

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde

der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Kleintierchirurgie

(Leiterin: Ass.-Prof. Dr.med.vet. Britta Vidoni)

Ambulanz für Physikalische Medizin und Rehabilitation

**Beeinflussung der posturalen Stabilität durch
Unterwassertherapie bei Hunden mit Lahmheit der
Vorderextremität**

Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades einer

MAGISTRA MEDICINAE VETERINARIAE

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Christina Ponweiser

Wien, im August 2021

BETREUERIN

Priv. Doz. Dr. habil. Barbara Bockstahler, Diplomate ECVSMR, ACVSMR, FTA, CCRP

Department für Kleintiere und Pferde, Kleintierchirurgie,

Ambulanz für Physikalische Medizin und Rehabilitation

Veterinärmedizinische Universität Wien

Veterinärplatz 1

1210 Wien

Betreuende Assistentinnen

Dr.med.vet. Dipl.ECVSMR Marion Mucha

Dr.med.vet. Bianca Reicher

Dr.med.vet. Kathleen Wittek

GUTACHTER

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Peham

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön gilt meiner Diplomarbeitsbetreuerin, Frau Priv. Doz. Dr. habil. Barbara Bockstahler. Danke für Ihren unermüdlichen Einsatz, Ihre Geduld und Zeit und die stete verlässliche Unterstützung, um diese Arbeit zu ermöglichen.

Ebenfalls sehr dankbar bin ich dem gesamten Physioteam der Vetmeduni Wien, Dr. Bianca Reicher, Dr. Marion Mucha und Dr. Kathleen Wittek. Dank euch konnten alle Messungen und Behandlungen immer schnell und reibungslos durchgeführt werden.

In diesem Sinne möchte ich auch allen Besitzerinnen und Besitzern der tierischen Studienteilnehmer danken, da sie die Durchführung dieser Arbeit erst möglich gemacht haben.

Ein großes Dankeschön geht auch an meine lieben Studienkolleginnen, denn ohne euch und eure Unterstützung wäre das gesamte Studium nur halb so schön gewesen. Wir haben diese sechs anstrengenden, aber unglaublichen Jahre gemeinsam erfolgreich gemeistert und ich bin sehr dankbar, Freundinnen für das Leben gefunden zu haben.

Vielen vielen lieben Dank auch meiner gesamten Familie, meinen Eltern, meiner Schwester und meinen Großeltern. Danke, dass ihr mich alle von Anfang an bedingungslos unterstützt und an mich geglaubt habt und mein Studium in dieser Form ermöglicht habt. Es waren unvergessliche sechs Jahre, die ohne eure Hilfe nicht möglich gewesen wären. Danke dafür!

Ein besonderer Dank geht auch an meinen Verlobten Raphael. Du warst von Beginn des Studiums an meine wichtigste Stütze. Du bist mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden, hast mich unterstützt wo du nur konntest und dank deiner motivierenden Worte konnte ich nun auch meine Diplomarbeit erfolgreich fertigstellen. Das gesamte Studium war durch dich und deine Liebe um einiges einfacher zu bewältigen. Danke, dass du immer für mich da bist.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	4
2.1	Osteoarthrose	4
2.1.1	Ursachen und Risikofaktoren	4
2.2	Anatomische Grundlagen	5
2.2.1	Das Schultergelenk – Articulatio humeri	6
2.2.2	Das Ellbogengelenk – Articulatio cubiti	6
2.2.3	Das Vorderfußwurzelgelenk – Articulatio carpi	7
2.3	Ausgewählte Gelenkpathologien als mögliche Ursache für Osteoarthrose	7
2.3.1	Bizepssehnenverletzung	8
2.3.2	Ellbogengelenksdysplasie	8
2.4	Diagnostik der Osteoarthrose	12
2.4.1	Orthopädische Untersuchung	12
2.4.2	Weiterführende Untersuchungen	13
2.5	Therapie der Osteoarthrose	15
2.5.1	Chirurgische Therapie	15
2.5.2	Konservative Therapie	16
2.5.3	Unterwassertherapie	19
2.6	Bewegungsanalyse und Center of Pressure	21
2.6.1	Kinetische Bewegungsanalyse	21
2.6.2	Center of Pressure	23
3	Material und Methode	26
3.1	Ethik	26
3.2	Auswahl der Hunde	26
3.3	Equipment	27
3.4	Messung	28
3.5	Datenanalyse	29
3.6	Parameter	29
3.7	Statistik	32
4	Ergebnisse	33
4.1	Peak vertical force und Vertical impulse	33
4.1.1	Vor der Therapie	33
4.1.2	Nach der Therapie	36
4.2	Auftreten der PFz während der Standphasendauer	38
4.2.1	Vor der Therapie	38
4.2.2	Nach der Therapie	40
4.3	Standphasendauer	41

4.3.1	Vor der Therapie	41
4.3.2	Nach der Therapie	43
4.4	Medio-laterale Auslenkung des CoP	44
4.4.1	Vor der Therapie	44
4.4.2	Nach der Therapie	46
4.5	Cranio-caudale Auslenkung des CoP	47
4.5.1	Vor der Therapie	47
4.5.2	Nach der Therapie	49
4.6	CoP-Fläche	50
4.6.1	Vor der Therapie	50
4.6.2	Nach der Therapie	52
4.7	CoP-Geschwindigkeit	53
4.7.1	Vor der Therapie	53
4.7.2	Nach der Therapie	55
4.8	CoP-Radius	56
4.8.1	Vor der Therapie	56
4.8.2	Nach der Therapie	58
5	Diskussion	62
5.1	Schlussfolgerung	69
6	Zusammenfassung	70
7	Summary	72
	Abkürzungsverzeichnis	74
	Literaturverzeichnis	76
	Abbildungsverzeichnis	84
	Tabellenverzeichnis	85

1 Einleitung

Die Osteoarthritis beim Hund ist weit verbreitet – sie stellt jene Gelenkserkrankung in der Veterinärmedizin dar, die am häufigsten diagnostiziert wird (Mele 2007). Bezüglich der Prävalenz ist sich die Literatur ziemlich uneinig. In England betrifft es laut O’Neill et al. (2014) 6,6 % der Hunde, in Großbritannien liegt die Prävalenz laut Pettitt und German (2015) jedoch nur bei 2,5 % (O’Neill et al. 2014, Pettitt und German 2015). In Nordamerika sollen sogar Schätzungen zufolge, basierend auf radiologischen und klinischen Daten, bis zu 80 % der über acht Jahre alten Hunde an Osteoarthritis leiden (Johnston 1997). Ein erheblicher Teil ist demnach im Laufe ihres Lebens von diesem Krankheitskomplex betroffen. Die Tiere erleiden Schmerzen, zeigen Lahmheit und die Lebensqualität bzw. die Bewegungsfreude sinken enorm. Daher gibt es mittlerweile viele unterschiedliche Therapieansätze – von der Chirurgie über symptomatische Behandlung, bis hin zur Physikalischen Therapie und Rehabilitation (McLean und Millis 2019).

Im Bereich der Physikalischen Therapie und Rehabilitation findet unter anderem die Unterwassertherapie guten Anklang bei den Hunden. Die Eigenschaften des Wassers werden sich hier zunutze gemacht, beispielsweise hilft der Auftrieb dabei, das Körpergewicht bzw. die Belastung auf die Gelenke zu verringern und somit die Gelenkfunktion zu verbessern. Außerdem sorgt der Widerstand des Wassers für die Förderung der Muskelfunktion und des Muskelaufbaues (McLean und Millis 2019). Die Unterwassertherapie wird auch häufig für die Rehabilitation nach einer orthopädischen Operation oder nach neurologischen Erkrankungen genutzt. Dieses große Spektrum an Einsatzmöglichkeiten setzt voraus, dass je nach Indikation folgende Parameter an den Patienten angepasst werden müssen, um einen optimalen Therapieerfolg gewährleisten zu können: Wassertiefe, Geschwindigkeit des Laufbandes, Wassertemperatur und die Art und Dauer der Übungen (Mucha 2019). Laut der Studie von Preston und Wills (2018) hat sich die Range of motion (ROM) bereits nach einer einzelnen Unterwassertherapie am Laufband in dem mit Osteoarthritis betroffenen Gelenk deutlich verbessert (Preston und Wills 2018).

Nun stellt sich die Frage, ob dieser positive Effekt nach einer Einheit am Unterwasserlaufband auch bei anderen Messwerten bestätigt werden kann. Dafür bietet sich der CoP-Wert (Center of Pressure) gut an, denn laut der Studie von Trevisan et al.

(2015) ist der CoP die am häufigsten verwendete und aussagekräftigste Messung für die Beurteilung der Haltungskontrolle (Trevisan et al. 2015).

Als CoP wird der Center of Pressure bezeichnet, also das Druckzentrum. Er wird beschrieben als eine momentan wirkende Kraft auf die palmare/plantare Fläche der Pfote, wenn diese den Boden berührt (Chiu et al. 2013). Die posturale Stabilität beschreibt die Haltungsstabilität bzw. ist ein Ausdruck der Balance für die einzelnen Körperelemente, beispielsweise einer Extremität. Diese kann weitgehend durch Variablen der Bewegung des CoP dargestellt und beurteilt werden (Dutt-Mazumder et al. 2016). Anders gesagt ist der CoP der Punkt, an dem sich der vertikale Bodenreaktionskraftvektor befindet. Es ist ein zweidimensionaler Positionsparameter, der seine Lage ständig mit der Zeit ändert (Huang et al. 2017). Der CoP-Verlauf ist eine Trajektorie, die durch Koordinaten im Druckzentrum beim Übergang von Ballen zur Zehe gebildet wird. Dieser Verlauf gibt einen Einblick in das dynamische Funktionsverhalten und drückt somit die Balance in Werten aus (Chiu et al. 2013). Die Werte und die Dynamik des CoP geben einen guten Einblick in die Komplexität von propriozeptiven, motorischen und mechanischen Einflüssen auf die Bewegung. Werden nun deren Veränderungen und Entwicklungen über die Zeit beobachtet, ergibt sich dadurch ein Weg, objektiv die Mechanismen der Kompensation und Erholung besser verstehen zu können (Blau et al. 2017). Der CoP gibt damit einen Anhaltspunkt, Belastungsmuster und deren Veränderungen beispielsweise aufgrund einer Lahmheit im Gangzyklus objektiv wiederzugeben (Gelalis et al. 2000).

Aufgrund dieser Eigenschaften des CoP wird in dieser Diplomarbeit untersucht, inwiefern sich der Wert nach einer Einheit Unterwassertherapie bei einem Hund, welcher an Osteoarthritis oder an einer anderen zur Lahmheit führenden Erkrankungen in der Vordergliedmaße leidet, verändert. Somit könnte bewiesen werden, dass auch der CoP-Wert herangezogen werden kann, um den Therapieerfolg – wie auch bei der ROM-Messung – in objektiven Messwerten auszudrücken.

Ziel der Arbeit ist, mithilfe einer Druckmessplatte den CoP-Wert der Vordergliedmaße vor und direkt nach einer Einheit am Unterwasserlaufband zu detektieren und Unterschiede zu zeigen. Damit könnte man beweisen, dass die Unterwassertherapie einen positiven Therapieerfolg auf den Balance- und Stabilitätsindikator CoP ausübt.

Die Dauer dieser Unterwassereinheit wird dabei an den jeweiligen Patienten und an dessen bisherigen Therapieerfolg angepasst – die Zeit beläuft sich jedoch auf maximal 12 Minuten. Die Wassertiefe wird dabei so eingestellt, dass sich der Wasserspiegel im oberen Drittel der Knie-Hüftgelenks-Strecke befindet, um den optimalen Effekt erzielen

zu können. Die Geschwindigkeit des Laufbandes wird so lange erhöht, bis sich die Hunde in einem gleichmäßigen Schritt vorwärts bewegen.

Die daraus folgende Hypothese lautet, dass sich der Center of Pressure in seinen einzelnen Parametern (mediolaterale und craniocaudale Auslenkung, Fläche, Radius und Geschwindigkeit) bei Hunden mit Osteoarthrose oder einer anderen zur Lahmheit führenden Erkrankungen in der Vordergliedmaße nach einer Einheit Unterwassertherapie signifikant dem CoP-Profil einer gesunden Vorderextremität nähert.

2 Literaturübersicht

Folgendes Kapitel befasst sich mit den theoretischen Grundlagen zum besseren Verständnis der Thematik dieser Arbeit.

2.1 Osteoarthritis

Als Osteoarthritis (OA) wird ein die Gelenke betreffendes Krankheitssyndrom bezeichnet, bei dem mehrere biochemische und biomechanische Faktoren unter Zusammenwirkung diesen Krankheitskomplex verursachen (Johnston 1997). Dabei degeneriert der Gelenksknorpel, wodurch es zu Knochenzubildungen an der Gelenkskapsel und zu umliegenden Fibrosierungen kommt (Schulz 2021a). Osteoarthritis ist in der Veterinärmedizin die am häufigsten diagnostizierte Krankheit der Gelenke, wobei Osteoarthritis vor allem innerhalb der entwicklungsbedingten orthopädischen Erkrankungen auftritt (Mele 2007, Richardson und Toll 1997). Klinisch macht sich diese Erkrankung vor allem durch Schmerz und Bewegungsunfreude bemerkbar, ausgelöst durch pathologische Veränderungen im betroffenen Gelenk. Darunter fallen folgende Prozesse: Zerstörung des Gelenksknorpels, Knochenumbau, Osteophytenbildung, Umbauten im periartikulären Gewebe und eine nicht-eitrige Entzündung in jeweils unterschiedlicher Ausprägung (Johnston 1997). Die Krankheit schreitet langsam-progressiv voran und verursacht durch die oben genannten Pathologien eine Erweiterung des Gelenksspaltes und eine Freilegung des subchondralen Knochens, welcher im Laufe der Zeit sklerosiert (Mele 2007).

2.1.1 Ursachen und Risikofaktoren

Osteoarthritis entsteht zumeist sekundär nach Einwirkung eines Traumas, indem entweder eine unnatürliche Kraft auf ein gesundes Gelenk oder eine gewohnte Kraft auf ein bereits vorgeschädigtes Gelenk wirkt. Von ersterem Fall würde man beispielsweise bei einer Gelenksfraktur sprechen, letzterer Fall würde bei einer Hüftgelenkdysplasie eintreten (Johnston 1997). Also entweder entsteht Osteoarthritis aufgrund einer Gelenkinstabilität oder durch eine Knorpelfehlbelastung, welche beispielsweise bei einer Ellbogengelenkdysplasie auftritt. Bei der primären Osteoarthritis ist im Gegensatz dazu

eine Knorpeldegeneration die Ursache, welche sich aufgrund einer altersbedingten Störung entwickelt (Schulz 2021a).

Die Ursachen der sekundären Osteoarthritis unterscheiden sich auch hinsichtlich der Rassen. Während bei mittelgroßen bis großen Rassen die Ellbogengelenksdysplasie und die Hüftgelenksdysplasie im Vordergrund stehen, ist bei kleineren Hunderassen eher die Patellaluxation für die Ausbildung einer Osteoarthritis ursächlich (Baldus und Kramer 2010). Außerdem macht es einen Unterschied, ob die Hunde reinrassig oder gemischtrassig sind – reinrassige Exemplare sind stärker gefährdet als Mischlinge (Anderson et al. 2018). Das betrifft laut der Studie von Mele (2007) vor allem Rassen wie den Deutschen Schäferhund oder den Labrador Retriever, die bei Gelenkserkrankungen überrepräsentiert sind (Mele 2007). Anderson et al. (2018) nennen hingegen als am häufigsten betroffene Rassen Rottweiler, Bordeaux-Dogge und Bobtail (Anderson et al. 2018).

Zudem stellt auch das Patientenalter einen wichtigen Risikofaktor dar. Über 50 % der Osteoarthritispatienten werden mit einem Alter zwischen 8 bis 13 Jahren diagnostiziert. Das mittlere Alter der Diagnose liegt bei 10,5 Jahren. Außerdem korreliert die Größe der Patienten mit dem Auftreten einer Osteoarthritis – je größer die Hunde, desto eher entwickeln sie im Laufe ihres Lebens eine Osteoarthritis. Daneben spielt auch das Körpergewicht eine große Rolle – Hunde, die über ihrem geeigneten Gewicht liegen, sind einem viel höheren Risiko ausgesetzt als Hunde mit Idealgewicht. Vor allem Welpen, die übergewichtig sind bzw. überfüttert werden, werden mit der Entwicklung von Gelenkserkrankungen assoziiert (Anderson et al. 2018, Mele 2007).

Eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Osteoarthritis kann außerdem die anormale Mechanik spielen. Diese wird neben Dysplasien unter anderem auch durch osteoartikuläre Traumata ausgelöst, wodurch der Patient in weiterer Folge eine Osteoarthritis erleiden kann (Felson 2013, Mele 2007). Als weiterer wichtiger Risikofaktor ist auch ein zu exzessives Bewegen, vor allem in der Wachstumsphase, zu erwähnen (Mele 2007).

2.2 Anatomische Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird kurz die Anatomie der großen Gelenke der Vorderextremität beschrieben, um nachfolgend die wichtigsten pathologischen Veränderungen als mögliche Ursache für Osteoarthritis beschreiben zu können.

2.2.1 Das Schultergelenk – *Articulatio humeri*

Das Schultergelenk, bestehend aus dem *Caput humeri* des Oberarmknochens und der *Cavitas glenoidalis* des Schulterblattes, stellt ein Kugelgelenk dar. Die *Ligamenta (Ligg.) glenohumeralia* unterstützen die Gelenkscapsel als kollagene und elastische Fasern im lateralen und medialen Anteil. Eine Besonderheit an diesem Gelenk ist, dass die Gelenksbänder durch die Endsehnen von Muskeln ersetzt werden. Dabei entspricht dem medialen Seitenband der *Musculus (M.) subscapularis* und dem lateralen Seitenband der *M. infraspinatus* und zu Teilen auch der *M. supraspinatus*. Diese Stabilisatoren werden als „aktive Bänder“ bezeichnet und funktionieren das Schultergelenk in dessen Mechanik zu einem Wechselgelenk um. Zu den wichtigsten Muskeln des Schultergelenks zählen *M. latissimus dorsi*, *M. deltoideus* als Beuger und *M. supraspinatus* als Gelenksstrecker. *M. infraspinatus* und *M. subscapularis* können je nach Gelenksstellung das Schultergelenk beugen oder strecken (Nickel et al. 2004b, Salomon 2015b).

2.2.2 Das Ellbogengelenk – *Articulatio cubiti*

Das Ellbogengelenk wird von der *Articulatio (Art.) humeroradialis* und der *Art. humeroulnaris* gebildet. Dieses zusammengesetzte Gelenk besteht aus dem *Condylus humeri*, dem *Caput radii* und der *Incisura trochlearis ulnae* mit dem *Processus coronoideus medialis und lateralis* und caudal dem *Proc. anconaeus*. Auch die *Art. radioulnaris proximalis* wird zum Ellbogengelenk gezählt, da sich dieses Teilgelenk mit den oben beiden genannten Gelenken in einer gemeinsamen Kapsel befindet. Sie alle haben unterschiedliche Aufgaben: Das Humeroradialgelenk trägt die Hauptlast des Körpers, das Humeroulnargelenk stabilisiert und trägt ebenfalls einen geringen Teil des Gewichts, und das proximale Radioulnargelenk bewerkstelligt eine Rotationsbewegung des Unterarmes. Das Ellbogengelenk besitzt starke Seitenbänder, wodurch, wie beim Schultergelenk, ein Wechselgelenk entsteht und somit die Seitwärtsbewegung fast gänzlich verhindert wird. Das laterale Kollateralband teilt sich in einen cranialen Schenkel, welcher zum *Radius* zieht und einen caudalen Schenkel, welcher an der *Ulna* ansetzt. Auch das laterale Seitenband teilt sich, wobei der craniale Teil ebenfalls am *Radius* und der caudale Teil an der *Ulna*, aber auch zum Teil am *Radius* ansetzt. Zur Beugung des Ellbogengelenks werden *M. biceps brachii* und *M. brachialis* benötigt. *M. triceps*, *M. tensor fasciae antebrachii* und *M. anconeus* strecken das Gelenk (Nickel et al. 2004a, Salomon 2015a).

2.2.3 Das Vorderfußwurzelgelenk – *Articulatio carpi*

Dieses Gelenk besteht von proximal nach distal aus folgenden drei Gelenksetagen: *Art. antebrachiocarpea*, *Art. mediocarpea*, *Artt. carpometacarpeae*. Für die Artikulation der proximalen Karpalknochen mit dem Unterarm ist die *Art. antebrachiocarpea* zuständig. Es gehört zu den Ellipsoidgelenken, da eine vielseitige Bewegung der Vorderpfoten erreicht werden kann. Die proximalen und die distalen Karpalknochen sind durch die *Art. mediocarpea* verbunden und bilden ein Scharniergelenk. Die Kommunikation der distalen Karpalknochen mit den Metakarpalknochen findet mithilfe der *Artt. carpometacarpeae* statt. Im Gegensatz zu den proximal liegenden Gelenksetagen handelt es sich hierbei aber um ein straffes Gelenk. In dieser Reihe ist kaum eine Bewegung zwischen den Knochen möglich. Ebenfalls straffe Gelenke stellen auch die *Artt. intercarpeae* dar, die sich zwischen den einzelnen Karpalknochen innerhalb einer Etage befinden. Weiters gehören zu dem Gelenkskomplex auch noch die Verbindungen der Karpalknochen zum Sesambein in Form der *Art. ossis carpi accessorii* und die Verbindung zwischen den einzelnen Metakarpalknochen durch die *Artt. intermetacarpae*, das straffe Gelenke darstellt. Das gesamte Vorderfußwurzelgelenk wird durch zahlreiche Bänder stabilisiert und so in Position gehalten. Zu beachten ist dabei, dass die Seitenbänder nur über das proximale Teilgelenk gespannt sind, wodurch im Carpalgelenk eine geringe Seitwärtsbewegung möglich ist. Durch kräftige Unterarm-Fußwurzelbänder und Vorderfußwurzel-Mittelfußbänder wird das Überstrecken des Vorderfußwurzelgelenkes verhindert, wobei auch das palmar liegende *Retinaculum flexorum* von Bedeutung ist. Untereinander sind die Karpalknochen mittels Interkarpalbänder verbunden, um die nötige Stabilität aufrecht zu erhalten. Als Beuger des Carpalgelenks fungieren *M. flexor carpi radialis*, *M. flexor carpi ulnaris* und *M. flexor digitorum profundus*. *M. extensor carpi radialis*, *M. extensor digitorum communis* und *M. extensor digitorum lateralis* ermöglichen die Streckung des Carpalgelenks (Nickel et al. 2004c, Salomon 2015c).

2.3 Ausgewählte Gelenkpathologien als mögliche Ursache für Osteoarthritis

Die folgenden Gelenkserkrankungen (mit Ausnahme der Bizepssehnenverletzung) sind häufige Ursachen für eine später auftretende Ausbildung einer Osteoarthritis (Schulz 2021a). Auch die Patienten in dieser Studie litten unter anderem an diesen folgenden

Erkrankungen. Deshalb werden in diesem Kapitel diese definiert und die Entstehung näher erläutert, um einen groben Überblick zu bekommen.

2.3.1 Bizepssehnenverletzung

Aufgrund einer direkten oder indirekten Traumatisierung kommt es zur Tendosynovitis der Bizepssehne bzw. zu einer vollständigen oder unvollständigen Sehnenruptur. Es kann auch eine chronische Entzündung mit dystrophischer Verkalkung der Sehne vorliegen. Die Sehne kann schlussendlich mit der Sehnenscheide verkleben, wodurch Schmerzen und Bewegungseinschränkungen entstehen. Außerdem können sich im *Sulcus intertubercularis*, in dem die Bizepssehne liegt, *Osteophyten* bilden. Allgemein sind Teilrupturen der Bizepssehne häufiger als gänzliche Rupturen. Ursächlich dafür sind neben Traumata häufig degenerative Veränderungen der Sehne, wodurch eine Ruptur auch bei normaler Belastung entstehen kann. Dies passiert am häufigsten am knöchernen Ansatz am *Tuberculum supraglenoidale*, wodurch eine Verminderung in der Ellbogenbeugung und Instabilität des Schultergelenks auftreten kann. Betroffen sind vor allem mittelgroße bis große Rassen mittleren bis hohen Alters (Meyer-Lindenberg 2018c, Schulz 2021b).

2.3.2 Ellbogengelenksdysplasie

Die Ellbogengelenksdysplasie ist ein Überbegriff, unter dem mehrere separate Erkrankungen dieses Gelenkes zusammengefasst werden. Dieser Komplex stellt die wahrscheinlich häufigste Ursache für eine Lahmheit in der Vorderextremität beim Hund dar und führt zur Ellbogengelenksarthrose, einer Cubarthrose. Dazu gehören der fragmentierte *Processus (Proc.) coronoideus*, die *Osteochondrosis dissecans* (OCD), der isolierte *Processus anconaeus*, die radioulnare Inkongruenz und das mediale Kompartmentsyndrom (Schulz 2021c).

Es können gleichzeitig sämtliche Varianten der Ellbogengelenksdysplasie oder auch nur eine Teilerkrankung vorliegen. Ursächlich ist ein multifaktorielles Geschehen, wobei der Auslöser dafür eine enchondrale Ossifikationsstörung darstellt. Betroffen sind vor allem mittelgroße bis große Hunderassen männlichen Geschlechts (Meyer-Lindenberg 2018a). Die Ellbogengelenksdysplasie beginnt in einem Alter von 4-7 Monaten, wobei vor allem Rassen wie Labrador Retriever, Deutscher Schäferhund oder Neufundländer anfällig sind (Vezzoni und Benjamino 2021).

Fragmentierter Processus coronoideus

Der fragmentierte bzw. frakturierte *Proc. coronoideus* (FCP) tritt als verbreitete Art der medialen Koronoiderkrankung auf (Schulz 2021k). Die mediale Koronoiderkrankung wiederum stellt außerdem auch die häufigste Ausprägungsform der Ellbogengelenksdysplasie generell dar (Vezzoni und Benjamino 2021). Dabei isoliert sich der *Proc. coronoideus medialis ulnae* meist vollständig von der *Ulna* als Knochen-Knorpelfragment und bleibt bindegewebig mit dem *Lig. annulare* verbunden. Das Fragment zieht Arthrosen und Lahmheit mit sich und kann auch am Gelenksknorpel des Oberarmknochens (an der *Trochlea humeri*) sogenannte „kissing lesions“ hervorrufen. Darunter versteht man Knorpelerosionen, die durch das lose Fragment verursacht werden. Die genaue Ursache für die Entstehung eines FCP hat man bislang nicht gefunden, es bestehen aber verschiedenste Theorien zu der Ätiologie, unter anderem, dass der FCP womöglich eine Folge von einer OCD-Läsion darstellt oder, dass die Erkrankung auf einer Gefäßanomalie des *Proc. coronoideus medialis* beruhen könnte oder aber, dass eine entwicklungsbedingte Inkongruenz des Ellbogengelenks dafür verantwortlich ist (Schulz 2021k). Schwierig gestaltet sich auch, dass das Vorhandensein einer medialen Koronoiderkrankung nicht immer zwingend mit einer offensichtlichen Gelenksinkongruenz zum Diagnosezeitpunkt einhergeht, da sich die Inkongruenz spontan während des Wachstums wieder auflösen kann (Coppeters et al. 2015).

Mediales Kompartmentsyndrom

Das mediale Kompartmentsyndrom beschreibt als Begriff im Gegensatz zur medialen Koronoiderkrankung die Knorpelerosionen am medialen Ellbogengelenk an sich, das den *Proc. coronoideus medialis*, den medialen *Humeruskondylus* und teilweise den medialen Teil des Radiuskopfes mit einschließt (Schulz 2021f). Der Begriff ist eine neuere Bezeichnung für eine Gruppe verwandter Einzelerkrankungen, die das mediale Ellenbogenkompartiment betreffen. Darin eingeschlossen sind die mediale Koronoidsklerose, Koronoidmikrofraktur, Koronoidfragmentierung oder -fissur und Knorpelschäden an der *Trochlea* oder dem Koronoidfortsatz, mit oder ohne Gelenksinkongruenz (Fitzpatrick und Yeadon 2009). Die Knorpelschädigung kann hierbei von einer leichten Chondromalazie bis hin zum vollständigen Verlust mit Erosion des subchondralen Knochens variieren, jeweils mit oder ohne FCP (Burton et al. 2010). Außerdem gibt es laut Samoy et al. (2012) eine Korrelation zwischen dem Grad der Inkongruenz und dem Vorhandensein eines medialen Koronoidfragments mit dem Grad

der Knorpelverletzung im Gelenk (Samoy et al. 2012).

Die Ätiologie dahinter ist bis jetzt unbekannt. Es gibt aber eine Theorie von Coppieters et al. (2016), die eine mechanische Überlastung oder Ellbogengelenksinkongruenz als Ursache vermuten lässt (Coppieters et al. 2016). Das mediale Kompartmentsyndrom zeigt sich häufig als Endstadium der Ellbogengelenksdysplasie mit Zusammenfall der inneren Strukturen des Gelenks, wodurch es zur Aneinanderreibung der Knochen kommt. Dabei bleibt aber häufig der laterale Anteil des Gelenks in der Erscheinung normal (Schulz 2021f).

Osteochondrosis dissecans

Die *Osteochondrosis dissecans* stellt eine enchondrale Ossifikationsstörung junger, großer Hunde dar, welche häufig bilateral auftritt. Ursächlich dafür ist eine unvorteilhafte Kombination aus Haltung, Erbanlage und Fütterung von (schnell) wachsenden Hunden. Zunächst kommt es hierbei zu einer Verdickung des Knorpels, was eine Unterversorgung der Chondrozyten bewirkt, die schlussendlich absterben. Aufgrund dessen kommt es in der Tiefe zur Spaltbildung, die sich unter Belastung als Risse bis zur Gelenksoberfläche darstellen können. Durch die anfängliche Ossifikationsstörung bildet sich somit eine Knorpelschuppe, die entweder durch eine dünne Verbindung noch mit dem restlichen Knorpel verbunden oder vom übrigen Gewebe komplett abgelöst im Gelenk liegt. Die Knorpelschuppen können sich entweder mit der Zeit kalzifizieren und somit an Größe gewinnen, oder sie werden in seltenen Fällen resorbiert (Meyer-Lindenberg 2018b, Schulz 2021h).

Beim Ellbogen ist die Osteochondrose jedoch nicht nur als OCD eine eigenständige Erkrankung wie beispielsweise bei der Schulter, sondern ist auch in die Pathophysiologie des FCP und des isolierten *Proc. anconaeus* involviert. In den meisten Fällen kommt es erst durch eine losgelöste Knorpelschuppe, die nicht ossifiziert, zu einer manifesten Lahmheit – es können aber bereits in den Vorstadien klinische Symptome auftreten. Dadurch, dass die Knorpelschuppe an der Trochlea humeri, und somit benachbart zum *Proc. coronoideus* liegt, können sich mit der Zeit auch dort Abnutzungen des Knorpels zeigen, zu weiteren Problemen führen und als Endstadium eine *Cubarthrose* auslösen (Schulz 2021g).

Es ist noch unklar, ob und wie eine vorhandene Ellbogengelenksinkongruenz bei der Entstehung der OCD mitwirkt. Es ist aber zu beobachten, dass eine OCD häufig auftritt, wenn ein zu kurzer Radius vorliegt, was zu einer erhöhten Gewichtsbelastung auf Höhe des medialen Humeruskondylus führt (Remy et al. 2004). Besonders stark betroffen

von einer OCD sind beispielsweise die Bordeauxdogge, der Golden Retriever oder der Berner Sennenhund (LaFond et al. 2002). Die OCD wird dabei häufig zwischen dem vierten und achten Lebensmonat diagnostiziert und tritt oft bilateral auf. Liegt die OCD in Kombination mit einer medialen Koronoiderkrankung vor, spricht man von einer vorsichtigen Prognose (Vezzoni und Benjamino 2021).

Isolierter Processus anconaeus

Der isolierte *Processus anconaeus* (IPA) ist die am längsten bekannte Ursache für eine Ellbogengelenksdysplasie (Vezzoni und Benjamino 2021). Beim IPA liegt eine fehlende Fusion des *Processus anconaeus* mit der proximalen *Ulna* vor. Der *Processus* besitzt einen eigenen Verknöcherungskern, der sich normalerweise zwischen der 16. und 20. Lebenswoche mit der *Ulna* verbindet. Passiert dies nicht, spricht man von einem IPA (Meyer-Lindenberg 2018a). Dementsprechend ist ein IPA nicht vor dem vierten Lebensmonat diagnostizierbar.

Der *Processus anconaeus* liegt im Normalfall in bindegewebiger Anheftung zur *Ulna* vor, in seltenen Fällen kann sich das Knochenstück aber auch frei im Ellbogengelenk bewegen. Dadurch, dass der IPA das Gelenk instabil macht, entsteht auch hier mit der Zeit eine Cubarthrose. Die Ätiologie ist zurzeit noch umstritten, es bestehen aber Theorien zur Entstehungsweise. Diskutiert wird als Ursache eine OCD oder aber auch eine entwicklungsbedingte Gelenksinkongruenz (Schulz 2021d). Der IPA ist besonders beim Deutschen Schäferhund anzutreffen und tritt uni- oder bilateral auf (Meyer-Lindenberg 2018a). Generell sind großrassige Hunde betroffen, da kleinrassige Exemplare keinen separaten Ossifikationskern besitzen und somit diese Krankheit nicht entwickeln können (Vezzoni und Benjamino 2021).

Radioulnare Inkongruenz

Die radioulnare Inkongruenz ist die Folge eines ungleichmäßigen Wachstums von *Radius* und *Ulna*. Bei einem zu kurz gewachsenen *Radius* (short radius syndrome) liegt der *Processus coronoideus* zu weit proximal im Vergleich zur Gelenksebene des Radiuskopfes. Das mediale Kompartiment des Ellbogens ist dadurch überbelastet, wodurch es zum fragmentierten *Processus coronoideus* und zu Schäden des Knorpels an dieser Stelle kommt. Es sind vor allem große Rassen ab einem Alter von 5-7 Monaten betroffen (Preston et al. 2000, Schulz 2021i).

Eine zu kurz gewachsene *Ulna* (short ulna syndrome) kann hingegen mit einem isolierten

Processus anconaeus einher gehen. Der *Processus* stößt nämlich durch die zu weit distal liegende Gelenksfläche der *Ulna* an die *Trochlea humeri*. Außerdem erleiden die Hunde auch oft eine Gliedmaßenfehlstellung in Form eines *Radius curvus* oder *Carpus valgus*. Unbehandelt führen beide Ursachen der Inkongruenz zu Gelenkinstabilität und Arthrosen (Schulz 2021j).

2.4 Diagnostik der Osteoarthrose

Hunde, die an Arthrose leiden, verändern ihr Gangbild. Sie werden steif, unwillig und können Schwierigkeiten beim Treppensteigen haben (Belshaw et al. 2020b). Besitzer beschreiben, dass die Bewegungsfreude fehlt, die Hunde langsamer gehen und häufiger rasten bzw. sich hinsetzen. Die Ausprägung ist jeweils auch von der Tagesverfassung abhängig – es gibt bessere und schlechtere Tage bezogen auf den Wunsch, sich zu bewegen (Belshaw et al. 2020a).

2.4.1 Orthopädische Untersuchung

Beim Tierarzt vorstellig werden die Patienten schlussendlich meist wegen Lahmheiten, die in ihrer Ausprägung ganz unterschiedlich sein können (Schulz 2021a). Um diese genauer zu lokalisieren und eingrenzen zu können, wird eine Lahmheitsuntersuchung mithilfe des orthopädischen Untersuchungsganges durchgeführt. Dabei wird der Patient zuerst in Ruhe und anschließend in Bewegung betrachtet, um etwaige Abweichungen in der Körperhaltung und Gangabnormalitäten zu erkennen. Es folgt die Palpation der einzelnen Gliedmaßen, zuerst im Stehen und dann im Liegen, wobei auch die einzelnen Gelenke gut bewegt und Provokationsproben durchgeführt werden, um die Lokalisation der Lahmheitsursache ausfindig zu machen. Zu vergessen ist auch nicht die Palpation von Wirbelsäule und Kopf, da die Ursache für eine Lahmheit auch hier liegen kann (Kramer und Kofler 2014, Schrey 2014).

Neben allgemeinen Befunden, wie einem eingeschränkten Bewegungsradius, Krepitation oder Lahmheiten bis hin zur Muskelatrophie, zeigen sich bei den einzelnen Gelenken der Vorderextremität unterschiedliche Merkmale. Bei der Osteoarthrose in der Schulter kann man beispielsweise einen Gelenkserguss gar nicht ertasten, weil es durch die großen Muskelgruppen in der Region verhindert wird. Hinweise auf eine Osteoarthrose geben hingegen Schmerzen und eine eingeschränkte Maximalbewegung bei der Streckung. Im Ellbogengelenk hingegen ist ein Erguss ohne weiteres zu diagnostizieren, wobei eine

zeitgleiche Palpation des gegenüberliegenden Gelenks als Vergleich hilft. Hinweise auf eine vorliegende Osteoarthrose geben eine eingeschränkte Beweglichkeit in Flexion oder Extension sowie Schmerzäußerung dabei. Im Karpalgelenk hingegen deuten nicht nur ein Gelenkserguss, Einschränkung und Schmerz in der Flexion auf ein Vorhandensein einer Osteoarthrose hin, sondern es sind auch nicht selten Osteophyten in diesem Bereich zu ertasten (McLean und Millis 2019).

Eine Hilfestellung in der allgemein orthopädischen Untersuchung bieten die Provokationsproben in den einzelnen Gelenken. Ist die Überstreckung im Schultergelenk schmerzhaft, kann dies auf eine OCD am *Caput humeri* hinweisen. Wenn das Vorderbein vollständig überbeugt wird und dabei das Ellbogengelenk gestreckt werden kann, deutet dieses Phänomen auf eine Ruptur der Bizepssehne hin. Am Ellbogen können die medialen Strukturen separat maximal belastet werden. Dazu wird das Carpalgelenk gebeugt, die Pfote supiniert und distal des *Epicondylus medialis* Druck ausgeübt. Ist diese Bewegung schmerzhaft, deutet das auf eine Koronoiderkrankung oder eine OCD hin. Überstreckt man das Ellbogengelenk hingegen und übt Druck auf den *Proc. anconaeus* aus, kann diese Manipulation bei entsprechender Schmerzhaftigkeit einen Hinweis auf einen isolierten *Proc. anconaeus* geben. Im Carpalgelenk spricht außerdem eine vermehrt mögliche Überstreckung für eine Hyperextensionsverletzung. (Kramer und Kofler 2014).

2.4.2 Weiterführende Untersuchungen

Die Orthopädische Untersuchung gibt somit nur Hinweise auf eine Osteoarthrose, jedoch sind diese Befunde nicht beweisend. Sie werden im nächsten Schritt der Untersuchung radiologisch durch Anfertigung von Röntgenaufnahmen bestätigt (McLean und Millis 2019). Die dabei erkennbaren Veränderungen sind abhängig von der Dauer der Osteoarthrose. Am Bild sichtbar können unter anderem Osteophyten, subchondrale Knochensklerose, Gelenksergüsse, Muskelatrophie und auch eine Schwellung des umliegenden Gewebes sein. Die meisten solcher Veränderungen brauchen jedoch Zeit, um entstehen zu können, weswegen man bei einem Nachweis von den genannten Pathologien auf eine gewisse Chronizität schließen kann und somit röntgenologisch nicht sichtbare Veränderungen wie Knorpelschädigungen schon länger bestanden haben können (Schulz 2021a). Mithilfe der radiologischen Untersuchung wird also zusammengefasst die Erkrankung Osteoarthrose bewiesen und somit als Ursache für die vorliegende Lahmheit diagnostiziert. Außerdem kann dadurch die Schwere der Erkrankung eruiert und auch andere mögliche Pathologien ausgeschlossen werden. Liegt die Lahmheitsursache im Bereich des Ellbogens, würde man am Röntgenbild zum Beispiel röntgendichte

Zubildungen dorsal des *Proc. anconaeus*, cranial am Radiuskopf, am *Epicondylus humeri* und sklerotische Veränderungen caudal der *Incisura trochlearis* erkennen können (Baldus und Kramer 2010).

Des Weiteren gibt es auch noch die Möglichkeit, das verdächtige Gelenk arthroskopisch abzuklären. Dabei sprechen ein Wachstum der Synovialzotten sowie Knorpelschäden für ein Vorliegen einer Osteoarthritis. Man kann mit dieser Methode somit die Diagnose früher stellen als mithilfe einer röntgenologischen Untersuchung (Schulz 2021a).

Um die visuelle und somit subjektive Lahmheitsuntersuchung zu unterstützen, gibt es auch die Möglichkeit zur Messung der Bodenreaktionskräfte (Ground Reaction Force – GRF) durch die kinetische Ganganalyse (Carr et al. 2016). Der Patient läuft dabei über eine Druck- bzw. Kraftmessplatte, wobei die Kraftmessplatte das bisher am häufigsten angewandte und auch validierte quantitative Mittel zur Ganganalyse in der Veterinärmedizin darstellt (Gordon-Evans 2012). Ausführlichere Beschreibungen folgen im Kapitel 2.6.1.

Mithilfe der Platte werden die einzelnen Schritte des Hundes objektiv analysiert und mithilfe von Messwerten quantitativ ausgedrückt. Die Bodenreaktionskräfte werden dabei in vertikaler bzw. bei manchen Kraftmessplatten auch in craniocaudaler und mediolateraler Dimension gemessen. Die beiden wichtigsten Parameter stellen peak vertical force (vertikale Spitzenkraft) und vertical impulse (vertikaler Impuls) dar. Die vertikale Spitzenkraft ist definiert als die größte Einzelkraft während der Standphase (einziger Datenpunkt auf der Kraft-Zeit-Kurve). Der vertikale Impuls stellt hingegen eine Funktion aus Kraft und Zeit dar (Carr et al. 2016). Die vertikale Spitzenkraft ist geringer, da lahme Hunde weniger Gewicht auf der schmerzhaften Gliedmaße tragen. Der vertikale Impuls nimmt ebenfalls ab, da sich die Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve verringert, weil Kraft und Zeit im Stand der lahmen Gliedmaße reduziert sind. Die vertikale Spitzenkraft ist jedoch in einigen Fällen deutlicher beeinträchtigt als der vertikale Impuls. Außerdem ist in der graphischen Darstellung von lahmen Hunden ein steilerer Abfall der Kurve zu vernehmen, was eine schnelle Entlastung der betroffenen Gliedmaße signalisiert. Die Steigung nimmt hingegen ab, was auf eine langsame Belastung aufgrund der Lahmheit schließen lässt (Gordon-Evans 2012).

Eine neuere recht viel versprechende Methode zur Diagnostik ist der Einsatz von N-Glykan-Biomarkern aus dem Serum für die canine Osteoarthritis (Lee et al. 2020). Das Problem an einfachen Röntgenbildern ist nämlich, dass frühe pathologische Veränderungen nicht gesehen werden können, wodurch eine Frühdiagnose nicht möglich ist. Und auch selbst, wenn eigentlich eine Knochenveränderung vorhanden ist, kann das Röntgenbild

die Osteoarthritis dennoch oft nicht erfassen (Matyas et al. 2004). Wegen dieser Ungenauigkeit der Röntgendiagnostik sind Forschungen zur Entwicklung von Biomarkern aus Synovialflüssigkeit, Serum oder Urin nötig, um einen neuen möglichen Weg der Diagnostik zu erlangen (Lee et al. 2020).

Die Veränderung der Glykosylierung im Serumproteom wird bereits als neuartiger Indikator für verschiedene Krankheiten beim Menschen verwendet (Ohtsubo und Marth 2006). Zur Evaluierung der Umsetzbarkeit und Anwendbarkeit der Glykomik im Bereich der Veterinärmedizin haben Lee et al. (2020) die N-Glykan-Biomarker aus dem Hundeserum entdeckt. Dabei wurde die Massenspektrometrie zur Evaluierung der Biomarker aus dem Hundeserum verwendet, und es zeigte sich eine sehr gute diagnostische Stabilität. Es muss zwar noch eine umfangreiche Validierung erfolgen, jedoch sieht diese Studie großes Potential in der Beurteilung von Veränderungen der N-Glykan-Expression im Serum als Indikator für die Osteoarthrosediagnostik (Lee et al. 2020).

2.5 Therapie der Osteoarthritis

Zur Therapie der Osteoarthritis eignen sich chirurgische als auch konservative Methoden – separat bzw. meistens als Kombination, denn häufig reicht ein einzelner Ansatz der Therapie nicht aus, um den klinischen Symptomen entgegenwirken zu können (Schulz 2021a).

2.5.1 Chirurgische Therapie

In der Chirurgie geht es darum, die zugrundeliegende Erkrankung zu beheben, um die Funktion des betroffenen Gelenks wieder zu erlangen. Dadurch erhofft man sich eine bessere Kontrolle der Osteoarthritis. Vor allem bei therapieresistenten Schmerzen beim Vorliegen einer Osteoarthritis ist eine chirurgische Behandlung oft nicht umgekehrbar (Schulz 2021a). Eine chirurgische Behandlung bei einer medialen Koronoiderkrankung beispielsweise verhindert zwar nicht die Progression der Osteoarthritis, aber ein Patient in einem fortgeschrittenen Osteoarthroses Stadium mit nicht kontrollierbaren Schmerzen kann von einem operativen Eingriff profitieren (Rutherford 2017).

Die Arthrodesen (chirurgische Gelenksversteifung) bringt vor allem im Carpalgelenk guten Erfolg und wird von den Hunden auch gut akzeptiert (Rutherford 2017). Dieser Eingriff kann bei Erhaltung der Gliedmaßenfunktion die Schmerzen deutlich lindern. Eine Versteifung im Bereich des Ellbogens bringt jedoch unzureichende Ergebnisse (Schulz

2021a). Auch die Methode des Gelenkersatzes in Form einer Endoprothese ist beim Ellbogen schwierig umzusetzen, da hier eine enorm komplexe Biomechanik wirkt und die Operation erhebliche Komplikationen mit sich bringt (Rutherford 2017, Schulz 2021a).

2.5.2 Konservative Therapie

In der konservativen Therapie wird ein multimodaler Ansatz verfolgt, welcher ganz individuell an den Patienten angepasst und regelmäßig kontrolliert wird. Dabei inkludiert sind die medikamentöse Behandlung, Diätetik sowie kontrollierte Bewegung und physikalische Therapie und Rehabilitation. Diese verschiedenen Behandlungsmethoden werden entweder schrittweise verwendet oder simultan – je nach Patient und Ziel (McLean und Millis 2019).

Medikation

Hierbei unterscheidet man zwei verschiedene Klassen – symptommodifizierende und strukturmodifizierende Medikamente. Die symptommodifizierenden Wirkstoffe sollen Schmerzen und Entzündungen entgegenwirken. Dabei werden vor allem nicht-steroidale Entzündungshemmer (NSAIDs) herangezogen (McLean und Millis 2019). NSAIDs sind meist die am ersten verwendete Wirkstoffgruppe in der Osteoarthritisbehandlung. Sie haben neben ihren Vorteilen aber auch etliche Nebenwirkungen wie Magenulzera. Unter strenger und gewissenhafter Kontrolle und Anpassung können aber die nichtsteroidalen Entzündungshemmer als Langzeittherapie sicher verwendet werden, um die entzündliche Komponente samt Schmerzen zu kontrollieren (Rychel 2010). Zwei häufig verwendete und gut einsetzbare NSAIDs sind Meloxicam und Mavacoxib. Walton et al. (2014) haben in ihrer Studie die beiden Medikamente verglichen und fanden heraus, dass beide Varianten bei richtiger Verabreichung ähnliche Verbesserungen in der Gliedmaßenfunktion und Mobilität bewirken, wobei bei Meloxicam der klinische Erfolg von der Dosis über mehrere Wochen abhängig war (Walton et al. 2014). Reicht ein NSAID zur Schmerz- und Entzündungstherapie nicht aus bzw. spricht ein Patient überhaupt nicht auf NSAIDs an, kann man beispielsweise gut mit Amantadin kombinieren. Dadurch wird die Gliedmaßenfunktion eindeutig verbessert und die Schmerzen werden gelindert (Lascelles et al. 2008).

Einen anderen Ansatz bietet Grapiprant, denn es hemmt nicht wie NSAIDs die Cyclooxygenase, sondern stellt einen Antagonisten am Prostaglandinrezeptor dar. Die Gabe führt zur nachweislichen Verbesserung der Klinik und ausgelöste Nebenwirkungen

äußern sich nur mild und vorübergehend – auch bei Patienten mit klinischen Begleiterkrankungen. Damit lassen sich folgend auch die Nebenwirkungen, die NSAIDs hervorrufen, kontrollieren (Rausch-Derra et al. 2016).

Unter strukturmodifizierenden Wirkstoffen versteht man Präparate, die die Knorpelzerstörung verlangsamen, die Synoviagesundheit verbessern und die Osteoarthroseentwicklung beeinflussen sollen. Dazu tragen etliche ganz unterschiedliche Stoffe bei. Polysulfatierte Glykosaminoglykane beispielsweise verbessern die Gesundheit des Gelenksknorpels, Glukosamin und Chondroitinsulfat hingegen sind natürliche Komponenten des Gelenksknorpels. Eine Injektion von Hyaluronsäure ins Gelenk reduziert durch die Viskositätserhöhung der Synovia die Entzündung und kann Schmerzen mildern. Entzündungshemmend wirken auch Methylsulfanylmethan und Perna cannaliculus. S-Adenyl-Methionin reduziert durch Hemmung von Enzymen den Knorpelabbau, durch Omega-3-Fettsäuren kann die Gabe von NSAIDs verringert werden, und nicht denaturierte Kollagenderivate können die Autoimmunreaktionen gegen Kollagen minimieren (McLean und Millis 2019).

Gewichtsmanagement

Durch das Vorliegen von Adipositas wird die Belastung auf Gelenke – besonders auf diejenigen, die bereits an Osteoarthrose erkrankt sind – nochmals erhöht. Außerdem werden aus dem Fettgewebe Entzündungsmediatoren freigesetzt, wodurch dem Gewichtsmanagement eine entscheidende Rolle in der Progression dieser Erkrankung zuteilwird (Marshall et al. 2009). Übergewichtige Hunde sind demnach nicht nur inaktiver, sondern die vorliegende chronische Entzündung wirkt sich ebenfalls negativ auf die Gelenksgesundheit aus (Rychel 2010).

Eine Reduktion und Kontrolle der Körpermasse kann somit dabei helfen, klinische Veränderungen bedingt durch die Osteoarthrose zu verringern (Marshall et al. 2009). Johnston et al. (2008) sprechen sogar davon, dass bereits eine Gewichtsreduktion alleine die Symptome bei übergewichtigen an Osteoarthrose erkrankten Hunden um einiges verbessern kann (Johnston et al. 2008).

Physikalische Therapie

Die Physikalische Therapie ermöglicht durch verschiedene Techniken eine Kräftigung der Muskeln, verbessert Mobilität und Flexibilität und hilft somit auf eine andere Art und Weise, die chronischen Schmerzen der Osteoarthrose zu behandeln. Dabei kommen

zum Beispiel Thermotherapie, Kryotherapie, transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS), Laser und Stoßwellen zum Einsatz (McLean und Millis 2019).

Thermotherapie

Zur Thermotherapie zählen sowohl die Therapie mit Wärme als auch mit Kälte. Ziele von beiden sind: Schmerzlinderung, Modulation der Gewebsheilung und die Beeinflussung der Muskeln, Sehnen, Bänder und Gelenkscapseln. Wärme steigert unter anderem auch noch die Elastizität des Bindegewebes (Dragone et al. 2014).

Die Wärmetherapie regt die Durchblutung und den Stoffwechsel an, erhöht die Mobilität der Gelenkscapseln und Sehnen, verringert Muskelverspannungen und erhöht dadurch die Beweglichkeit des Patienten (McLean und Millis 2019). Dabei können beispielsweise warmes Wasser, Infrarotlampen oder Hot Packs verwendet werden (Dragone et al. 2014). Die Kältetherapie hingegen löst eine Vasokonstriktion aus, verringert demnach die Durchblutung, vermindert Schwellung und Nervenleitgeschwindigkeit, fördert also im zusammenfassend die Analgesie und hemmt knorpelabbauende Enzyme, wenn im Gelenk weniger als 30 °C herrschen (McLean und Millis 2019). Hierbei zum Einsatz können Ice Packs, Kalt-Kompressions-Einheiten oder kaltes Wasser kommen (Dragone et al. 2014).

Transkutane elektrische Stimulation

Mit dieser Methode kann man Schmerzen sowohl bei chronischen als auch bei akuten Krankheiten kontrollieren. Bei der Anwendung werden die A-β-Fasern in der Haut stimuliert, und diese wiederum aktivieren inhibitorische Neurone, wodurch die Schmerzübertragung zum Gehirn verhindert wird (McLean und Millis 2019). TENS eignet sich als Zusatztherapie bei akuten Schmerzsituationen und auch bei chronischen Schmerzen durch degenerative Erkrankungen, wie die Osteoarthritis, hervorragend. Je weniger Schmerz das Tier verspürt, desto besser kann die Funktionalität wiederhergestellt werden (Sprague und Goldberg 2018).

Lasertherapie

Mithilfe von therapeutischen Lasern kann durch den Vorgang der Photobiomodulation die Schmerzwahrnehmung und das Entzündungsgeschehen gehemmt werden (McLean und Millis 2019). Die Lasertherapie wirkt somit analgetisch und antiphlogistisch und kann

außerdem bei der Wundheilung und Ödemreduktion helfen. Die Effekte auf Zellen und Gewebe sind dabei abhängig von der Stärke, der Wellenlänge, der Frequenz und einigen anderen Faktoren des Lasers (Shaw und Brown 2018).

Extrakorporale Stoßwellen

Hierbei handelt es sich um eine hochenergetische akustische Druckwelle, die auf zellulärer Ebene mechanischen Stress verursacht. Dieser Stress führt zu einer Freisetzung von Wachstumsfaktoren im Körper, die Entzündungen und Schwellungen reduzieren, die Durchblutung und die Wundheilung verbessern und die Knochenheilung fördern (Stramel und Stramel 2018). Millis et al. (2011) haben in ihrer Studie gezeigt, dass Hunde mit einer Ellbogenosteoarthrose deutliche Verbesserungen nach der Stoßwellentherapie in der Ganganalyse zeigten (Millis et al. 2011).

Rehabilitation

Infolge der chronischen Schmerzen bewegen sich Patienten weniger, werden schwerer und verlieren Muskeln. Die Gelenke verlieren an Bewegungsradius und die kardiovaskuläre Fitness wird eingeschränkt. Daher sollten von Osteoarthrose betroffene Hunde aktive und passive Bewegungen durchführen, um Muskelkraft, Gelenkstabilität und Ausdauer zurückzuerlangen. Gleichzeitig sollte aber die Belastung für die Gelenke minimal sein. Das wird zum Beispiel mit Laufbandtraining, Schwimmen, Gehen über Cavaletti-Schienen oder Gleichgewichtsübungen erreicht. Die Übungen müssen individuell an die Patienten angepasst werden, um Ermüdung zu vermeiden und den optimalen Effekt daraus ziehen zu können. Außerdem eignet sich auch die Unterwassertherapie am Laufband hervorragend für Osteoarthrosepatienten zur Entlastung der Gelenke und zum Muskelaufbau (McLean und Millis 2019).

2.5.3 Unterwassertherapie

Die Hydrotherapie beschreibt die äußerliche Anwendung von Wasser in unterschiedlichen Aggregatzuständen bei akutem oder chronischem Krankheitsgeschehen zur Rehabilitation und Regeneration des Patienten. Eine mittlerweile häufig und erfolgreich verwendete Technik ist dabei das Unterwasserlaufband (Baumgartner und Zemla 2018).

Wasser besitzt physikalische Eigenschaften, die man sich in der Behandlung der

Osteoarthrose zunutze machen kann. Zum einen ist es der Auftrieb des Wassers, wodurch der Körper im Wasser weniger wiegt als an Land und die Gelenke entlastet werden. Um wie viel weniger er wiegt, hängt von der Wassertiefe ab (Mucha 2019). Laut Levine et al. (2010) wiegt der Körper bei einem Wasserspiegel auf Kniehöhe nur noch 85 % des Gewichts an Land und bei Hüfthöhe sogar nur noch 38 %. Zu erwähnen ist auch, dass auf der Vorderhand bereits an Land mehr Gewicht lastet, nämlich 64 % des Gesamtkörpergewichts. Im Wasser beträgt der Unterschied von Vorder- und Rückhand noch mehr – die Vorderbeine tragen bei einem Wasserstand auf Hüfthöhe nämlich sogar 70 % Prozent des Gewichts. (Levine et al. 2010)

Zum anderen profitieren die Patienten vom natürlichen Widerstand des Wassers. Denn die Bewegung des Hundes muss so gegen den höheren Widerstand ausgeführt werden, wofür mehr Muskelkraft benötigt wird und sich die Muskeln schlussendlich durch den erhöhten Arbeitsaufwand kräftigen. Durch den Auftrieb und die Viskosität schaffen es außerdem nicht stehfähige Hunde unter Wasser oft selbständig auf den Beinen zu bleiben (Mucha 2019).

Durch diese genannten Eigenschaften – gemeinsam mit der relativen Dichte, hydrostatischem Druck und Oberflächenspannung – führt die Therapie am Unterwasserlaufband zur Verbesserung der Muskelkraft und der Range of Motion, zur Steigerung der kardiorespiratorischen Ausdauer und des Wohlbefindens und zur Minimierung der Schmerzen. Geschwindigkeit, Dauer und Tiefe des Wassers sollten dabei immer individuell an den Patienten angepasst werden, um den größtmöglichen Erfolg zu erlangen. Die Geschwindigkeit ist dabei am Anfang immer gering und kann, wenn möglich, mit jeder Therapieeinheit langsam erhöht werden. Pro Woche kann außerdem die Therapiedauer um 10-15 % erhöht werden, sofern der erwünschte Effekt eingetreten ist (Levine et al. 2014).

Jung et al. (2014) haben in ihrer Studie untersucht, wie sich die Wassertiefe auf die Kinematik bei gesunden Erwachsenen auswirkt. Dabei fanden sie heraus, dass mit höherem Wasserspiegel (bis zum Nacken) die Schrittlänge stieg, die Schrittfrequenz abnahm, die ROM im Knöchel stieg und in der Hüfte sank. Dafür verantwortlich ist vermutlich die Hydrodynamik des Wassers, unter anderem der Auftrieb (Jung et al. 2019). Andere Studien an Menschen und Kleintieren deuten darauf hin, dass die ROM der distal gelegenen Gelenke bei Bewegung im Wasser höher ist als an Land. Dabei ist vor allem eine Zunahme in der Flexion der Gelenke zu beobachten (Jackson et al. 2002, Kato et al. 2001). Tieferes Wasser führt aber nicht immer zu einer erhöhten Beugung der Gelenke. Bei Hunden ist die Flexion von Hüft-, Knie- und Fußwurzelgelenk bei einem

Wasserspiegel auf Kniegelenkshöhe beispielsweise größer als auf knapper Hüftgelenkshöhe (Levine et al. 2014).

Die Therapie am Unterwasserlaufband ist vielseitig einsetzbar. Neben chronischen Krankheiten wie Osteoarthrose oder Spondylosen, bei denen durch die Anwendung der Muskelaufbau und die Gelenksfunktion gestärkt werden, ist die Therapie im Wasser auch für die Rehabilitation nach orthopädischen Operationen oder neurologischen Krankheiten erfolgreich. Liegen jedoch schwere Herzprobleme, Infektionen oder Wunden vor, ist von der Einheit am Unterwasserlaufband abzuraten (Mucha 2019).

Im Vergleich zum Schwimmen bietet die Therapie am Unterwasserlaufband auch einige Vorteile. Zum einen bleiben die Patienten in ihrem natürlichen Gangmuster und die Streckung des Gelenks ist vollständiger. Zum anderen können Geschwindigkeit, Temperatur und Tiefe eingestellt werden, wodurch man mit der Therapie am Unterwasserlaufband früher starten kann, verglichen mit dem Schwimmen. Dadurch werden die frühere aktive Beweglichkeit der Gelenke, besonders in der Beugung, und der Aufbau der Muskulatur gefördert. Eine funktionelle Umsetzung der Aktivitäten und Therapien außerhalb des Wassers ist im Normalfall ebenfalls rasch zu beobachten (Levine et al. 2014).

Preston und Willis (2008) haben in ihrer Studie gezeigt, dass Hunde die an Ellbogengelenksdysplasie leiden, bereits nach einer einzigen Unterwassertherapieeinheit am Laufband eine gesteigerte Beweglichkeit bzw. ROM aufweisen und auch im Vergleich zu gesunden Hunden nach der Therapie einen größeren Unterschied als vor der Therapie verzeichnen. Diese Ergebnisse bekräftigen die Annahme, dass die Hydrotherapie eine geeignete therapeutische Maßnahme für an Ellbogengelenksdysplasie erkrankte Hunde darstellt (Preston und Wills 2018).

2.6 Bewegungsanalyse und Center of Pressure

Um den Erfolg der Therapie objektiv bewerten zu können und auch in die Diagnostik Objektivität zu bringen, eignet sich die sogenannte kinetische Bewegungsanalyse.

2.6.1 Kinetische Bewegungsanalyse

Unter der kinetischen Bewegungsanalyse versteht man die Messung der Kräfte, die während der Bewegung auf die Extremitäten wirken (Gordon-Evans 2012). Die Bewegung eines Hundes ist ein komplexer Vorgang mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und

Phasen. Der Schritt ist die langsamste Gangart, in dem sich immer zwei oder drei Beine am Boden befinden und wird unterteilt in eine Stand- und eine Hangbeinphase. Die Standbeinphase reicht vom Berühren des Bodens über das Abbremsen und Abrollen bis hin zum erneuten Abdrücken der Pfote vom Grund. Daran schließt die Hangbeinphase an, in der sich das Bein vom Boden löst, schwingt und sich wieder zurück zum Boden bewegt. Bei dieser Bewegungsabfolge lasten ca. 60 % des Körpergewichts auf der Vorderhand und nur 40 % auf der Hinterhand. Im Trab hingegen berühren meist zwei diagonal liegende Gliedmaßen zeitgleich den Boden, und durch die höhere Geschwindigkeit lasten hier bereits bis zu 120 % des Gewichts auf den Vorderbeinen und bis zu 75 % auf den Hinterbeinen (Bockstahler und Millis 2019).

Die Messung beinhaltet die Quantifizierung von Bodenreaktionskräften, wodurch die Kräfte, die auf die einzelnen Gelenke wirken, berechnet werden können. Diese Bodenreaktionskräfte sind während der Standphase auf die Gliedmaße wirkende Kräfte. Berührt die Extremität den Boden, wird die Reaktion mithilfe einer Druck- bzw. Kraftmessplatte gemessen (Gordon-Evans 2012). Diese Kräfte werden in drei senkrecht zueinander stehenden Richtungen gemessen: Kräfte senkrecht zum Boden werden auf der Z-Achse dargestellt und wenn es die Messplatte ermöglicht, werden mediolaterale horizontale Kräfte auf der X-Achse und craniocaudale Kräfte auf der Y-Achse dargestellt. Wie sich die einzelnen Kräfte darstellen, hängt von der Ganggeschwindigkeit ab. Die Z-Kraft weist beispielsweise im Schritt einen biphasischen Verlauf auf, der im Trab aufgrund der kürzeren Kontaktzeit der Pfote auf der Platte nicht zu beobachten ist (Gillette und Angle 2014).

Damit die Messung auf einer Druck- bzw. Kraftmessplatte gut gelingt und keine Verfälschungen aufweist, muss einiges beachtet werden. Die Geschwindigkeit, mit der der Patient über die Platte läuft, soll möglichst konstant sein. Der Hund soll nicht an der Leine ziehen bzw. die Leine nicht unter Spannung gehalten werden. Außerdem soll der Patient den Kopf nicht drehen oder die Platte seitlich verlassen (Millis und Levine 2014). Die Pfotenabdrücke, die der Hund auf einer Druckmessplatte hinterlässt, werden als Pedobarographie dargestellt. Sie bietet eine relativ einfache und nicht-invasive Methode, um die Veränderung der palmaren/plantaren Druckverteilung während der Standphase des Gangs zu messen (Hafer et al. 2013). Diese Variationen des Drucks während des Gehens werden üblicherweise durch Größen wie den Spitzendruck erfasst, der eine der häufigsten Messgrößen ist, die während der Pedobarographie aufgezeichnet werden (Orlin und McPoil 2000).

Zu den Bodenreaktionskräften gehören viele verschiedene Kräfte, die unter anderem als Parameter „vertikale Spitzenkraft (PFz)“ und „vertikaler Impuls (IFz)“ dargestellt werden,

wie bereits im Kapitel 2.4.2 erwähnt (Gordon-Evans 2012). Auch der Symmetrieindex stellt einen wichtigen Parameter dar. Die Asymmetrie zwischen rechter und linker Gliedmaße beim Gehen, Laufen, bei sportlichen Aktivitäten wird häufig zur Beurteilung der sportlichen Fähigkeiten oder der Wirksamkeit von chirurgischen Eingriffen gemessen (Queen et al. 2020). Darüber hinaus können Asymmetriemaße zur Messung von Lahmheiten bei Mensch oder Tier verwendet werden. (Gillette und Angle 2008) Wie der Symmetrieindex berechnet wird, wird im Kapitel 3 erklärt.

2.6.2 Center of Pressure

Der Center of Pressure (CoP, Druckzentrum) beschreibt den Ort, an dem der momentane Vektor der Bodenreaktionskraft wirkt, wenn die Pfotenfläche den Boden berührt. Anders ausgedrückt, ist der CoP eine momentan wirkende Kraft, die auf die den Boden berührende Pfote wirkt (Chiu et al. 2013). Wichtig bei der Interpretation des CoP ist die Unterscheidung zwischen dem CoP der Pfote und des Körpers sowie zwischen dem CoP im Stehen (statisch) und dem Gehen (dynamisch). Der CoP kann somit in Bewegung, als auch im Stand der Ruhe gemessen werden. Mithilfe all dieser Daten sollen Lahmheiten besser zu erkennen sein. Die CoP-Position kann als Netto-Output-Variable der Interaktion zwischen allen Kräften und Drehmomenten im Körper (Körper-CoP) oder in der Gliedmaße (Pfoten-CoP) betrachtet werden (López et al. 2019).

Der CoP stellt einen zweidimensionalen Positionsparameter dar, dessen Lage sich mit der Bewegung ständig ändert und so den CoP-Pfad (CoP path) bildet (Gao et al. 2019). Der CoP-Pfad drückt somit die dynamische Lastverteilung unter der Pfote in Zahlen aus. Wichtig dabei sind vor allem die cranio-caudale CoP-Auslenkung, der latero-mediale CoP-Verlauf, die CoP-Fläche, die Geschwindigkeit des CoP und der CoP-Radius, wie im Kapitel 3 näher erklärt (Chiu et al. 2013, Gao et al. 2019, López et al. 2019, Pitti et al. 2018). Der CoP kann auch als eine gesamte neuromuskuläre Reaktion, die die Bewegung des Massenschwerpunkts zur Vorwärtsbewegung und das Gleichgewicht steuert, betrachtet werden (Chisholm et al. 2011). In der Humanmedizin wird die CoP-Messung bereits häufig zur Diagnosestellung bei Patienten mit orthopädischen oder neurologischen Erkrankungen und zur posturalen Kontrolle verwendet (Chisholm et al. 2011, Pollock et al. 2000).

Die pathologischen Haltungsänderungen können durch die Aufzeichnung der Schwankung des Körperschwerpunkts (Körper-CoP) oder innerhalb der Pfoten über Statokinesiogramme und/oder Stabilogramme erfasst werden. Statokinesiogramme stellen 90 % der registrierten Punkte während der CoP-Schwankung grafisch als Fläche in mm²

einer Ellipse dar. Stabilogramme zeigen die spezifische CoP-Wanderung in der X- und Y-Achse. Dabei gilt, je besser die Stabilität, desto kleiner der Wert (Baratto et al. 2002). Diese Veränderungen bestimmen eine anormale Druckverteilung innerhalb der Pfoten während der Stützphase, die durch Pedobarographie-Untersuchungen im Stand der Ruhe (statische Pedobarographie, CoP im Stand) sowie auch beim Gehen (dynamische Pedobarographie, CoP in Bewegung) bewertet werden kann (Skopljak et al. 2014). Der CoP der Pfote bzw. der entstehende CoP-Pfad der Pfote bieten hingegen Einblicke in die direkte Fußdynamik während der Stützphase des Gangs bei Mensch und Tier (López et al. 2019, Nauwelaerts et al. 2017).

Manera et al. (2017) untersuchten in ihrer Studie an Hunden mit einseitiger Cubarthrose, inwiefern die Posturographie (Gleichgewichtsanalyse) bei der Lahmheitsdiagnostik helfen kann. Dabei zeigten die an Cubarthrose erkrankten Tiere einen größeren und asymmetrischeren Schwankungsbereich im Körper-CoP im Vergleich zu gesunden Hunden. Außerdem konnte eine Verschiebung des Körper-CoP in Richtung der gesunden Extremität sowie eine Verschiebung des CoP der lahmen Gliedmaßen nach craniomedial nachgewiesen werden, während er in der gesunden Extremität zentriert blieb (Manera et al. 2017).

In der Studie von López et al. (2019) wurde der CoP innerhalb der Pfote bei Hunden mit Cubarthrose untersucht und auf dessen Unterschiede zwischen gesunder und lahmer Extremität geachtet. Sämtliche CoP-Werte waren dabei zwischen gesunder und lahmer Gliedmaße signifikant unterschiedlich. Der CoP-Pfad war beispielweise in der lahmen Extremität kürzer, kranialisiert und wies weniger mediolaterale Auslenkung auf. In der lahmen Extremität konnte außerdem auch mehr Instabilität durch die größere Fläche des Statokinesiogramms (Illustration der Bewegung des CoP) gezeigt werden. Fazit dieser Studie ist demnach, dass der CoP zur Lahmheitsdiagnostik herangezogen werden kann (López et al. 2019).

Die Studie von Reicher et al. (2020) befasst sich mit der Annahme, dass die Osteoarthrose zu einer kompensatorischen Änderung des CoP-Pfades in der Pfote führt. Dafür wurden die Werte von Hunden mit Cubarthrose (bzw. Coxarthrose) mit denen von gesunden Hunden verglichen. Wichtige CoP-Parameter dabei waren die mediolaterale und craniocaudale CoP-Verschiebung (Differenzen zwischen den maximalen positiven und negativen CoP-Werten der jeweiligen Achse), die CoP-Fläche (Fläche, die innerhalb der Grenzen der CoP-Bewegung liegt), die CoP-Geschwindigkeit (mittlere Geschwindigkeit der CoP-Bewegung) und der CoP-Radius (mittlerer Abstand aller CoP-Punkte zum Mittelpunkt aller CoP-Punkte). PFz und IFz wurden ebenfalls gemessen und verglichen. Bei Hunden mit Cubarthrose waren PFz und IFz in der lahmen Extremität niedriger und

die der kontralateralen gesunden Extremität höher als bei den gesunden Tieren. Ebenfalls höhere Werte waren in der diagonalen Hinterextremität messbar, was ebenfalls auf einen Kompensationsmechanismus schließen lässt. Die mediolaterale CoP-Verschiebung war am ipsilateralen Hinterbein erhöht, die craniocaudale an der lahmen Vorderextremität. Die CoP-Area war bei beiden Hinterextremitäten höher als bei der gesunden Vergleichsgruppe. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass Hunde mit einer einseitigen Cubarthrose sowohl mit der kontralateralen Vorderextremität, als auch mit beiden Hinterbeinen die Lahmheit neutralisieren, wobei das ipsilaterale Bein noch mehr zu kompensieren scheint. Somit ist bewiesen, dass die CoP-Parameter zur Darstellung einer arthrosebedingten Lahmheit verwendet werden können (Reicher et al. 2020).

3 Material und Methode

3.1 Ethik

Die Daten der Hunde mit orthopädischen Erkrankungen der Vorderbeine wurden im Rahmen der klinischen Routineuntersuchungen während der regulären Therapieeinheit am Unterwasserlaufband am Departement für Physikalische Therapie und Rehabilitation der Veterinärmedizinischen Universität Wien auf freiwilliger Basis erhoben. Es wurden keine zusätzlichen Unterwassertherapien durchgeführt. Die notwendigen Messungen auf der Druckmessplatte wurden jedoch zusätzlich nur für die Datenerhebung durchgeführt. Die Patienten standen dabei weder unter Stress noch unter Schmerz und wurden so nicht zusätzlich belastet.

Die Daten der gesunden Hunde als Vergleichsgruppe waren bereits aus einer Publikation von Reicher et al. (2020) vorhanden und wurden in dieser Form für die Verfassung dieser Diplomarbeit übernommen. Alle gesammelten Daten wurden mit dem gleichen standardisierten Messverfahren erhoben (Reicher et al. 2020).

Die Studie wurde von der Ethik- und Tierschutzkommission der Veterinärmedizinischen Universität Wien im Hinblick auf ihre Übereinstimmung mit der Good Scientific Practice und den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften geprüft und befürwortet (ETK 091/06/2020).

3.2 Auswahl der Hunde

Insgesamt an der Studie beteiligt waren 26 Hunde, wovon 6 erkrankt und 20 gesund waren. Ursprünglich waren mehr erkrankte Tiere geplant, aber aufgrund der Corona-Pandemie wurde diese Studie zu einer Pilotstudie umfunktioniert, da in dem Mess-Zeitraum zu wenig passende Patienten inkludiert werden konnten.

In der Gruppe der erkrankten Hunde waren ein Deutscher Schäferhund, ein Irish Red and White Setter und vier Labrador Retriever vertreten. Die Patienten wiesen eine Körpermasse von $32,75 \pm 6,75$ kg und ein Alter von $8,04 \pm 5,04$ Jahren auf. Es waren vier männliche bzw. männlich kastrierte und zwei weibliche bzw. weiblich kastrierte Hunde vertreten. In die Studie inkludiert wurden fünf Hunde mit einseitiger

oder beidseitiger Osteoarthrose im Ellbogengelenk, wobei bei beidseitiger Problematik eine Seite stärker betroffen war. Zusätzlich wurde in die Studie ein Hund mit beidseitiger Bizepssehnenverletzung aufgenommen. Genauere Angaben finden sich in der unten stehenden Tab. 3.1. Die arthrotischen Veränderungen waren dabei im jeweiligen Gelenk durch orthopädische Abklärung und bildgebende Diagnostik bereits bestätigt. Außerdem durften Hunde der ersten Gruppe keine Probleme oder Schmerzen an den Hinterextremitäten aufweisen. Weiters wurden die Patienten nur zur Gruppe 1 gezählt, wenn der Symmetrieindex (SI%) der Vorderbeine, gemessen mithilfe der unten beschriebenen Druckmessplatte, über 3 % betrug. Der Symmetrieindex wird genauer im Kapitel 3.6 beschrieben.

In der Gruppe der gesunden Hunde waren fünf Mischlinge, vier Golden Retriever, zwei Rottweiler, ein Deutscher Schäferhund, ein Labrador, ein Dackel, ein Berger Blanc Suisse, ein Beagle, ein Dobermann, eine Französische Bulldogge, ein Setter und ein Dalmatiner vertreten. Die Hunde hatten eine Körpermasse von $27,14 \pm 9,13$ kg und ein Durchschnittsalter von $4,4 \pm 3,18$ Jahren. Die Gruppe umfasste 10 männliche bzw. männlich kastrierte und 10 weibliche bzw. weiblich kastrierte Tiere. Die Hunde dieser Gruppe wurden orthopädisch und neurologisch untersucht und als lahmheitsfrei und schmerzfrei beurteilt. Um auch Hunde mit unentdeckten Problemen auszuschließen, die das Gangbild beeinträchtigen, wurden nur Hunde mit $SI\% < 3\%$ verwendet.

3.3 Equipment

Zur Messung der CoP-Parameter und der Bodenreaktionskräfte wurde eine 203 x 54,2 cm große Druckverteilungsmessplattform (FDM Typ 2) der Firma Zebris Medical GmbH (Allgäu, Deutschland) verwendet. Diese Platte ist mit 15.360 Sensoren ausgestattet und funktioniert bei einer Messfrequenz von 100 Hz. Um die Druckmessplatte sind Spanplatten auf gleicher Höhe verlegt und über die gesamte Fläche eine schwarze, rutschfeste Gummimatte angebracht. Dies soll verhindern, dass durch die unterschiedlichen Bodenniveaus der Bewegungsablauf verändert wird und um Irritationen und ein Ausrutschen zu verhindern. Zur Errechnung der Werte wurde die Software Pressure Analyzer (Michael Schwanda, version 3.0.6344.26760) verwendet. Die gesamten Messungen wurden mit einer Kamera aufgezeichnet, damit die Pfotenabdrücke den entsprechenden Gliedmaßen zugeordnet werden konnten.

Die Therapie am Unterwasserlaufband fand auf zwei unterschiedlichen Modellen statt. Entweder wurden die Hunde am Laufband der Marke Keiper oder von Physiotech

therapiert, je nach Präferenz, Möglichkeit und Verfügbarkeit. Die Dauer auf dem Unterwasserlaufband wurde dabei an den jeweiligen Patienten je nach Ausprägung der Osteoarthritis bzw. nach Therapiefortschritt angepasst und belief sich auf 5-12 Minuten. Genauere Angaben finden sich in der unten stehenden Tab. 3.1. Die Laufbandgeschwindigkeit wurde so eingestellt, dass der Patient ein ruhiges, koordiniertes und gleichmäßiges Gangbild zeigte.

Tab. 3.1: Daten der sechs lahmen Patienten, wobei das Alter zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung erhoben wurde. UWTH = Unterwassertherapie; m = männlich; w = weiblich; mk = männlich kastriert; wk = weiblich kastriert; SD = Standardabweichung.

Name	Alter (Jahre)	Masse (kg)	Geschlecht	UWTH (min)	Erkrankung
Diego	11,08	29,5	m	7	Cubarthrose beidseits
Annie	4,67	27,4	w	5	Bizepssehnenfaserrisse rechts; Bizepssehnenriss links; Bänderläsion Schulter links
Maighmor Jigsaw	3,25	30	m	12	Cubarthrose beidseits
Van	3,0	26,6	m	7	Cubarthrose links
Bruce	6,67	33	mk	5	Cubarthrose beidseits
Frozen	13,08	25	wk	5	Cubarthrose links
Mittelwert	6,96	28,58		6,83	
SD	3,86	2,60		2,48	

3.4 Messung

Die Hunde wurden zuerst über eine Druckmessplatte geführt, mithilfe derer die Messungen stattfanden. Danach wurde die reguläre Unterwassertherapie durchgeführt. Dazu wurde der Hund beim Keiper-Modell über eine Rampe in das bereits volle Becken geführt, wonach anschließend das Laufband mitsamt dem Hund auf die gewünschte Wassertiefe gesenkt wurde. Beim Physiotech-Modell stiegen die Tiere hingegen über die seitlich weggeklappte Seitenwand in das leere Becken, welches danach mit Wasser aus dem daran anschließenden Tank auf die gewünschte Höhe aufgefüllt wurde. Nun wurde das jeweilige Laufband in Bewegung gesetzt und die angestrebte Geschwindigkeit mit einem Regler eingestellt. Nach der absolvierten Therapieeinheit wurde das Wasser beim Physiotech-Modell wieder in den

Tank zurückgeleitet und beim Keiper-Modell das Laufband wieder nach oben gefahren, sodass die Hunde das jeweilige Becken verlassen konnten. Nach einem raschen Abtrocknen sowie einer kleinen Pause fand die zweite Messung statt. Die meisten Patienten kannten bereits aus den zuvor absolvierten Therapieeinheiten den Vorgang der Messung und brauchten deshalb wenig Eingewöhnungszeit. Sie wurden anschließend vom Besitzer mehrmals im Schritt an der Leine über die Plattform geführt. Nachdem ein gleichmäßiges Gangbild erreicht wurde, musste der jeweilige Hund solange über die Platte laufen, bis mindestens fünf auswertbare Durchgänge aufgezeichnet werden konnten. Als auswertbar wurden Durchgänge gewertet, in denen der Hund das gewünschte Tempo beibehielt, er gerade und ohne Kopfseitwärtsbewegungen über die Plattform lief und die Leine nicht unter Spannung stand und so die Ergebnisse nicht verfälscht werden konnten.

3.5 Datenanalyse

Die gesammelten Daten aus den Messungen wurden mit der Individualsoftware Pressure Analyzer ausgewertet. Die einzelnen aufgezeichneten Fußabdrücke aus den gültigen Durchgängen mussten mithilfe des Videos manuell dem richtigen Bein zugeordnet werden. Bei der Messauswertung wurde das erkrankte Bein als lahme Gliedmaße bezeichnet, und davon ausgehend wurden die restlichen drei Beine als kontralateral, ipsilateral und diagonal bezeichnet. Zufälligerweise war die lahme Extremität bei allen sechs Patienten das linke Vorderbein. Diese lahme Extremität wurde also jeweils mit dem linken Vorderbein der gesunden Hunde verglichen und die übrigen Beine ebenso, sprich das ipsilaterale Bein des kranken Hundes wurde mit dem ipsilateralen Bein der gesunden Hunde verglichen (linkes Hinterbein), das kontralaterale mit dem kontralateralen (rechtes Vorderbein) und das diagonale mit dem diagonalen (rechtes Hinterbein).

3.6 Parameter

Untersucht wurden die Ground reaction forces, sowie unterschiedliche Werte des Center of Pressures. Zu den Ground reaction forces (GRF) zählen folgende Parameter: Die Peak vertical force (PFz in N) beschreibt die maximale vertikale Kraft in Z-Richtung, die IFz beschreibt hingegen den vertikalen Impuls in Z-Richtung (in N/s). Außerdem wurden für die Datenerhebung die mittlere Fläche mit Krafteinwirkung (mittel A in cm^2) sowie die mittlere Dauer der Standphase (m. Dauer StPh in s) herangezogen. Auch wurde der

Zeitpunkt gemessen, an dem der PFz während der Standphasendauer erreicht wurde und in Prozent zur Standphasendauer ausgedrückt. Alle Werte wurden von jeder Gliedmaße separat erhoben und von den einzelnen Durchgängen der Mittelwert berechnet. PFz und IFz wurden auch in Prozent der Gesamtkraft mithilfe folgender Formel 3.1 angegeben – hier am Beispiel der linken Vorderextremität (FL):

$$XFzFL(\%) = \frac{XFzFL}{XFzFL + XFzFR + XFzHL + XFzHR} \times 100 \quad (3.1)$$

Hierbei versteht man unter XFz den Mittelwert von PFz bzw. IFz, FL entspricht der linken Vorderextremität, FR der rechten Vorderextremität, HL der linken Hinterextremität und HR der rechten Hinterextremität. Diese Formel wurde entsprechend an allen vier Beinen angewandt.

Des Weiteren wurde auch der Symmetrieindex in Prozent (SI %) für PFz und IFz mithilfe der nachstehenden Formel 3.2 berechnet:

$$SIXFz(\%) = abs \frac{XFzFL - XFzFR}{XFzFL + XFzFR} \times 100 \quad (3.2)$$

Hierbei stellt SIXFz den Symmetrieindex von PFz bzw. IFz dar, XFz beschreibt den Mittelwert von PFz bzw. IFz und FL/FR steht für linke/rechte Vorderextremität. Für die Berechnung des Symmetrieindex in Prozent für die Hintergliedmaßen wurden die Werte der linken und rechten Hinterextremität verwendet und genauso in die genannte Gleichung wie oben beschrieben eingesetzt.

Untersucht wurden auch die Parameter mittlere Geschwindigkeit (m/s) und mittlere Beschleunigung (m/s²). Die Geschwindigkeit wird dabei durch die Schrittlänge (Distanz zwischen den Mitteln zweier aufeinanderfolgenden Fußungsflächen) geteilt durch die Schrittdauer (Zeit vom Start der Fußung bis zum Start der nächsten Fußung) ausgedrückt. Die Beschleunigung ergibt sich aus der Differenz zwischen Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit des vorherigen Schritts.

Die nun folgenden Parameter betreffen den Center of Pressure in den Standphasen der einzelnen Pfoten. Dabei beschreibt die mediolaterale bzw. craniocaudale CoP-Verschiebung die Differenzen zwischen den maximalen positiven und negativen CoP-Werten entlang der craniocaudalen bzw. mediolateralen Achse (Lawson et al. 2015). Um die Werte in Prozent ausdrücken zu können, wurde die mediolaterale Auslenkung

des CoP im Vergleich zur Breite der Kontaktfläche der Pfote gesetzt (med-lat %) und die craniocaudale Auslenkung im Vergleich zur Länge der Fußungsfläche gesetzt (cran-caud %).

Die CoP-Fläche (Area in mm^2) beschreibt diejenige Fläche, in der alle CoP-Punkte eingeschlossen sind. Sie ist ein Maß für die Fläche, die von den Grenzen der COP-Bewegung umfasst wird (Lawson et al. 2015). Sie wurde auf die Pfotenkontaktfläche normiert und als Prozentsatz ausgedrückt (CoP-Area %).

Der CoP-Radius gibt den mittleren Abstand aller CoP-Punkte zum Mittelpunkt aller CoP-Punkte an. Sie beschreibt die mittlere Entfernung zum CoP-Zentrum. Er wurde ebenfalls auf die Pfotenkontaktfläche normiert und in Prozent angegeben (CoP-Radius %).

Die CoP-Geschwindigkeit beschreibt die mittlere Geschwindigkeit zwischen allen aufeinanderfolgenden CoP-Punkten. Sie gibt die mittlere Geschwindigkeit der Bewegung des Center of Pressures an (Speed in mm/s).

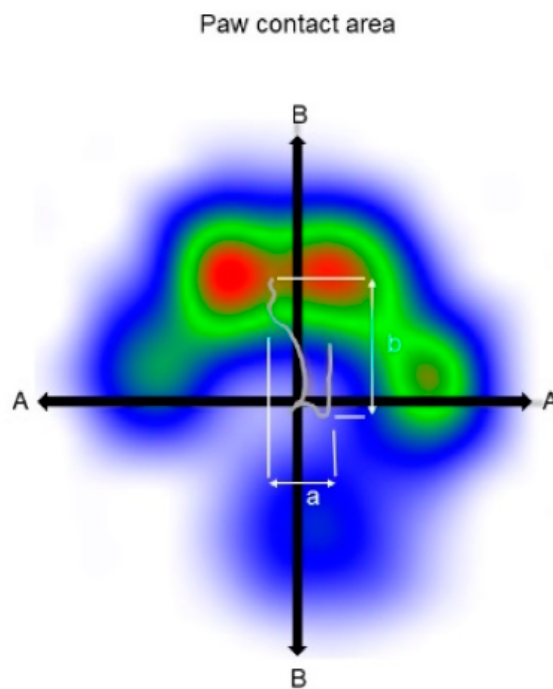


Abb. 3.1: Pfotenkontaktfläche mit dargestelltem CoP-Weg. Dabei beschreibt "a" die mediolaterale Verschiebung und "b" die craniocaudale Verschiebung des CoP. "A" bezeichnet die maximale Breite und "B" die maximale Länge der Pfotenkontaktfläche. (Reicher et al. 2020)

3.7 Statistik

Für die statistische Analyse wurde IBM SPSS v24 verwendet. Durch einen Kolmogorov-Smirnov Test wurde auf Normalverteilung geprüft. Es wurde auf direkte Effekte der Unterwassertherapie auf die oben genannten Parameter der erkrankten Hunde und auf Unterschiede in den Parametern zwischen erkrankten und gesunden Hunden vor und nach der Unterwassertherapie fokussiert. Für jeden Parameter wurden die Effekte der Gangart, der Gruppe und des Zeitpunkts mit einem linearen gemischten Modell berechnet, wobei die Alphafehlerkorrektur nach Sidak für die Mehrfachvergleiche angewandt wurde. Für alle Analysen wurde ein p-Wert unter 5 % ($p < 0,05$) als signifikant angesehen.

4 Ergebnisse

Zur besseren Übersicht werden alle folgenden Ergebnisse in „vor der Therapie“ und „nach der Therapie“ gegliedert.

4.1 Peak vertical force und Vertical impulse

Diese Werte werden gemeinsam dargestellt, da sich die Statistiken dieser zwei Parameter sehr ähneln.

4.1.1 Vor der Therapie

Bei den gesunden Tieren zeigten beide Vorderbeine signifikant höhere PFz-Werte (in % Gesamtkraft) und IFz-Werte (in % Gesamtkraft) als die Hinterbeine, wobei zwischen den jeweiligen kontralateralen Gliedmaßenpaaren bei diesen Hunden kein signifikanter Unterschied existierte. Im Gegensatz dazu zeigten die erkrankten Tiere in der lahmen Vorderextremität einen signifikant niedrigeren PFz (in % Gesamtkraft) und IFz (in % Gesamtkraft) als in der kontralateralen. Diese Verminderung der beiden Parameter führte dazu, dass der bei den gesunden Tieren signifikante Unterschied zwischen den Gliedmaßenpaaren dieser Körperseite aufgehoben wurde. Die deskriptiven Statistiken sind in den Abb. 4.1 und 4.2 ersichtlich, die p-Werte sind in den Tab. 4.1 und 4.2 dargestellt. Vergleicht man nun vor der Therapie die beiden Gruppen lahm und gesund, waren der PFz (in % Gesamtkraft), als auch der IFz (in % Gesamtkraft) der jeweils lahmen Gliedmaße signifikant geringer als jener der passenden Vergleichsgliedmaße (vorne links) der gesunden Tiere. Außerdem stellte sich beim IFz (in % Gesamtkraft) die kontralaterale Vordergliedmaße der kranken Tiere signifikant höher dar als die der gesunden Tiere, nicht so beim PFz (in % Gesamtkraft). Zusätzlich wiesen PFz (in % Gesamtkraft) und IFz (in % Gesamtkraft) beider Hinterbeine der kranken Tiere signifikant höhere Werte auf als bei den gesunden Tieren, wie in den Abb. 4.1 und 4.2 dargestellt.

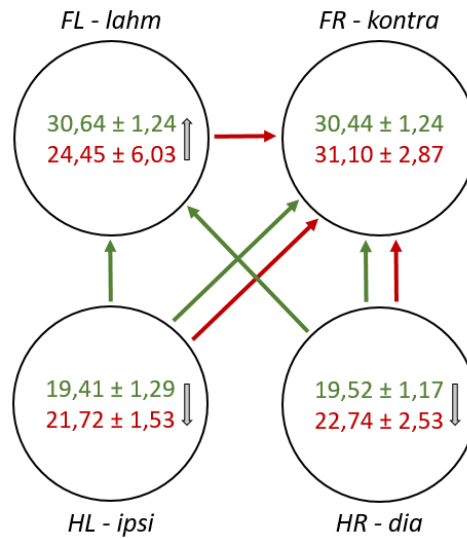


Abb. 4.1: Peak vertical force (PFz) der gesunden (Mittelwerte und Standardabweichungen in Grün, inklusive grüner Pfeile) und kranken Hunde (Mittelwerte und Standardabweichungen in Rot, inklusive roter Pfeile) zum Zeitpunkt 1 (vor der Unterwassertherapie). Die Pfeile stellen signifikante Unterschiede zwischen den Pfoten (schwarze Kreise) dar, wobei die Spitze des Pfeiles immer in Richtung des höheren Wertes zeigt. Somit zeigt die kontralaterale Gliedmaße der kranken Hunde einen höheren PFz im Vergleich zu der diagonalen, der ipsilateralen und auch der lahmen Extremität. Die blauen Pfeile innerhalb der Kreise stellen die signifikanten Unterschiede zwischen den Werten der gesunden und kranken Hunde dar, wobei die Pfeilspitze wieder den höheren Wert markiert. Beispielsweise herrscht beim lahmen Bein der erkrankten Hunde ein signifikant niedriger Wert als beim linken Vorderbein der gesunden Vergleichsgruppe. FL – lahm = linkes Vorderbein – lahm; FR – kontra = rechtes Vorderbein – kontralateral; HL – ipsi = linkes Hinterbein – ipsilateral; HR – dia = rechtes Hinterbein – diagonal.

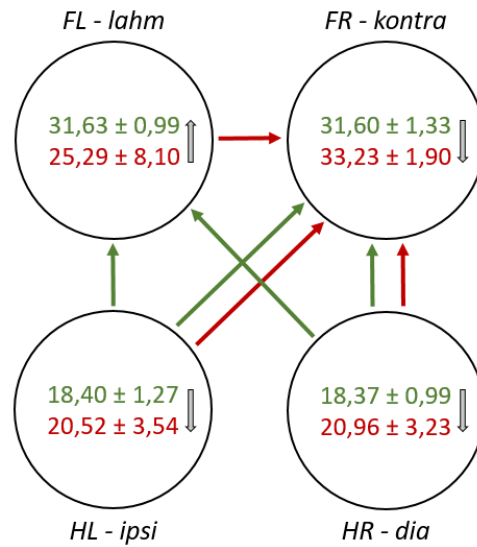


Abb. 4.2: Vertikaler Impuls (IFz) der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Erklärungen zur grafischen Darstellung sind unter der Abb. 4.1 nachzulesen.

Tab. 4.1: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Die p-Werte, die im Signifikanzbereich liegen, sind entsprechend markiert. Grün hinterlegte Zahlen liegen dabei im gewünschten Bereich, gelb unterlegte befinden sich knapp über der Grenze. PFz = peak vertical force; IFz = vertical impulse; Contra = Kontralaterales Bein; Dia = diagonales Bein; Ipsi = ipsilaterales Bein; lahm = lahmes Bein; Zeitpunkt 1 = vor der Therapie; Zeitpunkt 2 = nach der Therapie.

		Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	PFz lahm	0,753	0,856	0,853	0,864
	IFz lahm	0,823	0,939	0,982	0,940
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	PFz	0,415	0,000	0,001	0,000
	IFz	0,025	0,004	0,030	0,001
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	PFz	0,823	0,001	0,002	0,000
	IFz	0,055	0,003	0,024	0,001

Tab. 4.2: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen dem PFz der gesunden Tiere bei kontralateralem und diagonalem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1

			PFz gesund	PFz lahm	IFz gesund	IFz lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,000	0,001	0,000	0,000
		Ipsi	0,000	0,000	0,000	0,000
		Lahm	0,613	0,005	0,922	0,010
	Dia	Contra	0,000	0,001	0,000	0,000
		Ipsi	0,790	0,633	0,952	0,877
		Lahm	0,000	0,425	0,000	0,134
	Ipsi	Contra	0,000	0,000	0,000	0,000
		Dia	0,790	0,633	0,952	0,877
		Lahm	0,000	0,209	0,000	0,101
	Lahm	Contra	0,613	0,005	0,922	0,010
		Dia	0,000	0,425	0,000	0,134
		Ipsi	0,000	0,209	0,000	0,101
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,001		0,000
		Ipsi		0,000		0,000
		Lahm		0,013		0,010
	Dia	Contra		0,001		0,000
		Ipsi		0,803		0,924
		Lahm		0,217		0,078
	Ipsi	Contra		0,000		0,000
		Dia		0,803		0,924
		Lahm		0,142		0,065
	Lahm	Contra		0,013		0,010
		Dia		0,217		0,078
		Ipsi		0,142		0,065

4.1.2 Nach der Therapie

Nach der Therapie blieben bei den kranken Tieren die oben geschilderten signifikanten Unterschiede zwischen den Gliedmaßen bestehen, auch der Vergleich mit den Daten der gesunden Hunde ergab fast keine Veränderungen. Lediglich der IFz (in % Gesamtkraft)

der kranken kontralateralen Extremität näherte sich so weit dem Wert der gesunden an, dass die Signifikanz im Vergleich zu vor der Therapie verschwand. Hierbei ist zu beachten, dass die gesunden Hunde keine Unterwassertherapie absolvierten, sich der Vergleich zwischen den Gruppen also auf die Basiswerte der gesunden Tiere bezieht. Auch der Vergleich des PFz (in % Gesamtkraft) bzw. IFz (in % Gesamtkraft) vor und nach der Unterwassertherapie bei den kranken Hunden ergab keine signifikante Veränderung dieser Parameter. Grafische Darstellungen finden sich in den Abb. 4.3 und 4.4, die p-Werte in Tab. 4.1 und 4.2.

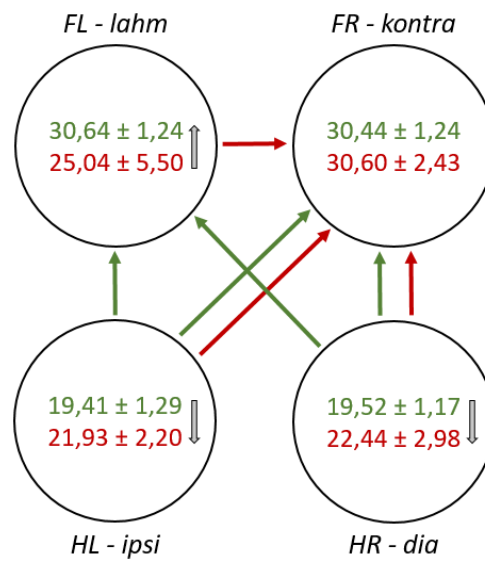


Abb. 4.3: Peak vertical force (PFz) der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2 (nach der Unterwassertherapie). Erklärungen zur grafischen Darstellung sind unter der Abb. 4.1 nachzulesen.

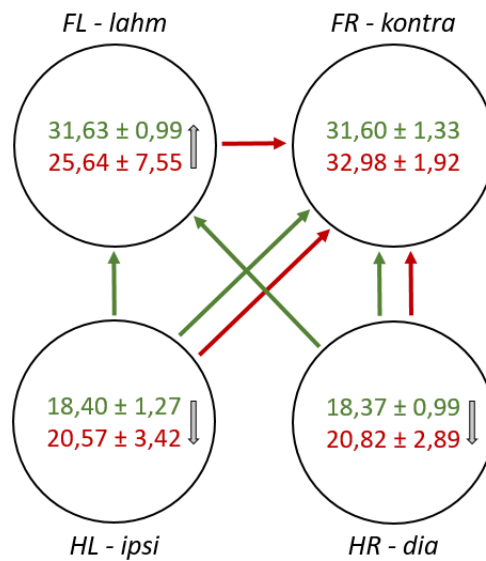


Abb. 4.4: Vertikaler Impuls (IFz) der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Erklärungen zur grafischen Darstellung sind unter der Abb. 4.1 nachzulesen.

4.2 Auftreten der PFz während der Standphasendauer

4.2.1 Vor der Therapie

Auch dieser Parameter lag bei den Vordergliedmaßen beider Gruppen signifikant höher als bei den Hintergliedmaßen. Im Gegensatz dazu unterschieden sich die jeweils kontralateralen Beine aber nicht signifikant, weder bei den gesunden noch bei den kranken Hunden. Im direkten Vergleich der beiden Gruppen vor der Unterwassertherapie zeigte sich, dass der PFz%StPh (in % der StPh) der gesunden Hunde bei der diagonalen und ipsilateralen Extremität signifikant höhere Werte hervorbrachte. Die kontralateralen und lahmen Beine unterschieden sich jedoch nicht signifikant. Die Zahlenwerte und Interaktionen zwischen den einzelnen Extremitäten sind in der Abb. 4.5 dargestellt, die p-Werte in den Tab. 4.3 und 4.4.

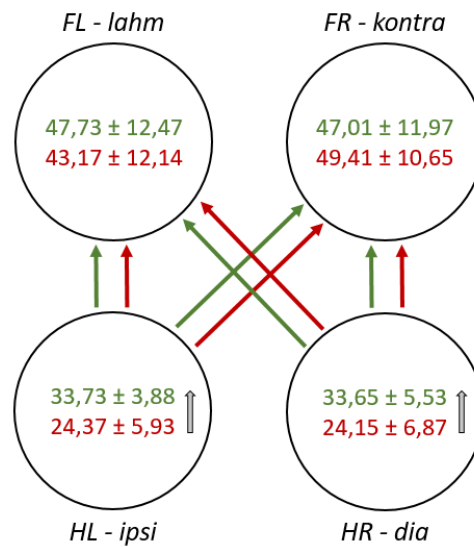


Abb. 4.5: Anteil der Peak vertical force in Prozent der Standphasendauer der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.3: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Die p-Werte die im Signifikanzbereich liegen, sind entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,867	0,741	0,724	0,716
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,662	0,002	0,000	0,437
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,862	0,009	0,000	0,791

Tab. 4.4: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen dem PFz%StPh der gesunden Tiere bei kontralateralem und diagonalem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			PFz% StPh gesund	PFz% StPh lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,000	0,000
		Ipsi	0,000	0,000
		Lahm	0,807	0,257
	Dia	Contra	0,000	0,000
		Ipsi	0,979	0,967
		Lahm	0,000	0,002
	Ipsi	Contra	0,000	0,000
		Dia	0,979	0,967
		Lahm	0,000	0,002
	Lahm	Contra	0,807	0,257
		Dia	0,000	0,002
		Ipsi	0,000	0,002
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,004
		Ipsi		0,002
		Lahm		0,776
	Dia	Contra		0,004
		Ipsi		0,742
		Lahm		0,007
	Ipsi	Contra		0,002
		Dia		0,742
		Lahm		0,003
	Lahm	Contra		0,776
		Dia		0,007
		Ipsi		0,003

4.2.2 Nach der Therapie

Nach der Therapie änderten sich die Werte der lahmen Hunde kaum, wodurch die signifikanten Unterschiede in der Form bestehen blieben, wie sie bereits zum Zeitpunkt 1

nachweisbar waren – innerhalb der kranken Tiere als auch im Vergleich zu den gesunden Tieren. Vergleicht man nun den Parameter vor und nach der Therapie, wiesen die kranken Hunde keine signifikante Unterscheidung auf. Das kontralaterale Bein zeigte zwar vor als auch nach der Therapie einen höheren Wert an als das lahme Bein, jedoch lag der Unterschied ebenfalls außerhalb des Signifikanzbereiches. Allgemein näherten sich die Werte des lahmen und des kontralateralen Beines der kranken Tiere denen der gesunden Tiere an. Die Darstellungen dazu finden sich in der Abb. 4.6 und den Tab. 4.3 und 4.4.

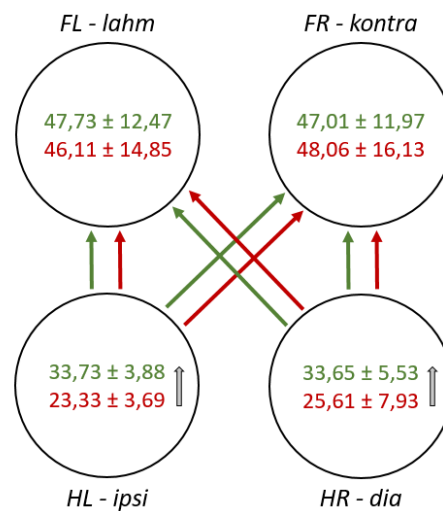


Abb. 4.6: Anteil der Peak vertical force in Prozent der Standphasendauer der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

4.3 Standphasendauer

4.3.1 Vor der Therapie

Die Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) der Vorderextremitäten bei den gesunden Hunden stellte sich signifikant höher dar als bei den Hinterbeinen. Bei den lahmen Hunden war keine signifikante Abweichung feststellbar. Die kontralateralen Beinpaare unterschieden sich jedoch bei keiner Gruppe. Auch im Vergleich der Extremitäten zwischen den beiden Gruppen vor der Unterwassertherapie konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Abb. 4.7 stellt die deskriptive Statistik grafisch dar und die p-Werte sind in den Tab. 4.5 und 4.6 nachzulesen.

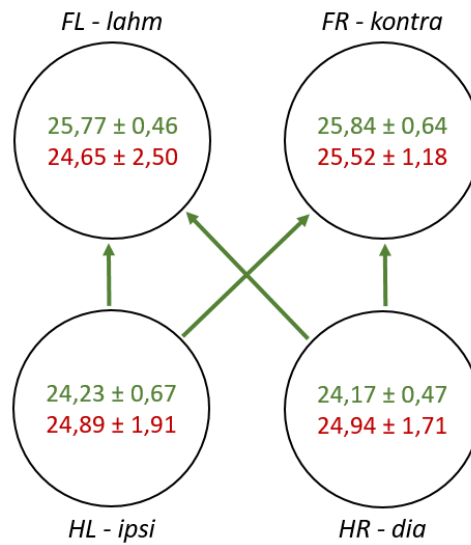


Abb. 4.7: Standphasendauer der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.5: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Die p-Werte die im Signifikanzbereich liegen, sind entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,736	0,729	0,886	0,954
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,400	0,075	0,192	0,059
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,715	0,100	0,131	0,042

Tab. 4.6: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen der Standphasendauer der gesunden Tiere bei kontralateralem und diagonalem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			StPh gesund	StPh lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,000	0,595
		Ipsi	0,000	0,567
		Lahm	0,705	0,433
	Dia	Contra	0,000	0,595
		Ipsi	0,743	0,967
		Lahm	0,000	0,797
	Ipsi	Contra	0,000	0,567
		Dia	0,743	0,967
		Lahm	0,000	0,830
	Lahm	Contra	0,705	0,433
		Dia	0,000	0,797
		Ipsi	0,000	0,830
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,300
		Ipsi		0,520
		Lahm		0,266
	Dia	Contra		0,300
		Ipsi		0,687
		Lahm		0,936
	Ipsi	Contra		0,520
		Dia		0,687
		Lahm		0,629
	Lahm	Contra		0,266
		Dia		0,936
		Ipsi		0,629

4.3.2 Nach der Therapie

Die Werte der lahmen Hunde blieben zum Zeitpunkt 2 zum Großteil wie zu Zeitpunkt 1. Lediglich die Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) der lahmen Gliedmaße sank soweit,

sodass dieser Wert im Vergleich zur gesunden Vergleichsgliedmaße einen signifikanten Unterschied zeigte. Bei den übrigen Extremitäten waren wie bereits zu Zeitpunkt 1 keine weiteren Unterschiede detektierbar. Auch im Vergleich der Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) der kranken Hunde vor und nach der Therapie lagen die Unterschiede außerhalb der Signifikanz. Abb. 4.8 sowie die Tab. 4.5 und 4.6 bieten nähere Einblicke.

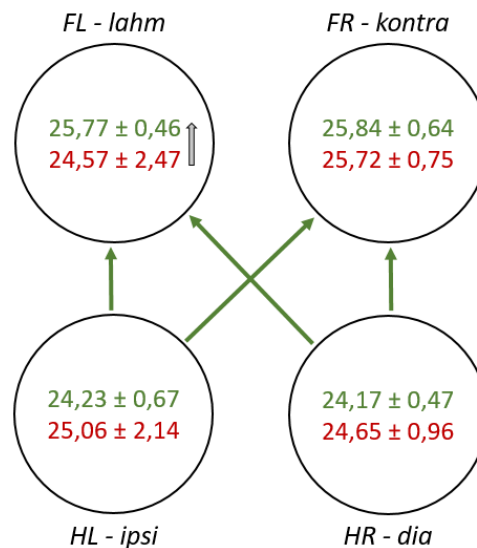


Abb. 4.8: Standphasendauer der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

4.4 Medio-laterale Auslenkung des CoP

4.4.1 Vor der Therapie

Bei den gesunden Tieren zeigten beide Vorderbeine eine signifikant höhere medio-laterale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) als die Hinterbeine. Bei den lahmen Hunden war diesbezüglich kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen, da sich die Werte der Hinterextremitäten den Werten der Vorderbeinen mehr ähnelten als bei den gesunden Tieren. Zwischen den jeweils kontralateralen Gliedmaßen zeigten weder die gesunden noch die erkrankten Tiere signifikante Differenzen. Bei den lahmen Hunden waren demnach lediglich Unterschiede zwischen den Gliedmaßen vorhanden, die außerhalb des Signifikanzbereiches lagen. Die deskriptiven Statistiken sind der Abb. 4.9, die p-Werte aus den Tab. 4.7 und 4.8 zu entnehmen. Vergleicht man nun vor der Therapie die beiden Gruppen lahm und gesund, unterschied sich lediglich das diagonale Bein signifikant

zwischen den Gruppen – diese Gliedmaße zeigte bei den erkrankten Tieren einen höheren Wert als bei den gesunden.

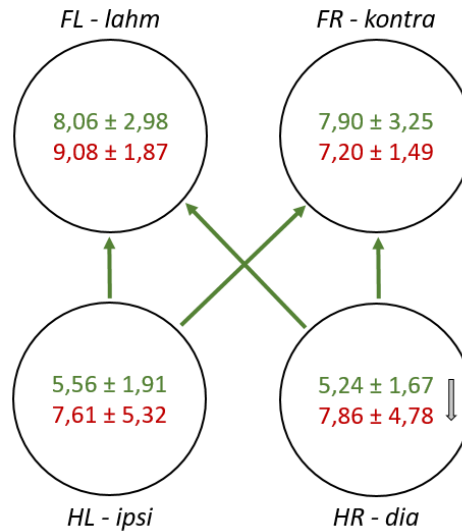


Abb. 4.9: Medio-laterale Auslenkung des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.7: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Die p-Werte die im Signifikanzbereich liegen, sind entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,080	0,832	0,836	0,259
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,616	0,044	0,151	0,436
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,418	0,066	0,133	0,064

Tab. 4.8: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen der medio-lateralen Auslenkung der gesunden Tiere bei kontralateralem und diagonalem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			med-lat gesund	med-lat lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,001	0,765
		Ipsi	0,005	0,853
		Lahm	0,847	0,397
	Dia	Contra	0,001	0,765
		Ipsi	0,694	0,910
		Lahm	0,001	0,580
	Ipsi	Contra	0,005	0,853
		Dia	0,694	0,910
		Lahm	0,003	0,506
	Lahm	Contra	0,847	0,397
		Dia	0,001	0,580
		Ipsi	0,003	0,506
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,309
		Ipsi		0,252
		Lahm		0,331
	Dia	Contra		0,309
		Ipsi		0,895
		Lahm		0,055
	Ipsi	Contra		0,252
		Dia		0,895
		Lahm		0,042
	Lahm	Contra		0,331
		Dia		0,055
		Ipsi		0,042

4.4.2 Nach der Therapie

Nach der Therapie zeigten sich bei den kranken Tieren geringe signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gliedmaßen, wobei die medio-laterale Verschiebung (in %

Fußungsflächenbreite) des lahmen Beines signifikant höher war als die des ipsilateralen Beins. Der Vergleich von lahmer zu diagonalen Extremität lag knapp über der Signifikanzgrenze. Auch hier lag die Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) der lahmen Gliedmaße höher als bei der diagonalen. Beim Vergleich der beiden Gruppen gesund und krank nach der Therapie verschwand der signifikante Unterschied der diagonalen Extremität im Vergleich zu Zeitpunkt 1, da sich der Wert der lahmen Hunde dem Wert der gesunden Tiere annäherte. Auch der Vergleich der medio-lateralen Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) vor und nach der Unterwassertherapie der erkrankten Hunde ergab keine signifikante Veränderung. Grafische Darstellungen finden sich in der Abb. 4.10, die p-Werte in den Tab. 4.7 und 4.8.

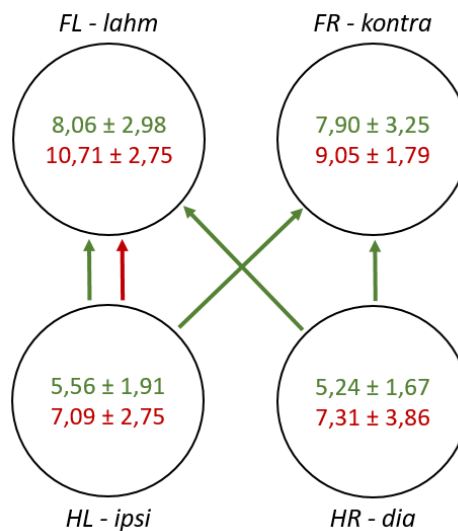


Abb. 4.10: Medio-laterale Auslenkung des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

4.5 Cranio-caudale Auslenkung des CoP

4.5.1 Vor der Therapie

Bei den gesunden Tieren zeigte das ipsilaterale Bein im Vergleich zu den beiden Vorderextremitäten einen signifikant niedrigeren Wert (in % Fußungsflächenlänge). Das diagonale Bein lag auch niedriger, jedoch war der Unterschied zu den Vorderbeinen nicht signifikant. Auch bei den kranken Hunden gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterextremitäten. Zwischen den jeweils kontralateralen Gliedmaßen zeigten

weder die gesunden noch die erkrankten Tiere signifikante Unterschiede. Die kranken Hunde zeigten also in keinem Vergleich signifikante Unterschiede. Werte und Signifikanzen sind in der Abb. 4.11 und in den Tab. 4.9 und 4.10 dargestellt. Beim Vergleich zwischen lahmen und gesunden Hunden vor der Unterwassertherapie lag die cranio-caudale Auslenkung (in % Fußungsflächenlänge) der lahmen Gliedmaße der kranken Hunde signifikant höher als die Auslenkung der linken Vorderextremität der gesunden Hunde. Gleiches war auch beim kontralateralen Bein zu beobachten, wobei sich der Unterschied jedoch knapp über der Signifikanzgrenze darstellte.

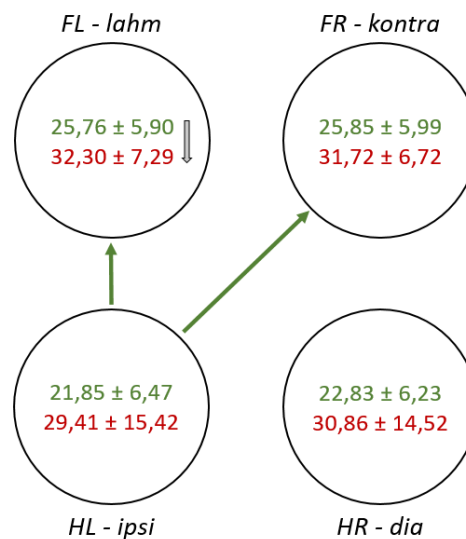


Abb. 4.11: Cranio-caudale Auslenkung des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.9: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Die p-Werte die im Signifikanzbereich liegen, sind entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,532	0,853	0,997	0,764
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,051	0,058	0,087	0,033
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,007	0,069	0,054	0,014

Tab. 4.10: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen der cranio-caudalen Auslenkung der gesunden Tiere bei kontralateralem und ipsilateralem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			cran-caud gesund	cran-caud lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,125	0,899
		Ipsi	0,043	0,735
		Lahm	0,962	0,932
	Dia	Contra	0,125	0,899
		Ipsi	0,615	0,832
		Lahm	0,137	0,833
	Ipsi	Contra	0,043	0,735
		Dia	0,615	0,832
		Lahm	0,048	0,673
	Lahm	Contra	0,962	0,932
		Dia	0,137	0,833
		Ipsi	0,048	0,673
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,405
		Ipsi		0,404
		Lahm		0,920
	Dia	Contra		0,405
		Ipsi		0,999
		Lahm		0,462
	Ipsi	Contra		0,404
		Dia		0,999
		Lahm		0,462
	Lahm	Contra		0,920
		Dia		0,462
		Ipsi		0,462

4.5.2 Nach der Therapie

Auch nach der Therapie konnten bei den erkrankten Tieren keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Extremitäten dargestellt werden. Beim Vergleich der

beiden Gruppen gesund und krank nach der Therapie blieb der signifikante Unterschied der lahmen Extremität bestehen. Dazu kam ein signifikant höherer Wert der erkrankten Tiere am kontralateralen Bein im Vergleich zu den gesunden. Das ipsilaterale Bein der gesunden Tiere zeigte sich zum Zeitpunkt 2 zwar geringer als das der erkrankten Hunde, jedoch fiel der Unterschied knapp nicht in den Signifikanzbereich. Auch beim Vergleich zwischen den Zeitpunkten konnte bei den kranken Tieren keine signifikante Veränderung nachgewiesen werden. Entsprechende Darstellungen sind in der Abb. 4.12 sowie in den Tab. 4.9 und 4.10 zu finden.

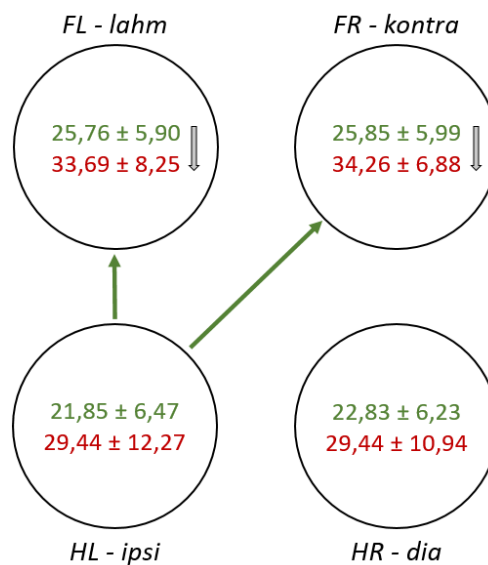


Abb. 4.12: Cranio-caudale Auslenkung des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

4.6 CoP-Fläche

4.6.1 Vor der Therapie

Vor der Therapie wiesen die gesunden Hunde bei den Vorderbeinen eine signifikant höhere CoP-Fläche (area, in % Pfotenkontaktfläche) als bei den Hinterbeinen auf. Die jeweils kontralateralen Beine unterschieden sich nicht signifikant. Bei den lahmen Hunden war bei diesem Parameter in keiner Hinsicht ein signifikanter Unterschied nachzuweisen, da sich die Werte der einzelnen Beine mehr ähnelten als bei den gesunden Hunden. Die grafische Veranschaulichung wird in Abb. 4.13 gezeigt, die p-Werte sind in den Tab. 4.11 und 4.12 nachzulesen. Beim Gruppenvergleich zum Zeitpunkt 1 unterschied sich nur die

lahme Extremität von gesund und krank signifikant – die kranken Hunde wiesen hierbei eine größere CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) auf als die gesunden Tiere.

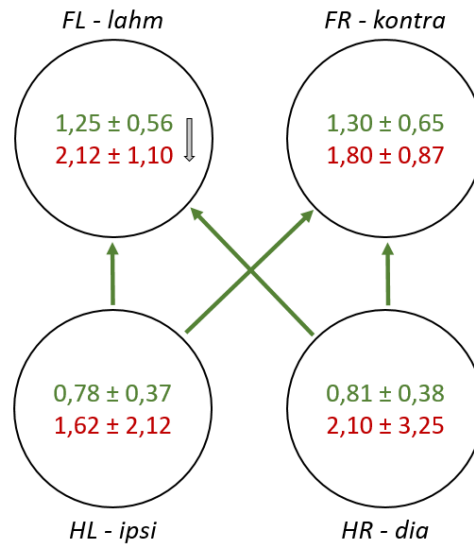


Abb. 4.13: Fläche des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.11: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Die p-Werte die im Signifikanzbereich liegen, sind entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,481	0,789	0,944	0,894
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,144	0,083	0,092	0,014
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,018	0,078	0,065	0,006

Tab. 4.12: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen der Fläche des CoP der gesunden Tiere bei kontralateralem und diagonalem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			Area gesund	Area lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,003	0,804
		Ipsi	0,002	0,883
		Lahm	0,723	0,788
	Dia	Contra	0,003	0,804
		Ipsi	0,857	0,693
		Lahm	0,007	0,984
	Ipsi	Contra	0,002	0,883
		Dia	0,857	0,693
		Lahm	0,004	0,678
	Lahm	Contra	0,723	0,788
		Dia	0,007	0,984
		Ipsi	0,004	0,678
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,559
		Ipsi		0,588
		Lahm		0,971
	Dia	Contra		0,559
		Ipsi		0,966
		Lahm		0,583
	Ipsi	Contra		0,588
		Dia		0,966
		Lahm		0,612
	Lahm	Contra		0,971
		Dia		0,583
		Ipsi		0,612

4.6.2 Nach der Therapie

Nach der Therapie unterschieden sich die lahmen Hunde in ihren Extremitäten ebenfalls nicht signifikant. Die signifikant größere CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) der

lahmen Gliedmaße der kranken Tiere blieb auch zum Zeitpunkt 2 bestehen. Dazu kam ein signifikant höherer Wert beim kontralateralen Bein der erkrankten Hunde im Vergleich zur kontralateralen Extremität der gesunden Tiere. Der Vergleich der lahmen Tiere vor und nach der Unterwassertherapie ergab hingegen keine signifikante Differenz. Näheres ist in der Abb. 4.14 und den Tab. 4.11 und 4.12 nachzulesen.

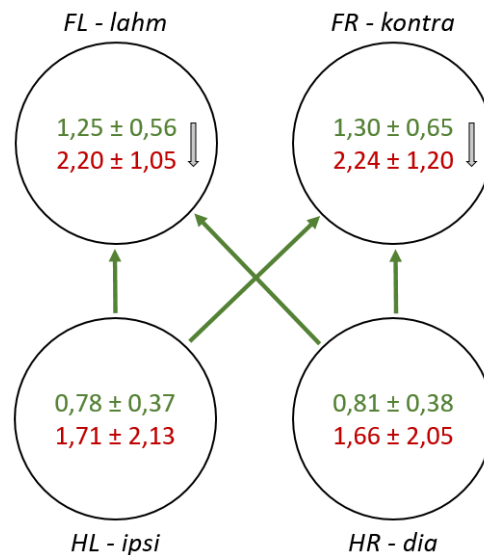


Abb. 4.14: Fläche des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

4.7 CoP-Geschwindigkeit

4.7.1 Vor der Therapie

Bei den gesunden Tieren waren lediglich signifikante Unterschiede zwischen ipsilateralem und kontralateraler bzw. lahmer Extremität beobachtbar. Dabei stellten sich die Werte der beiden Vorderbeine höher dar als die CoP-Geschwindigkeit (speed, in mm/s) des ipsilateralen Beins. Differenzen dieser Art konnten bei den lahmen Hunden nicht nachgewiesen werden. Bei beiden Gruppen waren zwischen den jeweils kontralateralen Gliedmaßenpaaren keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen. Die jeweiligen Verhältnisse sind in der Abb. 4.15 und die Signifikanz in den Tab. 4.13 und 4.14 dargestellt. Vergleicht man nun die beiden Gruppen miteinander zum Zeitpunkt 1, so stellten sich in keiner Hinsicht signifikante Unterschiede dar.

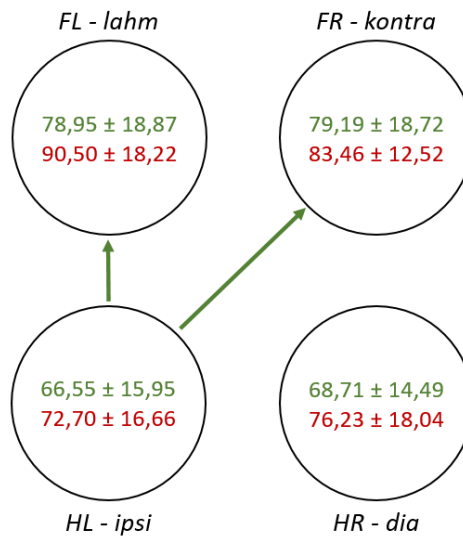


Abb. 4.15: Geschwindigkeit des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.13: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Da keine p-Werte im Signifikanzbereich liegen, sind keine Werte entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,352	0,976	0,718	0,684
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,607	0,302	0,420	0,198
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,127	0,296	0,211	0,089

Tab. 4.14: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Die signifikanten Unterschiede sind entsprechend markiert. Demnach ist zum Zeitpunkt 1 der Unterschied zwischen der Geschwindigkeit des CoP der gesunden Tiere bei kontralateralem und ipsilateralem Bein signifikant. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			Speed gesund	Speed lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,057	0,457
		Ipsi	0,022	0,272
		Lahm	0,965	0,469
	Dia	Contra	0,057	0,457
		Ipsi	0,691	0,715
		Lahm	0,062	0,150
	Ipsi	Contra	0,022	0,272
		Dia	0,691	0,715
		Lahm	0,025	0,077
	Lahm	Contra	0,965	0,469
		Dia	0,062	0,150
		Ipsi	0,025	0,077
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,204
		Ipsi		0,207
		Lahm		0,845
	Dia	Contra		0,204
		Ipsi		0,993
		Lahm		0,146
	Ipsi	Contra		0,207
		Dia		0,993
		Lahm		0,149
	Lahm	Contra		0,845
		Dia		0,146
		Ipsi		0,149

4.7.2 Nach der Therapie

Die zuvor beschriebenen nicht signifikanten Unterschiede und Verhältnisse bei den kranken Hunden blieben auch zu Zeitpunkt 2 bestehen. Auch beim Vergleich zu den gesunden

Hunden war keine verwertbare Veränderung nachzuweisen. Gleiches gilt auch für den Vergleich der lahmen Hunde vor und nach der Unterwassertherapie – auch hier lagen die Unterschiede weit über dem Signifikanzbereich. Die Abb. 4.16 sowie die Tab. 4.13 und 4.14 zeigen dies.

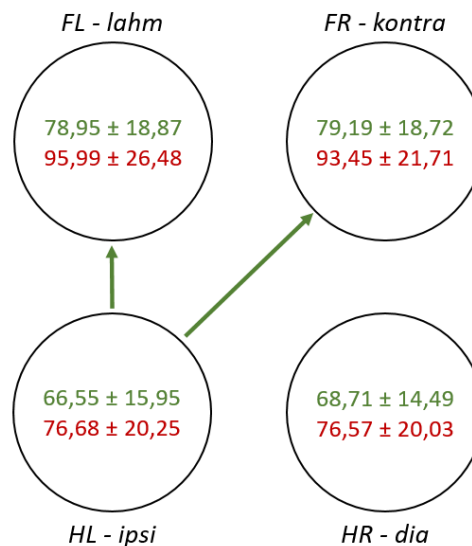


Abb. 4.16: Geschwindigkeit des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

4.8 CoP-Radius

4.8.1 Vor der Therapie

Beim Radius des CoP (in % Pfotenkontaktfläche) konnte weder bei den gesunden noch bei den kranken Tieren signifikante Unterschiede nachgewiesen werden, unabhängig davon, welche Extremitäten und Gruppen miteinander verglichen wurden. Die Werte stellten sich sowohl beim Vergleich der Extremitäten, als auch beim Vergleich zwischen gesund und krank zu ähnlich dar. Unterm Strich konnten aber bei den Hinterbeinen höhere Werte als an den Vorderbeinen verzeichnet werden (wenn auch nicht signifikant). Die Daten dazu sind in der Abb. 4.17 und den Tab. 4.15 und 4.16 dargestellt.



Abb. 4.17: Radius des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 1. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

Tab. 4.15: Auflistung der p-Werte nach den einzelnen Vergleichsklassen. Da keine p-Werte im Signifikanzbereich liegen, sind keine Werte entsprechend markiert. Genauere Informationen befinden sich bei Tab. 4.1.

	Contra	Dia	Ipsi	Lahm
Vergleich der beiden Zeitpunkte	0,695	0,516	0,744	0,917
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 1	0,564	0,217	0,245	0,080
Vergleich der Gruppen zum Zeitpunkt 2	0,295	0,910	0,469	0,090

Tab. 4.16: P-Werte vom Vergleich der einzelnen Extremitäten von lahmen und gesunden Tieren zu beiden Zeitpunkten. Da keine p-Werte im Signifikanzbereich liegen, sind keine Werte entsprechend markiert. Genauere Beschreibungen zur Tab. finden sich bei Tab. 4.1 wieder.

			Radius gesund	Radius lahm
Zeitpunkt 1	Contra	Dia	0,166	0,433
		Ipsi	0,296	0,492
		Lahm	0,963	0,623
	Dia	Contra	0,166	0,433
		Ipsi	0,731	0,922
		Lahm	0,181	0,767
	Ipsi	Contra	0,296	0,492
		Dia	0,731	0,922
		Lahm	0,317	0,843
	Lahm	Contra	0,963	0,623
		Dia	0,181	0,767
		Ipsi	0,317	0,843
Zeitpunkt 2	Contra	Dia		0,995
		Ipsi		0,744
		Lahm		0,620
	Dia	Contra		0,995
		Ipsi		0,749
		Lahm		0,624
	Ipsi	Contra		0,744
		Dia		0,749
		Lahm		0,865
	Lahm	Contra		0,620
		Dia		0,624
		Ipsi		0,865

4.8.2 Nach der Therapie

Das oben beschriebene Fehlen an signifikanten Unterschieden setzte sich auch nach der Therapie fort. Auch beim Vergleich der beiden Zeitpunkte bei den kranken Hunden konnte keine signifikante Veränderung ausgemacht werden. Näheren Einblick geben Abb. 4.18 sowie die Tab. 4.15 und 4.16.

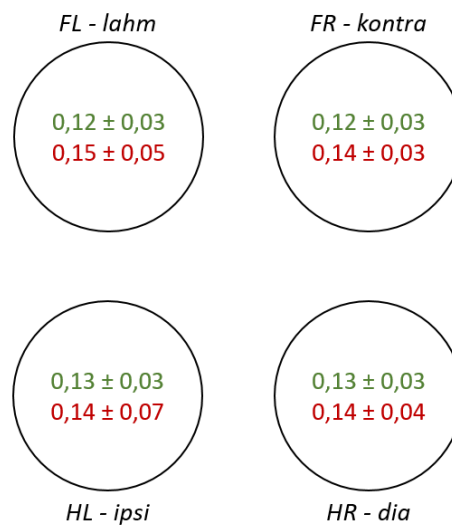


Abb. 4.18: Radius des CoP der gesunden und kranken Hunde zum Zeitpunkt 2. Genaue Beschreibungen sind der Abb. 4.1 zu entnehmen.

In den folgenden beiden Abb. 4.19 und 4.20 sind alle signifikanten Unterschiede aller Parameter festgehalten und sortiert nach Gruppe und Vergleichsart auf einen Blick zusammengefasst.

Druckmessdaten																				
Pfote		PFz				IFz				PFz-% StPh				StPh						
		lahm	kon	dia	ipsi		lahm	kon	dia	ipsi		lahm	kon	dia	ipsi		lahm	kon	dia	ipsi
gesund	FL - lahm			+	+				+	+				+	+	+			+	+
	FR - kon			+	+				+	+				+	+	+			+	+
	HR - dia		-				-	-				-	-				-	-		
	HL - ipsi		-				-	-				-	-				-	-		
Lahm vor	FL - lahm	↓				↓		-						+	+	+				
	FR - kon		+	+	+	↓	+		+	+				+	+	+				
	HR - dia	↓				↓		-				-	-							
	HL - ipsi	↓				↓		-				-	-							
Lahm nach	FL - lahm	↓				↓		-						+	+	↓				
	FR - kon		+	+	+		+		+	+				+	+	+				
	HR - dia	↓				↓		-				-	-							
	HL - ipsi	↓				↓		-				-	-							

Abb. 4.19: Hier sind alle signifikanten Unterschiede und Veränderungen der Druckmessdaten zwischen den Extremitäten, als auch zwischen den Gruppen gesund und lahm zusammengefasst. Dabei stellen „-“ und „+“ die signifikanten Differenzen innerhalb der jeweiligen Gruppe zwischen den Extremitäten dar, wobei das Minus für einen niedrigeren Wert und das Plus für einen höheren Wert steht. Links und oben sind jeweils alle vier Extremitäten gekennzeichnet und diese werden gegenübergestellt. Die links stehenden Beine werden mit den oben stehenden verglichen – die Tab. ist demnach von links nach oben zu lesen. Das bedeutet z.B., dass beim PFz der gesunden Tiere die diagonale Extremität einen signifikant niedrigeren Wert anzeigt als die lahme Extremität und das lahme Bein einen signifikant höheren PFz zeigt als das ipsilaterale Bein. Die Pfeile wiederum geben den Vergleich zwischen den Gruppen gesund und lahm vor und nach der Therapie an, wobei der rote Pfeil einen niedrigeren Wert und der grüne Pfeil einen höheren Wert als bei der gesunden Gruppe anzeigt. Das bedeutet, dass beim PFz das diagonale und ipsilaterale Bein der lahmen Hunde vor der Unterwassertherapie einen signifikant höheren Wert anzeigen als die jeweiligen Extremitäten bei der gesunden Vergleichsgruppe. PFz = Peak vertical force; IFz = Vertical impulse; PFz% StPh = Zeitpunkt der PFz während der Standphasendauer; StPh = Standphasendauer; FL – lahm = vorne links – lahmes Bein; FR – kon = vorne rechts – kontralaterales Bein; HR – dia = hinten rechts – diagonales Bein; HL – ipsi = hinten links – ipsilaterales Bein; Lahm vor = Lahme Tiere vor der Unterwassertherapie; Lahm nach = Lahme Tiere nach der Unterwassertherapie.

CoP – Daten																				
Pfote	med – lat Auslenkung				cran – caud Auslenkung				CoP – Fläche				CoP – Geschwindigkeit				CoP – Radius			
	lahm	kon	dia	ipsi	lahm	kon	dia	ipsi	lahm	kon	dia	ipsi	lahm	kon	dia	ipsi	lahm	kon	dia	ipsi
gesund	lahm		+	+				+			+	+				+				
	kon			+				+			+	+				+				
	dia	-	-						-	-										
	ipsi	-	-			-			-	-			-	-						
Lahm vor	lahm				↗				↗											
	kon																			
	dia																			
	ipsi	↗																		
Lahm nach	lahm			+					↗				↗							
	kon								↗				↗							
	dia																			
	ipsi	-																		

Abb. 4.20: Hier sind alle signifikanten Unterschiede und Veränderungen der CoP-Daten zwischen den Extremitäten, als auch zwischen den Gruppen gesund und lahm zusammengefasst. Genauere Erläuterungen sind bei Abb. 4.19 zu finden. CoP = Center of Pressure; med – lat Auslenkung = mediolaterale Auslenkung des CoP; cran – caud Auslenkung = craniocaudale Auslenkung des CoP; CoP – Fläche = Fläche, die alle Punkte des CoP einschließt; CoP – Geschwindigkeit = Geschwindigkeit der CoP – Bewegung; CoP – Radius = Distanz der CoP – Punkte mit CoP – Mittelpunkt

5 Diskussion

Die Studie beschäftigte sich mit der Beantwortung der Hypothese, dass sich sämtliche Messwerte, die im Zusammenhang mit dem Center of Pressures stehen, bei Hunden mit Osteoarthritis in der Vorderextremität bzw. mit anderen zur Lahmheit führenden Erkrankungen in der Vordergliedmaße nach einer Einheit Unterwassertherapie signifikant dem CoP-Profil einer gesunden Vorderextremität nähern. Diese Hypothese konnte zu Teilen bestätigt werden, zu Teilen wurde sie jedoch auch widerlegt. Genauere Ausführungen im nun folgenden Kapitel.

Während sich die medio-laterale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) bei den kranken Hunden vor der Therapie zwischen den Vorder- und Hinterextremitäten nicht unterschied, konnte nach der Therapie eine Veränderung in Richtung der gesunden Hunde verzeichnet werden. Bei den lahmheitsfreien Hunden stellte sich nämlich die medio-laterale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) beider Vorderbeine höher dar als die der Hinterbeine. Und auch in der Gruppe der lahmen Hunde zeigte sich nach der Unterwassertherapie in der lahmen Vorderextremität ein signifikant höherer Wert als im ipsilateralen Bein. Demnach zeigte der Vergleich zwischen Vorder- und Hinterbeinen einen eindeutigen Trend Richtung der gesunden Vergleichsgliedmaßen, wodurch die Hypothese dieser Studie zumindest teilweise bestätigt worden wäre. Vor der Therapie konnte außerdem eine höhere medio-laterale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) im diagonalen Bein der kranken Tiere beobachtet werden. Diese verschwand jedoch nach der Therapie, da der Wert in den Bereich des diagonalen Beins der gesunden Tiere sank. Möglicherweise würden diese Ergebnisse auf eine Gewichtsverteilung in Richtung der Vorderbeine sprechen, was wieder für unsere angenommene Hypothese sprechen würde. Ganz anders stellte sich die cranio-caudale Auslenkung (in % Fußungsflächenlänge) im Gegensatz dazu dar. Dieser Parameter lag vor der Therapie beim lahmen Bein der kranken Hunde höher als bei der gesunden Gruppe und zeigte sich nach der Therapie sogar noch etwas höher. Hinzu kam nach der Therapie eine signifikant höhere cranio-caudale Auslenkung (in % Fußungsflächenlänge) im kontralateralen Bein der lahmen Tiere, welche vor der Therapie noch knapp außerhalb des Signifikanzbereichs lag. Auch im ipsilateralen Bein der kranken Hunde stieg der Parameter nach der Einheit am Unterwasserlaufband an – jedoch weniger stark als die oben beschriebenen Werte und stellte sich somit außerhalb der Signifikanz dar. Diese Erhöhungen der Werte nach der Therapie wiesen

also auf eine größere CoP-Verschiebung hin. Einerseits glichen sich somit die Verhältnisse zwischen den Vorder- und Hinterbeinen der kranken Hunde denen der gesunden Hunde an, jedoch entfernten sich gleichzeitig die einzelnen Werte der cranio-caudalen Auslenkung (in % Fußungsflächenlänge) von denen der gesunden Hunde. Möglicherweise kann man diese Ergebnisse so interpretieren, dass einerseits mehr Gewicht auf die Vorderbeine verlagert wurde und deshalb eine größere Schwankung entstand bzw. dass die Hunde unmittelbar nach einer Einheit am Unterwasserlaufband mehr Schwierigkeiten hatten, ihr Gleichgewicht zu halten als vorher und sich dies deshalb in der größeren Bewegung des CoP widerspiegelte. Obwohl sich das Verhältnis zwischen Vorder- und Hinterbeinen also besserte, sprechen die noch höheren Werte nach der Therapie gegen die angenommene Hypothese, da sich die Werte der lahmen Hunde nach der Therapie noch weiter von den gesunden Tieren entfernten als vorher. Dass sich die Arthrose zumindest bei Menschen auf das Gleichgewicht ausübt, ist bereits durch einige Studien bekannt, wie z.B. Labanca et al. (2021) zeigten (Labanca et al. 2021). Demnach könnte es auch bei Hunden eine Rolle spielen, jedoch ist eben die Tatsache interessant, dass sich dieser Effekt nach der Unterwassertherapie scheinbar verstärkt. Außerdem stellt sich die Frage, warum sich derartige Erhöhungen der CoP-Schwankung mehr auf die cranio-caudale Auslenkung (in % Fußungsflächenlänge) auswirkten als auf die medio-laterale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite).

Während bei den gesunden Tieren beide Vorderbeine eine größere CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) aufwiesen als die Hinterbeine, ähnelten sich die Werte bei der Gruppe der lahmen Hunde vor, als auch nach der Therapie zu sehr, da die Fläche beider Hinterextremitäten der lahmen Tiere höher war – jedoch außerhalb der Signifikanzbreite. Reicher et al. (2020) konnten hingegen in ihrer Studie einen signifikant höheren Wert bei den Hinterbeinen beobachten (Reicher et al. 2020). Es konnte jedoch eine größere CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) der lahmen Vorderextremität im Vergleich zu den gesunden Tieren verzeichnet werden – vor und nach dem Unterwasserlaufband. Nach der Therapie kam außerdem bei den kranken Tieren eine größere CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) der kontralateralen Extremität hinzu. Dieses Ergebnis ist womöglich auf die erhöhte cranio-caudale Auslenkung (in % Fußungsflächenlänge) im kontralateralen Bein zurückzuführen, wie weiter oben bereits beschrieben. Diese Entwicklung könnte, da sie nur am kontralateralen und nicht auch am lahmen Bein auftrat, damit erklärt werden, dass mehr Gewicht von dieser Extremität getragen wurde und so auch die CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) durch die erhöhte Schwankung automatisch größer wurde. Demnach würde diese Entwicklung der CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) gegen die angenommene Hypothese sprechen.

Bezüglich der CoP-Geschwindigkeit (in mm/s) und des CoP-Radius (in % Pfotenkontaktfläche) bleibt lediglich zu sagen, dass sich die Werte der lahmen Hunde sowohl vor der Therapie als auch danach – vor allem bezüglich des Radius – zu sehr den Ergebnissen der gesunden ähnelten, als dass nennenswerte Unterschiede detektierbar waren. Demnach veranschaulichen diese beiden Parameter, dass sich eine Osteoarthritis in den Vorderextremitäten offenbar zu wenig auf diese auswirkt, um signifikante Unterschiede zu arthrosefreien Hunden hervorzurufen.

Nun auch noch ein paar Worte zu den Druckmessdaten, obwohl deren Veränderung nicht direkt Teil der aufgestellten Hypothese war. Der PFz (in % Gesamtkraft) und der IFz (in % Gesamtkraft) stellten sich bei den kranken Tieren in der lahmen Extremität vor der Unterwassertherapie jeweils niedriger dar als in der kontralateralen Gliedmaße. Verglichen mit den gesunden Tieren waren der PFz (in % Gesamtkraft) als auch der IFz (in % Gesamtkraft) der lahmen Extremität geringer als in der linken Vorderextremität der gesunden Tiere. Diese Ergebnisse wurden auch bereits in der Studie von Reicher et al. (2020) und Abdelhadi et al. (2013) gezeigt (Abdelhadi et al. 2013, Reicher et al. 2020). Dafür stellte sich der IFz (in % Gesamtkraft) der kontralateralen Gliedmaße höher dar als bei den gesunden Hunden. Außerdem konnte auch bei beiden Messparametern ein höherer Wert bei beiden Hinterextremitäten der kranken Tiere verzeichnet werden. Diese genannten signifikanten Unterschiede ließen auf eine geringere Belastung der lahmen sowie Umverteilung des Gewichts auf die kontralaterale Gliedmaße sowie auf die Hinterbeine schließen. Im Gegensatz zu anderen Studien konnte hier jedoch keine Tendenz der Gewichtsverteilung auf die diagonale Hintergliedmaße nachgewiesen werden, wie sie beispielsweise Studien von Reicher et al. (2020) und Bockstahler et al. (2009) zeigten (Bockstahler et al. 2009, Reicher et al. 2020). Nach der Unterwassertherapie konnte beobachtet werden, dass der IFz (in % Gesamtkraft) der kontralateralen Gliedmaße der kranken Hunde in den Bereich des Wertes der gesunden Hunde sank, was bedeutete, dass die Gewichtsumverteilung auf die gesunde Vordergliedmaße nicht mehr so stark vorhanden war wie vor der Therapie. Der direkte Vergleich von IFz (in % Gesamtkraft) und PFz (in % Gesamtkraft) vor und nach der Therapie ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied, da sich die Werte offenbar zu wenig stark voneinander differenzierten und auf das unterschiedliche Gewichtsverhältnis zwischen den einzelnen Gliedmaßen beschränkt blieben. Die Unterschiede der Werte innerhalb der Extremitäten deckten sich mit unseren Erwartungen, im direkten Vergleich der Gruppen miteinander reichten diese Unterschiede jedoch nicht aus.

Der PFz%StPh (in % der StPh) verhielt sich im Vergleich zu den bereits genannten Parametern relativ unspektakulär. Die einzige signifikante Unterscheidung vor der

Unterwassertherapie lag in höheren Werten beim diagonalen und ipsilateralen Bein der gesunden Hunde im Vergleich zu den kranken, welche auch nach der Therapie zu verzeichnen war. Demnach hatte also die Unterwassertherapie auf diesen Parameter interessanterweise keine allzu großen Auswirkungen.

Während die Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) bei den gesunden Tieren in den Vorderbeinen länger war als in den Hinterbeinen, konnte bei den kranken Tieren hingegen kein Unterschied bemerkt werden, weder vor noch nach der Therapie. Auch im direkten Vergleich der beiden Gruppen konnte in der Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden, worauf auch bereits die Studie von Bockstahler et al. (2009) schloss (Bockstahler et al. 2009). Was sich jedoch nach der Therapie änderte, war die StPh (in % Gesamt-StPh) der lahmen Extremität der kranken Hunde. Der Wert dieser Extremität sank im Vergleich zu vor der Therapie und stellte sich somit signifikant niedriger dar als bei der linken Vorderextremität der gesunden Tiere. Diese Entwicklung wurden in dieser Form nicht erwartet, da sich der Wert dieses Parameters in der lahmen Extremität von der gesunden Vergleichsgliedmaße entfernte und sich somit nicht den Ergebnissen der gesunden Tiere näherte.

Die Ergebnisse und Vergleiche der Druckmessdaten erfüllten also zum Teil unsere erwarteten Entwicklungen, wie zum Beispiel der Rückgang des IFz (in % Gesamtkraft) in der kontralateralen Gliedmaße der lahmen Hunde. Zum anderen passierte aber auch das genaue Gegenteil, wie die Entwicklung der Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) in der lahmen Gliedmaße zeigte. Möglicherweise würden sich aber die Beziehungen zwischen den Werten und Extremitäten mit einer deutlich größeren Studiengruppe anders darstellen. Auch könnte die Tatsache ausschlaggebend sein, dass die Gruppe der gesunden Vergleichshunde nur ohne einer absolvierten Unterwassertherapie über die Messplatte geführt wurden und somit keine Vergleichswerte nach einer kurzen Einheit am Unterwasserlaufband vorhanden waren. Denn womöglich würden sich auch die Parameter bei den gesunden Hunden ändern, sodass im Vergleich zu den kranken Hunden nach der Therapie andere Resultate verzeichnet werden könnten als in dieser Studie. Außerdem liefen die Patientenhunde nur ein einziges Mal über das Unterwasserlaufband. Interessant wären diesbezüglich Vergleichsstudien, in denen die Patientenhunde unterschiedlich oft eine Unterwassertherapie absolvieren müssen und deren Messergebnisse danach miteinander verglichen und die Unterschiede eruiert werden. Denn in dieser vorliegenden Studie ging es lediglich darum, wie sich eine einzelne Therapie am Unterwasserlaufband auf sämtliche CoP-Parameter auswirkt.

Weitere Aspekte, die zwar ebenfalls nicht Teil der Hypothese waren aber trotzdem von Bedeutung sind, stellen die Körpermasse sowie das Alter der Hunde dar. Dabei war

festzustellen, dass die lahmen Tiere eine Körpermasse von $32,75 \pm 6,75$ kg aufwiesen, wohingegen die gesunden Hunde lediglich $27,14 \pm 9,13$ kg wogen. Im Schnitt hatten demnach die erkrankten Tiere eine deutlich höhere Körpermasse als die lahmheitsfreien Hunde. Die entsprechende Signifikanz wurde jedoch in dieser Studie nicht überprüft, da dieser Aspekt nicht Teil der aufgestellten Hypothese war. Selbiges galt auch für das Alter der Hunde – auch hier waren deutliche Unterschiede in den beiden Gruppen zu verzeichnen. Die Hunde in der gesunden Gruppe waren $4,4 \pm 3,18$ Jahre alt, wohingegen die lahmen Hunde ein Alter von $8,04 \pm 5,04$ Jahren aufwiesen – sie waren also zum Zeitpunkt der jeweiligen Messung fast doppelt so alt wie die gesunden Tiere. Die Signifikanz wurde jedoch auch hier aus den bereits genannten Gründen nicht überprüft. Nichtsdestotrotz warfen diese Beobachtungen jedoch die Frage auf, ob bzw. inwieweit die Körpermasse und das Alter die Lahmheit der jeweiligen Patienten beeinflussen könnten. Da laut Anderson et al. (2018) und Mele (2007) bei mehr als der Hälfte aller Osteoarthrosepatienten die Krankheit erst zwischen dem 8. und 13. Lebensjahr diagnostiziert wird, wäre eine erneute Studie mit möglichst gleichaltrigen Tieren sicherlich von Relevanz, um einer möglichen Verfälschung der Ergebnisse aufgrund des Altersunterschieds zwischen den Gruppen vorzubeugen und um den Einfluss auf die Aussagekraft zu überprüfen (Anderson et al. 2018, Mele 2007). Auch im Bezug zur Schmerzwahrnehmung der Hunde und dem Fortschritt der Osteoarthrose wäre es von Vorteil, in folgenden Studien Hunde einer Altersgruppe vorzuziehen, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass sich die Tiere in ähnlichen Stadien der Krankheit befinden und so direkter miteinander verglichen werden könnten. Gleiches lässt sich auch über die Körpermasse sagen, denn größere und somit schwerere Hunde sowie Tiere mit Übergewicht sind prädisponiert für die Entstehung einer Osteoarthrose (Anderson et al. 2018, Mele 2007). Da in dieser Studie die kranken Hunde im Schnitt deutlich mehr wogen als die Tiere der Kontrollgruppe, wäre es sinnvoll, auch diesen Faktor in nachfolgende Studien miteinzubeziehen, bzw. wie beim Alter auch hier nur Hunde bestimmter Rassen bzw. Gewichtsklassen in die Studie aufzunehmen um aussagekräftigere und eindeutige Ergebnisse erzielen zu können.

Es müssen an dieser Stelle auch einige weitere Kritikpunkte an der Studie eingeräumt werden, angefangen mit der Patientenzahl. Anfangs waren mindestens 10 Patienten mit einer Lahmheit in einer Vorderextremität geplant. Diese Anzahl wurde benötigt, damit die Ergebnisse aussagekräftig dargestellt werden konnten. Aufgrund der Covid-19-Pandemie konnten jedoch in dem anvisierten Zeitraum nicht genügend passende Hunde gefunden werden. Aufgrund dessen wurde die Studie zu einer Pilotstudie umfunktioniert, um zumindest einige potentielle Richtwerte zu bekommen. Bei einer Wiederholung der

Studie mit mehr Patienten würden sich auch eventuell die Ergebnisse anders darstellen bzw. könnten mehr Aufschluss über die Wirkung des Unterwasserlaufbandes auf Arthrosepatienten geben.

Weiters ist zu erwähnen, dass bei dieser Studie auch aufgrund der mangelnden Anzahl an Hunden unterschiedliche Diagnosen in die Studie miteinbezogen wurden, weswegen die Aussagekraft der Ergebnisse abnimmt. So könnte man bei Hunden mit der exakt selben Diagnose eine weit höhere Signifikanz erreichen als in dieser vorliegenden Studie. Es wäre auch interessant, separate Studien für jedes der Hauptgelenke der Vorderbeine durchzuführen und diese miteinander zu vergleichen. Es wurde außerdem teilweise unzureichend abgeklärt, ob der jeweilige Patient auch unter anderen chronischen Beeinträchtigungen zum Zeitpunkt der Messung litt, z.B. Spondylosen in der Wirbelsäule, wodurch die Messungen möglicherweise verfälscht hätten werden können.

In der Studie wurde außerdem weder berücksichtigt, wann mit der regulären Unterwassertherapie begonnen wurde, noch wie häufig der Patient einer solchen Therapie beiwohnte bzw. ob die Therapieeinheiten zum Messzeitpunkt nach wie vor regelmäßig durchgeführt wurden. Außerdem absolvierten die Patienten unterschiedlich lange Therapieeinheiten, was auf ihren jeweiligen Therapiefortschritt bzw. Belastungsgrad zurückzuführen ist. Denn die Ausprägung der vorhandenen Lahmheit bzw. der Grad der Arthrose wurden ebenfalls außen vor gelassen, wobei eine Studie unter Berücksichtigung dieser Merkmale eventuell viel klarere Ergebnisse erzielen würde.

Was ebenfalls vernachlässigt wurde, ist das Alter, die Rasse, die Größe und die Körpermasse der lahmen Hunde. All diese Eigenschaften bringen nicht nur unterschiedliche anatomische Verhältnisse mit sich, wodurch sich z.B. das Gangmuster unterscheiden kann, sondern stehen auch für unterschiedliche Charaktere, wodurch auch vermutlich mit Schmerz und der Ausprägung der Lahmheit unterschiedlich umgegangen wird. Dass durch die genannten Eigenschaften die Bodenreaktionskräfte jedenfalls sehr wohl manipuliert und verändert werden, zeigten unter anderem bereits Voss et al. (2010) in deren Studie (Voss et al. 2010).

Zu guter Letzt sei auch zu erwähnen, dass die Gruppe der gesunden Hunde von einer bereits existierenden Studie übernommen wurde, welche generelle Messunterschiede der Bodenreaktionskräfte zwischen lahmen und gesunden Hunden detektierte. Da sich die Studie eben mit diesen allgemeinen Unterschieden befasste, unabhängig von Therapie und Fortschritt, existieren von diesen Hunden keine Daten in Kombination mit einer Unterwassertherapie. Für diese vorliegende Studie wäre aber genau dies interessant gewesen, denn so weiß man nicht, ob und wie sich deren Werte nach der Therapie verändert hätten. Womöglich würde, obwohl die Hunde keine Lahmheit aufweisen, der

Trend der Veränderungen ebenfalls in die Richtung gehen, wie sie bereits bei den lahmen Hunden nachgewiesen wurde und so wären deren Veränderungen wiederum entsprechend relativiert zu betrachten. Ein Studienaufbau, in dem beide Hundegruppen eine Einheit am Unterwasserlaufband absolvieren, wäre demnach von größtem Interesse. Außerdem ist zu sagen, dass bei den gesunden Hunden die Arthrosefreiheit lediglich durch die klinische Untersuchung und die Messung an sich festgestellt wurde. Es wurden also aufgrund von ethischen Gründen keine Röntgenuntersuchungen veranlasst, wodurch nicht zu 100 % ausgeschlossen werden konnte, ob sie nicht doch in einem der Gelenke eine asymptomatische Veränderung aufwiesen und so doch nicht als Hunde ohne Arthrose eingestuft werden könnten.

Die gesammelten Daten sind allgemein schwer mit Studien zu vergleichen, da es zur Zeit keine passenden Vergleichsstudien gibt, welche sich mit den Änderungen und Entwicklungen der Bodenreaktionskräfte bzw. des Center of Pressures bei Hunden nach der Unterwassertherapie beschäftigen. Preston und Willis (2018) haben zum Beispiel in ihrer Studie untersucht, wie sich eine einzelne Einheit einer Unterwassertherapie auf die Range of Motion bei Hunden mit einer Ellbogengelenksdysplasie auswirkt, verglichen mit einer Kontrollgruppe. Sie fanden heraus, dass sich die ROM bei beiden Gruppen in den Vorderbeinen steigerte, in der erkrankten Gruppe sogar noch mehr. Demnach interpretierten sie, dass die Hydrotherapie eine gute Methode ist, um solchen Hunden zu helfen (Preston und Wills 2018). Diese Studie ist zwar mit unserer an sich nicht vergleichbar, jedoch gehen auch unsere Ergebnisse in dieselbe Richtung, dass bereits eine einmalige Unterwassertherapie einige Messparameter verbessert und sich so den gesunden Tieren annähern.

Auch im Humanbereich gibt es erstaunlich wenig dazu zu finden, vor allem in Verbindung mit Osteoarthrose. Trevisan et al. (2015) beschäftigten sich mit der Wirkung eines 16-wöchigen Hydrotherapie-Programms auf die posturale Kontrolle bei Patienten mit Fibromyalgie. Dabei wurde herausgefunden, dass sich das Gleichgewicht, genauso wie die Wahrnehmung des Schmerzes, deutlich verbesserte. Im Gegensatz dazu zeigten sich bei unserer Studie eher Vergrößerungen der CoP-Schwankung bzw. der Fläche, wobei eingeräumt werden muss, dass unsere Studie im Gehen absolviert wurde und die beschriebene Studie die posturale Kontrolle im Stehen miss (Trevisan et al. 2015).

Eine ähnliche Studie, welche sich ebenfalls mit der Balance in Kombination mit der Hydrotherapie beschäftigte, ist jene von Pinto et al. (2019). Die Studie dokumentierte die Auswirkungen der Hydrotherapie auf Gleichgewicht, funktionelle Mobilität, motorischen Status und Lebensqualität bei Patienten mit der Parkinson-Krankheit. Auch hier wurde

bewiesen, dass die Hydrotherapie das Gleichgewicht verbessert, unabhängig davon, ob sie mit anderen Therapiemethoden kombiniert wurde (Pinto et al. 2019).

5.1 Schlussfolgerung

Am Ende lässt sich sagen, dass diese Studie trotz der geringen Anzahl an Patienten doch das ein oder andere interessante Ergebnis brachte. Zum Beispiel die Tatsache, dass sich der IFz (in % Gesamtkraft) der kontralateralen Gliedmaße der kranken Hunde nach der Therapie in den Bereich des Wertes der gesunden Hunde senkte, weil offenbar nicht mehr so viel Gewicht umverteilt wurde und die Unterwassertherapie bereits direkt danach erste positive Auswirkungen zeigte. Die CoP-Daten widersprachen sich hingegen teilweise etwas, bzw. bedarf es zukünftig einer genaueren Analyse mit strengeren Vorgaben zu der Patientenauswahl etc., wie bereits oben erwähnt. Denn dann bekommt man evtl. klarere und aufschlussreichere Ergebnisse als sie in dieser Studie vorhanden waren. Nichtsdestotrotz erlangten wir durch unsere Arbeit erste Richtwerte zum Verlauf der einzelnen Parameter und somit kann die Studie als Erfolg betrachtet werden. Diese Anhaltspunkte können nämlich für eventuelle spätere Studien als erste mögliche Vergleichsdaten in diesem Bereich dienen, da bis dato keine Vergleichsstudien vorhanden sind. Das Gebiet der posturalen Kontrolle und des Center of Pressures besitzt großes Potential näher erforscht und analysiert zu werden, um zum einen Diagnosen effizienter und womöglich früher stellen zu können. Zum anderen gibt dieses Gebiet bessere und nachvollziehbarere Informationen zum individuellen Therapieerfolg und Fortschritt, sodass schlussendlich auch besser auf den jeweiligen Patienten eingegangen werden kann, um den bestmöglichen Erfolg erzielen zu können.

6 Zusammenfassung

Diese Studie diente zur Beantwortung der Fragestellung, ob und wie sich Messparameter, die im Bezug zum Center of Pressure stehen, bei Hunden mit Osteoarthritis sowie anderen zur Lahmheit führenden Erkrankungen in der Vordergliedmaße nach einer Therapieeinheit am Unterwasserlaufband im Vergleich zu lahmheitsfreien Hunden ändern.

Dazu wurden insgesamt sechs Hunde, welche an einer Lahmheit an der Vorderextremität erkrankt waren, über eine Druckmessplatte geführt. Dabei wurden sowohl Messungen zum Center of Pressure als auch zu den Bodenreaktionskräften vorgenommen. Die für die Studie herangezogenen Parameter beliefen sich auf folgende: die medio-laterale (in % Fußungsflächenbreite) und cranio-caudale (in % Fußungsflächenlänge) CoP-Verschiebung, die CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche), die CoP-Geschwindigkeit (in mm/s), der CoP- Radius (in % Pfotenkontaktfläche), die peak vertical force (in % Gesamtkraft), der vertical impulse (in % Gesamtkraft), das Auftreten der peak vertical force während der Standphasendauer (in % der StPh) und die Standphasendauer (in % Gesamt-StPh). Anschließend absolvierten die Tiere ihre individuelle Therapieeinheit am Unterwasserlaufband, wonach eine erneute Messung auf der Druckmessplatte folgte. Die nun eruierten Werte wurden jeweils mit den Daten von gesunden Hunden, welche aus einer bereits durchgeführten Studie übernommen wurden, verglichen.

Hinsichtlich der CoP-Parameter konnte beobachtet werden, dass die medio-laterale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenbreite) der kranken Hunde nach der Therapie einen Trend in Richtung der gesunden Hunde zeigte. Die cranio-caudale CoP-Verschiebung (in % Fußungsflächenlänge) der lahmen Hunde hingegen entfernte sich nach der Unterwassertherapie weiter von den Daten der gesunden Vergleichsgruppe. Auch die CoP-Fläche (in % Pfotenkontaktfläche) konnte die angenommene Hypothese nicht bestätigen, da sich die Werte der erkrankten Hunde nach der Therapie nicht den Werten der gesunden Tiere annäherten. Die CoP-Geschwindigkeit (in mm/s) und der CoP-Radius (in % Pfotenkontaktfläche) gaben allerdings in keiner Richtung ein aufschlussreiches Ergebnis, da sich die Werte der lahmen Hunde weder vor noch nach der Therapie ausreichend von denen der gesunden Hunde unterschieden.

Die Ergebnisse der Druckmessdaten zeigten, dass sich der vertical impulse (in % Gesamtkraft) der kranken Tiere nach der Therapie an die Werte der gesunden Hunde anpasste, wohingegen die peak vertical force (in % Gesamtkraft) relativ unverändert blieb.

Gleiches gilt auch für das Auftreten der peak vertical force während der Standphasendauer (in % der StPh) – auch hier veränderten sich die Messungen vor und nach der Therapie kaum. Dafür konnte bezüglich der Standphasendauer (in % Gesamt-StPh) gezeigt werden, dass sich dieser Parameter bei den lahmen Hunden, im Gegensatz zum vertical impulse (in % Gesamtkraft), nach dem Unterwasserlaufband von den Werten der gesunden Hunde mehr differenzierte als vor der Therapie.

Zusammengefasst bot diese Studie auf der einen Seite trotz der überschaubaren Patientenanzahl einige sehr interessante Ergebnisse und Entwicklungen, jedoch fehlten auf der anderen Seite die nötigen umsetzbaren Vorgaben, um klarere und aufschlussreichere Ergebnisse zu erzielen. Diese Arbeit gibt jedoch einen ersten Überblick über diesen komplexen Bereich, in dem hohes Potential herrscht, näher erforscht zu werden. Damit könnte schlussendlich womöglich erreicht werden, dass der einzelne Patient mit dessen Beschwerden noch individueller und angepasster betreut und begleitet werden kann als bisher.

7 Summary

The purpose of this study was to answer the question how the center of pressure parameters change in dogs with osteoarthritis or other diseases leading to lameness in the forelimb after a hydrotherapy session compared to sound dogs.

For this purpose, a total of six dogs suffering from lameness in the forelimb were led over a pressure measurement plate. The following parameters were measured: medio-lateral (in % footing area width) and cranio-caudal (in % footing area length) CoP displacement, CoP area (in % paw contact area), CoP velocity (in mm/s), CoP radius (in % paw contact area), peak vertical force (in % total force), vertical impulse (in % total force), occurrence of peak vertical force during stance phase duration (in % of stance phase) and stance phase duration (in % total stance phase). The animals then completed their individual therapy session on the underwater treadmill which was followed by another measurement on the pressure measurement plate. The values now obtained were compared with the data of sound dogs which were taken from a previously conducted study.

It was observed that the medio-lateral CoP displacement (in % footing area width) of the diseased dogs showed a trend toward the healthy dogs after therapy. In contrast, the cranio-caudal CoP displacement (in % footing area length) of the lame dogs drifted further away from the data of the sound group after hydrotherapy. The CoP area (in % paw contact area) also could not confirm the hypothesis as the data of the diseased dogs did not approach the sound animals after therapy. However, CoP velocity (in mm/s) and CoP radius (in % paw contact area) did not give any informative result as the values of the lame dogs were too similar to the data of the sound dogs.

The results of the pressure measurement data showed that the vertical impulse (in % total force) of the diseased animals adapted to the values of the healthy dogs after therapy. The peak vertical force (in % total force) remained rather unchanged. The same happened to the occurrence of peak vertical force during stance phase duration (in % of stance phase) - the measurements before and after therapy barely changed. Otherwise it could be shown that the stance phase duration (in % total stance phase) in the lame dogs differed more from the sound dogs than before the hydrotherapy.

In summary, this study offered some very interesting results and developments even though there were not many patients included. But it must be said that more studies would be necessary to achieve clearer and more informative results. However, this study offers a first

overview of this complex area which has high potential to be researched further. Maybe this would eventually allow to care in a more adapted way for the individual patients and their complaints.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung/Abbildungen
Art.	Articulatio
CoP	Center of Pressure
cran-caud	craniocaudale CoP-Auslenkung
dia	diagonale Extremität
FCP	Fragmentierter Processus coronoideus
FL	left front limb
FR	right front limb
GRF	Ground Reaction Force
HL	left hind limb
HR	right hind limb
IFz	vertical impulse
IPA	Isolierter Processus anconaeus
ipsi	ipsilaterale Extremität
kontra	kontralaterale Extremität
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
m	männlich
med-lat	mediolaterale CoP-Auslenkung
mk	männlich kastriert
NSAID	non-steroidal anti-inflammatory drug
OA	Osteoarthrose
OCD	Osteochondrosis dissecans
PFz	peak vertical force
Proc.	Processus
ROM	Range of motion
SD	Standardabweichung
SI	Symmetrieindex
StPh	Standphasendauer
Tab.	Tabelle/Tabellen

TENS	transkutane elektrische Nervenstimulation
UWTH	Unterwassertherapie
w	weiblich
wk	weiblich kastriert
ZP	Zeitpunkt

Literaturverzeichnis

- Anderson KL, O'Neill DG, Brodbelt DC, Church DB, Meeson RL, Sargan D, Summers JF, Zulch H, Collins LM. 2018. Prevalence, duration and risk factors for appendicular osteoarthritis in a UK dog population under primary veterinary care. *Scientific reports*, 8 (1): 5641.
- Baldus I, Kramer M. 2010. Geriatrische Erkrankungen des Bewegungsapparats bei Hund und Katze. *veterinär spiegel*, 20 (01): 3–9.
- Baratto L, Morasso PG, Re C, Spada G. 2002. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density versus other parameterization techniques. *Motor control*, 6 (3): 246–270.
- Baumgartner S, Zemla S. 2018. Hydrotherapie. In: Baumgartner S, Zemla S, Hrsg. *Hydrotherapie bei Hunden. Fit und gesund durch therapeutisches Schwimmen*. Nerdlen/Daun: Kynos, 31–50.
- Beierer LH. 2021. Canine Carpal Injuries: From Fractures to Hyperextension Injuries. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice*, 51 (2): 285–303.
- Belshaw Z, Dean R, Asher L. 2020a. Slower, shorter, sadder: a qualitative study exploring how dog walks change when the canine participant develops osteoarthritis. *BMC veterinary research*, 16 (1): 85.
- Belshaw Z, Dean R, Asher L. 2020b. "You can be blind because of loving them so much": the impact on owners in the United Kingdom of living with a dog with osteoarthritis. *BMC veterinary research*, 16 (1): 190.
- Bockstahler B, Millis D. 2019. Biomechanik - Bewegung verstehen. Die Gangarten. In: Bockstahler B, Wittek K, Levine D, Maierl J, Hrsg. *Physikalische Medizin, Rehabilitation und Sportmedizin auf den Punkt gebracht. Ein Leitfaden für die Kleintierpraxis : mit 288 Tabellen inklusive Behandlungsplänen, 168 Online-Lehrvideos*. Erste. Auflage. : 33–35.
- Burton NJ, Owen MR, Kirk LS, Toscano MJ, Colborne GR. 2010. Conservative versus arthroscopic management for medial coronoid process disease in dogs: a prospective gait evaluation. *Veterinary surgery : VS*, 40 (8): 972–980.
- Carr BJ, Dycus DL, Veterinary Orthopedic & Sports Medicine Group. 2016. Canine gait analysis. *Today's veterinary practice*: 93–100.

- Chisholm AE, Perry SD, McIlroy WE. 2011. Inter-limb centre of pressure symmetry during gait among stroke survivors. *Gait & posture*, 33 (2): 238–243.
- Chiu MC, Wu HC, Chang LY, Wu MH. 2013. Center of pressure progression characteristics under the plantar region for elderly adults. *Gait & posture*, 37 (3): 408–412.
- Coppieters E, Gielen I, Verhoeven G, van Vynckt D, van Ryssen B. 2015. Erosion of the medial compartment of the canine elbow: occurrence, diagnosis and currently available treatment options. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology : V.C.O.T.*, 28 (1): 9–18.
- Coppieters E, van Ryssen B, van Bree H, Verhoeven G, Broeckx B, Bakker E de, Deforce D, Gielen I. 2016. Computed tomographic findings in canine elbows arthroscopically diagnosed with erosion of the medial compartment: an analytical method comparison study. *Veterinary radiology & ultrasound : the official journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association*, 57 (6): 572–581.
- Dragone L, Heinrichs K, Levine D, Tucker T, Millis D. 2014. Superficial Thermal Modalities. In: Millis DL, Hrsg. *Canine rehabilitation and physical therapy*. Second edition. Philadelphia, Pa., London: Elsevier/Saunders, 312–327.
- Felson DT. 2013. Osteoarthritis as a disease of mechanics. *Osteoarthritis and cartilage*, 21 (1): 10–15.
- Fitzpatrick N, Yeadon R. 2009. Working algorithm for treatment decision making for developmental disease of the medial compartment of the elbow in dogs. *Veterinary surgery: VS*, 38 (2): 285–300.
- Gao CC, Chern JS, Chang CJ, Lai PL, Lung CW. 2019. Center of pressure progression patterns during level walking in adolescents with idiopathic scoliosis. *PloS one*, 14 (4): e0212161.
- Gillette RL, Angle TC. 2008. Recent developments in canine locomotor analysis: a review. *Veterinary journal (London, England : 1997)*, 178 (2): 165–176.
- Gillette RL, Angle TC. 2014. *Canine Locomotion Analysis*. In: Millis DL, Hrsg. *Canine rehabilitation and physical therapy*. Second edition. Philadelphia, Pa., London: Elsevier/Saunders, 201–210.
- Gordon-Evans WJ. 2012. Gait analysis. Kinetic gait analysis. In: Tobias KM, Johnston SA, Hrsg. *Veterinary surgery. Small animal*. Missouri: Saunders, 1190–1193.
- Hafer JF, Lenhoff MW, Song J, Jordan JM, Hannan MT, Hillstrom HJ. 2013. Reliability of plantar pressure platforms. *Gait & posture*, 38 (3): 544–548.

- Jackson AM, Millis DL, Stevens M. 2002. Joint kinematics during underwater treadmill activity. *Proceedings. 2nd Int Symp Anim Phys Ther Rehabil Vet Med*: 191–192.
- Johnston SA. 1997. Osteoarthritis. *Joint Anatomy, Physiology, and Pathobiology. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, (27): 699–723.
- Johnston SA, McLaughlin RM, Budsberg SC. 2008. Nonsurgical management of osteoarthritis in dogs. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice*, 38 (6): 1449–70, viii.
- Jung T, Kim Y, Lim H, Vrongistinos K. 2019. The influence of water depth on kinematic and spatiotemporal gait parameters during aquatic treadmill walking. *Sports biomechanics*, 18 (3): 297–307.
- Kato T, Onishi S, Kitagawa K. 2001. Kinematical Analysis of Underwater Walking and Running. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 10 (3): 165–182.
- Kramer M, Kofler J. 2014. Orthopädischer Untersuchungsgang. In: Baumgartner W, Hrsg. *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere. Achte., aktualisierte Auflage*. Stuttgart: Enke, 216–277.
- LaFond E, Breur GJ, Austin CC. 2002. Breed susceptibility for developmental orthopedic diseases in dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 38 (5): 467–477.
- Lascelles BDX, Gaynor JS, Smith ES, Roe SC, Marcellin-Little DJ, Davidson G, Boland E, Carr J. 2008. Amantadine in a multimodal analgesic regimen for alleviation of refractory osteoarthritis pain in dogs. *Journal of veterinary internal medicine*, 22 (1): 53–59.
- Lee H, Lee A, Seo N, Oh J, Kweon OK, An HJ, Kim J. 2020. Discovery of N-glycan Biomarkers for the Canine Osteoarthritis. *Life (Basel, Switzerland)*, 10 (9).
- Levine D, Marcellin-Little DJ, Millis DL, Tragauer V, Osborne JA. 2010. Effects of partial immersion in water on vertical ground reaction forces and weight distribution in dogs. *American journal of veterinary research*, 71 (12): 1413–1416.
- Levine D, Millis DL, Flocker J, MacGuier L. 2014. Aquatic Therapy. In: Millis DL, Hrsg. *Canine rehabilitation and physical therapy. Second edition*. Philadelphia, Pa., London: Elsevier/Saunders, 526–538.
- López S, Vilar JM, Rubio M, Sopena JJ, Damiá E, Chicharro D, Santana A, Carrillo JM. 2019. Center of pressure limb path differences for the detection of lameness in dogs: a preliminary study. *BMC veterinary research*, 15 (1): 138.

- Manera ME, Carrillo JM, Batista M, Rubio M, Sopena J, Santana A, Vilar JM. 2017. Static Posturography: A New Perspective in the Assessment of Lameness in a Canine Model. *PloS one*, 12 (1): e0170692.
- Marshall W, Bockstahler B, Hulse D, Carmichael S. 2009. A review of osteoarthritis and obesity: current understanding of the relationship and benefit of obesity treatment and prevention in the dog. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology : V.C.O.T.*, 22 (5): 339–345.
- Matyas JR, Atley L, Ionescu M, Eyre DR, Poole AR. 2004. Analysis of cartilage biomarkers in the early phases of canine experimental osteoarthritis. *Arthritis and rheumatism*, 50 (2): 543–552.
- McLean H, Millis D. 2019. Behandlungspläne. Osteoarthrose. In: Bockstahler B, Wittek K, Levine D, Maierl J, Hrsg. *Physikalische Medizin, Rehabilitation und Sportmedizin auf den Punkt gebracht. Ein Leitfaden für die Kleintierpraxis : mit 288 Tabellen inklusive Behandlungsplänen*, 168 Online-Lehrvideos. Erste. Auflage. : 581–585.
- Mele E. 2007. Epidemiology of Osteoarthritis. *Veterinary Focus*, 17 (3).
- Meyer-Lindenberg A. 2018a. Erkrankungen des Ellbogengelenks. Ellbogengelenkdysplasie. In: Kohn B, Schwarz G, Hrsg. *Praktikum der Hundeklinik. Zwölfte., aktualisierte Auflage*. Stuttgart: Enke Verlag, 1143–1145.
- Meyer-Lindenberg A. 2018b. Erkrankungen des Schultergelenks. Osteochondrosis dissecans. In: Kohn B, Schwarz G, Hrsg. *Praktikum der Hundeklinik. Zwölfte., aktualisierte Auflage*. Stuttgart: Enke Verlag, 1136–1137.
- Meyer-Lindenberg A. 2018c. Spezielle Erkrankungen im Bereich der Gelenke, Muskeln und Sehnen. Erkrankungen der Ursprungssehne des Musculus biceps brachii. In: Kohn B, Schwarz G, Hrsg. *Praktikum der Hundeklinik. Zwölfte., aktualisierte Auflage*. Stuttgart: Enke Verlag, 1137–1138.
- Millis D, Drum M, Whitlock D. 2011. Complementary use of extracorporeal shock wave therapy on elbow osteoarthritis in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*, (24).
- Millis DL, Levine D. 2014. Assessing and Measuring Outcomes. In: Millis DL, Hrsg. *Canine rehabilitation and physical therapy. Second edition*. Philadelphia, Pa., London: Elsevier/Saunders, 220–223.
- Mucha M. 2019. Unterwassertherapie. In: Bockstahler B, Wittek K, Levine D, Maierl J, Hrsg. *Physikalische Medizin, Rehabilitation und Sportmedizin auf den Punkt gebracht*.

Ein Leitfaden für die Kleintierpraxis : mit 288 Tabellen inklusive Behandlungsplänen, 168 Online-Lehrvideos. Erste. Auflage. : 177–188.

Nauwelaerts S, Hobbs SJ, Back W. 2017. A horse's locomotor signature: COP path determined by the individual limb. *PloS one*, 12 (2): e0167477.

Nickel R, Schummer A, Wille KH, Wilkens H. 2004a. Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße. Ellbogengelenk, *Articulatio cubiti*. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Frewein J, Augsburg H, Hrsg. *Bewegungsapparat*. Achte., unveränd. Aufl. Stuttgart: Parey, 232–233.

Nickel R, Schummer A, Wille KH, Wilkens H. 2004b. Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße. Schultergelenk, *Articulatio humeri*. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Frewein J, Augsburg H, Hrsg. *Bewegungsapparat*. Achte., unveränd. Aufl. Stuttgart: Parey, 231–232.

Nickel R, Schummer A, Wille KH, Wilkens H. 2004c. Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße. Vorderfußwurzelgelenk, *Articulatio carpi*. In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Frewein J, Augsburg H, Hrsg. *Bewegungsapparat*. Achte., unveränd. Aufl. Stuttgart: Parey, 234–239.

Ohtsubo K, Marth JD. 2006. Glycosylation in cellular mechanisms of health and disease. *Cell*, 126 (5): 855–867.

Orlin MN, McPoil TG. 2000. Plantar pressure assessment. *Physical Therapie*, (80): 399–409.

Pitti L, Oosterlinck M, Díaz-Bertrana ML, Carrillo JM, Rubio M, Sopena J, Santana A, Vilar JM. 2018. Assessment of static posturography and pedobarography for the detection of unilateral forelimb lameness in ponies. *BMC veterinary research*, 14 (1): 151.

Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. 2000. What is balance? *Clinical rehabilitation*, 14 (4): 402–406.

Preston CA, Schulz KS, Kass P. 2000. In vitro determination of contact areas in the normal elbow joint of dogs. *American journal of veterinary research*, (61): 1315–1321.

Preston T, Wills AP. 2018. A single hydrotherapy session increases range of motion and stride length in Labrador retrievers diagnosed with elbow dysplasia. *Veterinary journal (London, England : 1997)*, 234: 105–110.

- Queen R, Dickerson L, Ranganathan S, Schmitt D. 2020. A novel method for measuring asymmetry in kinematic and kinetic variables: The normalized symmetry index. *Journal of biomechanics*, 99: 109531.
- Rausch-Derra L, Huebner M, Wofford J, Rhodes L. 2016. A Prospective, Randomized, Masked, Placebo-Controlled Multisite Clinical Study of Grapiprant, an EP4 Prostaglandin Receptor Antagonist (PRA), in Dogs with Osteoarthritis. *Journal of veterinary internal medicine*, 30 (3): 756–763.
- Reicher B, Tichy A, Bockstahler B. 2020. Center of Pressure in the Paws of Clinically Sound Dogs in Comparison with Orthopedically Diseased Dogs. *Animals : an open access journal from MDPI*, 10 (8).
- Reif U. 2018. Erkrankungen des Karpalgelenks. Hyperextension des Karpalgelenks. In: Kohn B, Schwarz G, Hrsg. *Praktikum der Hundeklinik*. Zwölfte., aktualisierte Auflage. Stuttgart: Enke Verlag, 1154.
- Remy D, Neuhart L, Fau D, Genevois JP. 2004. Canine elbow dysplasia and primary lesions in German shepherd dogs in France. *Journal of Small Animal Practice*, (45): 244–248.
- Richardson DC, Toll PW. 1997. Relationship of nutrition to developmental skeletal disease in young dogs. *Vet Clin Nutr*, (4): 6–13.
- Rutherford S. 2017. Approaches to treating OA. *Vet Times*. Rychel JK. 2010. Diagnosis and treatment of osteoarthritis. *Topics in companion animal medicine*, 25 (1): 20–25.
- Salomon FV. 2015a. Knochenverbindungen der Schultergliedmaße. Ellbogengelenk. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. *Anatomie für die Tiermedizin*. Dritte., aktualisierte und erw. Aufl. Stuttgart: Enke, 135–136.
- Salomon FV. 2015b. Knochenverbindungen der Schultergliedmaße. Schultergelenk. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. *Anatomie für die Tiermedizin*. Dritte., aktualisierte und erw. Aufl. Stuttgart: Enke, 134–135.
- Salomon FV. 2015c. Knochenverbindungen der Schultergliedmaße. Vorderfußwurzelgelenk. In: Salomon F-V, Geyer H, Gille U, Hrsg. *Anatomie für die Tiermedizin*. Dritte., aktualisierte und erw. Aufl. Stuttgart: Enke, 137–139.
- Samoy Y, van Vynckt D, Gielen I, van Bree H, Duchateau L, van Ryssen B. 2012. Arthroscopic findings in 32 joints affected by severe elbow incongruity with concomitant fragmented medial coronoid process. *Veterinary surgery : VS*, 41 (3): 355–361.

Schrey CF. 2014. Orthopädische Untersuchungsmethoden. In: Schrey CF, Hrsg. Untersuchungs- und Behandlungsmethoden bei Hund und Katze. MemoVet. Zweite., überarb. Aufl. Stuttgart: Schattauer, 256–325.

Schulz KS. 2021a. Ausgewählte nichtchirurgische Gelenkerkrankungen. Arthrose. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1290–1293.

Schulz KS. 2021b. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Bizepssehnenentendinopathie. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1319.

Schulz KS. 2021c. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Ellenbogendysplasie des Hundes. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1322–1323.

Schulz KS. 2021d. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Isolierter Processus anconaeus ulnae. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1340–1343.

Schulz KS. 2021e. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Karpalgelenk(sub)luxation. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1356–1360.

Schulz KS. 2021f. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Mediales Kompartmentsyndrom. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1334–1337.

Schulz KS. 2021g. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Osteochondrosis dissecans des Ellenbogengelenks. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1337–1340.

Schulz KS. 2021h. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Osteochondrosis dissecans des Schultergelenks. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1302–1304.

Schulz KS. 2021i. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Radioulnare Inkongruenz (Inkongruenz des Ellbogengelenks). In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1332–1334.

Schulz KS. 2021j. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Subluxation des Ellenbogengelenks durch frühzeitigen Fugenschluss der distalen Ulna- oder Radiusepiphyse. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1350–1353.

- Schulz KS. 2021k. Therapie spezieller Gelenkerkrankungen. Mediale Koronoiderkrankung und frakturierter Processus coronoideus. In: Fossum TW, Hrsg. Chirurgie der Kleintiere. Fünfte. Auflage. München: Elsevier, 1323–1325.
- Shaw KK, Brown L. 2018. Laser Therapy. In: Goldberg ME, Tomlinson J, Hrsg. Physical rehabilitation for veterinary technicians and nurses. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 231–239.
- Skopljak A, Muftic M, Sukalo A, Masic I, Zunic L. 2014. Pedobarography in diagnosis and clinical application. Acta informatica medica : AIM : journal of the Society for Medical Informatics of Bosnia & Herzegovina : casopis Drustva za medicinsku informatiku BiH, 22 (6): 374–378.
- Sprague S, Goldberg ME. 2018. Electrotherapy and Electromagnetic Therapy. In: Goldberg ME, Tomlinson J, Hrsg. Physical rehabilitation for veterinary technicians and nurses. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 241–253.
- Stramel D, Stramel A. 2018. Shockwave Therapy. In: Goldberg ME, Tomlinson J, Hrsg. Physical rehabilitation for veterinary technicians and nurses. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 273–281.
- Vezzoni A, Benjamino K. 2021. Canine Elbow Dysplasia: Ununited Anconeal Process, Osteochondritis Dissecans, and Medial Coronoid Process Disease. The Veterinary clinics of North America. Small animal practice, 51 (2): 439–474.
- Walton MB, Cowderoy EC, Wustefeld-Janssens B, Lascelles BDX, Innes JF. 2014. Mavacoxib and meloxicam for canine osteoarthritis: a randomised clinical comparator trial. The Veterinary record, 175 (11): 280.

Abbildungsverzeichnis

3.1	Paw contact area	31
4.1	Peak vertical force ZP1	34
4.2	Vertical Impulse ZP1	35
4.3	Peak vertical force ZP2	37
4.4	Vertical Impulse ZP2	38
4.5	PFz% StPh ZP1	39
4.6	PFz% StPh ZP2	41
4.7	Standphasendauer ZP1	42
4.8	Standphasendauer ZP2	44
4.9	Medio-laterale Auslenkung ZP1	45
4.10	Medio-laterale Auslenkung ZP2	47
4.11	Cranio-caudale Auslenkung ZP1	48
4.12	Cranio-caudale Auslenkung ZP2	50
4.13	Area CoP ZP1	51
4.14	Area CoP ZP2	53
4.15	Speed CoP ZP1	54
4.16	Speed CoP ZP2	56
4.17	Radius CoP ZP1	57
4.18	Radius CoP ZP2	59
4.19	Druckmessdaten gesamt	60
4.20	CoP-Daten gesamt	61

Tabellenverzeichnis

3.1	Daten der Patienten	28
4.1	P-Werte PFz und IFz einzelner Vergleichsklassen	35
4.2	P-Werte PFz und IFz einzelner Extremitäten	36
4.3	P-Werte PFz% StPh einzelner Vergleichsklassen	39
4.4	P-Werte PFz% StPh einzelner Extremitäten	40
4.5	P-Werte StPh einzelner Vergleichsklassen	42
4.6	P-Werte StPh einzelner Extremitäten	43
4.7	P-Werte med-lat Auslenkung einzelner Vergleichsklassen	45
4.8	P-Werte med-lat Auslenkung einzelner Extremitäten	46
4.9	P-Werte cran-caud Auslenkung einzelner Vergleichsklassen	48
4.10	P-Werte cran-caud Auslenkung einzelner Extremitäten	49
4.11	P-Werte Area CoP einzelner Vergleichsklassen	51
4.12	P-Werte Area CoP einzelner Extremitäten	52
4.13	P-Werte Speed CoP einzelner Vergleichsklassen	54
4.14	P-Werte Speed CoP einzelner Extremitäten	55
4.15	P-Werte Radius CoP einzelner Vergleichsklassen	57
4.16	P-Werte Radius CoP einzelner Extremitäten	58