

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde der Veterinärmedizinischen Universität Wien

(Departmentsprecher: O. Uni. -Prof. Dr. med. vet. Joerg Aurich)

Klinische Abteilung für Bildgebende Diagnostik

(Leiter: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Dipl.ECVDI Eberhard Ludewig)

# **Correlating imaging of slipped capital femoral epiphysis - case-control study in six cats**

Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

**MAGISTER MEDICINAE VETERINARIAE**

der Veterinärmedizinischen Universität Wien

vorgelegt von

Isabella Jasmin Bröthaler

Wien, im Mai 2023

**Betreuerin und Erstbegutachterin:**

Ao. Univ. -Prof. Dr. med. vet. Sibylle Kneissl

**Zweitbegutachter:**

Dr. med. vet. Beatrix Stessl

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Frau Prof. Dr. Kneissl, die meine Diplomarbeit betreut hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meiner Kommilitonin Alina Scheidbach bedanken, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite stand. Außerdem möchte ich Daniela Rumpler und meinem Vater für das Korrekturlesen meiner Masterarbeit danken.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern und Mag. Dorit Seibert-Schwarz bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für mich hatten.

**Eidesstatt Erklärung**

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die von mir vorgelegte Diplomarbeit eigenständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe, mit ausschließlich den angeführten Quellen und Hilfsmitteln bedient habe und die den benutzten Quellen inhaltlich oder wörtlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich diese Arbeit weder in gleicher, noch in ähnlicher Form, bei einem anderen Beurteiler/ einer Beurteilerin als Prüfungsarbeit eingereicht habe,

Des Weiteren versichere ich, dass die gedruckte und elektronische Version dieser Arbeit identisch sind und in beiden Formen bei der zuständigen Prüferin/dem zuständigen Prüfer hinterlegt wurden.

Datum:

Unterschrift:

## ABSTRACT

In 2015, three diagnosed cats (average weight 5,5 kg) suffering from *slipped capital femoral epiphysis* (SCFE) and three control cats (average weight 3,7 kg) were correlated. Clinical examinations, radiography, CT and micro-CT were performed on all six cats to compare.

Age, sex, body weight, manifestation on one side or both, activity level, course of lameness, husbandry and known family history of diseases were recorded from the patients. Femur head of healthy cats, that were euthanized due to unrelated reasons, were used as control samples. Their growth plates were in different stages, since they were 18 and 22 months old. The three affected cats were surgically treated. Surgically removed femoral tissue samples were fixed in 4% formaldehyde, decalcified by EDTA, paraffin embedded, sectioned (2-3µm) and histologically examined in hematoxylin-eosin, alcian blue and safranin O staining.

Overweight male neutered cats were primarily affected in this study. It seems that physical stress is the primary cause of *slipped capital femoral epiphysis* negatively impacted by gender, castration, breed-specific late maturity and high body weight to overweight.

Physical stress, especially in the shape of overweight, plays an important role in the pathogenesis of SCFE in cats. The metaphysis was not primarily affected in any case, but only secondarily. Primarily, an incongruent epiphysis was seen in the SCFE patients.

## KURZFASSUNG

In dieser Fall-Kontroll-Studie wurden drei an *Slipped capital femoral epiphysis* (SCFE) erkrankte Katzen und drei gesunde Katzen verglichen. Die sechs Tiere wurden aus dem Archiv ausgewählt und ihre Daten der klinischen Untersuchung, Röntgenbilder und CT-Bilder wurden ausgewertet. Des Weiteren wurden Micro-CT-Bilder, sowie histologische Präparate angefertigt und beurteilt.

Es wurde von allen Patienten Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Lahmheitsgrad, ein- oder beidseitige Veränderungen, Haltung und wissentliche familiäre Krankheitsgeschichte dokumentiert. Femurköpfe von orthopädisch gesunden Katzen, die aus anderen Gründen euthanasiert wurden, dienten zur Kontrolle. Deren Epiphysenfuge war in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, weil sie zwischen 18 und 22 Monaten alt waren. Die drei an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankten Katzen wurden chirurgisch versorgt. Die chirurgisch entfernten Gewebeproben wurden in 4% Formaldehyd fixiert, demineralisiert mit EDTA, in Paraffin eingelegt, dünn geschnitten (2-3µm) und histologisch angeschaut in Hämatoxylin-Eosin, Alcianblau und Safranin-O Färbung.

In dieser Studie waren in erster Linie übergewichtige männlich kastrierte Katzen betroffen. Ein hohes Körpergewicht scheint der primäre Faktor für *Slipped capital femoral epiphysis* zu sein. Weiteres wird es aber durch das Geschlecht, eine Kastration, eine rassespezifische späte Reifung/Entwicklung und einem hohen Körpergewicht bis hin zu Übergewicht, negativ beeinflusst.

Die körperliche Belastung in Form von Übergewicht spielt eine tragende Rolle in der Pathogenese von SCFE bei Katzen. Die Metaphyse war in keinem Fall primär betroffen, sondern nur sekundär. Primär war bei den SCFE-Patienten eine inkongruente Epiphysenfuge zu erkennen.

**Abkürzungsverzeichnis**

3D	dreidimensional
A.	Arteria
Art.	Articulatio
ECF	Epiphyseolysis capitis femoris
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
FOV	Feldgröße, field of view
GAG	Glykosaminoglykane
ggr.	geringgradig
hgr.	hochgradig
H&E	Hämatoxylin-Eosin
kast.	kastriert
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
m.	männlich
mgr.	mittelgradig
MRT	Magnetresonanztomographie
NSAID	nichtsteroidale Antirheumatika, nichtsteroidale Antiphlogistika
SCFE	Slipped capital femoral epiphysis
unrgm.	unregelmäßig
VD	ventrodorsal
w.	weiblich

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>10</b>
1.1 Probleme und ihre klinische Relevanz	10
<b>2. Forschungsfrage und Hypothese</b>	<b>11</b>
<b>3. Hintergrund</b>	<b>12</b>
2.1 Anatomie des Hüftgelenkes	12
2.2 Bewegungsablauf der Hintergliedmaße	13
2.3 Aufbau des Gelenkknorpels	13
2.4 Aufbau der Epiphysenfuge	15
2.5 Lahmheitsdiagnostik	16
2.6 Bildgebende Verfahren	17
2.7 Therapiemöglichkeiten	18
<b>4. Material und Methode</b>	<b>20</b>
3.1 Einschlusskriterien der Patienten	20
3.2 Tierspitalinformationssystem	20
3.3 Bildgebende Verfahren	21
3.3.1 Röntgen	21
3.3.2 Computertomographie	21
3.3.3 Micro-Computertomographie	21
3.4 Bildauswertung	22
3.5 Histologische Präparate	22
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>24</b>

<b>4.1 Röntgenaufnahmen in Korrelation</b>	<b>25</b>
<b>4.2 CT-Bilder in Korrelation</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Micro-CT-Bilder in Korrelation</b>	<b>27</b>
<b>4.4 Histologische Präparate in Korrelation</b>	<b>28</b>
4.4.1 Hämatoxylin-Eosin Färbung	28
4.4.2 Alcianblau Färbung	29
4.4.3 Safranin O Färbung	30
<b>4.5 Zusammenführung der Ergebnisse</b>	<b>31</b>
<b>6. Diskussion</b>	<b>33</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>38</b>
6.1 Tabellenverzeichnis	38
6.2 Abbildungsverzeichnis	38
6.3 Literaturverzeichnis	39

## 1. Einleitung

### 1.1 Probleme und ihre klinische Relevanz

*Slipped capital femoral epiphysis* (SCFE) (1, 2, 3) ist eine Verschiebung des Femurkopfes welche ein- oder beidseitig auftreten kann. In wissenschaftlichen Texten wird diese Krankheit auch Epiphyseolysis capitis femoris (ECF) (4) oder physeale Dysplasie bezeichnet (4, 5). Es kommt zu einer Dislokation des Femurkopfes nach mediodorsal (5). In dieser Arbeit wurden anhand von Röntgen, CT, Mikro-CT und histologischen Bildern zwischen gesunden und veränderten Femurköpfen die wesentlichen Unterschiede dargestellt.

In dieser Studie wurden drei gesunde und drei an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankte Patienten untersucht und deren Ergebnisse verglichen. Röntgen und CT-Bilder wurden schon zur Diagnosestellung gemacht, welche hier auch verglichen wurden. Nach der chirurgischen Behandlung der erkrankten Tiere, wurde das entfernte Knochenstück, der Oberschenkelkopf noch genau untersucht. Dieser wurde einerseits histologisch bearbeitet, wobei dünne Schnitte angefertigt wurden und danach in dieser Studie drei unterschiedliche Färbemethoden angewandt wurden, um unterschiedliche Zellen besser hervor zu heben und beurteilen zu können. Der zweite wichtige Schritt zur Untersuchung von dem chirurgisch entfernten Knochenstück war die Anfertigung einer Micro-CT Aufnahme. Da hier kein ganzer Knochen mehr, sondern nur der Oberschenkelkopf vorhanden war, lag besonderes Augenmerk auf der korrekte Ausrichtung bei der Bildbeurteilung.

Weiteres wurde eine Liste der Patienten erstellt, mit den für diese Studie relevanten Informationen wie Geschlecht, Kastration, Alter, Körpergewicht und ein- oder beidseitiges Auftreten der Krankheit. Da dies alles Faktoren sind die *Slipped capital femoral epiphysis* vermutlich fördern und das Ziel dieser Studie ist, dass bestätigen oder widerlegen zu können. Außerdem wurden Aussagen die für oder gegen SCFE sprechen formuliert und tabellarisch aufgezeichnet. An Hand dieser Aussagen wurde die Bilder noch einmal „blind“ durchgearbeitet und rein auf die vorher gefertigten Annahmen beurteilt. Dieser Teil wurde in der Diskussion aufbereitet und mit vorherigen wissenschaftlichen Ergebnissen anderer Arbeiten verglichen um ihnen eine Wertigkeit und Korrektheit zu teilen zu können. Die Zirkumferenz der Gelenkfläche, ist als Umfang auf die Kontaktfläche bezogen zu verstehen.

## 2. Forschungsfrage und Hypothese

Forschungsfrage:

Welche Zusammenhänge zwischen diagnostischen Bildern (Röntgenbilder, CT und Mikro-CT Bilder) und histologischen Schnitten unterstützen die Ursachenforschung von SCFE?

Zusatzfragen:

1. Gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Kastration und dem Auftreten von Slipped capital femoral epiphysis?
2. Wie kann das Bewusstsein über die Risikofaktoren für *Slipped capital femoral epiphysis* in der Öffentlichkeit und unter Tierärzt\*innen verbessert werden, um frühzeitige Diagnose und Intervention zu fördern?

Folgende Hypothese wird in dieser Diplomarbeit behandelt:

Körperliche Belastung ist der primäre Faktor für Slipped capital femoral epiphysis. Weiteres wird es aber durch das Geschlecht, eine frühe Kastration, eine rassespezifische späte Reifung beziehungsweise Entwicklung und einem hohen Körpergewicht bis hin zu Übergewicht, negativ beeinflusst.

Gerichtet ist diese Arbeit an Radiolog\*innen, Chirurg\*innen, Forscher\*innen auf diesem Fachgebiet und allen tätigen Tierärzt\*innen. Diese retrospektive Arbeit dient dazu weitere Erkenntnisse im Bereich der Ursachenforschung zu SCFE zu erlangen.

### 3. Hintergrund

#### 2.1 Anatomie des Hüftgelenkes

Das Hüftgelenk, lateinisch *Articulatio coxae*, ist ein Kugelgelenk und somit ein vielachsiges Gelenk, welches als *Art. sphaeroidea* bezeichnet wird. Dabei artikuliert das *Caput ossis femoris* mit dem *Acetabulum*. Das paarig ausgebildete Hüftbein besteht jeweils aus einem *Os ilium*, einem *Os pubis* und einem *Os ischii*. Diese drei Knochen vereinigen sich im *Acetabulum* zu einem in sich starren Knochen. Als Besonderheit fügt sich nur bei den Carnivoren im Zentrum vom *Acetabulum* ein *Os acetabuli* ein und verschmilzt zentral. Die *Facies lunata* ist die Artikulationsfläche des *Acetabulums*, sie ist sichelförmig ausgebildet und wird medial durch die *Incisura acetabuli* unterbrochen. In der Tiefe des *Acetabulums* befindet sich die *Fossa acetabuli*, an der das *Ligamentum capitis ossis femoris* entspringt. Das *Lig. capitis ossis femoris* zieht durch die *Incisura acetabuli* durch und setzt am *Caput femoris* an. Das *Lig. transversum acetabuli* überbrückt die *Incisura acetabuli* und hält damit das *Lig. capitis ossis femoris* in seiner Lage. Das knorpelfaserige *Labrum acetabulare* erhöht den knöchernen Rand der *Acetabulum* (6, 7).

Das *Lig. capitis ossis femoris* liegt extrasynovial und hat keine mechanische Funktion. Es ist ein Rudiment vom Versorgungssystem während des Wachstums, hier führt das *Ligamentum* die *Arteria epiphysialis* welche des *Caput femoris* versorgt bis zum Epiphysenfugenschluss (8).

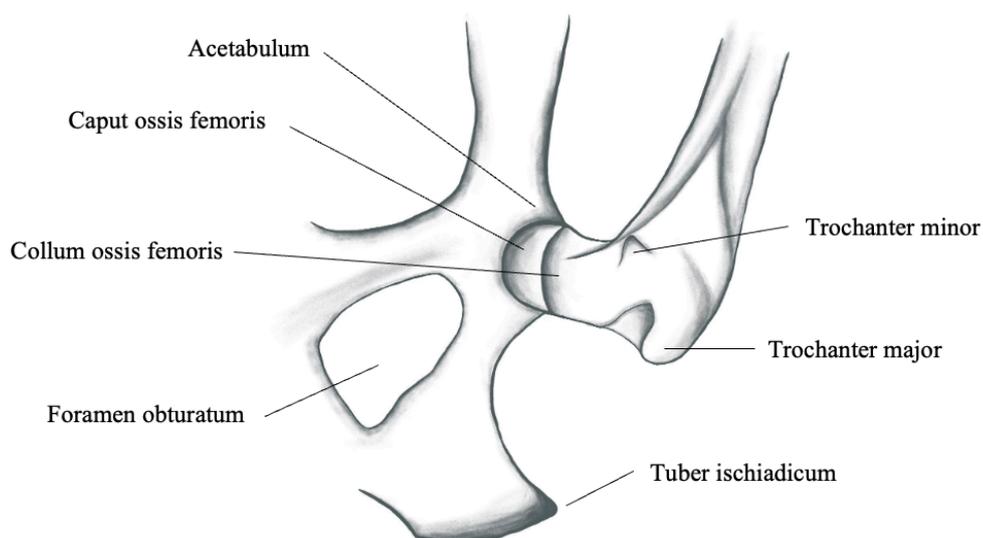


Abb.1: Skizze *Articulatio coxae*, Zeichnung angelehnt an König (6)

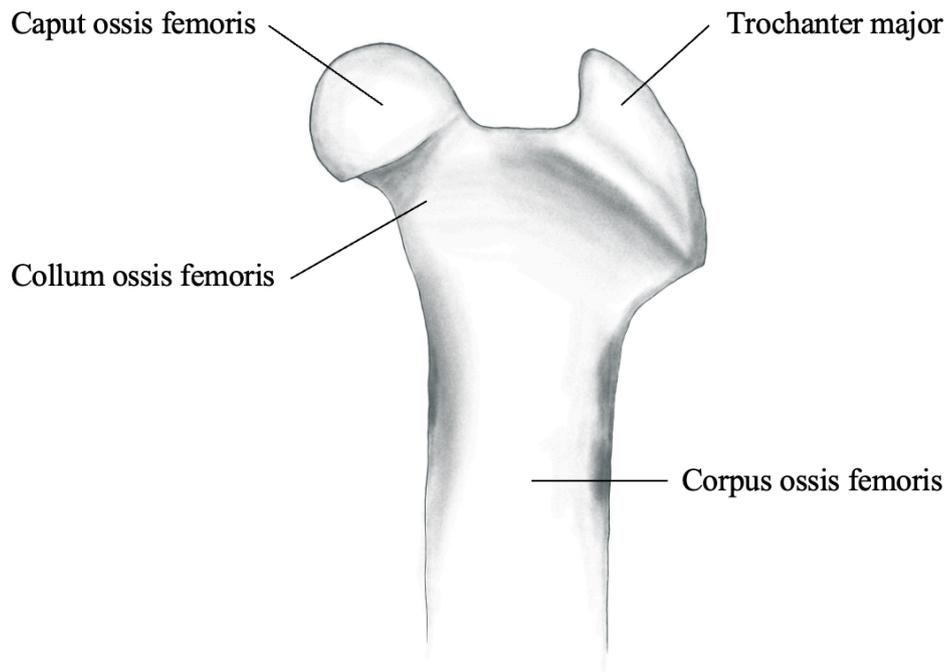


Abb.2: Skizze Femur, Zeichnung angelehnt an König (6)

## 2.2 Bewegungsablauf der Hintergliedmaße

Der Bewegungsumfang im Hüftgelenk kann nach Beugung, Streckung, Abduktion, Adduktion, Innenrotation und Außenrotation beurteilt werden. Dafür liegen rasseunterschiedliche Werte vor. Die Kontaktfläche zwischen Caput femoris und Facies lunata nimmt mit zunehmender Belastung um mehr als das doppelte zu. Selbst bei vierfacher Belastung des Körpergewichtes, werden nur 55% der Gelenkfläche am Caput femoris belastet. Bei solchen inkongruenten Gelenken findet die Kraftübertragung hauptsächlich am Gelenkrand statt. Bei hohen Belastungen dehnt sich das Caput femoris aus und dehnt das Acetabulum. Im Hüftgelenk führt das Femur beim Gehen, eine anguläre Bewegung aus und das Becken eine Gleitbewegung (8).

## 2.3 Aufbau des Gelenkknorpels

Die Gelenkflächen werden vom hyalinen Knorpel ausgekleidet, welcher eine stoßdämpfende Wirkung aufweist. Ein Gelenkknorpel hat keine Nerven sowie Lymph- oder Blutgefäße und

kann seinem Aufbau entsprechend in vier Zonen gegliedert werden. Die Tangentialzone besteht weitgehend aus parallel ausgerichteten eng verwobenen, bogenförmig verlaufenden Kollagenfasern. Dieses Konstrukt verstärkt die Oberflächenstabilität des Gelenkknorpels. Die darunter liegende Übergangszone oder Intermediärzone ist dagegen strukturell homogen aufgebaut. Die in der Radiärzone gelegenen Kollagenfasern verbinden sich teilweise zu radiären Bündeln. Die tiefste und somit letzte Zone ist die Verkalkungszone, hier verankern sich die Kollagenfasern über eine kalzifizierte Zwischenschicht im Knochen. Sie bildet die feste Verbindung zwischen Knochen und Gelenkknorpel. Direkt unter dem Gelenkknorpel liegt die subchondrale Knochenplatte, sie ist Teil der kalzifizierten Zwischenschicht. Diese Platte wird Corticalis genannt und fördert die Stoffwechselversorgung tieferer Knorpelschichten. Die Ernährung des Gelenkknorpels erfolgt bradytroph durch Diffusion und Konvektion aus der Synovia, selten über die Markgefäße des Knochens (6, 8).

Zwischen der Radiärzone und der Verkalkungszone liegt die „tidemark“, welche die Grenze zwischen besser und schlechter nährstoff-versorgtem Knorpel darstellt. Im Wachstum erhält der Gelenkknorpel noch eine direkte Blutgefäßversorgung, mit fortschreitender Entwicklung und Reifung wird diese Art der Nährstoffversorgung unterhalb der „tidemark“ immer weniger (8).

Die Chondrozyten sind Knorpelzellen und liegen einzeln oder in Gruppen in Zellohlen. Sie sind von einer perizellulären Matrix, einer kapselartigen Substanz umgeben, welche verlaufend in die interzelluläre Matrix übergeht. Als Chondrone werden Zellen oder Zellgruppen mit ihrer Knorpelkapsel der perizellulären Matrix bezeichnet. Die interzelluläre Matrix von hyalinem Knorpel enthält viele Kollagenfibrillen, sie sind mit gewöhnlichen optischen Hilfsmitteln nicht sichtbar, da sie den gleichen Brechungsindex wie ihre Umgebung besitzen. Bei zu hoher Belastung durch statische oder dynamische Druckkräfte kommt es zu einer Überschreitung der Verformungsgeschwindigkeit des Knorpelgewebes. Dadurch erhöht sich die Steifigkeit des Gewebes und es kommt zu irreparablen Schäden am Gelenkknorpel. Der Knorpel hat nur eine geringe Regenerationsfähigkeit, Läsionen werden durch minderwertiges Narbengewebe bedeckt (7).

## 2.4 Aufbau der Epiphysenfuge

Die Epiphysenfuge liegt als durchgehende Knorpelplatte zwischen Epiphyse und Metaphyse und verknöchert mit dem Schluss der Epiphysenfuge zur Epiphysenlinie. Als Metaphyse wird der Bereich der Diaphyse bezeichnet, in dem die Knochenbildungszone während des Längenwachstums lokalisiert ist. Am adulten Knochen sind in diesem Bereich meist Apophysen zur Insertion von Sehnen und Bändern ausgebildet. Die Epiphysenfuge wird auch Wachstumsfuge genannt, da hier bis zum Epiphysenfugenschluss mitotische Teilung der Chondrozyten stattfindet und damit ein Längenwachstum des Knochens (6, 7).

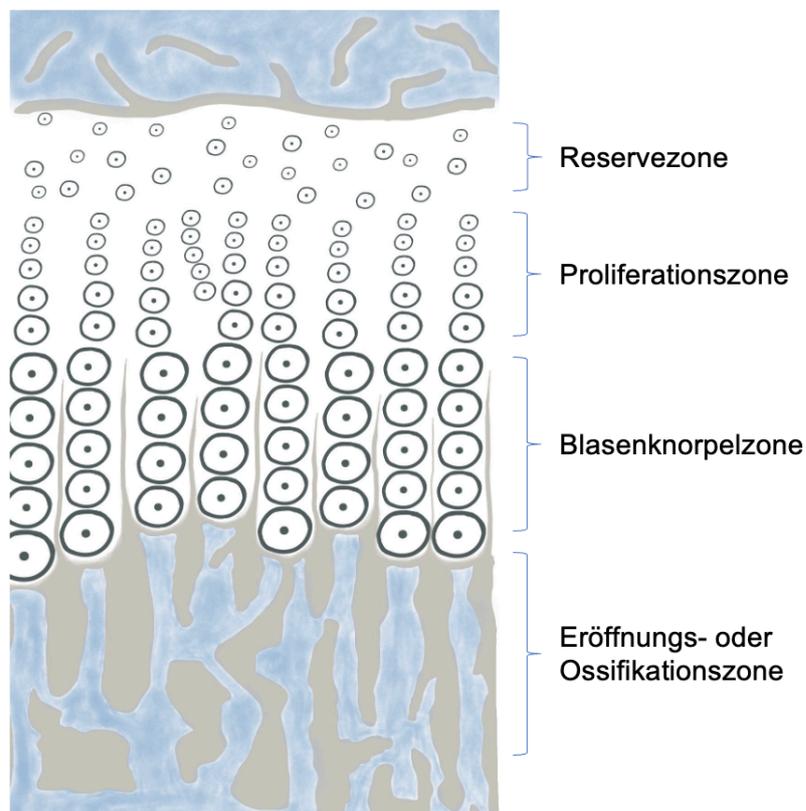


Abb.3: Schichten des Aufbaus einer Epiphysenfuge, Zeichnung angelehnt an Salomon (7)

Die Epiphysenfuge wird in vier Zonen unterteilt, gut zu erkennen in der schematischen Darstellung in Abb.1. In der Reservezone liegen die Chondrozyten ungeordnet vor, erst in der Proliferationszone findet mitotische Teilung und eine säulenähnliche Ausrichtung statt. Zwischen diesen Säulen befinden sich longitudinale Septen die mit extrazellulärer Matrix

gefüllt sind. In der Blasenknorpelzone kommt es zur Verkalkung dieser longitudinalen Septen und die Zellen sind nicht mehr teilungsfähig, sondern nehmen durch Wasseraufnahme an Größe zu. Darunter liegt die vierte Zone, die Eröffnungs- und Ossifikationszone, hier münden Gefäße ein und es entstehen primäre Spongiosatrabekel aus Geflechtknochen, welche später zu stabileren sekundären Trabekeln aus Lamellenknochen umgebaut werden. Sobald die Epiphysenfugenscheibe völlig aufgebraucht ist endet das Längenwachstum und es bleibt eine knöcherne Epiphysenlinie zurück, diesen Zeitpunkt bezeichnet man als Epiphysenfugenschluss. Dazu kommt es etwa mit Ende der Pubertät, allerdings gibt es zeitlich gesehen deutliche geschlechtsbedingte und rassebedingte Unterschiede (6, 7).

## **2.5 Lahmheitsdiagnostik**

Nach dem allgemeinen Untersuchungsgang folgen je nach Notwendigkeit spezielle Untersuchungsgänge. Der orthopädische und der neurologische Untersuchungsgang liefern wichtige, sich gegenseitig ergänzende Informationen für die Lahmheitsdiagnostik. Jeder Untersuchungsgang beginnt mit der Abfrage der Anamnese. Bezogen auf diese Studie über *Slipped capital femoral epiphysis* sind die Informationen über Rasse, Alter und Ernährungszustand von großer Bedeutung. Die Frage nach einer Vorbehandlung mit entzündungshemmenden und schmerzstillenden Medikamenten zu stellen, ist vor Beginn der Untersuchung sehr wichtig. Gelenke werden durch Adspektion, Palpation und Manipulation untersucht (9).

Bei der Adspektion in Ruhe ist auf Entlastungsstellungen und die Gliedmaßenstellung zu achten. Die Untersuchung ist auf ebenen und festen Untergrund durchzuführen. Mittel- und hochgradige Entlastungsstellungen können auf septische Arthritis, Frakturen, Luxationen sowie hochgradig degenerative Gelenkerkrankungen zurückzuführen sein. Der Bewegungszyklus wird in eine Stützbeinphase und eine Hangbeinphase unterteilt. Dementsprechend wird eine Lahmheit als Stützbeinlahmheit, Hangbeinlahmheit oder eine gemischte Lahmheit beurteilt. Beim Kleintier tritt immer der gemischte Lahmheitstyp auf (9).

Proximale Gelenke, wie das Hüftgelenk, sind stark von Muskulatur bedeckt und sind daher nicht von allen Seiten zugänglich. Die tastbaren Knochenpunkte des Hüftgelenks sind der

Trochanter major des Femurs, das Tuber coxae und das Tuber Ischiadicum. Diese drei Knochenpunkte sind physiologisch im Dreieck angeordnet. Eine Anordnung in gerader Linie deutet auf eine Hüftgelenkluxation hin. Darüber hinaus wird auf Symmetrie, Umfangsvermehrungen, Schmerzhaftigkeit, Wärme, Rötungen, Krepitationsgeräusche, Wunden und Narben geachtet. Die passive Beweglichkeit des Gelenkes wie Beugen, Strecken, Rotieren und Kippen ist ebenfalls Teil der orthopädischen Untersuchung. In Abhängigkeit der Befunde sind weiterführende Untersuchungen durchzuführen. Dazu zählt unter anderem ein verkürzter bis vollständiger neurologischer Untersuchungsgang und fakultative Methoden wie Röntgen, Sonografie, Laboruntersuchungen, Synovialuntersuchungen, Biopsie, CT, MRT und Arthroskopie (8, 9).

Lahmheiten werden in 4 Grade unterteilt. Grad 1 bedeutet, dass das Gangbild ist kaum gestört. Bei Grad 2 ist das Gangbild gestört, aber die verletzte Extremität wird stetig belastet. Mit Grad 3 wird die Extremität nicht mehr stetig belastet. Keine Belastung der lahmen Extremität ist Grad 4 zuzuordnen (8).

## **2.6 Bildgebende Verfahren**

Bei der Röntgenstrahlung werden in einer Vakuumröhre Elektronen erzeugt, diese werden freigesetzt und zwischen Kathode und Anode beschleunigt. Durch das Auftreffen auf die Anode entsteht Röntgenstrahlung und Wärme. Röntgenstrahlung breitet sich geradlinig und divergent aus, mit der Entfernung verringert sich die Intensität der Strahlung. Es werden vier röntgenologische Dichten unterschieden. Die Gasdichte wird schwarz dargestellt auf einem Röntgenbild, wie zum Beispiel die Luft in der Trachea. Die Fettdichte erscheint dunkelgrau und die Weichteildichte hellgrau. Knochen und Mineralisationen werden in Weißtönen dargestellt. Zusätzlich gibt es noch Fremdmaterialien wie Steine oder Metalle, die über die Dichte von Knochen hinausgehen und somit noch heller auf einem Röntgenbild wirken, sie weisen eine höherer Strahlenabsorption auf. Das Periost ist auf Röntgenbildern nicht darstellbar (10).

Die Computertomographie, kurz als CT bezeichnet, ist ein auf dem röntgenologischen Grundprinzip basierendes Schnittbildverfahren. Allerdings kreist hier die Röntgenstrahlröhre um den liegenden Patienten, weshalb in der Veterinärmedizin eine Narkose für die Patienten

erforderlich ist. Die CT wird häufig eingesetzt um Verdachtsdiagnosen zu bestätigen oder zu verwerfen. Die Untersuchung eignet sich besonders für Aufnahmen vom Schädel, Thorax, Abdomen sowie von den Extremitäten und der Beckenhöhle. Aufgrund der vollständigen und überlagerungsfreien Darstellung ist es zur Diagnostik von Missbildungen, Tumoren, Blutungen oder Abszessen sehr hilfreich (10).

Eine Micro-CT besteht aus einer Mikrofokusröntgenröhre oder einer Synchrotronstrahlungsquelle, anstelle von einer konventionellen Röntgenröhre. Damit können sehr kleine Fokusgrößen erzielt werden. Die lokale Bildauflösung wird von 500-1000 µm in der CT auf 5-50 µm in der Micro-CT verbessert (11).

Um pathologische Befunde diagnostizieren zu können, ist eine korrekte Lagerung des Patienten essenziell. Eine Vergleichbarkeit mit normalen Bildern besteht nur, wenn die gleichen Grundsätze der Lagerung und Projektionen etabliert sind. Beim Röntgen ist immer ein Grundbilderpaar anzufertigen, also eine Aufnahme in zwei Ebenen. Im Falle des Beckens ist diese laterolateral und ventrodorsal auszuführen. Seitenvergleichende Aufnahmen können bei der Befundung, insbesondere bei juvenilen Tieren oder komplexen Gelenken hilfreich sein (10).

## **2.7 Therapiemöglichkeiten**

Allgemeine Therapiemöglichkeiten bei Lahmheiten sind Schmerzmittel, Bewegungseinschränkung, eventuell Gewichtsreduktion und Physiotherapie. NSAIDs wirken am Schmerzpunkt direkt, bei Langzeitgabe sollte der Patient allerdings auf seine Leber- und Nierenwerte überprüft werden. Opioide und Opiate wirken im Gehirn und haben sehr unterschiedliche Wirkungsauern. Als Schmerzmittel eingesetzte Steroide sollten eher vermieden werden, da hier erhebliche Nebenwirkungen auf gastrointestinaler und endokrinologischer Ebene zu erwarten sind.

Patienten sollten bis oder nach einer Operation geschont werden. Es ist wichtig die Muskulatur zu aktivieren und damit zu stärken oder zu erhalten, aber gleichzeitig die Gelenke möglichst wenig zu belasten. Die Belastungsreduktion, auch in Form von Gewichtsreduktion, hat eine hohe Bedeutung für Gelenkserkrankungen (8, 12).

Chirurgische Therapiemöglichkeiten im Falle einer *Slipped capital femoral epiphysis* Erkrankung, sind eine Hüftgelenksprothese welche den Femurkopf ersetzt oder eine Femurkopfresektion. Die Femurkopfresektion ist eine weniger invasive und etwas risikoärmere Operationstechnik, die für Katzen eine gute und günstigere Option ist. Dabei kann es zu keinen Abstoßungen oder Lockerungen vom Implantat kommen. Bei großen, schweren Hunderassen ist die Femurkopfresektion aufgrund der höheren Belastung nicht anzuraten, dabei zeigen nur etwa 50% ein gutes bis sehr gutes Ergebnis. Der Zugang erfolgt kraniallateral, zu Beginn wird das Hüftgelenk luxiert und das Lig. capitis femoris durchtrennt. In weiterer Folge wird für die Osteotomie der Femur nach außen rotiert, sodass die Gelenkfläche des Kniees parallel zum Operationstisch ausgerichtet ist. Die Osteotomielinie wird zwischen Femurhals und Femurmetaphyse gedacht und mit zwei bis drei Löcher vorgebohrt, um die korrekte Lage des geplanten Knochenschnittes zu kontrollieren. Die Osteotomie kann mit einem Knochenmeißel und Hammer oder alternativ, einfacher mit einer oszillierenden Säge durchgeführt werden. Eine oszillierende Säge bewegt sich nur um wenige Grade vor und zurück, wodurch träges und weiches Material nicht durchtrennt wird. Das Sägeblatt greift nur in hartes Material ein, diese Eigenschaft ist in der orthopädischen Chirurgie von Vorteil um Verletzungen im umliegenden Weichteilgewebe zu vermeiden. Nach Entfernung wird die Schnittfläche auf scharfe Kanten geprüft, welche gegebenenfalls entfernt werden müssen. Anschließend werden die Gelenkkapsel und der M. gluteus profundus über das Acetabulum genäht. Der Wundverschluss erfolgt in gewohnter Weise. Nach der Femurkopfresektion ist eine früher Einsatz der Gliedmaße erwünscht. Bereits am ersten Tag sollte idealerweise vorsichtig von einem Tierarzt Bewegungstherapie durchgeführt werden (13, 14, 15, 16).

Fünf Tage nach einer Femurkopfresektion kann mit Physikaltherapie begonnen werden. Ziel dieser Therapie ist Aufbau und Erhaltung von Muskulatur, Erhöhung des Bewegungsumfanges und zum Beispiel die Korrektur von Fehlbelastungen. Die Unterwasserlaufbandtherapie eignet sich sehr gut zum Muskelaufbau und als Möglichkeit den Bewegungsablauf mit wenig Gewicht zu verbessern, allerdings mit Katzen oft schwer durch zu führen. Stabilisationsübungen verbessern die Koordination sowie die Tiefenstabilität und schützen somit die Gelenke und den Bewegungsapparat. Die Intensität und Möglichkeiten der Physiotherapie sind nach der Kooperation des Patienten abzuwägen (8, 17, 18, 19).

#### **4. Material und Methode**

Bei dieser Fallstudie handelt es sich um eine retrospektive Analyse. Als Datenquellen dienten das Bildarchiv und die medizinische Datenbank TIS (Tierspital Informations System) der Veterinärmedizinischen Universität Wien. Es wurde von allen sechs Patienten Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Lahmheitsgrad, ein- oder beidseitige Veränderungen, Haltung und wissentliche familiäre Krankheitsgeschichte dokumentiert. Die drei an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankten Katzen wurden chirurgisch versorgt.

##### **3.1 Einschlusskriterien der Patienten**

Die Fälle wurden aus dem TIS ausgewählt. Es wurden Femurköpfe nach chirurgischer Entfernung, mit diagnostizierter Epiphyseolysis ausgewählt. Femurköpfe von orthopädisch gesunden Katzen, die aus anderen Gründen euthanasiert wurden, dienten zur Kontrolle. Deren Epiphysenfuge war in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, weil sie zwischen 18 und 22 Monaten alt waren. Es wurde eine Tabelle mit den Daten der sechs Katzen erstellt und anschließend mit der Abkürzung P1 - P6 zugeordnet. Patient P1 – P3 sind die an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankten Katzen und P4 – P6 die gesunden.

Die Informationen zu verwendeten Medikamenten und Dosierungen für die Anästhesien wurden nicht erhoben.

##### **3.2 Tierspitalinformationssystem**

„Das Tierspitalinformationssystem (TIS) dient zur Administration und vollständigen medizinischen Dokumentation der Patienten des Tierspitals im ambulanten und stationären Bereich (...) Das TIS ist seit 01.04.2001 in Betrieb und basiert auf der Applikation Orbis VetWare der Firma AgfaHealthCare. Der Zugang zum Tierspitalinformationssystem ist nur auf dem Campus und nur für berechtigte Anwender und Anwenderinnen möglich.“  
(Veterinärmedizinische Universität Wien)

### **3.3 Bildgebende Verfahren**

#### 3.3.1 Röntgen

Zur Anwendung kam das Gerät AXIOM Iconos R200 C20 (Siemens, Erlangen, Deutschland) mit dem Detektor Direct View CR 850, Carestream (Kodak, Melk, Österreich), welches an der klinischen Abteilung für Bildgebende Diagnostik der Veterinärmedizinischen Universität Wien in Betrieb ist.

#### 3.3.2 Computertomographie

Zur Anwendung kam das Gerät SOMATOM Emotion (16-Schichten-Konfiguration), Siemens AG Medical Solution, Erlangen, Germany.

Die technischen Einstellungen beliefen sich im Durchschnitt auf 130 kV und 150 mA, eine Schichtdicke von 0,6 mm mit einem image reconstruction interval von 0,2 mm und einer Rotationszeit von 0,5 s.

Seitliche und ventrodorsale Röntgenaufnahmen der Hüftgelenke wurden mit 63 kV und 3,6 mA mit Raster aufgenommen. Faux-profil Aufnahmen wurden mit 63 kV und 0,63 mAs angefertigt.

Die resezierte Femurköpfe wurden genau untersucht. Es gab keine Lagerungsinformationen, diese wurden bei der Bildauswertung evaluiert.

#### 3.3.3 Micro-Computertomographie

Zur Anwendung kam das Gerät Zeiss XRadia microXCT-400, Carl Zeiss X-ray Microcopy, Pleasanton, CA, USA welches an der klinischen Abteilung für Bildgebende Diagnostik der Veterinärmedizinischen Universität Wien in Betrieb ist.

Die technischen Einstellungen beliefen sich im Durchschnitt auf 130 kV und 60  $\mu$ A, eine Belichtungszeit von 30 s pro Projektion und einem Winkelinkrement von  $0.166667^\circ$ . Die Schichtdicke belief sich auf 6.5  $\mu$ m und das FOV auf 13,3 mm.

### **3.4 Bildauswertung**

Die Bildnachbearbeitung und Auswertung wurde von Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Sibylle Kneissl 2015 auf einer multimodalen Workstation JiveX Diagnostic Advanced 5.0.4.4 der Firma VISUS (Bochum, Deutschland) durchgeführt.

Eine zweite Auswertung wurde online, gemeinsam durch dieselbe Person und der Autorin dieser Studie, über Videokonferenz mittels Webex Meet (Fa. Cisco) durchgeführt. Hierbei wurde zu Beginn, hoher Wert auf gleiche Ausrichtung der Femurköpfe gelegt, um diese besser zu vergleichen und beurteilen zu können.

### **3.5 Histologische Präparate**

Die chirurgisch entfernten Gewebeproben wurden in 4% Formaldehyd fixiert, mit EDTA demineralisiert und in Paraffin eingelegt. Anschließend wurden die Proben 2-3µm dünn geschnitten und histologisch aufbereitet in Hämatoxylin-Eosin, Alcianblau und Safranin-O Färbung.

Hämatoxylin färbt alle sauren beziehungsweise basophilen Strukturen blau, insbesondere Zellkerne mit der darin enthaltenen Desoxyribonukleinsäure (DNA) und das mit Ribosomen angereicherte raue endoplasmatische Retikulum blau. Eosin ist ein synthetischer saurer Farbstoff und färbt alle acidophilen beziehungsweise eosinophilen Strukturen rot, vor allem Zellplasmaproteine, Mitochondrien, das glatte endoplasmatische Retikulum Kollagen und Keratin rot. (20, 21)

Alcianblau wird zum Anfärben von sauren Polysacchariden wie Glykosaminoglykanen (GAG) in Knorpeln und anderen Körperstrukturen verwendet. Darüber hinaus, um einige Arten von Mucopolysacchariden und sialylierten Glykokalyxen von Zellen anzufärben. Für viele dieser Ziele ist es einer der am häufigsten verwendeten kationischen Farbstoffe, sowohl für die Licht- als auch für die Elektronenmikroskopie. Alcianblau kann zur Quantifizierung von sauren Glykanen verwendet werden. (20, 22)

Die Safranin-O-Lichtgrün-Färbung ist eine üblicherweise zur Knorpeldarstellung verwendete Färbung, die mit den Farbstoffen Safranin-O und Lichtgrün arbeitet. Durch die Kombination der beiden Farbstoffe und die besonderen Eigenschaften des Safranins liefert die Färbung ein

gut differenziertes Bild des Knorpelchemismus. Die Färbung zeigt den Proteoglykangehalt an, wobei rot dem normalen, hellorange einem leicht reduzierten, weiß einem stark reduzierten und blau/blaugrün einem fehlenden Proteoglykan entspricht. (6, 20)

## 5. Ergebnisse

Anhand von vergleichender Bildgebung wurden Unterschiede von gesunden und an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankten Tieren dokumentiert. Die Untersuchungen umfassen Röntgen, CT, Micro-CT und die Histologie.

	SCFE	Geschlecht	Gewicht	Alter
Patient 1	unilateral rechts	m. kast.	5.5 kg	18 Monate
Patient 2	bilateral	m. kast.	4.9 kg	22 Monate
Patient 3	unilateral links	m. kast.	6.1 kg	22 Monate
Patient 4	gesund	m. kast.	3.7 kg	12 Monate
Patient 5	gesund	w.	2.7 kg	12 Monate
Patient 6	gesund	w. kast.	4.6 kg	24 Monate

Tab. 1: Patienten Übersicht

In Tabelle 1 sind die Patienten dieser Studie zur Übersicht aufgelistet. Die von SCFE betroffenen Tiere sind rot gekennzeichnete und die gesunden grün. Die erkrankten Tiere wiegen im Durchschnitt 5,5kg, wohingegen die gesunden Katzen nur 3,6 kg im Durchschnitt wiegen.

#### 4.1 Röntgenaufnahmen in Korrelation

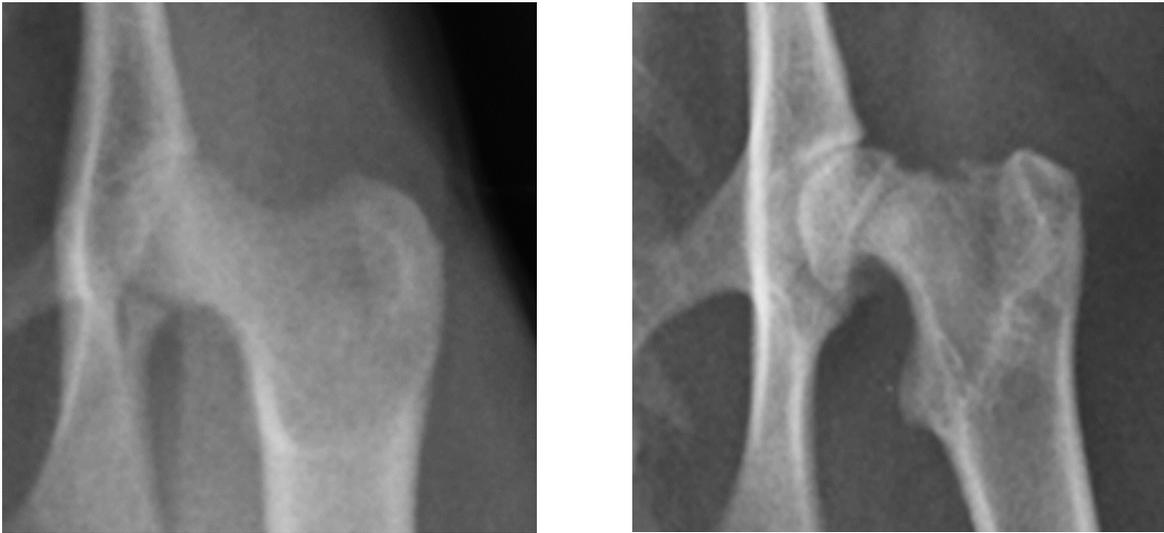


Abb.4: ventrodorsale Röntgenaufnahme des linken Hüftgelenkes; links gesund P4, rechts an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankt P2, © Institut für Bildgebende Diagnostik, Vetmeduni

Die beiden Röntgenaufnahmen sind im ventrodorsalen Strahlengang, vom linken Hüftgelenk einer Katze im Vergleich dargestellt. Auf der linken Seite ein normales Gelenk (Pat. 4) und auf der rechten Seite ein von *Slipped capital femoral epiphysis* betroffenes Gelenk (Pat. 2).

Bei keiner, der von *Slipped capital femoral epiphysis* betroffenen Katzen, wurde von den Besitzern von einem wesentlichen Trauma berichtet. Lahmheit war das vorherrschende klinische Anzeichen der Patienten. Die Röntgenaufnahmen zeigten eine erhöhte und heterogene Röntgendichte der proximalen Femurmetaphyse, eine verbreiterte Epiphyse neben der röntgendichten Epiphysenfuge und eine vollständige Trennung. Der erkrankte Femurhals weist eine Stufenbildung an seiner kaudalen Kompakta auf, die Epiphysenfuge stellt sich nach Krania divergierend dar. Die Veränderungen sind mit *Slipped capital femoral epiphysis* vereinbar, es ist eine Salter Harris Fraktur Typ I, in Form einer Komplikation der Grunderkrankung nachweisbar.

#### 4.2 CT-Bilder in Korrelation

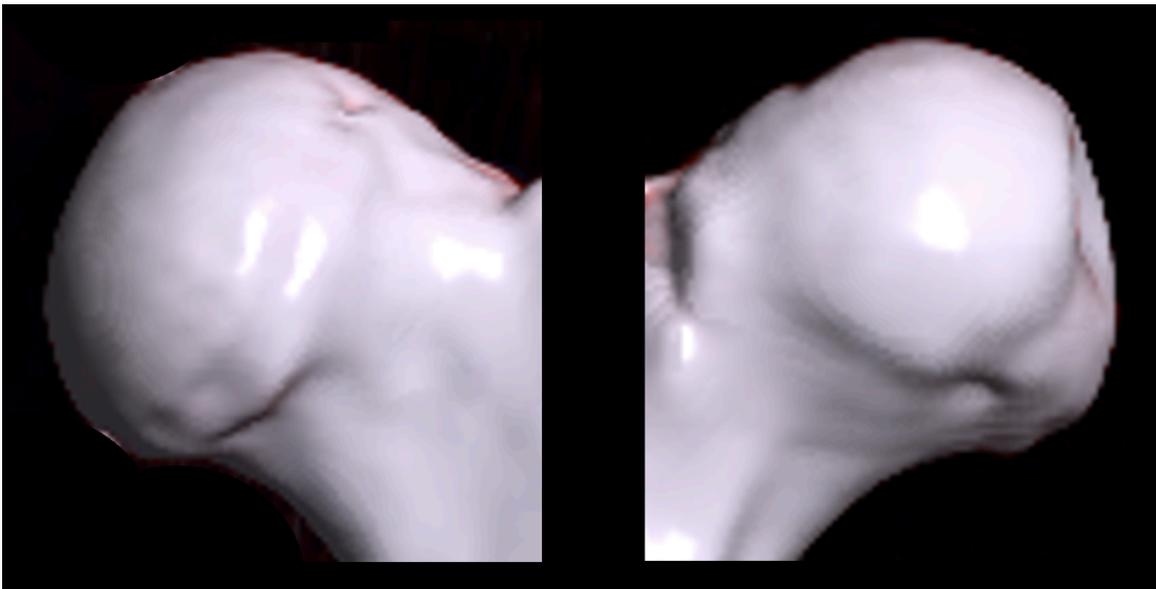


Abb.5: CT-Oberflächenmodell gesund: P4 links Ansicht von kranial, rechts Ansicht von caudal,

© Institut für Bildgebende Diagnostik, Vetmeduni

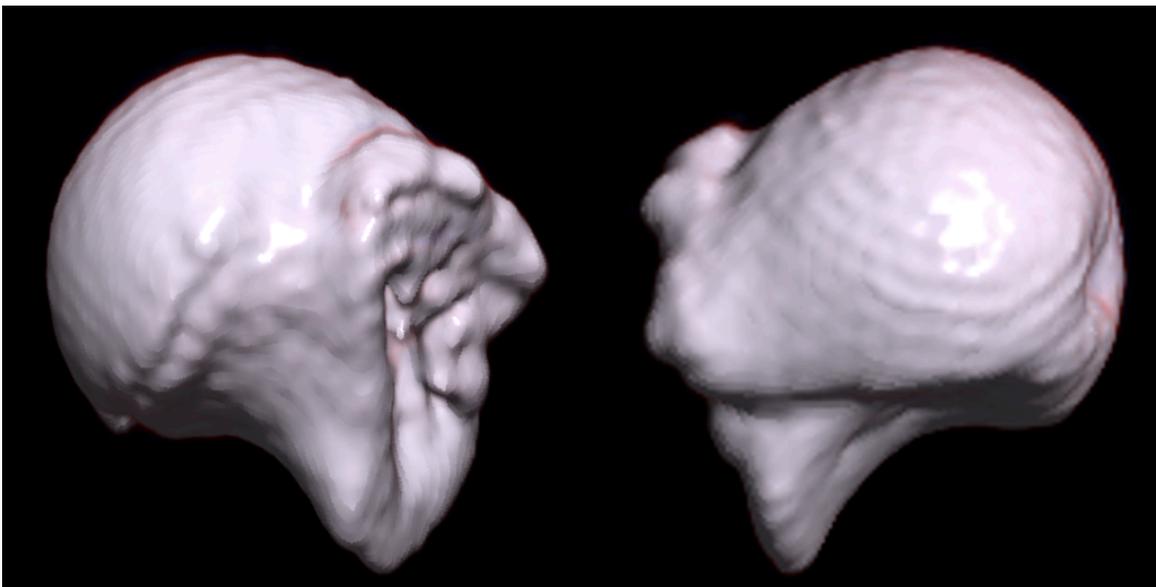


Abb.6: CT-Oberflächenmodell *Slipped capital femoral epiphysis*: P2 links Ansicht von kranial,

rechts Ansicht von caudal, © Institut für Bildgebende Diagnostik, Vetmeduni

An diesem Oberflächenmodell war die Stufenbildung, durch die Verlagerung am erkrankten Femur gut zu erkennen. Die Oberfläche stellte sich bei dem 3D-Modell des normalen Femurs glatt dar. Der von SCFE betroffene Femurkopf hingegen zeigte eine deutlich unregelmäßige Oberflächenkonstellation und Dichteveränderung.

#### 4.3 Micro-CT-Bilder in Korrelation

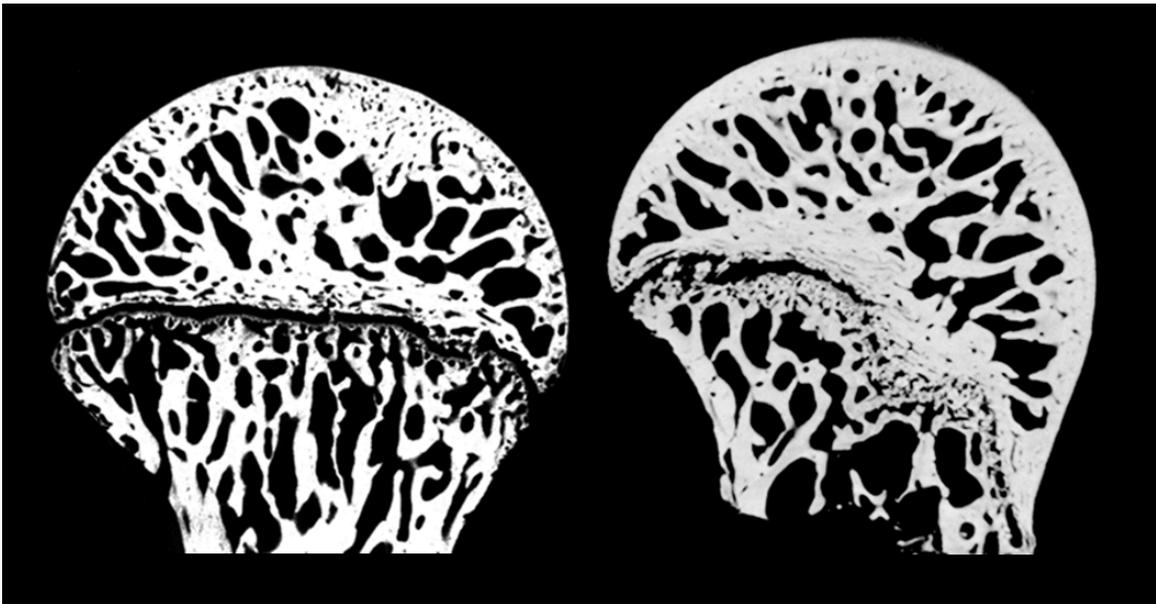


Abb.7: Micro-CT-Bild Caput femoris; links gesund, rechts an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankt, Orientierung nicht eindeutig feststellbar aufgrund von fehlenden Markern der räumlichen Orientierung, © Institut für Bildgebende Diagnostik, Vetmeduni

Auf diesen korrelierten Mikro-CT-Bildern ist die veränderte Inklination der Epiphysenfuge als hypodense Linie gut erfassbar und noch besser als mittels CT zu erkennen. Es handelt sich um eine seitliche Ansicht, wobei kranial links im Bild ist und proximal oben ist. Die Bilder stellen eine Sagittalebene dar, mit unterschiedlicher Neigung der Epiphysenfuge.

Die heterogen erhöhte Röntgendichte der proximalen Metaphyse korreliert mit Umbauprozessen oder Anzeichen von Reparationsversuchen früherer Schäden. Die Epiphysenfuge ist teilweise verbreitert und kollabiert, somit inkongruent. Die röntgendichte

epiphysäre Barriere entspricht einer verdickten Schicht osteogenen Gewebes, an der Grenzfläche zwischen Epiphysenfuge und Epiphyse.

#### 4.4 Histologische Präparate in Korrelation

Alle nachfolgenden histologischen Präparate wurden als Sagittalschnitt angefertigt und gefärbt.

##### 4.4.1 Hämatoxylin-Eosin Färbung

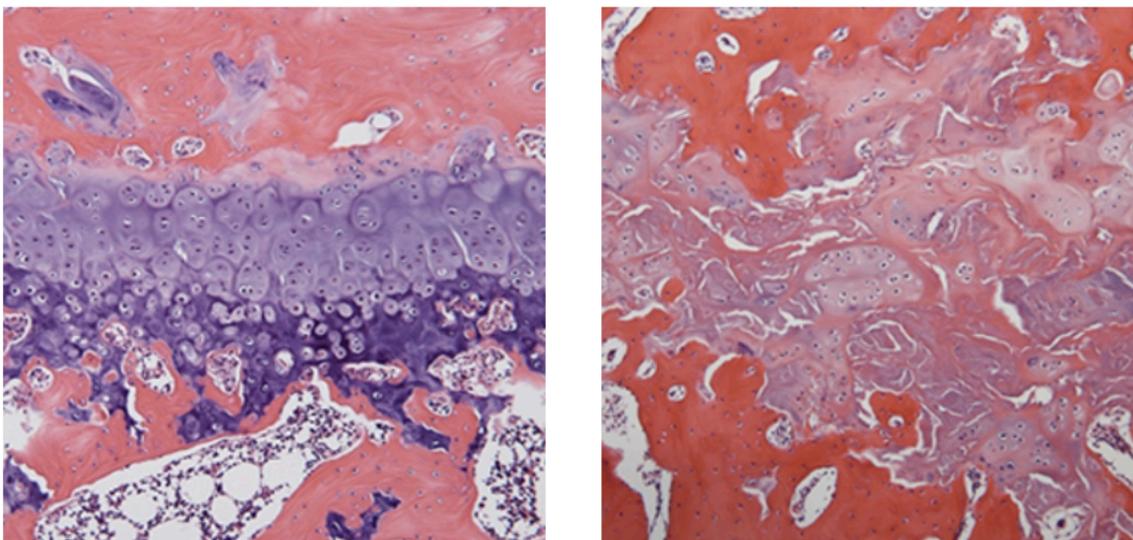


Abb.8: H&E-Färbung; links gesund, rechts an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankt  
© Institut für Morphologie, Vetmeduni

Bei entsprechenden histologischen Proben korrelierte die verbreiterte Epiphysenfuge mit teilweise unregelmäßig orientierten Chondrozytensäulen oder kugelförmigen Chondrozytenclustern, die durch reichlich Matrix getrennt waren.

#### 4.4.2 Alcianblau Färbung

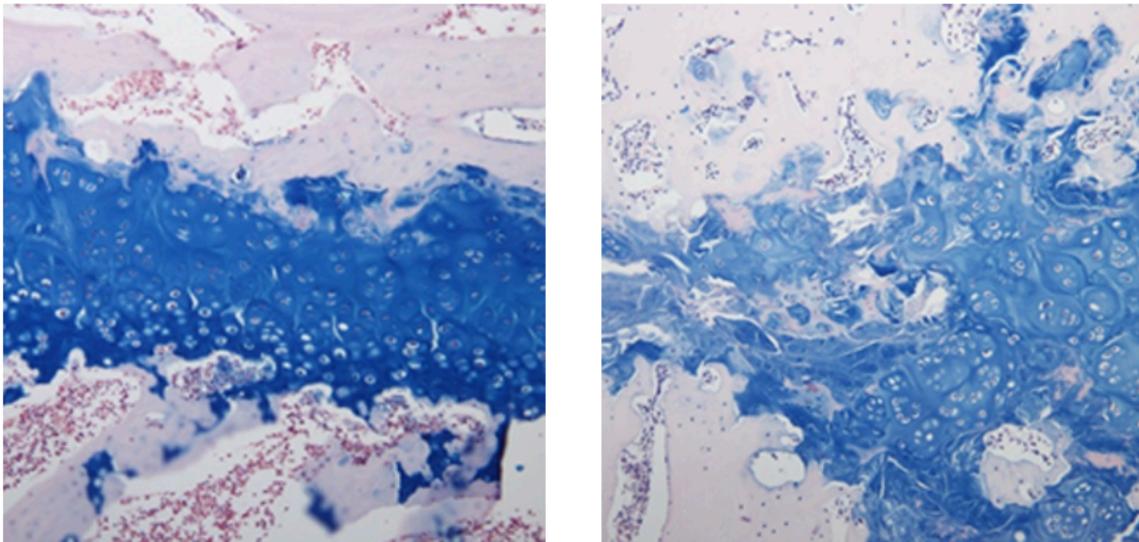


Abb.9: Alcianblau Färbung; links gesund, rechts an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankt  
© Institut für Morphologie, Vetmeduni

Mit dieser Färbung wurde das Vorhandensein von sauren Matrixkomponenten, wie Glykosaminoglykanen im Knorpel nachgewiesen. GAG haben Seitenketten aus Proteoglykanen, solche sulfatierte Proteoglykane (Chondroitinsulfat) sind Makromoleküle, die eine hohe Wasserbindungskapazität aufweisen und so Druckwiderstand ermöglichen.

## 4.4.3 Safranin O Färbung

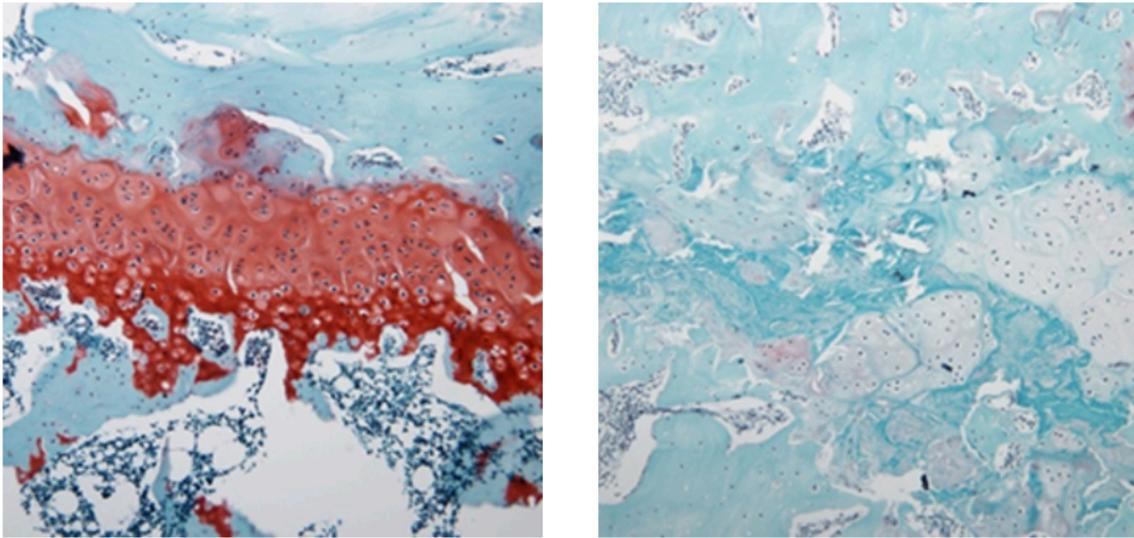


Abb.10: Safranin O Färbung; links gesund, rechts an *Slipped capital femoral epiphysis* erkrankt  
© Institut für Morphologie, Vetmeduni

D Safranin O-Färbung zeigte den Verlust von Chondroitinsulfat was impliziert, dass eine größere Matrixumstrukturierung bei erkrankten Tieren vorhergegangen ist.

#### 4.5 Zusammenführung der Ergebnisse

<i>Ergebnisse (inkl. Histologie)</i>	<i>Verändert (Patient 1-3)</i>	<i>Normal (Patient. 4-6)</i>
<b>Kompakta</b>	Glatt, gut verschattet, knochendicht	Glatt, gut verschattet, knochendicht
<b>Periost</b>	Nicht sichtbar	Nicht sichtbar
<b>Epiphyse (Femurkopf/hals; Spongiosa)</b>	Heterogenes Maschenwerk, fokale Resorption der Knochen trabekel	Homogen, maschenartige Architektur mit gleichmäßigen Lumina, möglicherweise randseitig dichter
<b>Epiphysenfuge</b>	unterbrochen, proliferative und hypertrophe Zonen, verminderte Zellularität	Aufgehellte, schmal, kongruent, glatt begrenzt und bis an die Kompakta allseits auslaufend,
<b>Metaphysenzone</b>	Reparaturzonen	normale Verschattung
<b>Femurhals</b>	Entrundet, unrgm. geformt, plump, Kopf nicht gut vom Hals abgesetzt	Glatt begrenzt, normale kugelige/zylindrische Form

Tabelle 2: Vergleichende Beurteilung der Ergebnisse

Die Daten aus der bildgebenden Diagnostik und den histologischen Schnitten sind erfasst worden und in Tabelle 2 tabellarisch aufgelistet. Der Vergleich zwischen betroffenen und nicht betroffenen Tieren ist in Tabelle 2 zusammengeführt worden und zur Übersicht dokumentiert.

Eine normale Epiphyse ist homogen strukturiert und weist eine maschenartige Architektur mit gleichmäßigen Lumina, welche randseitiger dichter ist, auf. Die Epiphyse von den an SCFE

erkrankten Tieren zeigte ein heterogenes Maschenwerk und fokale Resorptionen der Knochentrabekel.

Die normale Epiphysenfuge ist aufgeheilt, schmal und kongruent. Zudem ist sie glatt begrenzt und allseitig bis an die Kompakta auslaufend. Mikrotrauma bedingte Veränderungen an der Epiphysenfuge sind, wie bei Patient 1 bis 3 zu sehen war, eine Unterbrechung mit proliferativen und hypertrophen Zonen. Die Zellularität ist in diesem Bereich verringert.

Die Metaphysenzone zeigte bei den gesunden Kontrollpatienten eine normale Verschattung wohingegen bei den an *Slipped capital femoral epiphysis* Betroffenen, Reparaturzonen vorhanden waren.

Der Femurhals von den gesunden Patienten 4 bis 6 war glatt begrenzt und hat eine normale runde, beziehungsweise je nach Schnittebene, zylindrische Form. Bei den Patienten mit traumatischer Krankengeschichte war dieser entrunden und unregelmäßig geformt. Der Femurhals erschien plump und das Caput femoris war nicht gut abgesetzt.

## 6. Diskussion

Diese Studie vergleicht, basierend auf bildgebenden Verfahren und histologischen Präparaten, normale mit an SCFE erkrankte Femurköpfe und -hälse.

Ein Vergleich der pathomorphologischen Befunde der drei kranken Katzen und die der an Dysplasie erkrankten Tiere, zeigt entscheidende Unterschiede im Bereich der Epiphysenfuge und der Metaphyse. Die Dysplasie ist ein Anlagenfehler im enchondralen Wachstum. Diese genetisch bedingt Gelenkentwicklungsstörung kann zu einem geringen Anteil durch Umwelteinflüsse wie Aufzucht, Fütterung und Bewegung die Ausprägung verstärken. Diese Faktoren gelten auch für SCFE prädisponierend, weshalb ein Vergleich aufgegriffen wurde. Bei der Dysplasie ist im Bereich der Epiphyse eine Dichtereduktion und am Femurhals eine Valgusstellung vorhanden (18). Diese beiden Veränderungen waren bei den SCFE-Patienten nicht aufzufinden. Die Kompakta zeigt in ihrem Aufbau keine Veränderungen durch Trauma oder Dysplasie. Die Metaphyse weist bei *Slipped capital femoral epiphysis* Reparaturzonen auf, nicht aber bei Dysplasie. Ein weiterer Unterschied ist das Auftreten von Osteophyten bei Dysplasie Patienten in der Metaphysenzone, nicht aber bei den SCFE-Patienten dieser Studie. An der Epiphysenfuge stellen sich pathomorphologisch Unterschiede zwischen Mikrotrauma und Dysplasie dar. Auf Aufnahmen von mit Dysplasie erkrankten Patienten ist eine weite und unregelmäßig begrenzte Epiphysenfuge zu erwarten. In der Metaphysenzone sind, bei an Dysplasie erkrankten Tieren, Osteophyten zu gebildet (1, 23).

Die *Slipped capital femoral epiphysis* bei Katzen, ist in der veterinärmedizinischen Literatur nicht ausführlich beschrieben worden. Weder die vollständige Pathogenese noch die Inzidenz sind gut erforscht. Die von Grayton (2014) geäußerte Annahme, dass männliches Geschlecht, Kastration und Fettleibigkeit zu den Faktoren gehören, wurde mit den Ergebnissen dieser Studie bestätigt. Womit auch die erste Zusatzfrage der Forschungsfrage dieser Studie mit ja zu bestätigen ist. Ein betroffener Patient dieser Studie, war erst drei Monate bei seiner Kastration. Diese Problematik stellt sich häufiger bei Rassekatzen, da die Züchter diese nur kastriert an Privatpersonen abgeben möchten. Außerdem ist aus dieser Studie auch ein klarer Unterschied zwischen den gesunden und den erkrankten Tieren, an deren Körpermasse zu erkennen. Die Tatsache, dass alle drei von SCFE betroffenen Kater kastriert waren, bestätigt die Aussage von Sheila (2015), dass männlich kastrierte Tiere häufiger betroffen sind (5, 16, 24).

Die korrelierende Beurteilung der Veränderungen, im Bereich der Epiphysen-Metaphysen-Grenzfläche sowohl in der diagnostischen Bildgebung, als auch in den histologischen Schnitten unterstützen die Ursachenforschungen von SCFE. Diese Zusammenhänge sind in Tabelle 2 aufgearbeitet und gegenübergestellt worden. Die Reparaturzonen bei den an SCFE erkrankten Tieren in der Metaphyse, wurde sowohl im Micro-CT als auch bei den histologischen Schnitten beschrieben, und bilden damit den ersten wichtigen Zusammenhang zwischen diagnostischer Bildgebung und den histologischen Schnitten. Die andere wichtige Kausalität war in der Epiphyse zu finden. Das Auftreten fokaler Resorptionen und ein heterogenes Maschenwerk durch eine vorhergehende Matrixumstrukturierung der Spongiosa, kann für weitere zukünftige Studien zur Ursachenforschung von SCFE miteinbezogen werden.

Zu der Forschungsfrage wie das Bewusstsein für die Risikofaktoren von SCFE sowohl in der Öffentlichkeit als auch für Tierärzt\*innen gesteigert werden kann: Über Schulungen und regelmäßige Fortbildungen ist der Teil an Tierärzt\*innen gut abzudecken. Die Öffentlichkeit stellt sich vermutlich etwas schwieriger da. Hier sollte bei den Züchtern angesetzt werden, da diese häufig zur frühen Kastration drängen. Es könnte über zusätzliche Vorschriften im Kaufvertrag und eine eventuelle finanzielle Rückerstattung eines Teilbetrages, eine höhere Toleranz zur späteren Kastration sowohl auf Züchter als auch auf Besitzer Seite bestehen. Ähnliche Ansatzpunkte gibt es für rassespezifische Gesundheitsuntersuchungen bereits in der Hundezucht, zum Beispiel bei Retrievern für die Röntgenbefunde der Ellbogen und Hüftgelenke. Eine bessere Aufklärung vor der Anschaffung eine Rassekatze ist ein wichtiger Aspekt für alle zukünftigen Tierbesitzer und sollte von Züchtern und Tierärzten unterstützt werden (8, 17, 25, 26, 27).

Im Gegensatz zu Salter Harris I-Frakturen, die eine lineare Anordnung von Chondrozyten auf beiden Seiten der Epiphysenfuge aufweisen, ist SCFE durch eine Verbreiterung des Epiphysenfugenknorpels und das Auftreten unregelmäßiger Chondrozytencluster in einer reichlich vorhandenen extrazellulären Matrix auf der metaphysären und der epiphysären Seite der Epiphysenfuge gekennzeichnet. Grayton (2014) spricht davon, dass die Klassifizierung dieser SCFE-Läsionen als Dysplasie bei Katzen angemessen zu sein scheint. Die Desorganisation und Hypozellularität scheinen aber sekundär zu sein, wenn sie sich nicht richtig schließen, im Vergleich zu einer primären Chondrodysplasie der Wachstumsplatte. Die

Ergebnisse der bildgebenden Verfahren dieser Studie, bestätigen dass, SCFE keine ausgeprägten chronisch degenerativen Veränderungen mit mineralischen Trübungen aufweist, wie sie bei physealen dysplastischen Frakturen typisch sind (24, 28, 29).

Die physeale Dysplasie bei Katzen unterscheidet sich von der Osteochondrose in zweierlei Hinsicht. Sie ist diffuser und betrifft die gesamte Epiphysenfuge, und die Chondrozyten sind in ungeordneten Clustern und nicht in parallelen Reihen angeordnet. Die histologischen Ergebnisse dieser Studie, für die physeale Dysplasie, stimmen mit denen von Craig (2001) überein. Andere Theorien für SCFE sind unzureichende arterielle Versorgung des Femurkopfes, Osteomyelitis bakteriellen Ursprungs, energiereiche Ernährung oder ein abnormaler Insulinstoffwechsel (5, 30).

<b><i>SCFE+ versus SCFE- Annahmen</i></b>	<b><i>P1</i></b>	<b><i>P2</i></b>	<b><i>P3</i></b>	<b><i>P4</i></b>	<b><i>P5</i></b>	<b><i>P6</i></b>
<i>SCFE? Die Kompakta ist kontinuierlich.</i>	X	1	1	1	1	1
<i>SCFE+ Der Femurhals ist nur nach innen gerichtet</i>	X	X	X	0	0	0-1
<i>SCFE+ Die Epiphyse ist nach caudal und distal verlagert.</i>	1	1	1	0	0	1
<i>SCFE- Die Gefäßeintritte in den Knochen am sind nicht nachweisbar.</i>	1	0	1	0	1	0
<i>SCFE+ Der Femurkopf ist entrundet.</i>	X	1	1	0	0	0
<i>SCFE+ Architekturverlust der Metaphyse im lateralen und caudalen Abschnitt</i>	1	1	1	1	0	0
<i>SCFE+ Die Epiphysenfuge ist inkongruent.</i>	1	1	X	X	X	0

<i>SCFE+ Zirkumferenz der Gelenkfläche ist lateral und distal ein relativ größerer Abschnitt.</i>	X	1	1	0	0	0
<i>SCFE- Zirkumferenz der Gelenkfläche ist caudal und distal ein relativ größerer Abschnitt.</i>						
<i>Anzahl an SCFE+ Beurteilungen</i>	3x	5x	4x	1x	0x	1x

Tabelle 3: SCFE+ versus SCFE- Annahmen: 1= trifft zu, 0=trifft nicht zu, X=Beurteilung nicht möglich

In Tabelle 3 sind SCFE positive mit + gekennzeichnet und SCFE negative mit – gekennzeichnete beschreibende Aussagen. P steht für Patient, P1-P3 sind die an SCFE erkrankten Katzen und P4-P6 sind die gesunden Katzen, dieser retrospektiven Studie.

Die Kontinuität der Kompakta gibt laut bisherigen wissenschaftlicher Informationen keine Hinweise für oder gegen eine Erkrankung an SCFE an. Die Informationen sind trotzdem, der Vollständigkeit halber aufgezeichnet worden, um eventuelle Auffälligkeiten zu erkennen.

Der Femurhals ist nach medial und cranial gerichtet. Eine nur nach medial gerichtete Stellung des Femurhalses bei SCFE Patienten wurde nicht eindeutig und klar zugeordnet. Die Anteversion ist Rasse und Typ unterschiedlich, außerdem muss auch von individuellen Varianten ausgegangen werden.

Gefäßeintritte am Femurkopf waren den SCFE-Patienten nur bei 33% zu sehen und bei den gesunden Tieren zu 76%. Diese Auswertung ist allerdings aufgrund der hohen Streuung des Alters der Patienten eingeschränkt ist.

Der entrundete Femurkopf trat nur bei den SCFE-Patienten auf, wobei bei P1 die Beurteilung nicht möglich war. Eine Formveränderung des Femurkopfs wie Degorska (2017) erwähnte, wurde in dieser Studie auch befundet, wobei die Patientenzahl zu gering ist um dies mit Sicherheit bestätigen zu können (16, 31).

Ein Architekturverlust der Metaphyse wurde im lateralen und caudalen Abschnitt zu 100% bei den *Slipped capital femoral epiphysis* Patienten erkannt. Bei einem von drei gesunden Patienten

war diese auch zu erkennen, womit die Spezifität für dieses Erscheinungsbild in Korrelation zur SCFE in dieser Studie widerlegt wurde.

Eine inkongruente Epiphysenfuge wurde nur bei den SCFE kranken Patienten erkannt. Dieser Ergebnisse sind mit denen von Borak (2017) zu untermauern, auch hier wurden unregelmäßige Epiphysenfugen dokumentiert. (1, 32)

Die Zirkumferenz der Gelenkfläche ist lateral und distal ein relativ größerer Abschnitt, dies trifft auf alle SCFE Patienten zu. Diese Annahme wurde in dieser Studie bestätigt. Im Gegensatz dazu ist die Zirkumferenz der Gelenkfläche bei gesunden Tieren, caudal und distal ein relativ größerer Abschnitt.

Die Ausrichtung der chirurgisch entfernten Femurköpfe, stützt sich auf langjährige radiologische Erfahrung einer auswertenden Person, aufgrund von fehlenden Markern für die räumliche Orientierung und ist hier als potenzielle Fehlerquelle zu berücksichtigen. Weitere Limitationen ergeben sich aus dem retrospektiven Charakter dieser Studie, womit die geringe Patientenzahl der Fall-Kontroll-Studie vorgegeben war. Um in Zukunft bessere Aussagen über die Ätiologie von SCFE machen zu können, wäre eine höhere Patientenzahl ein zwingender notwendiger nächster Schritt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Untersuchung der Epiphysen-Metaphysen-Grenzfläche für die Ursachenforschung von SCFE hilfreich ist. Die Metaphyse war in keinem Fall primär betroffen, sondern nur sekundär gemeinsam mit weniger offensichtlichen Epiphysenfugen-Veränderungen. SCFE wird durch das Geschlecht, eine frühe Kastration, eine rassespezifische späte Reifung beziehungsweise Entwicklung und einem hohen Körpergewicht bis hin zu Übergewicht, negativ beeinflusst. Ein genetischer Zusammenhang sollte mit größerer Patientenzahl weiterhin untersucht werden, um eventuelle züchterische Maßnahmen einzuleiten. Außerdem ist eine Aufklärung von tierärztlicher Seite an Besitzer und Züchter bezüglich des passenden Kastrationszeitpunkt, insbesondere bei Rassekatzen für die Prävention von *Slipped capital femoral epiphysis* von großer Bedeutung.

## 7. Anhang

### 6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patienten Übersicht

Tabelle 1: Vergleichende Beurteilung der Ergebnisse

Tabelle 3: SCFE+ versus SCFE- Annahmen

### 6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Skizze Articulatio coxae

Abb.2 Skizze Femur

Abb.3 Skizze Epiphysenfuge

Abb.4 ventrodorsale Röntgenaufnahme des linken Hüftgelenkes

Abb.5 CT-Oberflächenmodell gesund

Abb.6 CT-Oberflächenmodell *Slipped capital femoral epiphysis*

Abb.7 Micro-CT-Bild Caput femoris

Abb.8 Histologie H&E Färbung

Abb.9 Histologie Alcianblau Färbung

Abb.10 Histologie O-Safranin Färbung

### 6.3 Literaturverzeichnis

1. Borak D, Wunderlin N, Bruckner M, Schwarz G, Klang A. Slipped capital femoral epiphysis in 17 Maine Coon cats. *J Feline Med Surg.* 2017;19(1):13-20.
2. Loder RT. Slipped capital femoral epiphysis. *American Academy of Family Physicians.* 1998;57(9).
3. Jarrett DY, Matheney T, Kleinman PK. Imaging SCFE: diagnosis, treatment and complications. *Pediatr Radiol.* 2013;43 Suppl 1:S71-82.
4. Hell AK. Epiphyseolysis capitis femoris und Übergewicht. Springer Medizin Verlag. 2005;34:658-63.
5. Craig LE. Physeal dysplasia with slipped capital femoral epiphysis in 13 cats. *Vet Pathol.* 2001;38(1):92-7.
6. König HE. Anatomie der Haussäugetiere. 6. Auflage ed. Stuttgart: Schattauer; 2015.
7. Salomon F. Anatomie für die Tiermedizin. Stuttgart: Enke Verlag 2015.
8. Fischer MS, Koch D, Dobenecker B. Lahmheitsuntersuchung bei Hund. 2. Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2019.
9. Baumgartner W. Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere. Stuttgart: Enke Verlag in Georg Thieme Verlag; 2018.
10. Ludwig E, Kneissl S. Das kleine 1x1 der Bildgebenden Diagnostik für Kleintiere. Bildgebende Diagnostik / Vetmeduni Vienna; 2016.
11. Schneider CR. Vergleichende Darstellung und Quantifizierung humanen Lungengewebes mit idiopathischer pulmonaler Fibrose und zentrilobulärem Emphysem mittels Micro-Computertomographie. Justus-Liebig-Universität Gießen. 2013.
12. Abreu S, Hayden J, Berthold P, Shapiro IM, Decker S, Patterson D, et al. Growth plate pathology in feline mucopolysaccharidosis VI. *Calcif Tissue Int.* 1995;57(3):185-90.
13. Fossum TW. Chirurgie der Kleintiere. 5th ed. Deutschland: Elsevier; 2020.
14. Kruger DM, Herzenberg JE, Viviano DM, Hak DJ, Goldstein SA. Biomechanical comparison of single- and double-pin fixation for acute slipped capital femoral epiphysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1990(259):277-81.
15. Moores AP, Owen MR, Fews D, Coe RJ, Brown PJ, Butterworth SJ. Slipped capital femoral epiphysis in dogs. *J Small Anim Pract.* 2004;45(12):602-8.
16. Rahal SC, Mesquita LR, Kano WT, Mamprim MJ, Carvalho CM, Fabris VE, et al. Clinical outcome and gait analysis of a cat with bilateral slipped capital femoral epiphysis following bilateral osteotomy of the femoral head and neck. *Veterinary Quarterly.* 2015:115-9.
17. Challande-Kathmann I. Rehabilitation und Physiotherapie bei Hund und Katze. Hannover: Schlütersche Verlag; 2020.
18. Balisi MA, Sharma AK, Howard CM, Shaw CA, Klapper R, Lindsey EL. Computed tomography reveals hip dysplasia in the extinct Pleistocene saber-tooth cat *Smilodon*. *Sci Rep.* 2021;11(1):21271.
19. Claramunt RT, Marqués F, León A, Vilà G, Mestre C, Verdié LP. Total hip replacement with an uncemented Wagner cone stem for patients with congenital hip dysplasia. *Int Orthop.* 2011;35(12):1767-70.

20. Hans-Georg L. Funktionelle Histologie der Haussäugetiere und Vögel. 5. Auflage ed. Stuttgart: Schattauer; 2010.
21. Engelhardt W. Physiologie der Haustiere. Stuttgart: Enke Verlag; 2015.
22. Baumgärtner W. Spezielle Pathologie für die Tiermedizin. Stuttgart: Enke Verlag; 2015.
23. Kohn B, Schwarz G. Praktikum der Hundeklinik. 12th ed. Stuttgart: Enke Verlag; 2018.
24. Grayton J, Allen P, Biller D. Case report: Proximal Femoral Physical Dysplasia in a Cat and a Review of the Literature. *Israel Journal of Veterinary Medicine*. 2014;69(1).
25. Gemmill TJ, Pink J, Clarke SP, McKee WM. Total hip replacement for the treatment of atraumatic slipped femoral capital epiphysis in dogs. *J Small Anim Pract*. 2012;53(8):453-8.
26. Dupuis J, Breton L, Drolet R. Bilateral epiphysiolysis of the femoral heads in two dogs. *J Am Vet Med Assoc*. 1997;210(8):1162-5.
27. Shao YY, Wang L, Ballock RT. Thyroid hormone and the growth plate. *Rev Endocr Metab Disord*. 2006;7(4):265-71.
28. Lafuente P. Young, male neutered, obese, lame? Non-traumatic fractures of the femoral head and neck. *J Feline Med Surg*. 2011;13(7):498-507.
29. Schwartz G. Spontaneous capital femoral physeal fracture in a cat. *Can Vet J*. 2013;54(7):698-700.
30. Adagra C, Spielman D, Adagra A, Foster DJ. Metaphyseal osteopathy in a British Shorthair cat. *J Feline Med Surg*. 2015;17(4):367-70.
31. Degorska B, Sapierynski R, Jurka P, Kalwas-Sliwinska M, Kowalczyk L, Galanty M, et al. Comparison of usefulness of different diagnostic procedures in slipped capital femoral epiphysis in cats. *Med Water*. 2017;73 (10):637-41.
32. Newton AL, Craig LE. Multicentric physeal dysplasia in two cats. *Vet Pathol*. 2006;43(3):388-90.