

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde der Veterinärmedizinischen Universität
Wien

Klinik für Pferde

Leiterin: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Florian Jenner, Dipl.ACVS Dipl.ECVS

Eine Positionsstudie zur Punktion der Bursa Podotrochlearis an Equinen Extremitäten

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von:

Natalia Belova

Wien, im Juni 2025

BETREUERIN:

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Theresia Licka Dipl.ACVS MR Dipl.ECVSMR

GUTACHTERIN:

Dr.med.vet. Bianca Patan-Zugaj

INHALTSVERZEICHNIS:

1. ABSTRACT	Seite 1
2. EINLEITUNG	Seite 3
2.1 Bewegungsapparat des Pferdes	Seite 3
2.2 Die häufigsten Ursachen für Lahmheiten	Seite 3
2.3 Erkrankung der Hufrollenschleimbeutel	Seite 4
2.4 Punktion der Hufrollenschleimbeutel	Seite 4
2.5 Risiken der Punktion	Seite 7
2.6 Ziel der vorliegenden Studie	Seite 8
3. MATERIAL UND METHODE	Seite 10
3.1 Material	Seite 10
3.2 Methode	Seite 12
4. ERGEBNISSE	Seite 20
5. DISKUSSION	Seite 27
6. ANHANG	Seite 31
7. QUELLENVERZEICHNIS	Seite 34

1. ABSTRACT

Deutsch:

Hintergrund:

Für die Punktion der Bursa podotrochlearis beim Pferd wird die Anfertigung von Röntgenaufnahmen zur Bestätigung der Nadellage empfohlen.

Methoden:

An latero-medialen Röntgenaufnahmen wurden Messungen zur Lokalisierung der Mitte der Facies flexoria des Strahlbeins an 26 isolierten Gliedmaßen durchgeführt. Einundzwanzig Veterinärmedizinierende ohne vorherige Erfahrung führten 130 Punktionen mit der axial-distal-palmaren Technik durch, wobei die Nadel basierend auf diesen Messwerten zwischen den Hufballen, axial mittig, knapp proximal des palmaren Kronsauumes eingestochen und nach dorsal in Richtung Strahlbein vorgeschoben wurde. Der Farbstoff wurde nach dem Erreichen der Zielstruktur appliziert und beim Zurückziehen der Nadel weiter injiziert, um den Verlauf der Stichrichtung im Anschluss nachvollziehen zu können. Ein Erfolg wurde durch anatomische Präparation festgestellt, wenn Farbstoff deutlich auf der bursalen Oberfläche der tiefen Beugesehne und innerhalb der tiefen Beugesehne sichtbar war.

Ergebnisse:

Die Gesamterfolgsquote lag bei 84,6 %, mit signifikanten Unterschieden zwischen den Farbstoffen – Rosa und Braun wurden seltener als erfolgreich dokumentiert.

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gliedmaßen.

Einschränkungen:

Da es sich um eine in vitro Studie handelt, müssen die Ergebnisse in vivo bestätigt werden.

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse unterstützen die Verwendung der bildgestützten Planung, wodurch die praktischen Herausforderungen und das Risiko einer radiographischen Bestätigung der Nadellage vermieden werden können.

English:**Background:**

For centesis of the equine navicular bursa radiographs confirming needle placement are recommended.

Methods:

On lateromedial radiographs measurements localizing the centre of the flexor surface of the navicular bone were carried out in 26 isolated limbs. Twenty-one veterinary medicine students without prior experience performed 130 punctures using the axial-distal-palmar technique, whereby the needle, based on these measurements, was inserted between the bulbs of the heel, axially in the middle, just proximal to the palmar coronet, and advanced dorsally towards the navicular bone. Retracting the needle dye was injected. Success was identified via anatomical dissection as dye clearly visible on the bursal surface of and within the deep digital flexor tendon.

Results:

Overall success rate was 84.6%, with significant differences between dye colours, with pink and brown less often documented as successful. There were no significant differences between limbs.

Limitations:

As this is an in vitro study, findings need to be confirmed in vivo.

Conclusion:

The results support using measurements from preprocedural radiographs avoiding the practical challenges and risks of radiographic conformation of needle position.

2. EINLEITUNG:

2.1. BEWEGUNGSAPPARAT DES PFERDES

Der Bewegungsapparat des Pferdes ist essenziell für seine allgemeine Gesundheit und sportliche Leistungsfähigkeit. Die Sehnen, Bänder, Knochen und Gelenke bilden ein komplexes biomechanisches System, den Bewegungsapparat, der die Fortbewegung ermöglicht. Aufgrund der hohen physischen Belastung, insbesondere bei Sportpferden, ist das Risiko für orthopädische Verletzungen und degenerative Erkrankungen erhöht. Pferde sind in verschiedenen Disziplinen spezifischen Belastungen ausgesetzt, wodurch jeweils bestimmte anatomische Strukturen einem erhöhten Verletzungsrisiko unterliegen [1]. Besonders bei Pferden, die in Disziplinen wie Springreiten, Dressur oder Vielseitigkeit aktiv sind, können wiederholte Belastungen zu strukturellen Schäden führen. Verletzungen können entweder durch akute Traumata oder chronische Überlastung entstehen, wodurch die Leistungsfähigkeit langfristig beeinträchtigt wird und das Risiko für erneute Verletzungen steigt [2]. In vielen Fällen können unbehandelte oder spät diagnostizierte Schäden zu chronischen Erkrankungen führen, die die Bewegung des Pferdes einschränken und seine Karriere beenden können.

2.2. DIE HÄUFIGSTEN URSACHEN FÜR LAHMHEITEN

Zu den häufigsten Erkrankungen bei Sportpferden zählen Sehnenentzündungen, Gelenkentzündungen und Schleimbeutelentzündungen sowie das Hufrollensyndrom [3]. Erkrankungen des Hufes, also des Hornschuhs und der darin liegenden Strukturen spielen eine zentrale Rolle, da sie eine der häufigsten Ursachen für Lahmheiten bei Pferden darstellen [3]. Insbesondere Springpferde sind stark gefährdet, am Hufrollensyndrom – also einer Schädigung der tiefen Beugesehne, des Schleimbeutels, des Strahlbeins und/oder der umliegenden Bandstrukturen – zu erkranken, da die wiederholten Belastungen beim Landen nach einem Sprung erhebliche mechanische Beanspruchungen auf die Strukturen des Hufrollenapparates ausüben [1,4].

2.3. ERKRANKUNG DER HUFROLLENSCHLEIMBEUTEL

Während der Bewegung des Pferdes ist der Hufrollenschleimbeutel unterschiedlichen mechanischen Kräften ausgesetzt. Beim Aufsetzen senkt sich der palmare bzw. plantare Bereich des Hufbeins ab, wodurch das Strahlbein nach distal in die gespannte tiefe Beugesehne gedrückt wird. Dies führt zu direktem Druck auf den Hufrollenschleimbeutel sowie auf die darunter liegende tiefe Beugesehne. Gleichzeitig geraten die Kollateralbänder des Hufgelenks unter Spannung, und die Belastung auf die Bursa wird weiter verstärkt [5]. Das Hufrollensyndrom entsteht meist durch mechanische Kompression durch die tiefe Beugesehne, kombiniert mit übermäßigem Zug auf Band- und Sehnenansätze sowie einer unzureichenden Durchblutung des Strahlbeins [4]. Die frühe Erkennung von Erkrankungen der Hufrolle ist entscheidend, um chronische Schäden zu vermeiden.

2.4. PUNKTION DER HUFROLLENSCHLEIMBEUTEL

Die Synovialpunktion stellt eine zentrale Maßnahme in der Diagnostik und Therapie von Erkrankungen synovialer Strukturen bei Pferden dar. Sie wird sowohl zur Entnahme und Analyse von Synovialflüssigkeit als auch zur intrasynovialen Verabreichung von Anästhetika und Medikamenten verwendet [6]. Die Analyse der Synovialflüssigkeit liefert wertvolle Informationen über entzündliche und degenerative Prozesse und ermöglicht die Unterscheidung zwischen infektiösen und nicht-infektiösen Erkrankungen [7]. Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet der synovialen Punktion ist die diagnostische Lokalanästhesie. Durch die Injektion von Anästhetika kann die Lokalisation der Ursache der Schmerzen genauer bestimmt werden [4].

Neben der diagnostischen Anwendung spielt die Punktion des Hufrollenschleimbeutels eine entscheidende Rolle bei der Behandlung. Häufig werden Kortikosteroide oder Hyaluronsäure verabreicht, um Entzündungen zu reduzieren [8]. Untersuchungen zeigen, dass intrasynoviale Kortikosteroid-Injektionen in den Hufrollenschleimbeutel bei Pferden mit Hufrollensyndrom die Lahmheit signifikant

reduzieren können, wobei der Effekt in einigen Fällen mehrere Monate anhält [9]. Hyaluronsäure hingegen verbessert die Viskosität der Synovialflüssigkeit und trägt bei anderen Synovitiden zur Reduktion mechanischer Belastungen des Knorpels bei [10]. In Kombination mit Kortikosteroiden kann Hyaluronsäure synergistische Effekte entfalten, indem sie die entzündungshemmende Wirkung verstärkt und die Beweglichkeit verbessert [8]. Neben der Verabreichung von Medikamenten wird die Synovialpunktion auch zur Spülung verwendet, insbesondere bei septischer Synovitis oder Blutungen [11]. Durch das Entfernen von entzündlichen Metaboliten und Bakterien aus dem Synovialraum kann die Heilung gefördert werden [11].

Die Punktion des Hufrollenschleimbeutels kann mit unterschiedlichen Techniken durchgeführt werden, die sich in ihrer Präzision, Sicherheit und Erfolgswahrscheinlichkeit unterscheiden. Ein zentraler Aspekt bei der Wahl der Methode ist ob Bildgebung, zur Kontrolle der Nadelplatzierung und zur Bestätigung des Erfolgs der Injektion genutzt wird. Basierend auf den Studien von Schramme et al., Allen et al. und Nottrott et al. lassen sich die Punktionstechniken in drei Hauptkategorien – je nach verwendeten Informationen während des Setzens und Vorschiebens der Nadel – unterteilen: anatomisch geführte, röntgengeführte und ultraschallgeführte Verfahren. [12, 13, 14]

Schramme et al. analysierten fünf verschiedene Punktionstechniken des Hufrollenschleimbeutels, die primär auf anatomischen Kriterien basieren. Dabei zeigte sich insbesondere, dass der Zugang von palmar parallel zur Sohle sowie der Zugang parallel zum Kronrand hohe Variabilitäten aufweisen und ihre Erfolgswahrscheinlichkeiten maßgeblich von der individuellen Hufkonformation beeinflusst werden [12]. Aufgrund der fehlenden direkten Bildgebung während der Nadelführung wird folglich eine nachträgliche radiologische Kontrolle in der Arbeit als unerlässlich beschrieben, um die korrekte Platzierung der Nadel sicherzustellen [12].

Die Weiterentwicklung der anatomisch orientierten Methoden führte zur Einführung radiographisch geführter Punktionstechniken, die eine Echtzeitkontrolle der

Nadelplatzierung ermöglichen. Allen et al. beschreiben die geführte Punktion unter direkter Radiographie als eine hochpräzise Methode, die in 90 % der Fälle eine erfolgreiche Synovialpunktion gewährleistet. Durch den Einsatz digitaler Radiographie kann die Nadel bei Bedarf repositioniert werden, bevor das Medikament appliziert wird, wodurch das Risiko iatrogener Verletzungen des Strahlbeinknorpels oder umliegender Strukturen erheblich reduziert wird [13]. Somit sind mindestens zwei lateromediale Röntgenaufnahmen erforderlich, um die erfolgreiche Punktion zu bestätigen – eine zur initialen Kontrolle der Nadellage und eine abschließende Bestätigung nach dem Durchtritt durch die tiefe Beugesehne bis zum Kontakt mit dem Strahlbein. In schwierigeren Fällen kann eine weitere Röntgenaufnahme notwendig sein, wenn die Nadel repositioniert werden muss [13]. Ein Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die digitale Radiographie mittlerweile weit verbreitet ist und viele Tierärzte über die notwendige Ausrüstung verfügen.

Neben den röntgengeführten Techniken existiert auch eine ultraschallgestützte Methode, die eine strahlungsfreie Alternative bietet und gleichzeitig eine gezielte Kontrolle der Nadelplatzierung in Echtzeit ermöglicht. Diese Technik beschreibt eine ultraschallgeführte, laterale Punktion, bei der die Nadel über der seitlicher Hufwand eingeführt wird [14]. Bei Ultraschall geführten Punktionen wird Ultraschall zur Echtzeitkontrolle während des gesamten Ablaufs der Punktion des Schleimbeutels eingesetzt, um eine präzise Nadelplatzierung sicherzustellen und Fehlplatzierungen zu vermeiden [15]. Diese Methode ermöglicht eine präzise Platzierung der Nadel, ohne die tiefe Beugesehne zu durchdringen, wodurch das Risiko einer Sehnenschädigung minimiert wird [14]. Die Studie von Nottrott et al. zeigte eine Erfolgsrate von 91 %, allerdings wurde betont, dass die Qualität des Ultraschallbildes entscheidend für den Erfolg der Injektion ist [14]. Eine schlechte Bildqualität war mit einer erhöhten Rate an Fehlinjektionen in das Hufgelenk oder umgebende Weichteile assoziiert [14]. Zudem erfordert diese Methode eine spezialisierte Ausbildung sowie hochauflösende Ultraschallgeräte, um eine exakte Visualisierung der Bursa und der Nadelspitze zu gewährleisten.

Jede dieser Techniken weist spezifische Vor- und Nachteile auf. In der Praxis hat sich insbesondere der Zugang parallel zur Sohle mit direkt nachfolgender radiologischer Kontrolle als effektiv erwiesen, da er eine sichere Medikamentenapplikation ermöglicht, eine hohe Erfolgsquote aufweist und relativ leicht durchführbar ist [16]. Es benötigt lediglich den Einsatz digitaler Radiographie, die in der modernen Pferdemedizin weit verbreitet ist. Aufgrund der Kombination aus hoher Präzision, einfacher Implementierung und einer breiten Verfügbarkeit in der Praxis wird die unter digitaler Radiographiekontrolle geführte Punktion mit einem Zugang parallel zur Sohle derzeit als bevorzugte Methode betrachtet [17].

2.5. RISIKEN DER PUNKTION

Die Punktion der Hufrollenschleimbeutel bei Pferden birgt jedoch auch verschiedene Risiken. Die potenziellen Gefahren sind insbesondere Infektionen, Verletzungen umliegender Strukturen, Fehlplatzierungen und somit wiederholte Punktionen [12, 14, 18]. Eine der wichtigsten Komplikationen bei der Punktion ist die Gefahr einer bakteriellen Infektion. Selbst bei strikter Einhaltung aseptischer Techniken kann eine septische Schleimbeutelentzündung auftreten [18]. Eine solche Infektion kann zu schwerwiegender Lahmheit, dauerhaften Bewegungseinschränkungen und sogar zur Euthanasie führen, wenn sie nicht frühzeitig behandelt wird [19]. Ohne bildgebende Kontrolle besteht weiters die Gefahr, dass die Nadel nicht korrekt positioniert wird. Untersuchungen zeigen, dass eine Fehlplatzierung dazu führen kann, dass das Medikament nicht in den Schleimbeutel, sondern in das umliegende Weichgewebe injiziert wird [12]. Eine weitere Problematik der Punktion des Schleimbeutels ist die darauffolgende Entwicklung von Verklebungen oder Narbenbildungen innerhalb der Schleimbeutel [20]. Diese strukturellen Veränderungen können die Beweglichkeit des Schleimbeutels einschränken und zu einer dauerhaften Funktionsstörung führen, die die Prognose des betroffenen Pferdes verschlechtert [20]. Ein weiteres Risiko besteht in der Kontamination durch Gewebsanteile oder Haare während des Punktionseingriffs, die Irritationen oder sogar Infektionen bewirken können, auch bei sorgfältiger Desinfektion. Die Einführung der Nadel selbst kann das Eindringen von Mikroorganismen bewirken und stellt somit ein Infektionsrisiko dar [18]. Eine

unbehandelte bakterielle Infektion führt zu entzündlichen Reaktionen, die eine irreversible Schädigung des Knorpels hervorrufen können. Diese degenerativen Prozesse sind oft schwer zu behandeln und können die langfristige Beweglichkeit des Pferdes stark beeinträchtigen [18]. Zusätzlich besteht das Risiko, dass die Nadel während der Punktion bricht, wodurch der abgebrochene Teil in den synovialen Strukturen verbleibt. Ähnlich wie bei penetrierenden Fremdkörpern kann dies zu schweren Infektionen, mechanischen Irritationen und langfristigen Funktionseinschränkungen führen [21].

2.6. ZIEL DER VORLIEGENDER STUDIE

In der vorliegenden Studie wird ein optimierter Ablauf des Eingriffs untersucht, der darauf abzielt, die Risiken bei der Punktion des Hufrollenschleimbeutels zu minimieren. Traditionell wird die Punktion häufig unter direkter radiologischer Kontrolle durchgeführt, um die Position der Nadel zu überprüfen. In der vorliegenden Untersuchung wird jedoch ein alternativer Ansatz erprobt, bei dem auf die kontinuierliche radiologische Überwachung während der Punktion verzichtet wird. Stattdessen wird zunächst ein präzises Röntgenbild des betroffenen Bereichs ausgewertet, um die exakte Lokalisation des Schleimbeutels zu bestimmen. Basierend auf diesen Messungen kann die Nadel gezielt und entsprechend den Abmessungen des Röntgenbilds in den Schleimbeutel eingeführt werden. Dieser Ablauf bietet mehrere potenzielle Vorteile: Durch die präzise Planung wird die Gefahr einer Fehlplatzierung der Nadel minimiert, wodurch das Risiko von wiederholten Punktionen deutlich verringert wird. Ohne die Notwendigkeit begleitender Röntgenbilder ist die Dauer des Vorgangs kürzer und es werden weniger Manipulationen in unmittelbarer Nähe der gesetzten Nadel durchgeführt. Beides reduziert das Verletzungs- und Infektionsrisiko.

Es wird angenommen, dass eine präzise bildgestützte Planung eine hohe Treffgenauigkeit der Injektionen ermöglicht und das Risiko für Komplikationen verringert. Die zugrunde liegende Hypothese lautet, dass der optimierte Ablauf, bei dem die radiologische Darstellung vor dem Eingriff erfolgt, für Studierende der Veterinärmedizin, die diese Punktion noch nie zuvor durchgeführt haben,

eine Treffquote von über 70 % ermöglicht. Die Nullhypothese (H₀) besagt hingegen, dass der optimierte Ablauf der Punktion – einschließlich der vorab durchgeführten bildgebenden Diagnostik zu einer Treffquote unter 70 % führt.

Langfristig könnte der Einsatz dieser Methodik die Komplikationsrate bei Punktionen des Hufrollenschleimbeutels senken und eine effektivere Behandlung ermöglichen sowie Tierärzt:innen dazu motivieren, die Punktion häufiger durchzuführen. Darüber hinaus könnte die neue Vorgehensweise auch für erfahrene Tierärzte einen sicheren und präzisen Zugang zu dieser anspruchsvollen Technik ermöglichen.

3. MATERIAL UND METHODE:

3.1. MATERIAL

Im Rahmen dieser Studie wurden 26 abgesetzte Vorder- und Hinterextremitäten von Pferden verwendet, wobei die Extremitäten vom Huf bis zum Karpal- bzw. Tarsalgelenk vorlagen.

Die palmare/plantare Kontur der Ballen wurde mit der Ösophaguspaste (Microtrast® Barium, Guerbet GmbH, Deutschland) aufgetragen, um den markierten Bereich am Röntgenbild sichtbar zu machen. Für die Bildgebung kam ein Röntgengerät des Modells Philips DigitalDiagnost C90 zum Einsatz. Die Auswertung der Röntgenbilder sowie die Durchführung der Messungen erfolgten mithilfe JiveX-Software.

Die Studie wurde einem zufälligen Sample von Studierenden der Veterinärmedizin kurz vorgestellt und zur Teilnahme angeboten (siehe Methoden). An der Studie nahmen insgesamt 21 Studierende aus dem 5. bis 12. Semester teil. Die Teilnahme war freiwillig und setzte das selbst geäußerte Fehlen praktischer Erfahrung in der Durchführung der Punktion des Hufrollenschleimbeutels voraus. Personenbezogene Daten der teilnehmenden Studierenden wurden nicht erfasst; die Studierende wurden anonymisiert und mit den Buchstaben A bis U gekennzeichnet.

Zur eindeutigen Nummerierung der Beine wurden Tesa®-Streifen und Marker verwendet. Die Punktionsversuche sowie die anschließende Präparation der Gliedmaßen zur Beurteilung des Punktionserfolgs erfolgten auf Präparationstischen, wobei Fixierungshalterungen ausschließlich für die Präparation verwendet wurden. Während der Punktion trugen die Teilnehmenden Latexhandschuhe (Peha-soft®, HARTMANN Österreich GmbH, Österreich). Für die Präparation kamen chirurgische Instrumente wie Skalpellgriffe, Skalpellklingen und chirurgische Pinzetten zum Einsatz. Um eine sichere Entsorgung der Nadeln sowie anderer scharfer Instrumente wie Skalpelle nach der Verwendung zu gewährleisten, wurden gelbe Entsorgungsbehälter verwendet.

Die Markierung der Punktionskanäle erfolgte mittels Lebensmittelfarben (Tortenfarben®, Tortenwelt GmbH, Deutschland). Dabei kamen die Farben Blau (E133, E122), Grün

(E133, E102), Gelb (E102), Rosa (E110, E124) und Braun (E155) zum Einsatz. Vor der eigentlichen Punktion wurde eine Testpunktion in den proximalen Teil der tiefen Beugesehne von abgesetzten Extremitäten durchgeführt, um sicherzustellen, dass sich die verwendeten Lebensmittelfarben gut verteilen und klar voneinander unterscheiden lassen. Dabei wurde die Farbe Rot aufgrund ihrer starken Ähnlichkeit mit den natürlichen anatomischen Strukturen bewusst ausgeschlossen, um eine Verwechslung und Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden. Diese Vorversuche dienten der Optimierung der späteren Auswertung der Resultate sowie der Validierung der eingesetzten Punktionstechniken, um eine möglichst präzise und zuverlässige Durchführung des Verfahrens sicherzustellen.

Für die Punktionen der Extremitäten wurden Einmalspritzen (Injekt® Solo 5 ml, B. Braun Melsungen AG, Deutschland) in Kombination mit Einmalnadeln (Sterican® G 20 × 2 ¾" / Ø 0,90 × 70 mm, B. Braun Melsungen AG, Deutschland).

Zur Datenzusammenfassung diente das Programm Excel, in dem die Ergebnisse tabellarisch dargestellt und anschließend mit Software (Software (IBM® SPSS Statistics, IBM Corp., Armonk, NY, USA) statistisch analysiert wurden.

3.2. METHODE

Für die vorliegende Studie wurden 26 Vorder- und Hinterextremitäten von Pferden verwendet, die die Veterinärmedizinische Universität als Lehr- und Übungsmaterial für Studierende zur Verfügung stellte. Die Extremitäten waren vom Huf bis zum Karpal- bzw. Tarsalgelenk vollständig und in einem sehr guten Erhaltungszustand. Es wurden bei visueller Inspektion von außen keine Artefakte, strukturellen Veränderungen oder Farbveränderungen an den Extremitäten festgestellt. Um die Entstehung von Artefakten zu vermeiden und die Ergebnisse der Untersuchung nicht zu verfälschen, erfolgte die praktische Durchführung von Röntgen Untersuchung und Punktionen am Tag der Lieferung der Extremitäten vom Schlachthof. Die Extremitäten wurden systematisch mittels Tesa®-Streifen und Marker beschriftet und nummeriert, um eine eindeutige Zuordnung sicherzustellen.

Um die Punktionsstelle und -tiefe zu bestimmen, wurden zunächst lateromediale bzw. mediolaterale Röntgenaufnahmen mithilfe des Röntgengeräts (DigitalDiagnost C90®, Philips GmbH Market DACH, Deutschland) angefertigt. Zur Erhöhung des Kontrasts auf den Röntgenbildern wurde die Bariumpaste verwendet, die auf den medialen und lateralen Ballen der Pferdebeine aufgetragen wurde. Aus Gründen des Strahlenschutzes wurden die Extremitäten auf Styrodur fixiert. Mit Hilfe von Gewichten wurde Druck auf die Extremitäten aufgebaut, um sie aufrecht, stabil und in einer möglichst natürlichen Position zu halten (*Siehe Abb. 1*). Diese Fixierung war entscheidend, um gut beurteilbare Röntgenbilder zu erhalten. Der Fokus der Röntgenaufnahme lag auf der Region des Strahlbeins. Nach jeder Aufnahme wurde die Bildqualität sorgfältig überprüft, und bei Einschränkungen der Auswertbarkeit wurde die Aufnahme wiederholt.

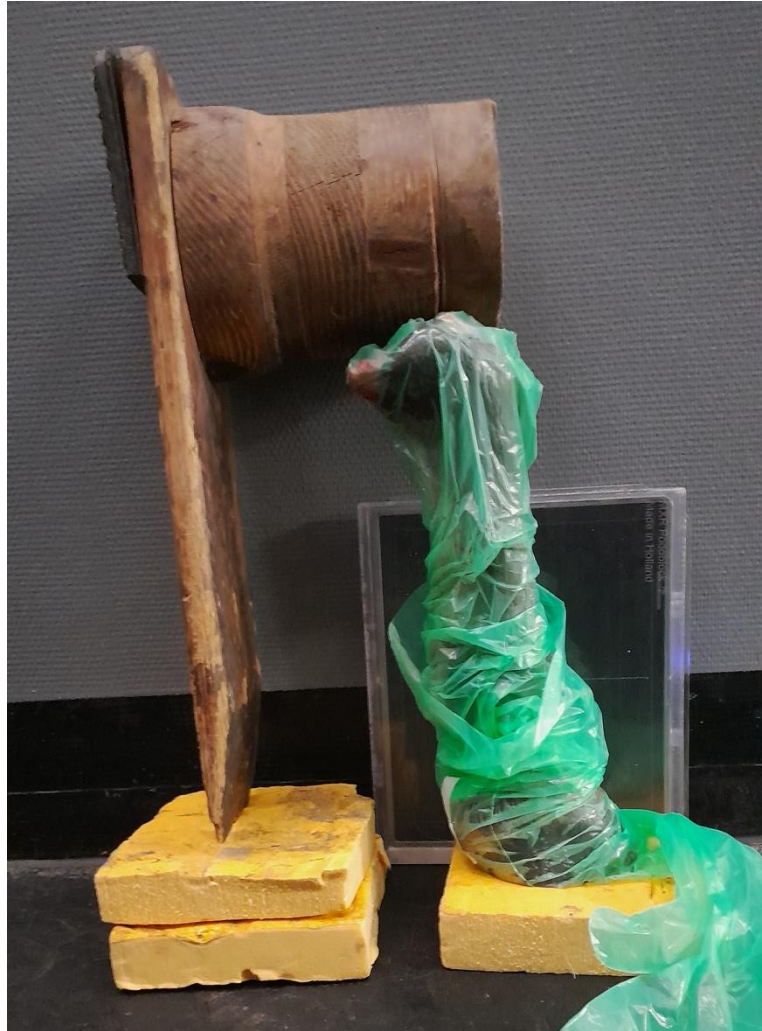


Abbildung 1: Die Fixierung eines aus Sauberkeitsgründen in Plastik befindlichen Beines für die Röntgenaufnahme zur Vermessung der Punktionsstelle und -tiefe für die Punktion der Bursa podotrochlearis.

Nach erfolgreicher Anfertigung gut beurteilbarer Röntgenbilder wurden die erforderlichen Messungen zur Lokalisierung des Hufrollenschleimbeutels bzw. der Facies flexoria des Strahlbeins mithilfe eines JavaScript-Programms durchgeführt. Alle Messergebnisse wurden direkt auf den Röntgenbildern dokumentiert (siehe Abb. 2). Zwei

Hauptmessungen wurden vorgenommen: Zum einen wurde die Höhe der Mitte der proximo-distalen Ausdehnung der Facies flexoria 90° von der medialen und lateralen Trachte ausgehend gemessen, und gemittelt, dieser Wert wurde als Referenzwert der Höhe der Punktion des Hufrollenschleimbeutels verwendet. Zum anderen wurde die Tiefe der Facies flexoria parallel zur Sohlenfläche ausgehend von der Mitte zwischen der palmaren/plantaren Kontur beider Ballen gemessen. Dieser Wert diente als Referenzwert zur Bestimmung der Gewebstiefe bis zum Erreichen des Hufrollenschleimbeutels. Diese Daten wurden den Studierenden während der praktischen Punktion zur Verfügung gestellt, um eine präzise Orientierung bei der Platzierung der Nadeln zu ermöglichen.

Für die Durchführung der Punktionen wurden Studierende des 5. bis 12. Semesters, die sich freiwillig zur Verfügung stellten, herangezogen, die laut ihren eigenen Aussagen bislang keine praktische Erfahrung mit der Punktion des Hufrollenschleimbeutels hatten. Diese praktische Übung stellte für die Studierenden, die sich im Rahmen klinischer Rotationen in der Pferdeklinik befanden, offensichtlich eine wertvolle Möglichkeit dar, ihr theoretisches Wissen zu erweitern und praktische Fertigkeiten zu erlernen, daher gab es zahlreiche Anmeldungen. Zu Beginn erhielten die Studierenden eine kurze, aber präzise Anleitung, in der der Ablauf der Punktion sowie die relevanten anatomischen Strukturen detailliert erläutert wurden.



Abbildung 2: Latero-mediale Röntgenaufnahme von Extremität („Bein“) 1 mit Abmessungen von Java-Script Programm: A – Höhe 1 der Facies flexoria von der plattennäheren Trachte ausgehend, B – Höhe 2 der Facies flexoria von der plattenferneren Trachte ausgehend, C – die Tiefe der Facies flexoria gemessen von der Mitte zwischen den beiden Ballen, D – gesamte Länge des Hufes.

Mündliche Anleitung zur Punktion des Hufrollenschleimbeutels für Studierende:

*"Wir starten jetzt mit der Übung. Jede*r von euch hat heute die Möglichkeit, bis zu sieben Punktionen des Hufrollenschleimbeutels an verschiedenen Extremitäten durchzuführen. Zu Beginn wählt ihr eine Lebensmittelfarbe, die ihr für alle eure Versuche weiterverwendet. Dann nehmt ihr zwei Nadeln: eine mit 40 mm Länge zur Bestimmung der Höhe der Punktionsstelle und eine mit 70 mm für die eigentliche Punktion."*

Anschließend füllt ihr eine 5-ml-Spritze mit der Farbe, setzt die Nadel auf und legt sie zunächst zur Seite.

Zur Positionierung des Beines werden abwechselnd zwei von euch das Bein in einer natürlichen Position – mit der Sohle flach auf der Tischfläche – halten, während die dritte Person die Punktion durchführt. Nach jeder Punktion wird gewechselt.

Die Punktionsstelle richtet sich nach den zuvor ermittelten Messwerten. Ihr stecht an den Ballen, seitlich der mittleren Strahlfurche des Hufes ein – entweder leicht medial oder lateral davon. Das hat einen wichtigen Grund: So vermeiden wir eine Kontamination durch die mittlere Strahlfurche. Achtet darauf, dass ihr abwechselnd medial und lateral punktiert.

Jetzt zur Punktion selbst: Setzt die Nadel parallel zur Tischoberfläche an und führt sie vorsichtig ein. Beim Einstechen werdet ihr verschiedene Gewebeschichten durchdringen – erst das Fettpolster, dann die tiefe Beugesehne, bis ihr schließlich die Bursa erreicht. Ihr merkt das daran, dass der Widerstand plötzlich nachlässt.

Sobald ihr das Nachlassen des Widerstands gespürt habt, spritzt ihr langsam die Farbe in den Schleimbeutel. Beim Zurückziehen der Nadel appliziert ihr weiterhin Farbe, bis die Nadel vollständig entfernt ist.

Um zu überprüfen, ob die Punktion erfolgreich war, wird das Bein später präpariert. Dann können wir genau beurteilen, ob die Farbe korrekt in der vorderen Fläche der tiefen Beugesehne und im Schleimbeutel angekommen ist."

Diese Anleitung sollte eine präzise und sichere Durchführung der Punktion ermöglichen, wobei die Studierenden sowohl technischen Fertigkeiten erlernen als auch ein tieferes Verständnis der anatomischen Strukturen des Pferdes erwerben konnten.

Studierende hatten im Anschluss die Möglichkeit, bis zu sieben Punktionen pro Person, und zwar jeweils nur eine Punktion pro Extremität, durchzuführen, um Lerneffekte an einer Extremität zu minimieren. Einige Studierende führten lediglich fünf oder sogar nur

drei Versuche durch. Für die Punktionen wurden fünf verschiedene Lebensmittelfarben verwendet – Blau, Grün, Gelb, Rosa und Braun – wobei jede Person bei allen Versuchen dieselbe Farbe verwendete. Jede Extremität wurde 5-mal mit verschiedenen Farben punktiert. Es wurde notiert, wer mit welcher Farbe die Punktion an welcher Extremität durchgeführt hat, sodass jede Extremität mit jeder Farbe nur einmal punktiert wurde.

Die anschließenden Untersuchungen, die die Präparation der Extremitäten, die Protokollierung der Ergebnisse sowie die Präparation der Proben umfassten, wurden direkt nach den Punktionen bei den ersten sechs Gliedmaßen bzw. nach dem Tieffrieren bei -20 °C und Auftauen der restlichen 20 Gliedmaßen innerhalb einer Woche abgeschlossen.

Zur Beurteilung der Punktionsergebnisse wurden die Extremitäten wie folgt präpariert: zunächst erfolgte die Durchtrennung allen Strukturen auf der Ebene des Hufgelenks von dorsal so wie das Herauslösung von Strahlbein und Kronbein, wodurch die Bursa und die der Bursa zugewandte Fläche der tiefen Beugesehne freigelegt und sichtbar gemacht wurde (*Siehe Abb. 3*). Bereits zu diesem Zeitpunkt konnten verwendete Lebensmittelfarben in der Bursa identifiziert werden.

Allerdings stellte sich die Differenzierung der einzelnen Farben im Hohlraum des Schleimbeutels als schwierig heraus (*Siehe Abb. 3*). Im weiteren Verlauf wurde der Anteil der tiefen Beugesehne, der der Facies flexoria des Strahlbeins gegenüber war, auf einer Länge von etwa 5 cm entnommen und begutachtet. Um die Verteilung der Farben genauer zu untersuchen, wurde die Sehne transversal in etwa 5 mm dicke Scheiben geschnitten. Dies ermöglichte eine detaillierte Analyse der Punktionen, einschließlich der Einstichrichtung und der Differenzierung der eingesetzten Farben. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden sowohl schriftlich als auch fotografisch dokumentiert. Die präparierten Proben wurden in nummerierte Plastikbehälter überführt und zur späteren Auswertung oder erneuten Beurteilung im Tiefkühlschrank gelagert.



Abbildung 3: Präparation von Bein Nummer 11 zur Darstellung des Punktionserfolges. Links sind das entfernte Strahlbein und die Schnitte der tiefen Beugesehne mit den darin sichtbaren Einzelfarben sowie der restliche Anteil der tiefen Beugesehne (darunter im Bild) dargestellt. Hier wurden alle 5 Farben (Blau, Grün, Gelb, Rosa und Braun) an der dem Hufrollenschleimbeutel zugewandten Fläche der tiefen Beugesehne gesehen und die 5 Punktionen entsprechend als positiv gewertet. Rechts ist der nach dem Entfernen von Strahl- und Kronbein verbleibende Teil des Hufes mit der eröffneten Hufrollenschleimbeutel und dem Farbgemisch abgebildet.

Die Ergebnisse wurden anschließend systematisch in eine Excel-Tabelle übertragen (*siehe Anhang*) und statistisch mithilfe der IBM® SPSS Statistics-Software ausgewertet.

Einzelne Datensätze wurden grafisch aufbereitet. Zur erleichterten Analyse und Wahrung des Datenschutzes wurden die 21 Studierenden durch lateinische Buchstaben (A–U) gekennzeichnet. Der Erfolg der Punktion wurde in den Ergebnissen binär vermerkt: entweder mit „ja“ (getroffen) oder „nein“ (nicht getroffen).

Statistische Auswertung

Alle Daten die zu statistischen Analyse verwendet wurden, sind im Anhang zusammengefasst. In der statistischen Analyse dieser Studie wurden folgende verschiedenen Methoden verwendet: Um den Zusammenhang zwischen Variablen wie der Treffquote, der Anzahl der Pktionen pro Person und der Höhe bzw. Tiefe der Facies flexoria zu untersuchen, wurden Pearson-Korrelationskoeffizienten (PCC) berechnet. Um festzustellen, ob es einen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Faktoren wie Beinen, Studierenden und verwendeten Farben in Bezug auf den Pktionserfolg gab, wurden Chi-Quadrat-Tests genutzt. Ein p-Wert $< 0,05$ wurde als Schwellenwert für statistische Signifikanz definiert.

4. ERGEBNISSE:

Insgesamt wurden 130 Punktionen an 26 verschiedenen Pferdebeinen (und zwar genau fünf Punktionen pro Bein) von 21 Studierenden durchgeführt. Von diesen Punktionen waren 110 als erfolgreich gewertet, was einer Erfolgsquote von 84,62 % entspricht, während 20 Punktionen als nicht erfolgreich gewertet wurden, was einem Anteil von 15,38 % entspricht (*siehe Abb. 4*).

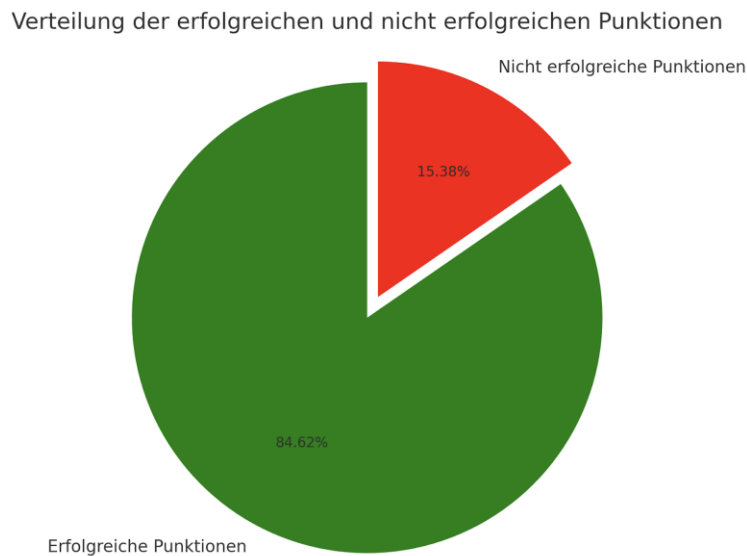


Abbildung 4: Das Kreisdiagramm stellt die prozentuale Verteilung der erfolgreichen (grün - 84,62 %) und nicht erfolgreichen (rot - 15,38 %) Punktionen dar. Insgesamt wurden 130 Punktionen durchgeführt, von denen 110 als erfolgreich und 20 als nicht erfolgreich gewertet wurden.

Um die Verteilung der für die Punktion auf den Röntgenaufnahmen der Extremitäten erhobenen Höhen- und Tiefenwerte übersichtlich darzustellen, wurden Box-Whisker-Diagramme verwendet. Die grafische Darstellung mittels Box-Whisker-Diagrammen ermöglicht eine klare Visualisierung der Datenstruktur und erleichtert die Analyse der Streuung und Verteilung innerhalb der untersuchten Variablen (*siehe Abb. 5 und 6*).

Box-Whisker-Diagramm der Höhenwerte der Mitte der Facies flexoria:

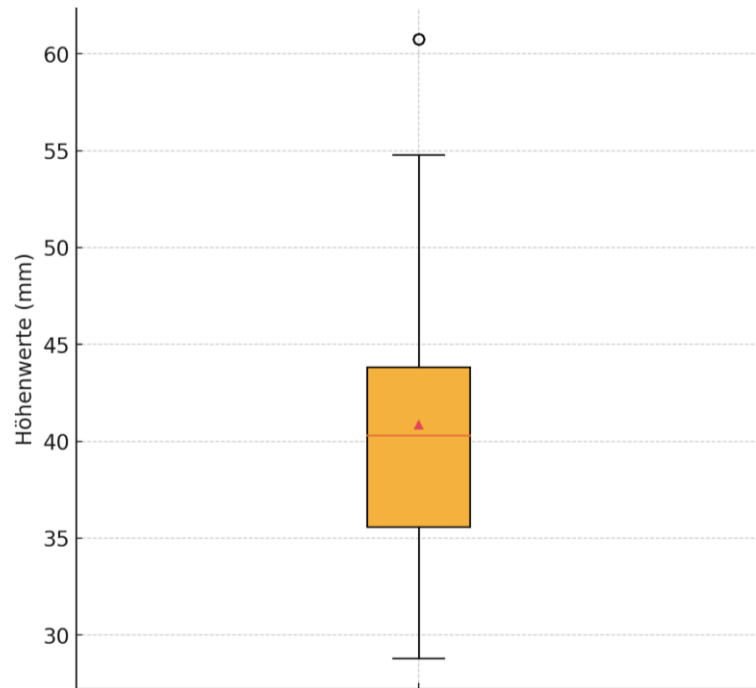


Abbildung 5: Das Box-Whisker-Diagramm zeigt die Verteilung der auf den Röntgenbildern vermessenen, gemittelten Höhenwerte der Mitte der Facies flexoria in 26 verwendeten Pferdebeinen. Dargestellt sind die gemittelten Werte der Höhe der Mitte der proximo-distalen Ausdehnung der Facies flexoria 90° von der medialen und lateralen Trachte ausgehend gemessen. Folgende wichtige Werte sind dargestellt: Minimaler Wert – 28,80 mm, Maximaler Wert und gleichzeitig ein Ausreißer (Kreis) – 60,75 mm, Median (rote Linie) – 40,33 mm, Mittelwert (rotes Dreieck) – 40,35 mm, Unteres Quartil – 35,60 mm und Oberes Quartil – 43,85 mm.

Die Box – der Bereich zwischen dem unteren und dem oberen Quartil – repräsentiert die mittleren 50 % der Daten (siehe Abb. 5).

Die Whisker – Linien über und unter der Box – repräsentieren den Bereich, in dem die restlichen Werte liegen, außer dem Ausreißer, der als einzelner Punkt oberhalb des maximalen Whisker-Werts dargestellt wird. Der Ausreißer deutet darauf hin, dass dieser Höhenwert ungewöhnlich hoch ist im Vergleich zu den anderen Werten.

Die wie beschrieben gemittelten Höhenwerte variieren zwischen 28,80 mm und 60,75 mm, wobei der Median bei 40,33 mm liegt. Die Hälfte der Daten liegt zwischen dem unteren Quartil von 35,60 mm und dem oberen Quartil von 43,85 mm, aber es gibt einen deutlichen Ausreißer bei 60,75 mm, der als einziger Wert weit über dem Rest der Daten liegt und außerhalb des regulären Wertebereichs fällt.

Box-Whisker-Diagramm der Tiefenwerte der Mitte der Facies flexoria:

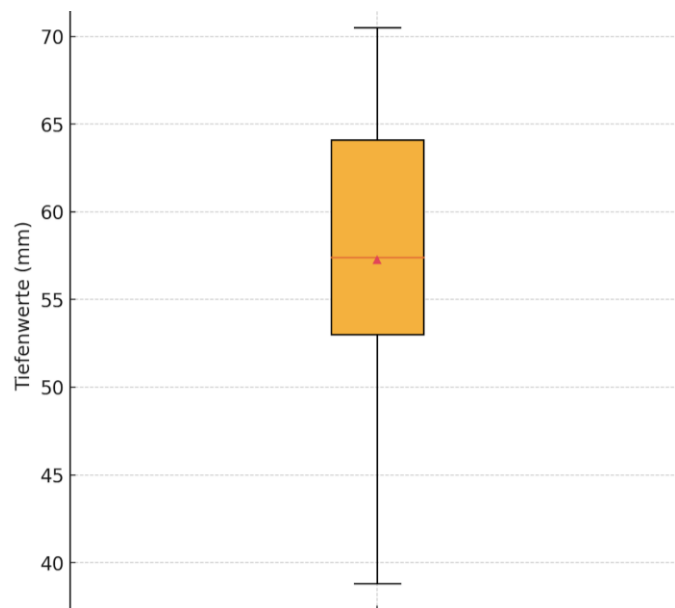


Abbildung 6: Das Diagramm ist ein Box-Whisker-Diagramm, das die Verteilung der auf den Röntgenbildern vermessenen mittleren Tiefenwerten der der Facies flexoria in den 26 verwendeten Pferdebeinen zeigt.

Wichtige Werte: Minimaler Wert – 38,80 mm. Maximaler Wert – 70,50 mm. Median (rote Linie) – 55 mm, Mittelwert (rotes Dreieck) – 58,00 mm, Unteres Quartil – 53,00 mm, Oberes Quartil – 64,10 mm. Es gibt keinen Ausreißer.

Die Tiefenwerte wurden wie die Höhenwerte mittels Box-Whisker Diagramm dargestellt (Siehe Abb. 6).

Die Korrelationen zwischen der Trefferquote und den erhobenen Parametern waren nicht signifikant, Details sind in Tabelle 1 angegeben.

	Pearson-Korrelation	Sig. (2-seitig)	N
Mittlere Höhe	0,135	0,127	130
Mittlere Tiefe	-0,116	0,188	130

Tabelle 1: Korrelation zwischen als erfolgreich gewerteten Punktionen und auf den Röntgenaufnahmen erhobenen Abmessungen an den Pferdebeinen dieser Studie positioniert mit der Sohlenfläche fest auf dem Boden und dem Rohrbein in annähernd vertikaler Ausrichtung; Höhe – vertikaler Abstand der Mitte der Facies flexoria des Strahlbeins von den Trachten des Hufs, gemittelt; Tiefe – horizontaler Abstand der Mitte der Facies flexoria des Strahlbeins von der Mitte zwischen den palmaren/plantaren Konturen der Ballen (siehe auch Abbildung 2).

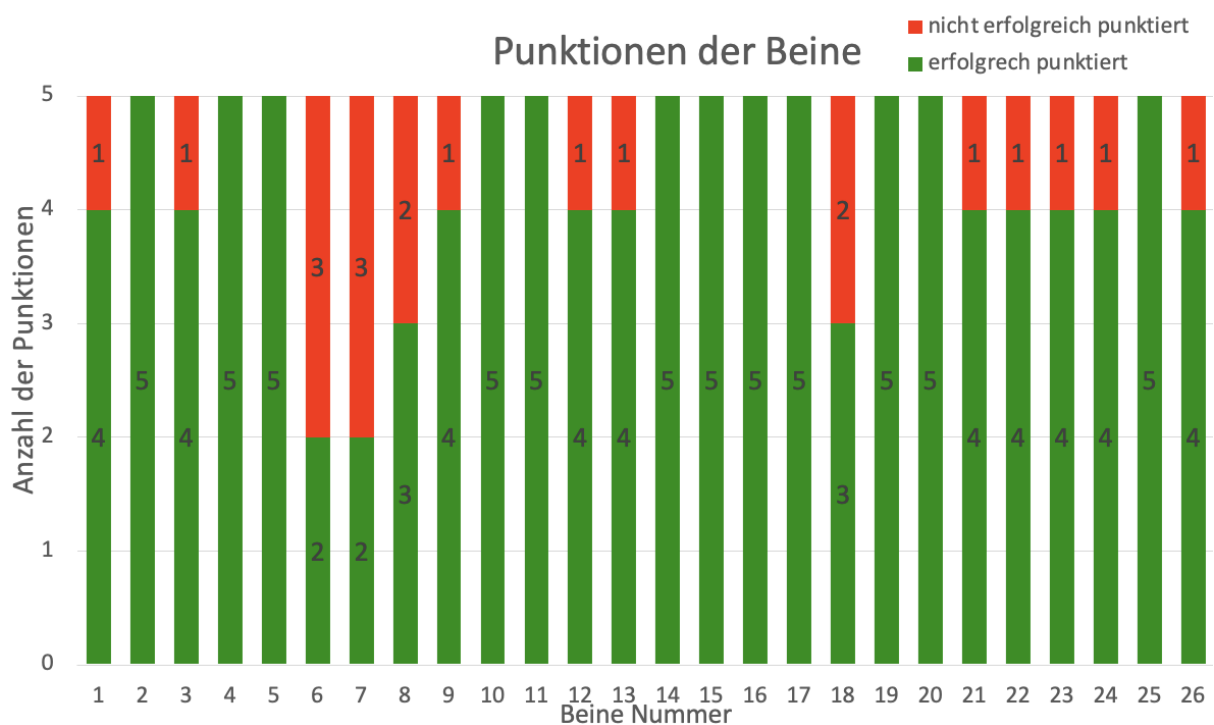


Abbildung 7: Das Diagramm zeigt die Anzahl als erfolgreich und als nicht erfolgreich gewerteten Punktionen für jedes der 26 Beine. Die grünen Balken stehen für erfolgreich durchgeführte Punktionen, während die roten Balken nicht erfolgreichen Punktionen darstellen. Jedes Bein ist auf der x-Achse mit einer Nummer (1–26) dargestellt. Auf der y-Achse wird die Anzahl der Punktionen für jedes Bein gezeigt (5).

Die Beine 2, 4, 5, 10, 11, 14–17, 19, 20, 25 wurden in allen Punktionen erfolgreich punktiert. Einige Beine (Beine 1, 3, 9, 12, 13, 21–24, 26) wiesen jeweils eine nicht erfolgreiche Punktion auf. Die Beine 8 und 18 verzeichneten jeweils zwei nicht erfolgreiche Punktionen. Insbesondere bei den Beinen 6 und 7 traten die meisten nicht erfolgreichen Punktionen auf, mit jeweils drei fehlgeschlagenen Punktionen. (siehe Abb. 7)

Die Untersuchung auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Beinen in Bezug auf den Erfolg der Punktion mittels Chi-Quadrat-Tests ergab einen p-Wert von 0,175. Da der p-Wert größer als 0,05 ist, gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Beinen hinsichtlich der Erfolgsrate der Punktion.

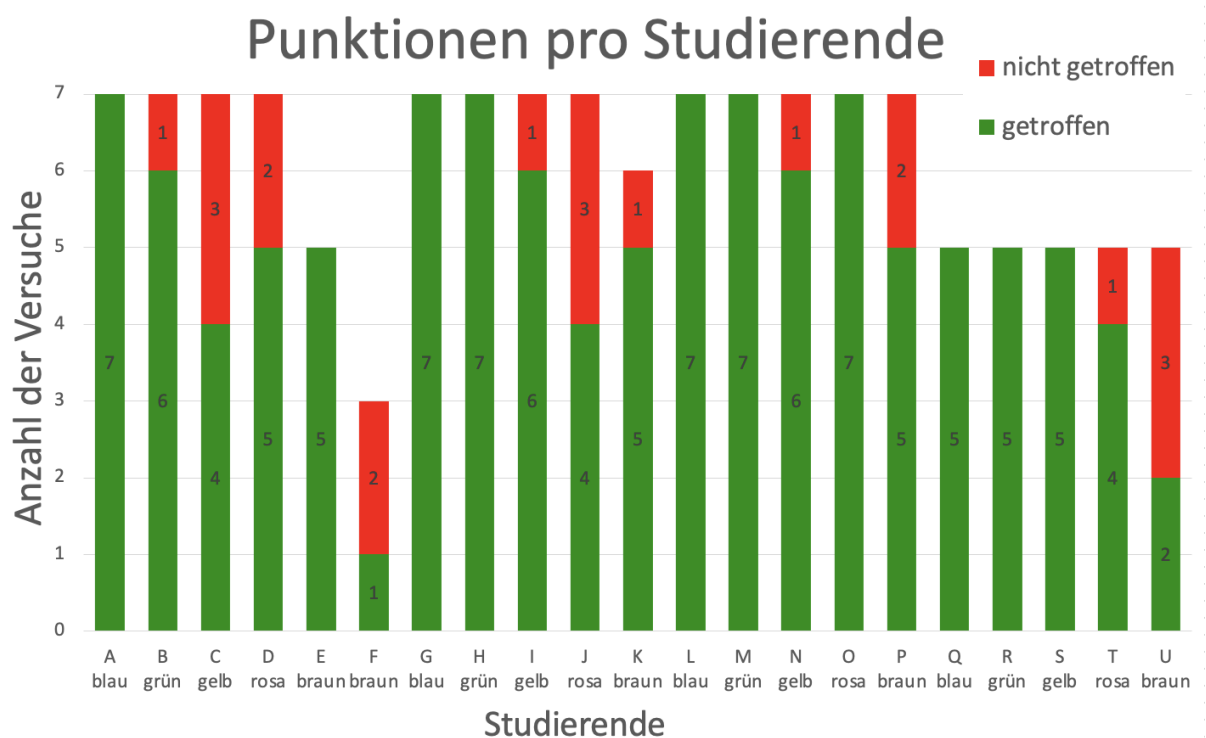


Abbildung 8: Das Diagramm veranschaulicht die Anzahl der erfolgreichen (grün) und nicht erfolgreichen (rot) Punktionen, von den 21 Studierenden erzielt wurden. Die Studierenden sind dabei durch lateinische Buchstaben (A, B, C, ...) gekennzeichnet. Die maximale Anzahl an durchgeführten Punktionen pro Person beträgt 7. Die minimale Anzahl an Versuchen beträgt 3.

Dreizehn Studierenden haben 7 Versuche unternommen (*siehe Abb. 8*). Einige Studierende absolvierten weniger Punktionen: Studierende E, Q-U absolvierten jeweils 5 Punktionen, K 6 Punktionen und F 3 Punktionen.

Viele Studierende, wie A, E, G, H, L, M, O, Q-S hatten in all ihren Punktionen Erfolg. Einige Studierende wie B, I, K, N und T zeigten jeweils eine nicht erfolgreiche Punktion, wenige Studierende, wie D, F und P hatten jeweils 2 nicht erfolgreiche Punktionen und C, J und U hatten jeweils 3, nicht erfolgreiche Punktionen.

Es wurde keine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl der Punktionen pro Person und dem Erfolg der Punktion gefunden (PCC 0,011, $P=0,9$). Das zeigt, dass es keinen Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen und somit keinen Lerneffekt bei den Studierenden gab.

Die Studierenden unterschieden sich in Bezug auf den Erfolg der Punktion signifikant (p-Wert von 0,021). Die Farbe unterschieden sich in Bezug auf den Erfolg der Punktion signifikant (p-Wert von 0,009), womit die verwendete Farbe einen signifikanten Einfluss auf die Wertung als Punktionserfolg hatte (*siehe Abb. 9*).

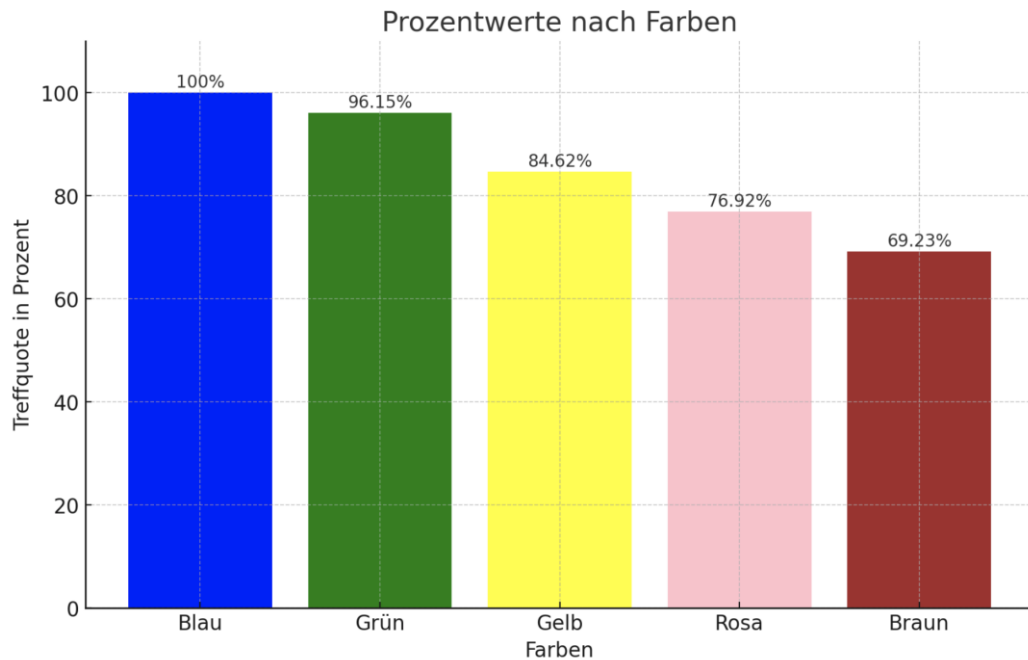


Abbildung 9: Das Diagramm zeigt die prozentuale Verteilung der Treffquote der Punktionen an den Beinen in Abhängigkeit von den verwendeten Farben. Die Treffquote bei Verwendung der blauen Farbe betrug 100 %, der grünen Farbe 96,15 %, der gelben Farbe 84,62 %, der rosafarbenen Farbe 76,92 % und der braunen Farbe 69,23 %.

Mittels blauer Farbe wurde die höchste Treffquote von 100 % erreicht (siehe Abb. 9). Bei Verwendung der blauen Farbe wurde diese bei allen Punktionen im Schleimbeutel nachgewiesen. Diese Punktionen konnten somit als erfolgreich identifiziert werden. Grün folgt mit einer Treffquote von 96,15 %, was ebenfalls eine sehr hohe Erfolgsquote darstellt. Gelb zeigt eine Treffquote von 84,62 %, die etwas geringer ist, aber immer noch relativ hoch. Rosa hat eine Treffquote von 76,92 %, was darauf hindeutet, dass etwa ein Viertel der Punktionen nicht erfolgreich waren bzw. nicht nachgewiesen werden konnten. Braun weist mit 69,23 % die niedrigste Treffquote auf, was bedeutet, dass hier über 30 % der Punktionen nicht als erfolgreich nachgewiesen waren.

5. DISKUSSION:

Auf Basis der in dieser Studie erzielten Ergebnisse lässt sich feststellen, dass die zugrunde liegende Hypothese – wonach der optimierte Ablauf der Punktion durch eine präzise radiologische Darstellung die Treffgenauigkeit verbessert und das Risiko für Komplikationen minimiert – bestätigt werden kann. Die Erfolgsquote von 84,62 % liegt nicht nur deutlich über der in der Hypothese festgelegten Schwelle von 70 %, sondern widerspricht auch klar der Nullhypothese (H_0), die von keinem signifikanten Einfluss der vorgelagerten Bildgebung ausgeht und lediglich eine Treffgenauigkeit von über 50 % erwartet. Die statistische Analyse der erhobenen Daten zeigt, dass die vorab durchgeführte radiologische Vermessung der Facies flexoria des Strahlbeines einen entscheidenden Beitrag zur Präzision der Punktion leistete, indem sie eine exakte Lokalisation ermöglichte und dadurch zu geringeren Fehlplatzierungen führte. Das Ergebnis belegt somit eindrücklich, dass die vorgeschlagene Methode zu einer hohen Treffgenauigkeit führte – auch unter der Voraussetzung, dass alle Punktionen von unerfahrenen Studierenden durchgeführt wurden.

Im direkten Vergleich der Erfolgsquoten zeigt sich, dass die in der vorliegenden Studie erzielte Rate von 84,62 % bemerkenswert ist. Während Gandini et al. bei der dorsalen schrägen Technik zur Punktion des Hufgelenks zwar eine 100 % Erfolgsrate bei der Nadelführung angaben, konnte Synovialflüssigkeit nur in 87,5 % der Fälle gewonnen werden, was darauf hinweist, dass trotz korrekter Nadelführung nicht immer ein funktionell erfolgreicher Gelenkzugang erreicht wurde [22]. Die Untersuchung von Mereu et al. zur Punktion des Krongelenks an Kadaverpräparaten ergab Erfolgsquoten zwischen 86,6 % und 93,3 %, wobei jedoch erfahrene Tierärzte die Injektionen durchführten [23]. Deutlich unterlegen ist hingegen die Erfolgsquote in der Studie von Poore et al. in der unerfahrene Studierende nur Erfolgsraten von 32 % (dorsal), 48 % (dorsolateral) und 36 % (palmaroproximal) bei der Punktion des Krongelenks erzielten [24].

Die vorliegende Studie unterscheidet sich methodisch deutlich von anderen Untersuchungen im Hinblick auf die Durchführung der Punktionen und die Bewertung des Punktionserfolgs. In diesem Experiment wurde der Erfolg nicht durch Bildgebung

oder Synovialflüssigkeitsaspiration, sondern direkt anatomisch nachgewiesen – mittels Injektion von Farbe in die Bursa und anschließender Präparation der Gliedmaßen. Dies erlaubte eine zweifelsfreie visuelle Beurteilung, ob der Farbstoff korrekt in der Bursa podotrochlearis eingesetzt wurde. Diese Form der direkten Gewebeprüfung bietet hohe Genauigkeit, ist aber nur im Kadavermodell umsetzbar.

Im Gegensatz dazu wurde in der Studie von Poore et al. der Erfolg der Punktion über radiographischen Nachweis von Kontrastmittel im Gelenkspalt bewertet [24]. Dabei war entscheidend, ob Kontrastmittel intraartikulär auf Röntgenaufnahmen sichtbar war. Mereu et al. nutzten ebenfalls eine Kombination aus Kontrastmittel und Methylblau, wobei der Punktionsverlauf zunächst per Röntgen kontrolliert und anschließend durch Präparation und makroskopische Bewertung von Gelenkknorpelverfärbungen (zur Feststellung von iatrogenen Schäden) ergänzt wurde [21]. Zusätzlich wurde die Zahl der Nadelpositionierungen erfasst, was eine genauere Einschätzung des technischen Schwierigkeitsgrads ermöglichte [23]. Gandini et al. bewerteten den Punktionserfolg durch eine Kombination aus sichtbarer Gelenkdistension nach Salininjektion sowie der Möglichkeit, anschließend Synovialflüssigkeit zu aspirieren. Nur wenn beide Kriterien erfüllt waren, galt der Zugang als erfolgreich [22]. Die in der vorliegenden Studie angewandte Methode zur Erfolgskontrolle weist eine deutliche methodische Ähnlichkeit zur Arbeit von Bodaan et al [25]. In dieser und in der vorliegenden Untersuchung wurde ein Farbstoff gezielt in die zu punktierende Struktur injiziert, mit dem Ziel, die Punktion und den Injektionsverlauf nachträglich anatomisch sichtbar zu machen [25]. Während Bodaan Methylblau verwendete und damit alle intraartikulären Strukturen des Ellbogengelenks nach der Dissektion einfärben konnte, wurde in der vorliegenden Studie Lebensmittelfarben verwendet, die makroskopisch sichtbar waren, um den Erfolg der Bursa-Punktion festzustellen. In beiden Studien erfolgte die Beurteilung ausschließlich über die direkte visuelle Kontrolle nach der Präparation, was in den Kadavermodellen eine Bewertung des Punktionserfolgs von Ellbogen in der gesamten abgesetzten Vorderextremität [25] bzw. des Hufrollenschleimbeutels in der distalen Extremität ermöglicht.

Ein relevanter Aspekt des vorliegenden Versuchsdesigns ist die Verwendung fünf unterschiedlicher Farbstoffe zur makroskopischen Erfolgskontrolle, was sich für die Beurteilung mehrerer Punktionen an einem Bein als vorteilhaft bestätigte. Die Analyse der Ergebnisse zeigte, dass Farben mit hohem Kontrast zum umgebenden Gewebe –Blau und Grün – die höchste Quote der Erfolgsbestätigung aufwiesen. Diese Farben ließen sich in der Präparation zuverlässig erkennen. Demgegenüber zeigten Braun und Rosa eine deutlich geringere Quote der Erfolgsbestätigung. Es ist möglich, dass diese niedrigeren Quoten nicht (nur) auf technische Fehler bei der Punktion zurückzuführen sind, sondern auch auf die eingeschränkte Erkennbarkeit dieser Farbtöne im Kontext der natürlichen Farben der Gewebe. Die farbliche Ähnlichkeit zu Geweben wie Sehnen, Fettgewebe oder Bindegewebsstrukturen könnte dazu geführt haben, dass selbst korrekt platzierte Injektionen bei der Auswertung nicht als solche zu erkennen waren. Insbesondere bei Braun ist es denkbar, dass erfolgreiche Punktionen fälschlicherweise als negativ gewertet wurden, was die Gesamt-Erfolgsquote des Experiments beeinflusst haben könnte. Aus diesem Grund war die in Vorversuchen auch verwendete rote Farbe aufgrund ihrer geringen Differenzierbarkeit nicht für die Studie verwendet worden. Für zukünftige Studien erscheint daher die gezielte Auswahl Farbstoffen, die farblich einen starken Kontrast zum Gewebe darstellen, essenziell um die Sensitivität zu erhöhen.

Die Methode der vorliegenden Arbeit erlaubt, dass die Punktionen *in vitro*, also an isolierten Kadavergliedmaßen, durchgeführt wurden. Dieses Studiendesign ermöglichte eine standardisierte Durchführung mehrerer Punktionen pro Bein, was ermöglicht hat zu zeigen, dass das individuelle Bein keinen Einfluss auf den Erfolg der Punktion hatte. Dennoch ist zu betonen, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf klinische Bedingungen nur eingeschränkt möglich ist, da wichtige Faktoren wie Bewegung, Muskeltonus, Schmerzreaktionen oder das Verhalten des lebenden Tieres nicht berücksichtigt werden konnten. Um die tatsächliche Praxistauglichkeit und Reproduzierbarkeit der untersuchten Punktionstechnik unter realen Bedingungen zu bewerten, wäre ein ergänzender *in vivo*-Versuch von großer Bedeutung. Ein entsprechender klinischer Ansatz mit *in vivo*-Punktionen in Ergänzung zu den isolierten Beinen wurde beispielsweise in einer Studie zur Punktion des Hufrollenschleimbeutels

[14] sowie in einer Studie zur Punktion des Distalen Intertarsalgelenks verwendet [26]
Eine solche ergänzende in vivo-Validierung könnte auch als Folgearbeit zur vorliegenden Studie wertvolle Erkenntnisse über die Handhabbarkeit, die Erfolgsrate unter Feldbedingungen sowie potenzielle Komplikationen liefern und die in dieser Studie entwickelten Ergebnisse weiter absichern.

6. ANHANG:

Bein	Höhe (MW) mm	Tiefe mm	Student	Farbe	getroffen?	
1	40,4	70,5	A	Blau	Ja	
			B	Grün	Ja	
			C	Gelb	Ja	
			D	Rosa		Nein
			E	Braun	Ja	
2	38,8	59,9	A	Blau	Ja	
			B	Grün	Ja	
			C	Gelb	Ja	
			D	Rosa	Ja	
			E	Braun	Ja	
3	40,3	60,0	A	Blau	Ja	
			B	Grün	Ja	
			C	Gelb		Nein
			D	Rosa	Ja	
			E	Braun	Ja	
4	41,2	47,5	A	Blau	Ja	
			B	Grün	Ja	
			C	Gelb	Ja	
			D	Rosa	Ja	
			E	Braun	Ja	
5	41,2	48,7	A	Blau	Ja	
			B	Grün	Ja	
			C	Gelb	Ja	
			D	Rosa	Ja	
			E	Braun	Ja	
6	35,6	60,5	A	Blau	Ja	
			B	Grün	Ja	
			C	Gelb		Nein
			D	Rosa		Nein
			F	Braun		Nein
7	28,8	56,5	A	Blau	Ja	
			B	Grün		Nein
			C	Gelb		Nein
			D	Rosa	Ja	
			F	Braun		Nein
8	43,7	67,6	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb		Nein
			J	Rosa		Nein
			F	Braun	Ja	
9	31,4	62,0	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb	Ja	
			J	Rosa		Nein
			K	Braun	Ja	
10	33,8	69,7	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb	Ja	
			J	Rosa	Ja	
			K	Braun	Ja	

Bein	Höhe (MW) mm	Tiefe mm	Student	Farbe	getroffen?	
11	51,1	63,6	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb	Ja	
			J	Rosa	Ja	
			K	Braun	Ja	
12	40,2	65,9	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb	Ja	
			J	Rosa		Nein
			K	Braun	Ja	
13	47,0	66,3	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb	Ja	
			J	Rosa	Ja	
			K	Braun		Nein
14	54,8	53,0	G	Blau	Ja	
			H	Grün	Ja	
			I	Gelb	Ja	
			J	Rosa	Ja	
			K	Braun	Ja	
15	39,8	54,2	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb	Ja	
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun	Ja	
16	46,3	57,4	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb	Ja	
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun	Ja	
17	31,8	41,0	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb	Ja	
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun	Ja	
18	36,1	59,7	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb		Nein
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun		Nein
19	43,5	45,2	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb	Ja	
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun	Ja	
20	47,5	64,1	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb	Ja	
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun	Ja	

Bein	Höhe (MW) mm	Tiefe mm	Student	Farbe	getroffen?	
21	60,8	67,4	L	Blau	Ja	
			M	Grün	Ja	
			N	Gelb	Ja	
			O	Rosa	Ja	
			P	Braun		Nein
22	39,0	44,5	Q	Blau	Ja	
			R	Grün	Ja	
			S	Gelb	Ja	
			T	Rosa	Ja	
			U	Braun		Nein
23	34,0	56,6	Q	Blau	Ja	
			R	Grün	Ja	
			S	Gelb	Ja	
			T	Rosa		Nein
			U	Braun	Ja	
24	43,9	57,3	Q	Blau	Ja	
			R	Grün	Ja	
			S	Gelb	Ja	
			T	Rosa	Ja	
			U	Braun		Nein
25	30,6	54,0	Q	Blau	Ja	
			R	Grün	Ja	
			S	Gelb	Ja	
			T	Rosa	Ja	
			U	Braun	Ja	
26	41,4	38,8	Q	Blau	Ja	
			R	Grün	Ja	
			S	Gelb	Ja	
			T	Rosa	Ja	
			U	Braun		Nein

7. Quellen:

- [1] Murray RC, Dyson SJ, Tranquille C, Adams V. Association of type of sport and performance level with anatomical site of orthopaedic injury diagnosis. *Equine Vet J Suppl.* 2006;(36):411–6. doi:10.1111/j.2042-3306.2006.tb05578.x.
- [2] Goodship AE, Birch HL, Wilson AM. The pathobiology and repair of tendon and ligament injury. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1994;10(2):323–49. doi:10.1016/s0749-0739(17)30359-0.
- [3] Moyer W. Clinical examination of the equine foot. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1989;5(1):29–46. doi:10.1016/s0749-0739(17)30602-8.
- [4] Pool RR, Meagher DM, Stover SM. Pathophysiology of navicular syndrome. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1989;5(1):109–29. doi:10.1016/s0749-0739(17)30606-5.
- [5] Kainer RA. Clinical anatomy of the equine foot. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1989;5(1):22–7. doi:10.1016/S0749-0739(17)30601-6.
- [6] Schumacher J, Schramme MC, Schumacher J, DeGraves FJ. Diagnostic analgesia of the equine digit. *Equine Vet Educ.* 2013;25(8):408–21. doi:10.1111/eve.12001.
- [7] Baumgartner W. Probenahme, Labor und Diagnostik. *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere.* 9th ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014;377–383. doi:10.1055/b-003-124636.
- [8] Baxter GM. Principles of therapy for lameness. *Adams and Stashak's lameness in horses.* 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2021;886–893. doi:10.1002/9781119276715
- [9] Verschooten F, Desmet P, Peremans K, Picavet T. Navicular disease in the horse: The effect of controlled intrabursal corticoid injection. *J Equine Vet Sci.* 1990;10(4):316–20. doi:10.1016/S0737-0806(06)80018-3.

- [10] McIlwraith CW. Use of sodium hyaluronate (hyaluronan) in equine joint disease. *Equine Vet Educ*. 1997;9:296–303. doi:10.1111/j.2042-3292.1997.tb01747.x.
- [11] Morton AJ. Diagnosis and treatment of septic arthritis. *Vet Clin North Am Equine Pract*. 2005;21(3):627–49. doi:10.1016/j.cveq.2005.08.001.
- [12] Schramme MC, Boswell JC, Hamhougias K, Toulson K, Viitanen M. An in vitro study to compare 5 different techniques for injection of the navicular bursa in the horse. *Equine Vet J*. 2000;32(3):263–7. doi:10.2746/042516400776563635.
- [13] Allen AK, Johns S, Norvall A, Breen M. How to perform direct digital radiography-guided navicular bursa injection. *Proc Am Assoc Equine Pract*. 2012;58:392–396.
- [14] Nottrott K, De Guio C, Khairoun A, Schramme M. An ultrasound-guided, tendon-sparing, lateral approach to injection of the navicular bursa. *Equine Vet J*. 2017;49(5):655–61. doi:10.1111/evj.12673.
- [15] Spriet M, David F, Rossier Y. Ultrasonographic control of navicular bursa injection. *Equine Vet J*. 2004;36(7):637–9. doi:10.2746/0425164044864534.
- [16] Dabareiner RM, Carter GK, Honnas CM. How to perform navicular bursa injection and indications for its use. *Proc Am Assoc Equine Pract* 2001;47:281–284. (DOI?)
- [17] Waguespack R, Hanson RR. Navicular syndrome in equine patients anatomy, causes, and diagnosis. *Compend Contin Educ Vet*. 2010 Dec;32(12):E7. PMID: 23705198.
- [18] Wahl K, Adams SB, Moore GE. Contamination of joints with tissue debris and hair after arthrocentesis: The effect of needle insertion angle, spinal needle gauge, and insertion of spinal needles with and without a stylet. *Vet Surg*. 2012;41(3):391–8. doi:10.1111/j.1532-950X.2011.00969.x.
- [19] Gilbertie JM, Schnabel LV, Stefanovski D, Kelly DJ, Jacob ME, Schaer TP. Gram-negative multi-drug resistant bacteria influence survival to discharge for horses with septic

synovial structures: 206 cases (2010–2015). *Vet Microbiol.* 2018;226:64–73.

Doi:10.1016/j.vetmic.2018.10.009.

[20] Marsh CA, Schneider RK, Sampson SN, Roberts GD. Response to injection of the navicular bursa with corticosteroid and hyaluronan following high-field magnetic resonance imaging in horses with signs of navicular syndrome: 101 cases (2000–2008). *J Am Vet Med Assoc.* 2012;241(10):1353–64. doi:10.2460/javma.241.10.1353.

[21] Carlson N. Case 14.8 – Foreign body penetration of the hoof. In: Orsini JA, Grenager NS, de Lahunta A, editors. *Comparative Veterinary Anatomy*. Amsterdam: Academic Press; 2022. P. 918–924. Doi:10.1016/B978-0-323-91015-6.00079-0.

[22] Gandini M. Comparison of three dorsal techniques for arthrocentesis of the distal interphalangeal joint in horses. *J Am Vet Med Assoc.* 2007 Jul 15;231(2):254–8. Doi:10.2460/javma.231.2.254. PMID:17630893.

[23] Mereu M, Hawkes C, Cuddy LC, Perez Olmos JF, Pazzola M, McNally TP. Evaluation of four techniques for injection of the proximal interphalangeal joint in horses. *Vet Surg.* 2019 Nov;48(8):1437–43. doi:10.1111/vsu.13296.

[24] Poore LA, Lambert KL, Shaw DJ, Weaver MP. Comparison of three methods of injecting the proximal interphalangeal joint in horses. *Vet Rec.* 2011 Mar 19;168(11):302. doi:10.1136/vr.c6676.

[25] Bodaan CJ, Riley CB, Engeli E. Evaluation of a caudolateral approach for arthrocentesis and injection of the equine elbow joint. *Vet Rec.* 2016;179:173. Doi:10.1136/vr.103738.

[26] Just EM, Patan B, Licka TF. Dorsolateral approach for arthrocentesis of the centrodistal joint in horses. *Am J Vet Res.* 2007 Sep;68(9):946–52. Doi:10.2460/ajvr.68.9.946.