Kinematic and temporospatial assessment of habituation of Labrador retrievers to treadmill trotting. *Veterinary Journal*, 198(1), ss. 114-119.
- Hayashi, K. m.fl., 2003. Evaluation of ligament fibroblast viability in ruptured cranial cruciate ligament of dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 64(8), ss.1010-1016.
- Hayashi, K., Manley, P.A. & Muir, P., 2004. Cranial Cruciate Ligament Pathophysiology in Dogs With Cruciate Disease: A Review. *J Am Anim Hosp Assoc*, 40(5), ss.385-390.
- Holler, P.J., Brazda, V., Dal-Bianco, B., Lewy, E., Mueller, M.C., Peham, C. & Bockstahler, B.A. (2010). Kinematic motion analysis of the joints of the forelimbs and hind limbs of dogs during walking exercise regimens. *American Journal of Veterinary Research*, 71(7), ss. 734-740.
- Hottinger, H.A. m.fl., 1996. Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 57(3), ss.381-388.
- Jaegger, G., Marcellin-Little, D.J. & Levine, D., 2002. Reliability of goniometry in Labrador Retrievers. *American Journal of Veterinary Research*, 63(7), ss.979-986.
- Jandi, A.S. & Schulman, A.J., 2007. Incidence of motion loss of the stifle joint in dogs with naturally occurring cranial cruciate ligament rupture surgically treated with tibial plateau leveling osteotomy: longitudinal clinical study of 412 cases. *Veterinary Surgery: VS: The Official Journal of the American College of Veterinary Surgeons*, 36(2), ss.114-121.
- Jerre, S., 2009. Rehabilitation after extra-articular stabilisation of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T*, 22(2), ss.148-152.
- Johnson, J.M. & Johnson, A.L., 1993. Cranial cruciate ligament rupture. Pathogenesis, diagnosis, and postoperative rehabilitation. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 23(4), ss.717-733.
- Kirby, B.M., 1993. Decision-making in cranial cruciate ligament ruptures. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice*, 23(4), s.797.
- König, H.E. & Liebich, H., 2009. *Veterinary anatomy of domestic mammals: Textbook and colour atlas 4th uppl.*, Stuttgart: Schautter.
- Lanshammar, H. (1996). *Gångens kinematik och kinetik*. Lund: Studentlitteratur.
- Lanzetta, A., Garotta, L. & Vizzardì, M., 1995. Histoire récente des substituts ligamentaires du croisé antérieur. *International Orthopaedics*, 19(2), ss.127-132.
- Marshall, J.L. & Olsson, S., 1971. Instability of the Knee: A long-term experimental study in dogs. *J Bone Joint Surg Am*, 53(8), ss.1561-1570.
- Marsolais, G.S., 2003. Kinematic analysis of the hind limb during swimming and walking in healthy dogs and dogs with surgically corrected cranial cruciate ligament rupture. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 222(6), s.739.

- McLaughlin, R.M. (2001). Kinetic and kinematic gait analysis in dogs. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice*, 31(1), ss. 193-+.
- Mullineaux, D.R. & Uhl, T.L. (2010). Coordination-variability and kinematics of misses versus swishes of basketball free throws. *Journal of Sports Sciences*, 28(9), ss. 1017-1024.
- Murray, M.M., 2009. Current status and potential for primary ACL repair. *Clinics in sports medicine*, 28(1), ss.51-61.
- Piermattei Donald L, L, F.G. & DeCamp Charles E, 2006. *Handbook of Small animal orthopedics and fracture repair 4th uppl.*, St. Louis: Saunders Elsevier.
- Pond, M.J., 1972. The canine stifle joint. I. Rupture of the anterior cruciate ligament. An assessment of conservative and surgical treatment. *The journal of small animal practice*, 13(1), s.1.
- Robertsson, D.G.E. (2004). *Planar Kinematics. I: Robertsson, D.G.E. (red.) Research Methods in Biomechanics. United States of America.*
- Rooster, H.D., Bruin, T.D. & Bree, H.V., 2006. Morphologic and Functional Features of the Canine Cruciate Ligaments. *Veterinary Surgery*, 35(8), ss.769-780.
- Schwencke, M., Smolders, L.A., Bergknut, N., Gustas, P., Meij, B.P. & Hazewinkel, H.A. (2012). Soft Tissue Artifact in Canine Kinematic Gait Analysis. *Veterinary Surgery*, 41(7), ss. 829-837.
- Saleh, M. & Murdoch, G., 1985. In defence of gait analysis. Observation and measurement in gait assessment. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 67(2), ss.237-241.
- Spindler, K.P., 2006. The central ACL defect as a model for failure of intra-articular healing. *Journal of Orthopaedic Research*, 24(3), s.401.
- Torres, B.T. m.fl., 2010. Comparison of canine stifle kinematic data collected with three different targeting models. *Veterinary Surgery: VS: The Official Journal of the American College of Veterinary Surgeons*, 39(4), ss.504-512.
- Vasseur, P.B., 1984. Clinical Results Following Nonoperative Management for Rupture of the Cranial Cruciate Ligament in Dogs. *Veterinary Surgery*, 13(4), ss.243-246.