

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
Institut für Anästhesiologie und perioperative Intensivmedizin
(Stv. Leitung / Stv. Departmentsprecherin Priv.-Doz. Dr.med.vet. Ulrike Auer)

**Proximale Radialis-, Ulnaris-, Medianus-, und Musculocutaneus
Blockade bei einer Katze, welche einer Unterarmoperation
unterzogen wurde: eine Literaturübersicht und Fallbericht**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Laura Zuzzi-Krebitz

Wien, im November 2021

Betreuerin

Dr. Ivana Calice

Zweitbetreuer

Robert Trujanovic DVM

Gutachter

Dr. Friederike Pohlin

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern Dr. Ivana Calice und Robert Trujanovic DVM herzlich dafür bedanken, dass sie mich beim Verfassen meiner Arbeit so gut unterstützt und immer viel Geduld bei der Beantwortung offener Fragen aufgebracht haben. Großer Dank gilt meiner Schwester Anna und meiner Cousine Kathi, die mich 6 Jahre lang durch das Studium begleitet haben und mir immer eine große Stütze waren. Gemeinsam sind wir durch dick und dünn gegangen und haben es geschafft jede Hürde dieses Studiums zu bewältigen. Ich bin euch unendlich dankbar und kann mich glücklich schätzen solch unglaublich großartige Menschen an meiner Seite zu haben. Ihr habt meine Studienzeit zu einer unvergesslich schönen Zeit gemacht. Besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, meinen Brüdern und meiner Oma, die immer hinter mir stehen, mich unterstützen, jederzeit ein offenes Ohr für mich haben und mir immer wieder Zuversicht geben, auch in schwierigen Phasen nicht aufzugeben und mein Ziel konsequent zu verfolgen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Relevante Anatomie der Vorderextremität.....	3
2.2	Regionalanästhesie der Vorderextremität.....	5
2.3	Lokalanästhetika	10
2.3.1	Wirkmechanismus der Lokalanästhetika.....	10
2.3.2	Physikalisch-chemische Eigenschaften	11
2.3.3	Spezifische Medikamente.....	12
2.3.3.1	Lidocain.....	12
2.3.3.2	Mepivacain	13
2.3.3.3	Bupivacain.....	13
2.3.3.4	Ropivacain.....	13
2.4	Komplikationen	14
2.4.1	Toxische Nebenwirkungen.....	14
2.4.2	Periphere Nervenverletzung	15
2.5	Equipment.....	16
2.5.1	Ultraschall.....	16
2.5.2	Periphere Nervenstimulatoren	19
2.5.3	Nadeln.....	20
2.5.3.1	Nadelstärke und Nadellänge.....	20
2.5.3.2	Design der Nadelspitze	21
2.5.3.3	Echogene Nadeln.....	22
2.5.4	Injektionsdruckmessgerät	22
2.6	RUMM Blockade Literaturübersicht	23
3	Material und Methode.....	28
3.1	Fallbericht	28
3.1.1	Nationale und Anamnese.....	28
3.1.2	Präanästhetische Untersuchungen, Schmerztherapie und Anästhesie.....	28
3.1.2.1	Allgemeine klinische Untersuchung und Diagnostik	28

3.1.2.2	Schmerztherapie	29
3.1.2.3	Präanästhetische Untersuchung	29
3.1.2.4	Prämedikation, Narkoseeinleitung und Anästhesieerhaltung	29
3.1.3	Durchführung der RUMM Blockade	30
3.1.4	Intraoperative Überwachung und chirurgische Versorgung	32
3.2	Literaturrecherche	34
4	Resultate	36
4.1	Fallbericht	36
4.2	Literaturrecherche	37
5	Diskussion	40
6	Zusammenfassung	43
7	Summary	45
8	Abkürzungsverzeichnis	47
9	Abbildungsverzeichnis	48
10	Tabellenverzeichnis	49

1 Einleitung

Die veterinärmedizinische Regionalanästhesie (RA) hat in den letzten 10 Jahren rapide an Popularität gewonnen. Literatur und die kontinuierliche Entwicklung neuer Techniken bei Kleintieren belegen dies. Die Einführung neuer Technologien wie Nervenstimulation und Ultraschall, die Objektivität und Präzision des Verfahrens erhöhte und die vielversprechenden positiven perioperative Effekte der RA ermutigten Kliniker, diese Techniken in ihre täglichen perioperativen anästhetischen und analgetischen Versorgung von Tieren zu integrieren (Portela et al. 2018). Das Schmerzmanagement bei tierärztlichen Patienten ist ein wichtiger Bestandteil einer angemessenen Versorgung. Eine multimodale Analgesie, die sowohl systemisch als auch lokal/regional verabreichte Medikamente umfasst, ist im Allgemeinen der effektivste Ansatz zur Schmerzlinderung (Grubb und Lobprise 2020). Lokalanästhetika haben die einzigartige Fähigkeit die Übertragung von Schmerz (bei bewussten Patienten) oder nozizeptiven Reizen (bei betäubten Patienten) vollständig blockieren zu können und sind somit in der Lage sowohl eine tiefgreifende Analgesie zu bewirken als auch die Entwicklung einer sekundären (zentralen) Schmerzsensibilisierung zu verhindern (Grubb und Lobprise 2020, Lemke und Dawson 2000). Aus diesem Grund werden Lokal- und Regionalanästhetika oft zusammen mit Opioiden, Alpha-2-Rezeptor-Agonisten, Dissoziationsmitteln und entzündungshemmenden Medikamenten als Teil einer multimodalen Strategie zur Schmerzbehandlung eingesetzt (Lemke und Dawson 2000). Außerdem führt die loko-regionale Verabreichung von Medikamenten im Vergleich zur systemischen Bolusverabreichung in der Regel zu einer geringeren Inzidenz von dosisabhängigen unerwünschten Wirkungen. Aufgrund des Potenzials für eine tiefgreifende Analgesie und der hohen Sicherheitsspanne (bei korrekter Anwendung) dieser Medikamentenklasse werden Lokalanästhetika als Teil des analgetischen Protokolls bei der Mehrheit der Patienten, die sich chirurgischen Eingriffen unterziehen oder traumatische Verletzungen erleiden, empfohlen (Grubb und Lobprise 2020). Bei korrekter Durchführung können diese Regionalanästhesietechniken entweder eine Alternative zu Opioiden und anderen systemischen Analgetika darstellen, oder einen signifikanten Opioid-sparenden Effekt haben (Mosing et al. 2010, Romano et al. 2016).

Ziel dieser Arbeit ist es anhand eines Fallberichtes und im Rahmen einer Literaturrecherche die Vorteile der Regionalanästhesie anhand der Radialis-, Ulnaris-, Medianus-, und Musculocutaneus Blockade (RUMM) als intraoperative Analgesie bei operativen Eingriffen am Unterarm zu erläutern. Der Fallbericht beschreibt die Effektivität eines neuen Zugangs bei der Durchführung der RUMM Blockade bei einer Katze, welche der Versorgung einer traumatischen Radius-Ulnafraktur unterzogen wurde.

2 Literaturübersicht

2.1 Relevante Anatomie der Vorderextremität

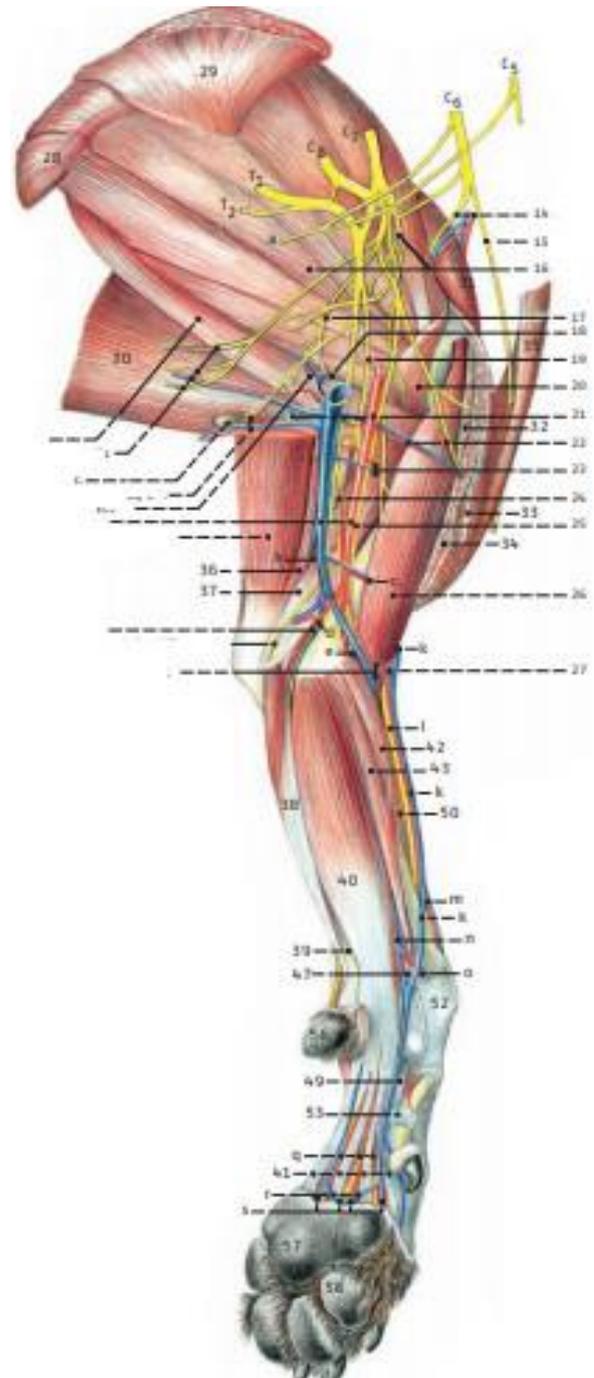
Der Plexus brachialis versorgt die sensorische, motorische und autonome Innervation der thorakalen Extremität. Er wird von den ventralen Ästen des 6., 7. und 8. zervikalen Spinalnerven und dem 1. thorakalen Spinalnerv gebildet, die sich im Axillarraum miteinander verbinden, um den suprascapularen (C6), subscapularen (C6 und C7), muskulokutanen (C7), axillären (C7 und C8), radialen (C7, T8 und T1), medianen (C8 und T1) und ulnaren (C8 und T1) Nerv zu bilden (Allam et al. 1952, Portela et al. 2018). Da diese Arbeit die RUMM Blockade zum Hauptthema hat, wird im folgenden Absatz auf die relevante Anatomie für den proximalen und distalen RUMM Block eingegangen. **Der proximale RUMM-Block** wird am proximalen Drittel des Humerus durchgeführt. An dieser Stelle verlaufen die RUMM-Nerven noch zusammen auf der medialen Seite des Humerus, kaudal des *M. biceps brachii* und sind von der Axillarscheide umhüllt (Portela et al. 2019, Tayari et al. 2019). **Der distale RUMM-Block** wird in der mittleren Humerusregion durchgeführt, hier liegt der *N. radialis* auf der lateralen Seite des Oberarmknochens zwischen den seitlichen und akzessorischen Köpfen des *M. triceps brachii* und des *M. brachialis*, während die übrigen Nerven medial verlaufen (Trumpatori et al. 2010). Motorisch versorgt der *N. radialis* die Strecker des Ellbogen- und des Karpalgelenks sowie der Zehngelenke (*M. triceps brachii*, *M. extensor carpi radialis*, *M. extensor digitorum communis*, *M. extensor digitorum lateralis*, *M. extensor carpi ulnaris*). Sensibel werden die Dorsalseite des Fußes sowie die Dorsolateralseite des Unterarms versorgt (Salomon et al. 2020). Der *N. musculocutaneus* verläuft angrenzend an den kaudalen Rand des *M. biceps brachii* und kranial zur *Arteria (A.) brachialis* (Portela et al. 2019) und versorgt den *M. coracobrachialis*, *M. biceps brachii* und *M. brachialis* (Salomon et al. 2020). Der *N. medianus* und der *N. ulnaris* verlaufen typischerweise zwischen der *A. und Vena (V.) brachialis* (Portela et al. 2019). Der *N. medianus* versorgt den *M. flexor carpi radialis*, *M. pronator teres*, *M. pronator quadratus*, Anteile des *M. flexor digitorum profundus* und den *M. flexor digitorum superficialis*. Der *N. ulnaris* innerviert die Beuger des Karpalgelenks und der Zehngelenke (*M. flexor carpi ulnaris* und Anteile des *M. flexor digitorum profundus*) (Salomon et al. 2020).

Abb. 2 und 3: (Budras 2012)

Membrum thoracicum:

Legende:

a N. phrenicus, **b** A. et V. profunda brachii, **c** A. et V. bicipitalis, **d** A. et V. collateralis ulnaris, **e** A. et V. transversa cubiti, **f** A. et V. recurrens ulnaris, **g** A. et V. ulnaris, **h** R. dors. a. et n. ulnaris, **i** A. et V. interossei caud., **j** A. et V. profunda antebrachia, **k** V. cephalica, **l** R. med. a. antebrachialis supf. cran. et R. supf. N. radialis, **m** V. cephalica acc, **n** A. et V. radialis, **o** R. carpeus dors., **p** N. digitalis palm. I. abaxialis, **q** Aa. et Nn. Digitales palmares comm., **r** Arcus palmaris supf., **s** Vv. Digirales palmares comm.

Abb. 2: caudomediale Ansicht**Abb. 3:** caudomediale Ansicht

Legende:

1 M. teres major, **2** A., V. et N. thoracodorsalis, **3** Ln. axillaris acc., **4** A., V. et N. thoracica (-us) lat., **5** A. et V. subscapularis, **6** A. et V. brachialis, **7** M. tensor fasciae antebrachia, **8** N. ulnaris, **9** N. cutaneus antebrachia caud., **10** A. et V. brachialis superficialis, **11** N. cutaneus antebrachia med. N. musculocutanei, **12** A. et V. interossei com., **13** A. et V. mediana, **14** A., V. et N. suprascapularis, **15** N. axillaris acc. (C6), **16** M. et N. subscapularis, **17** N. axillaris, **18** A. et V. circumflexa humeri caudalis, **19** N. radialis, **20** M. coracobrachialis, **21** A., V. et Ln. axillaris, **22** A. et V. thoracica ext. et N. pectoralis cran., **24** N. medianus, **25** N. musculocutaneus, **26** M. biceps brachii, **27** V. mediana cubiti, **28** M. serratus ventr. thoracis, **29** M. serratus ventr. cervicis, **30** M. latissimus dorsi, **31** M. supraspinatus, **32** M. pectoralis prof., **33** M. pectoralis desc., **34** M. pectoralis transversus, **35** M. cleidobrachialis, M. triceps brachii: **36** Caput longum **37** caput mediale, M. flexor carpi ulnaris: **38** Caput ulnare, **39** Caput humerale, **40** M. Flexor digitales supf., **41** Tendines, **42** M. pronator teres, **43** M. flexor carpi radiales, **44** Tendo, **45** M. pronator quadratus, M. flexor digitalis prof.: **46** Caput ulnare, **47** Caput humerale, **48** Caput radiale, **49** Tendo resp. Tendines, **50** M. extensor carpi radialis, **51** Lig. Carpi radiatum, **52** Retinaculum flexorum, **53** Lig. Anulare palmare, **54** Manica flexoria, **55** Ligg. Anulare digiti prox. et dist., **56** Torus carpeus, **57** Torus metacarpeus, **58** Torus digitalis

2.2 Regionalanästhesie der Vorderextremität

Regionalanästhesietechniken für die thorakale Gliedmaße des Hundes werden seit über 50 Jahren praktiziert. Fundierte anatomische Kenntnisse sind erforderlich, um die Erfolgsrate zu erhöhen und die mit diesen Blockaden verbundenen möglichen Komplikationen zu minimieren (Campoy und Read 2013). Die Nerven der Vorderextremität können durch verschiedene regionalanästhetische Techniken von ihrem Austritt aus den *Foramina intervertebrales* bis zu ihren Nervenenden desensibilisiert werden. Beispiele verschiedener Zugänge der thorakalen Gliedmaße sind der Paravertebrale Plexus brachialis Block, der Subskalenische brachialis Plexus Block, der Axilläre brachialis Plexus Block und der RUMM Block (Portela et al. 2018).

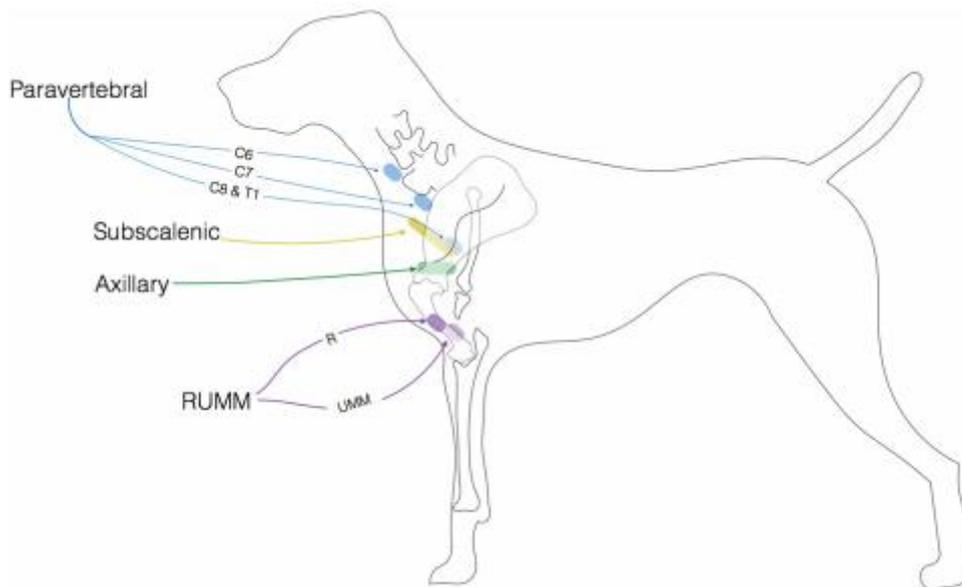


Abb. 1: Beschriebene Zugänge für Nervenblockaden der thorakalen Gliedmaße (Portela et al. 2018).

Da viele potenziell invasive und schmerzhafte Eingriffe an den thorakalen Gliedmaßen durchgeführt werden, ist es wichtig, diesen Teil des Körpers sicher und effektiv lokal/regional anästhesieren zu können (Campoy und Read 2013). In diesem Abschnitt wird kurz auf die verschiedenen möglichen Zugänge für Nervenblockaden an der Vorderextremität eingegangen. Jedoch ist Hauptaugenmerk dieser Arbeit die RUMM Blockade, welche in einem späteren Abschnitt (2.6 RUMM Blockade) gesondert behandelt wird. In Tabelle 1 sind die Indikationen und relevante Kommentare zu den peripheren Nervenblockaden der thorakalen Extremität zusammengefasst.

Für Eingriffe an Schulter oder Oberarm ist ein zervikaler paravertebraler oder subskalenärer Plexus brachialis Block erforderlich. Verfahren, die den Ellenbogen oder Radius und Ulna betreffen, können mit einem axillären Plexus brachialis Block durchgeführt werden, während Verfahren, die den Karpus betreffen, erfolgreich mit einem RUMM Block direkt proximal des Ellenbogens ausgeübt werden können (Campoy und Read 2013).

Der zervikale paravertebrale Block (PVPB-Block), ist eine Technik, welche auf die Blockierung der ventralen Äste der Spinalnerven, die den Plexus brachialis (PB) bilden, zielt (Hofmeister et al. 2007, Lemke und Creighton 2008). Dieser bewirkt eine Analgesie für fast die gesamte thorakale Extremität, einschließlich des Schultergelenks, und blockiert dadurch effektiv die Strukturen proximal des Ellenbogens (Choquette et al. 2017). Verschiedene Verteilungsmuster und Komplikationen wurden im Zusammenhang mit PVPB-Block berichtet (Portela et al. 2018). Rioja et al. (2012) hat Farbstofflösung an unerwünschten Stellen festgestellt, wie z. B. Rückenmark (29-30 %), Pleura (4-13 %), Mediastinum (4-9,5 %) und Gefäßen (bis zu 4 %). In der Studie wurden diese Komplikationen jedoch auf die uneinheitliche Ultraschall -Visualisierung sowie auf die begrenzte Erfahrung bei der Durchführung von Ultraschall (US) gestützten Nervenblockaden zurückgeführt. Ebenfalls wurde vom Auftreten des Horner-Syndroms nach PVPB-Blockaden bei Hunden berichtet. Dies kann als Folge einer Ausbreitung des Lokalanästhetikums in den Epiduralraum, welche die Spinalsegmente T1-T3 beeinträchtigt oder infolge einer Blockade der zervikothorakalen Ganglien auftreten (Choquette et al. 2017, Viscasillas et al. 2013).

Die Blockade des BP über einen subskalenalen Zugang zielt darauf ab, die primären ventralen Äste der Spinalnerven C6, C7, C8 und T1 zu blockieren, die im kaudoventralen Bereich des Halses zwischen dem *Musculus (M.) scalenus ventralis* und dem *M. longus colli* verlaufen, bevor sie den Axillarraum erreichen. Eine vorläufige Kadaverstudie zeigte, dass bei der Injektion von zwei Farbstoffvolumina (0,3 und 0,4 ml/kg) mit einem US-geführten Ansatz C7, C8, T1 und der *Nervus (N.) phrenicus* mit beiden Volumina gleichmäßig angefärbt wurden, während C6 nur angefärbt wurde, wenn das höhere Volumen verwendet wurde (Portela et al. 2019). Der *N. phrenicus* entspringt aus C5, C6 und C7, verläuft entlang der ventralen Grenze des Skalenusmuskels und versorgt das Zwerchfell mit motorischer Innervation. Obwohl dies noch nicht untersucht wurde, kann eine bilaterale subskalenäre Blockade zu einer Zwerchfellparalyse führen. Bei Patienten mit eingeschränkter Atmung ist jedoch selbst bei unilateralen Blockaden an dieser Stelle Vorsicht geboten (Campoy und Read 2013). Es gibt keine klinischen Studien zur Bewertung der Wirksamkeit der Blockade des PB über einen subskalenalen Zugang. Nach den Erfahrungen der Autoren kann dieser Ansatz jedoch bei Eingriffen im proximalen Drittel der Vorderextremität, einschließlich Operationen am Schultergelenk, verwendet werden. Diese Blockade kann auch bei Tieren für Amputationen der Vorderextremität verwendet werden. Da der proximale Skapularbereich jedoch von den dorsalen Ästen der Spinalnerven und dem *N. accessorius* innerviert wird, sollte bei Tieren, die sich einer Amputation der Vordergliedmaße mit Skapulektomie unterziehen, eine zusätzliche Analgesie zur Vervollständigung des subskalenalen PB vorgesehen werden (Portela et al. 2019).

Campoy et al. (2010) beschreibt einen ultraschallgesteuerten Zugang des **axillären PB Block**, der auf die Wurzeln des PB abzielt. Diese Technik bietet eine Anästhesie der proximalen Strukturen, einschließlich des Humerus, sowie derjenigen, die weiter distal liegen (Campoy und Read 2013). Der traditionelle Ansatz, der für die Durchführung von PB-Blockaden (auf Höhe des Skapulohumeralgelenks) mit Hilfe von Nervenstimulation verwendet wurde, bietet typischerweise eine Anästhesie des Ellenbogens und der distalen Strukturen (Futema et al. 2002, Mahler und Adogwa 2008). Ergebnisse von der erfolgreichen klinischen Anwendung des PB Blocks auf Axillärhöhe mit Hilfe eines Nervenstimulators zur Reduzierung des Anästhesie- und Analgetikabedarf bei Hunden von De Marzo et al. (2012) und bei Katzen von Mosing et al. (2010), die sich einer orthopädischen Operationen an den thorakalen Gliedmaßen

unterziehen mussten, wurden veröffentlicht. Allerdings wurde von verschiedenen potenziellen Komplikationen, die im Zusammenhang mit dem axillären BP Block verbunden sind, berichtet (Portela et al. 2018). Adami und Studer (2015) beobachteten Kammerflimmern, nachdem die Nadel bei einer NS gestützten PB Blockade versehentlich in den Thorax eingeführt worden war. Bhalla und Leece (2015) stellten einen Pneumothorax 16 Stunden nach der Durchführung eines NS gestützten PB Blocks bei einem 23 kg schweren Hund mit einer 150-mm-Nadel fest, was deutlich macht, wie wichtig es ist, die richtige Nadellänge zu wählen und die entsprechenden Messungen vorzunehmen, um intrathorakale Punktionen zu vermeiden (Portela et al. 2018).

Tabelle 1: Geblockte Nerven, Indikationen und relevante Kommentare zu den peripheren Nervenblockaden der thorakalen Extremität (Portela et al. 2018).

Technik	Geblockte Nerven	Indikation	Kommentare
Paravertebraler BP-Block (US oder NS)*	C6, C7 and C8-T1	Amputationen der thorakalen Gliedmaßen Chirurgische Eingriffe proximal des Ellenbogens	Kein Nachweis einer Wirkung auf die dorsalen Äste der Spinalnerven daher konnte es keine vollständige Analgesie bei Amputationen bieten.
Subskalenischer BP-Block (US)*	C6, C7 and C8-T1	Amputationen der thorakalen Gliedmaßen Humerus-Chirurgie Chirurgie am Ellenbogen Radiale/Ulnare Chirurgie	Es blockiert die dorsalen Äste der Spinalnerven nicht und bietet daher keine vollständige Analgesie bei Amputationen
Axilläre BP-Block	<i>N. Musculocutanes, N. radialis, N. ulnaris, und N. medianus</i>	Chirurgie am distalen Humerus Chirurgie am Ellenbogen Radiale/Ulnare Chirurgie	Eine Erhöhung des empfohlenen Volumens könnte die Erfolgsrate dieser Blockade erhöhen. Verdünnung des Lokalanästhetikums könnte notwendig sein, um die Injektion toxischer Dosen zu vermeiden.
RUMM Block (US oder NS)	<i>N. Musculocutanes, N. radialis, N. ulnaris, und N. medianus</i>	Radiale/Ulnare Chirurgie Karpal-Chirurgie Chirurgie des Mittelhandknochens	

*Keine klinischen Studien veröffentlicht; daher basieren die Empfehlungen auf der Erfahrung der Autoren.

2.3 Lokalanästhetika

Lokalanästhetika sind einzigartig in ihrer Wirkungsweise. Im Gegensatz zu Medikamenten wie Opioiden, die Schmerzimpulse (oder nozizeptive Impulse) modulieren, sobald sie das zentrale Nervensystem (ZNS) erreichen, verhindern Lokalanästhetika, dass der Schmerzimpuls (oder nozizeptive Impuls) das ZNS erreicht. Dies spielt eine wichtige Rolle im nozizeptiven Weg (Grubb und Lobprise 2020).

2.3.1 Wirkmechanismus der Lokalanästhetika

Lokalanästhetika wirken hauptsächlich durch die Blockierung von Natriumkanälen (Na^+), wodurch eine Depolarisation der neuronalen Zellmembran verhindert und somit die Weiterleitung eines elektrischen Impulses als Reaktion auf schädliche Reize nicht stattfindet (Lerche 2016). Wenn Lokalanästhetika die Natriumkanäle der Nerven erreichen und in sie eindringen, können sie die Nervenaktivität unterbrechen, und es kommt zu einer Leitungsblockade. Für einen wirksamen Leitungsblock müssen schätzungsweise 75 % der Natriumkanäle inaktiviert werden. Natriumkanäle befinden sich während der verschiedenen Phasen des Aktionspotenzials in einem aktivierten-offenen, inaktivierten-geschlossenen und ruhenden-geschlossenen Zustand. In einem aktivierten oder geöffneten Zustand sind Natriumkanäle in der Lage, Impulse weiterzuleiten. Lokalanästhetika binden an offene Kanäle und überführen diese in einen inaktivierten oder geschlossenen Zustand. Die Geschwindigkeit des Eintritts und Austritts von Lokalanästhetika ist wirkstoffspezifisch. Intermediär wirkende Lokalanästhetika (Lidocain, Mepivacain) haben ein kurzes Ein- und Austrittsprofil, und lang wirkende Lokalanästhetika (Bupivacain) haben ein schnelles Ein- und langsames Austrittsprofil. Lokalanästhetika können auch an Natriumkanäle binden, die sich in einem inaktivierten-geschlossenen Zustand befinden, aber in diesem Fall ist die Bindung schwächer. Bei myelinisierten Nervenfasern tritt eine Nervenblockade an den Ranvier-Schnürringen auf, indem die Signalausbreitung durch einen Depolarisationssprung zwischen benachbarten Ranvier-Schnürringen unterbrochen wird. Myelinisierte Fasern sind empfindlicher für eine Leitungsblockade als nicht myelinisierte Fasern, da die Blockade von zwei Schnürringen die Wahrscheinlichkeit einer Impulsauslöschung erhöht, während die Blockade von drei oder mehr Schnürringen zu einer fast sicheren Auslöschung von Impulsen führt. Die Unterdrückung von

Impulsen in nicht-myelinisierten Nervenfasern nimmt mit der Länge der Faser, die dem Wirkstoff ausgesetzt ist, zu. Kleinere Fasern sind anfälliger für die Blockade durch Lokalanästhetika. Grund dafür ist der geringere Abstand zwischen den Ranvierschen Schnürringen bei myelinisierten Fasern und bei nicht myelinisierten Fasern die höhere Menge des Lokalanästhetikums im Vergleich zur Größe des Nervens (Cox et al. 2003).

2.3.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften

Lokalanästhetika sind tertiäre Amine, die mit einem aromatischen Ring über einen Ester oder ein Amid verbunden sind. Sie werden als Aminoester (z. B. Procain) bzw. Aminoamide (z. B. Lidocain, Bupivacain) bezeichnet. Der aromatische Ring ist lipophil, und die Substitution von Alkylgruppen am aromatischen Ring oder tertiären Amin erhöht die Lipidlöslichkeit und die Wirksamkeit. Das tertiäre Amin nimmt leicht Protonen auf und ist hydrophil. Der größte Teil der Lokalanästhetika hat einen pKa-Wert, der über dem physiologischen pH-Wert liegt und kommt in der hydrophilen protonierten Form vor. Das geladene Kation durchdringt Lipidmembranen nicht so leicht wie die ungeladene Form. Die Medikamente mit pKa-Werten, die näher am physiologischen pH-Wert liegen, haben tendenziell einen schnelleren Wirkeintritt. Lidocain (pKa 7,9) wirkt z.B. schneller als Bupivacain (pKa 8,1) (Lemke und Dawson 2000). Ester sind in der Regel kürzer wirksam als Amide, da sie durch Plasma-Cholinesterasen hydrolysiert werden können. Aminoester wie z.B. Procain sind daher nicht auf die Clearance der Leber angewiesen, während Amide hepatisch metabolisiert werden. Dauer der Wirkung nimmt mit zunehmender Lipidlöslichkeit zu und nimmt mit steigender systemischer Absorption ab. Arzneimittel, die eine Vasodilatation verursachen, wie Lidocain, haben eine kürzere Wirkungsdauer (Lerche 2016).

2.3.3 Spezifische Medikamente

In der heutigen tierärztlichen Praxis werden Lokalanästhetika vom Amid-Typ bevorzugt, da sie im Vergleich zu Ester-Präparaten eine längere Wirkdauer haben (Lerche 2016).

Siehe Tabelle 2. für zusammenfassende Informationen.

Tabelle 2: Klinische Pharmakologie von Lokalanästhetika bei Katzen und Hunden modifiziert nach Lerche 2016

	Lidocain	Mepivacain	Bupivacain	Ropivacain
Wirkungseintritt (Minuten)	5-10	5-10	20-30	20-30
Wirkdauer	1-3	1,5-3	3-8	3-8
Klinische Dosis (mg/kg)	0,5-2,0 Hund 0,5 -1,5 Katze	Bis zu 3,0 Hund Bis zu 1,5 Katze	1,0-1,5 Hund 1,0 Katze	Bis zu 3,0 Hund *
Toxische Dosis (mg/kg)	6,0 Hund 3,0 Katze	6,0 Hund 3,0 Katze	3,0 Hund 2,0 Katze	5,0 Hund *

* Die toxische Dosis wurde bei Katzen nicht ermittelt. Empfohlen wird eine Gesamtdosis von 2mg/kg nicht zu überschreiten.

2.3.3.1 Lidocain

Lidocain hat einen pKa-Wert von 7,9 und einen kurzen Wirkungseintritt. Die Wirkdauer beträgt bis zu 2 Stunden. Dies ist auf die geringe der Proteinbindung (70 %) und der Tatsache, dass es ein starker Vasodilatator ist, zurückzuführen. Durch die Vasokonstriktion von Epinephrin kann eine Verlängerung der Wirkungsdauer erzielt werden. Wenn intravenös verabreicht (IV), ist Lidocain weniger toxisch als andere Medikamente vom Amid-Typ. Die intravenöse Applikation von Lidocain ist in der systemischen Schmerztherapie, sowie bei der Behandlung ventrikulärer Rhythmusstörungen indiziert (Lerche 2016).

2.3.3.2 Mepivacain

Mepivacain hat einen niedrigen pKa-Wert von 7,6 und damit auch einen schnellen Wirkungseintritt und eine Wirkdauer von 1,5–3 Stunden (Lerche 2016).

2.3.3.3 Bupivacain

Bupivacain hat einen pKa-Wert von 8,1, ist stark proteingebunden (95 %) und lyophil, was zu einer längeren Wirkungsdauer führt (6–8 Stunden). Die Sicherheitspanne ist im Vergleich zu Lidocain, Mepivacain und Ropivacain am geringsten (Lerche 2016).

2.3.3.4 Ropivacain

Ropivacain hat ähnliche physikochemische Eigenschaften wie Bupivacain und hat daher einen ähnlichen Wirkungseintritt und eine ähnliche Wirkungsdauer. Andere Lokalanästhetika werden als racemische Mischungen synthetisiert, während Ropivacain ein reines S-Enantiomer ist und eine größere Sicherheitspanne als Bupivacain aufweist (Lerche 2016).

2.4 Komplikationen

2.4.1 Toxische Nebenwirkungen

Die Verabreichung von Lokalanästhetika kann Neuro- und Kardiotoxizität verursachen. Neurotoxizität entsteht durch die Wirkung von Lokalanästhetika, die Hemmungswege im Gehirn blockieren, was zu einer unkontrollierten Erregungsaktivität mit klinischen Symptomen wie Zuckungen und Krampfanfällen führt (Cox et al. 2003). Wenn die Plasmaspiegel weiter ansteigen, treten kardiotoxische Wirkungen aufgrund der Blockade von Natriumkanälen auf, dies führt zu einer Verringerung des Anstiegs der Phase 0 des kardialen Aktionspotenzials (Beecroft und Davies 2013). Damit verbundene Veränderungen im EKG können beobachtet werden, einschließlich verlängerter PR und QRS-Komplexe (Barletta und Reed 2019). Im Allgemeinen tritt systemische Toxizität eher bei Wirkstoffen mit hoher Lipidlöslichkeit auf (z. B. Bupivacain, Etidocain, Tetracain). Außerdem sind die S-Enantiomere weniger toxisch als die R-Enantiomere, wodurch Levobupivacain und Ropivacain sicherer als ihre rechtsdrehenden Gegenstücke sind (Åberg 1972). Lokalanästhesietechniken sollten mit Vorsicht durchgeführt werden, da eine versehentliche Medikamentengabe in eine Vene oder eine unerwartete schnelle systemische Absorption zu einem kardiovaskulären Kollaps führen kann (Lerche 2016). Chemische Nervenverletzungen können durch die Injektion von Lokalanästhetika entstehen. Bei Injektion von Lokalanästhetikum direkt in den Nerv oder in angrenzendes Gewebe kann eine akute Entzündungsreaktion oder eine chronische Fibrose verursacht werden, die den Nerv indirekt mit einbezieht. Es gibt Hinweise darauf, dass fast alle Lokalanästhetika unter bestimmten Bedingungen myotoxische, neurotoxische und zytotoxische Wirkungen in verschiedenen Geweben haben können; die Lokalanästhetika unterscheiden sich jedoch in ihrem neurotoxischen Potenzial. Es besteht auch ein direkter Zusammenhang zwischen der Konzentration des Lokalanästhetikums und der Dauer der Einwirkung auf den Nerv, was zum Absterben von Schwann-Zellen, zur Infiltration mit Makrophagen und zur Schädigung des Myelins führt. Einige Lokalanästhetika haben eine intrinsische vasokonstriktorische Wirkung, die den Blutfluss zu den Nerven verringern kann, was zu Ischämie und Schädigung führen kann (Barrington et al. 2018).

2.4.2 Periphere Nervenverletzung

Eine direkte Verletzung der Nerven durch die Nadel oder die Hochdruckinjektion kann zu Empfindungsstörungen, Schmerzen, Unwohlsein und/oder motorischer Schwäche führen, die vorübergehend, über Tage bis Jahre, oder dauerhaft sein können (Lerche 2016). Zu den mechanischen oder traumatischen Verletzungen zählen Kompression, Dehnung, Rissbildung oder Injektionsverletzungen. Die Kompression oder Einklemmung von Nerven kann zu einer Leitungsblockade und, wenn sie länger andauert, zu einer fokalen Demyelinisierung einiger Axone führen. Nadeltraumata und andere mechanische Verletzungen von Nerven führen zu einer Zunahme der Neuropeptidproduktion. Eine nadelbedingte Nervenkompression kann durch einen heftigen Nadel-Nerven-Kontakt durch eine sich nähernde Nadel oder eine Injektion in den Nerv selbst entstehen. Es wurde postuliert, dass eine intraneurale Injektion zu einem anhaltend hohen intraneuralen Druck führen kann, der, wenn er den Kapillarverschlussdruck übersteigt, zu einer Ischämie des Nervs und potenziell zu einer Verletzung führen kann. Eine der Hauptursachen für blockbedingte Periphere Nervenverletzung ist die Injektion eines Lokalanästhetikums in einen Faszikel, die ein direktes Nadel- und Injektionstrauma, eine Ruptur des Perineuriums und einen Verlust der schützenden Umgebung innerhalb des Faszikels mit der Folge einer Myelin- und Axonendegeneration verursacht. Dehnungsverletzungen der Nerven können entstehen, wenn Nerven oder Plexus in eine unphysiologische oder übertrieben physiologische Position gebracht werden. Schließlich kommt es zu mechanischen Verletzungen durch Rissbildung, wenn der Nerv durch eine Nadel verletzt wird. Eine Schädigung des Nervengefäßsystems während einer Nervenblockade kann zu einer lokalen oder diffusen Ischämie führen und tritt auf, wenn es zu einer direkten Gefäßverletzung, einem akuten Verschluss der Arterien, von denen die Vasa nervorum abgeleitet sind, oder zu einer Blutung innerhalb einer Nervenscheide kommt (Barrington et al. 2018).

2.5 Equipment

Für die Durchführung einer peripheren Nervenblockade mittels Nervenstimulation wird ein Peripherer Nervenstimulator und eine isolierte Nadel (22-Gauge 50 mm für kleine Hunde, 20-Gauge 100 mm für mittlere und große Hunde), ein Ultraschallgerät mit Linearschallkopf (8–18 MHz), Handschuhe, Spritzen/Nadeln und Lokalanästhetikum benötigt (Campoy und Read 2013).

2.5.1 Ultraschall

Die Einführung der Ultraschalltechnologie hat das Gebiet der Regionalanästhesie revolutioniert, da Nervenstrukturen, Nadeln und andere subkutane Objekte in Echtzeit sichtbar gemacht werden können. Ultraschall kann zweifellos die Sicherheit und Einfachheit der Durchführung von Nervenblockaden verbessern; dies hängt jedoch weitgehend vom Bediener ab. Es gibt eine Reihe von im Handel erhältlichen tragbaren Ultraschallgeräten, die für die Regionalanästhesie geeignet sind. Diese Geräte können leicht transportiert werden und die Bildqualität und -auflösung sind gleichwertig oder ähnlich wie bei stationären Ultraschallgeräten. Der Schallkopf (oder die Sonde) ist das wichtigste Element des Ultraschallgeräts; es sind Schallköpfe mit verschiedenen Grundflächen und Strahlebenen erhältlich, die es dem Benutzer ermöglichen, die meisten Oberflächen von Tieren mit unterschiedlichem Körperbau zu untersuchen. Die Qualität der Ultraschallgeräte wird ständig verbessert, mit besseren ergonomischen Optionen und einer einfacheren Bedienung, einer höheren Auflösung mit verbesserten Schallköpfen, einer besseren Tragbarkeit und geringeren Kosten (Vivian und Ban 2018). Die Visualisierung der Nerven durch Ultraschall erfordert die Verwendung von hochfrequenten Schallköpfen, welche hochauflösende Bilder liefern. Jedoch ist die Eindringtiefe umso geringer je höher die Frequenz ist. Bei den meisten Nervenblockaden werden Frequenzen im Bereich von 10–14 Mhz benötigt. Ultraschallwellen werden vom Bindegewebe im Inneren der Nerven (Perineurium und Epineurium) anisotrop reflektiert. Der Winkel und die Intensität der Reflexion hängen vom Winkel der Ultraschallwelle relativ zur Längsachse des Nervs ab. Die wahre Echogenität eines Nervs wird nur erfasst, wenn der Schallstrahl senkrecht zur Nervenachse ausgerichtet ist. Daher bieten Linear-Array-Schallköpfe mit paralleler Schallabstrahlung Vorteile gegenüber Sektor-Schallköpfen, die durch

divergierende Schallwellen gekennzeichnet sind, so dass die Echotextur der Nerven nur in der Mitte des Bildes dargestellt wird (Marhofer et al. 2005). Mit Hilfe von Ultraschallsonden lassen sich Nerven sowohl vor als auch während der Platzierung der Nadel und der Verabreichung des Anästhetikums visualisieren, wodurch die Genauigkeit der Blockade erhöht werden kann. Diese Technik wird häufig mit einem Nervenstimulator kombiniert, um die Lokalisierung des Nervs zu bestätigen. Durch die Visualisierung des gesamten Vorgangs soll sichergestellt werden, dass das Lokalanästhetikum in der unmittelbaren Nähe des Nervs und nicht in den Nerv hinein eingebracht worden ist (Lerche 2016). Die ultraschallgestützte Periphere Nervenblockade lässt sich in zwei grundlegende Aspekte unterteilen: die Darstellung der Strukturen in der Schnittebene, einschließlich des Zielnervs, und die Führung der Nadel. Das Verständnis und die Erkennung dreidimensionaler anatomischer Strukturen auf einem zweidimensionalen Bild erfordert eine Schulung in der Technologie und der sonoanatomischen Mustererkennung. Zur Optimierung des Ultraschallbildes wurde die Eselsbrücke PART (pressure, alignment, rotation, tilting) empfohlen. Druck ist notwendig, um den Abstand zum Ziel zu minimieren und das darunter liegende subkutane Fettgewebe zu komprimieren. Die Ausrichtung bezieht sich auf die Platzierung des Schallkopfs in einer Position über der Extremität, in der sich der darunter liegende Nerv voraussichtlich im Sichtfeld befindet. Die Drehung ermöglicht eine Feinabstimmung der Sicht auf die Zielstruktur. Das Kippen hilft dabei, die Fläche der Sonde in eine senkrechte Anordnung mit dem darunter liegenden Ziel zu bringen, um die Anzahl der zurückkehrenden Echos zu maximieren und somit das beste Bild zu liefern (Orebaugh und Kirkham 2018). Die Bildgebung von Nerven kann entweder in kurzachsiger (Sondenfläche senkrecht zur Nervenachse) oder langachsiger (Sondenfläche parallel zur Nervenachse) Position durchgeführt werden. Es ist häufig einfacher, das runde, oft hyperechoische neurale Element mit kurzachsiger Bildgebung zu erkennen, besonders für einen Anfänger. Sobald der Nerv und die ihn umgebende Anatomie identifiziert sind, kann der Nadelweg so gewählt werden, dass er entweder „in-plane“ (Nadel parallel zur Längsachse der Sonde) oder „out-of-plane“ (Nadel senkrecht zur Längsachse der Sonde) zum Ultraschallstrahl abgebildet wird. Keine der beiden Methoden hat sich in Bezug auf den Erfolg der Blockade oder die Patientensicherheit als überlegen erwiesen und die bevorzugte Methode kann je nach anatomischen oder technischen Gegebenheiten variieren. Bei der Bildgebung „in-plane“ ist es jedoch möglich, ein Bild der gesamten Nadel, einschließlich der Spitze, zu erhalten, obwohl es

schwierig sein kann die Nadel vollständig in der Betrachtungsebene des Schallkopfs zu halten. Bei der Bildgebung „out-of-plane“ kann der Beobachter nur den Querschnitt der Nadel sehen, der als kleiner hyperechoischer Punkt in jeder Ebene entlang der gesamten Länge erscheint, sodass die Unterscheidung zwischen Spitze und Schaft viel schwieriger ist (Orebaugh und Kirkham 2018). Der erste Schritt bei der ultraschallgesteuerten Nervenblockade besteht darin, alle anatomischen Strukturen im Zielgebiet sichtbar zu machen. Alle einstellbaren Ultraschallvariablen, d. h. die Eindringtiefe, die Frequenzen und die Position der Fokuszonen, müssen für die Art der durchzuführenden Blockade optimiert werden. Die Identifizierung der Nadel ist nur möglich, wenn die Nadel die Ultraschallebene der Sonde durchquert. Die Nadel selbst wird als hypoechoische Struktur identifiziert und ein dorsaler Schallschatten wird von der Nadel erzeugt. Darüber hinaus wird die Nadel auch durch direkte Nadelbewegung und Gewebeverschiebung identifiziert. Es ist wichtig, das Nadelsystem vor der Punktion mit einem Lokalanästhetikum zu füllen, um Lufteinschlüsse zu vermeiden. Sobald die Nadel optimal platziert ist, wird das Lokalanästhetikum unter direkter sonographischer Sicht verabreicht, bis die Nervenstrukturen von dem Lokalanästhetikum umspült werden. Sollte sich das Lokalanästhetikum in die falsche Richtung ausbreiten, kann die Nadel entsprechend neu positioniert werden (Marhofer et al. 2005).

2.5.2 Periphere Nervenstimulatoren

Periphere Nervenstimulatoren (PNS) werden eingesetzt, um die Genauigkeit der Lokalanästhesie zu verbessern, die erforderliche Dosis des Lokalanästhetikums zu verringern und die Nebenwirkungen zu vermeiden. Sie werden in Verbindung mit Teflon-beschichteten Nadeln, die an der Spitze einen kleinen leitenden Bereich aufweisen, verwendet, um Nerven mit Hilfe von elektrischem Strom zu lokalisieren. Die Teflon Beschichtung sorgt dafür, dass nur die Spitze der Nadel den elektrischen Strom überträgt, so dass eine hohe Stromdichte erreicht wird. Die positive Elektrode (Anode) wird mit einer Klebeelektrode (EKG-Pad) auf der Haut befestigt und die negative Elektrode (Kathode) wird mit der Nadel verbunden (Lerche 2016). Anatomische Orientierungspunkte werden abgetastet und die Nadel wird durch die Haut eingeführt. Die Nadel wird so weit vorgeschoben, bis sie sich in unmittelbarer Nähe des Nervs befindet. Dann schaltet der Bediener den Nervenstimulator ein und stellt einen Strom von 1,0–2,0 mA, eine Pulsfrequenz von 1–2 Hz und eine Dauer von 0,1–0,3 msec ein. Dadurch wird ein elektrisches Feld in der Nähe des Nervs erzeugt, was zu einer Depolarisation und Muskelkontraktion bzw. Zuckungen führt. Die Stromstärke, die erforderlich ist, um eine Zuckung auszulösen, nimmt exponentiell zu, je größer der Abstand zwischen Nerv und Nadel ist (Lerche 2016). Bei der Verwendung von Nervenstimulation zur Lokalisierung des Nervs, sollte die korrekte Muskelreaktion mit einem elektrischen Strom zwischen 0,3 und 0,5 mA ausgelöst werden. Ein positiver Myoklonus mit 0,2 mA oder weniger kann darauf hinweisen, dass die Nadelspitze intraneural positioniert ist; in diesem Fall muss die Nadel vor der Injektion neu positioniert werden (Portela et al. 2019). Der Strom wird auf den geringstmöglichen Wert reduziert, der erforderlich ist, um eine Zuckung auszulösen. Die Nadel wird vorsichtig so ausgerichtet, dass sie sich in unmittelbarer Nähe des Nervs befindet. Der verwendete Strom ist kein schmerzhafter Reiz und kann bei einem sedierten Patienten angewendet werden. Sobald der geringstmögliche Strom, der zum Auslösen einer Zuckung erforderlich ist, ermittelt wurde, wird ein Lokalanästhetikum über einen Schlauch durch die Nadel injiziert. Durch die Injektion des Lokalanästhetikums wird die Nadel ein wenig weiter vom Nerv weggedrückt, sodass die Zuckungen in der Regel unmittelbar nach der Injektion reduziert werden oder ganz verschwinden (Lerche 2016). Die Rolle des Nervenstimulators hat sich seit der Einführung des Ultraschalls verändert. In den meisten Fällen wird die Nervenstimulation nicht mehr als

primäres Instrument zur Nervenlokalisierung, sondern zur Überwachung eingesetzt, um die intraneurale Injektion zu minimieren (Vivian und Ban 2018).

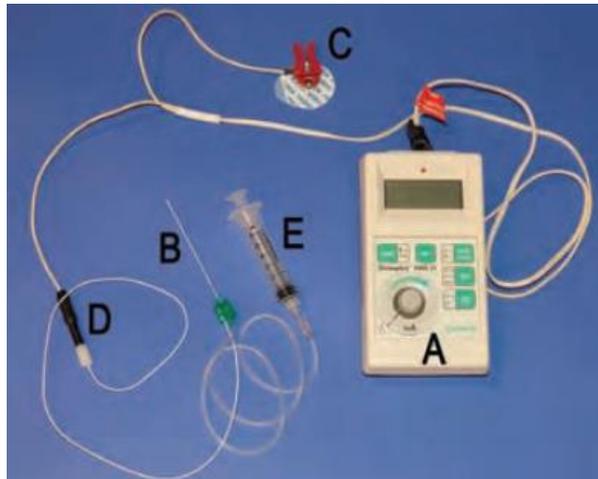


Abb. 4: A Peripherer Nervenstimulator. B Teflonbeschichtete Nadel. C Positive Leitung (Anode) und klebrige Elektrode (EKG-Pad). D Negative Leitung (Kathode). E Spritze, Injektionsanschluss und Schläuche (Lerche 2016).

2.5.3 Nadeln

2.5.3.1 Nadelstärke und Nadellänge

Im Allgemeinen werden isolierte Nadeln der Stärke 22 am häufigsten für einmalige periphere Nervenblockaden verwendet. Bei der Nadelgröße muss ein Gleichgewicht zwischen Patientenkomfort und Biegung der Nadel beim Einstechen in die Haut gefunden werden. Längere Nadeln neigen dazu sich beim Vorschieben leichter zu verbiegen und sind bei tiefen Blockaden schwieriger zu steuern. Daher kann eine Nadel mit größerem Gauge erforderlich sein, weil sie nicht leicht verbiegen. Bei der Verwendung größerer Nadeln ist Vorsicht geboten, da sie mit schwerwiegenden Gewebeerletzungen und Hämatomen verbunden sind, während bei kleineren Nadeln die Gefahr besteht, dass die Spitze intravaskulär eingeführt wird. Außerdem ist der Widerstand bei der Injektion mit Nadeln kleinerer Stärke tendenziell größer, und es dauert auch länger, bis das Blut aspiriert ist, sollte die Spitze intravaskulär eingeführt

worden sein. Die Wahl der Nadellänge hängt von der jeweiligen Blockade ab. Für tiefere Blockaden, wie z. B. die Ischiasnervenblockade, sind längere Nadeln erforderlich (z. B. 100–120 mm). Die Verwendung von Ultraschall kann helfen, den Abstand der Trajektorie zum Zielnerv zu bestimmen. Eine zu kurze Nadel erreicht den Zielnerv nicht, während eine lange Nadel schwer zu manövrieren ist und möglicherweise zu tief eingeführt wird. Die Nadeln sollten mit Tiefenmarkierungen versehen sein, damit die Eindringtiefe in das Gewebe überwacht werden kann. Die richtige Nadellänge (die kürzestmögliche) ermöglicht eine bessere Handhabung und Manipulation (Vivian und Ban 2018).

2.5.3.2 Design der Nadelspitze

Nervenverletzungen können durch direktes Eindringen in den Nerv oder durch heftigen Kontakt zwischen Nadel und Nerv verursacht werden. Die Abschrägung der Nadel kann einen Einfluss auf das Ausmaß der Schädigung beim Einstechen der Nadel in der Nähe eines Nervs haben. Kurzgeschliffene Nadeln können den Vorteil haben, dass sie die durch das Schneiden oder Eindringen in den Nerv verursachte Nervenschädigung verringern. Langgeschliffene (14°) Nadeln dringen eher in das Perineurium ein und verursachen nachweislich öfter eine Faszikelverletzung in Vergleich mit kurzgeschliffenen (45°) Nadel, insbesondere wenn sie quer zu den Nervenfasern ausgerichtet sind. Andererseits können kurzgeschliffene Nadeln im Falle einer Nerven- oder Faszikeldurchdringung größere Verletzungen verursachen. Stumpfe, nicht schneidende Nadeln bieten ein besseres Feedback und ein besseres Gefühl für den "pop", der beim Durchstechen der Faszie entsteht. Eine zu stumpfe Nadel kann jedoch die Faszienpunktion behindern, was zu einem höheren Druck und möglicherweise zu einem "Überschießen" nach der Punktion der Faszie führt (Vivian und Ban 2018).

2.5.3.3 Echogene Nadeln

Seit der Einführung der ultraschallgesteuerten peripheren Nervenblockaden hat man sich bemüht, Nadeln mit verbesserter Sichtbarkeit im Ultraschall herzustellen. Echogene Nadeln reflektieren die Ultraschallstrahlen durch verschiedene Mechanismen, z. B. durch eine spezielle Beschichtung, die Mikroluftblasen einschließt, durch Rillen in der Nähe der Nadelspitze oder durch echogene "Punkte", die durch "Cornerstone"-Reflektoren entstehen. Nadeln mit erhöhter Echogenität können die Visualisierungszeit bei ultraschallgesteuerten Verfahren verkürzen. Eine echogene Nadel, mit oder ohne Ultraschallstrahlsteuerung, ist im Vergleich zu einer nicht echogenen Nadel bei Einstichwinkeln von 60°-70° besser zu sehen (Vivian und Ban 2018).

2.5.4 Injektionsdruckmessgerät

Durch versehentliche Injektionen von Lokalanästhetikum in die Faszikel peripherer Nerven können bleibenden Nervenschäden entstehen (Farber et al. 2013). Laut Untersuchungen weist ein hoher Eröffnungsdruck bei Injektionen (> 15psi) auf einen Nadel-Nerv-Kontakt oder eine intrafaszikuläre Injektion hin (Gadsden et al. 2014, Kapur et al. 2007). Im Handel erhältliche objektive Einweggeräte zur Messung des Injektionsdrucks, wie z. B. BSmart™ (B-Braun Medical, Melsungen, Deutschland), zeigen den Druck während der Injektion kontinuierlich an und ermöglichen es den Injektionsdruck zu quantifizieren und zu dokumentieren. Das Manometer ist farbcodiert, so dass bei einem Druck von 20 psi oder mehr die Anzeige rot leuchtet, um den Bediener zu warnen. Das Injektionsdruckmessgerät wird proximal zur Nadel und in einer Linie mit dem nicht dehnbaren Schlauch angebracht. Das andere Ende des Druckwächters wird direkt an der Spritze befestigt. Der wichtigste Grundsatz bei der Verwendung eines Injektionsdruckmonitors ist, dass ein bestimmter Injektionsdruck (Öffnungsdruck) erreicht werden muss, bevor die Injektion (der Fluss des Anästhetikums) beginnen kann. (Vivian und Ban 2018).

2.6 RUMM Blockade Literaturübersicht

Die Blockade des radialen, ulnaren, medianen und muskulokutanen Nervs (RUMM) zielt auf die Blockierung dieser vier Nerven in der proximalen (Proximale RUMM Blockade) oder distalen (Distale RUMM Blockade) Unterarm-Region ab (Portela et al. 2019). Für die RUMM Blockade gibt es einen proximalen und einen distalen Zugang. Der proximale Zugang kann für operative Eingriffe im Bereich des distalen Humerus, Ellenbogen als auch des Unterarmes verwendet werden. Der distale Zugang ist für Eingriffe geeignet, die anatomische Strukturen, welche distal des Ellenbogens liegen, involvieren (Portela et al. 2019). In der Literatur sind zahlreiche Techniken zur Durchführung der RUMM Blockade beim Hund beschrieben. Diese erfolgen entweder blind durch die Palpation anatomischer Orientierungspunkte wie knöcherne und vaskuläre Strukturen, anhand von Elektrolokalisation durch einen Nervenstimulator oder ultraschallgestützt (Bortolami et al. 2012, Portela et al. 2013, Trumpatori et al. 2010).

Die Blindtechnik des RUMM-Blocks wurde erstmals bei Hunden von Trumpatori et al. (2010) beschrieben. Der *N. radialis* wurde auf der lateralen Seite im mittleren Bereich des Humerus zwischen dem lateralen Trizepskopf und dem *M. brachialis* desensibilisiert, indem die Nadel durch den lateralen Kopf des Trizepsmuskels geführt wurde, um das Lokalanästhetikum um den *N. radialis* zu deponieren. Der *N. ulnaris*, *N. medianus* und *N. musculocutaneus* wurde durch eine einzige Injektion am medialen und mittleren Aspekt des Humerus, an der Stelle, an welcher der Humerusschaft kaudal des *M. biceps* palpiert werden kann, geblockt. Für den RUMM-Block wurde ein Gesamtvolumen von 0,25 ml/kg Bupivacain verwendet, wobei 0,1 ml/kg für die laterale Injektion und 0,15 ml/kg für die mediale Injektion angewendet wurden (Portela et al. 2018, Trumpatori et al. 2010). Aus der Kadaverphase der Studie ging hervor, dass sich bis auf den *N. ulnaris* alle Nerven erfolgreich angefärbt haben. Die Ergebnisse der klinischen Studie erwiesen sich jedoch als weniger zufriedenstellend. Die Abweichung der Resultate zwischen den Studien an Kadavern und den lebenden Hunden könnte dadurch erklärt werden, dass der Grad und die Länge der Blockade abhängig von der Kontaktzeit und der Konzentration des verwendeten Lokalanästhetikums, der Größe und der Art der Nervenfasern, sowie der Länge des Nervs im Kontakt mit Lokalanästhetikum ist. Obwohl die Methylenblau-Färbung vorteilhaft bei der Evaluierung der Lokalisation der Ablagerung des

Lokalanästhetikums ist, korreliert das Vorhandensein von Farbstoff auf einem Nerv nicht unbedingt mit einer klinisch erfolgreichen Blockade (Trumpatori et al. 2010).

Die RUMM-Block-Technik, wie von Trumpatori et al. 2010 durchgeführt, führte zu einer Desensibilisierung der Haut in den zugehörigen Dermatomen von 4 bis 10 Stunden. Die Dauer und Intensität der Blockade war am größten für den *N. radialis*. Weniger konsistente Ergebnisse wurden beobachtet für den medianen und muskulokutanen Nerv und die vollständige Blockade des *N. ulnaris* war ungewöhnlich. Trotz der Tatsache, dass für den lateralen Nerv ein kleineres Volumen an Lokalanästhetikum für die Injektion verwendet wurde als für die der medialen, wurde eine vollständige Blockade des Nervs konsequenter erreicht als bei den anderen Nerven (Trumpatori et al. 2010).

Bortolami et al. (2012) berichtete von der Durchführung eines RUMM Blockes unter der Anwendung der von Trumpatori et al. (2010) beschriebenen Technik mithilfe eines Nervenstimulator an einem Hund, welcher einer Muskelbiopsie des *M. Extensor carpi radialis* unterzogen wurde. Es wurde Bupivacain 0.5 % verwendet um den *N. radialis* (1,5 ml) und den *N. ulnaris*, *N. medianus* und *N. musculocutaneus* (1,75 ml) zu desensibilieren. Während der Operation zeigte der Hund kein Zurückziehen der Gliedmaße und es kam zu keiner Reaktion des autonomen Nervensystems (ANS). Der Patient erholte sich von dem Eingriff problemlos. Komplikationen wie Schwellungen, Hämatome oder Beschwerden an der Einstichstelle oder den Biopsie-Stellen wurden nicht beobachtet (Bortolami et al. 2012).

Portela et al. (2013) beschreibt unter Verwendung von Ultraschall (US) und Nervenstimulator (NS), die Identifizierung und Blockierung der RUMM-Nerven bei einem Hund, an welchem eine chirurgische Karpalgelenk-Arthrodesse durchgeführt wurde. Unter US-Kontrolle wurde eine isolierte Nadel, welche mit einem peripheren NS verbunden war, in Richtung des *N. radialis* in einer "in-plane" Technik eingeführt. Als sich die Nadelspitze in der Nähe des *N. radialis* befand, konnten Kontraktionen des *M. extensor carpi radialis* und des *M. extensor digitorum communis* beobachtet werden. Daraufhin wurden 2,5 ml von Ropivacain 0.5 %, entsprechend 0,09 ml/kg, injiziert, um den *N. radialis* zu desensibilisieren. Die Extremität wurde dann abduziert und der US-Schallkopf wurde auf der medialen Seite des mittleren Humerus platziert, um eine transversale Ultraschall Ansicht der *A. und V. brachialis* zu erhalten. Die Nadel wurde von der kranialen Seite der Gliedmaße in der "in-plane"-Technik

zum *N. ulnaris/medianus* eingeführt. Kontraktionen der kaudalen antebrachialen Muskelgruppe wurden ausgelöst (Handwurzel-/Digitalflexion), als sich die Nadelspitze in der Nähe des *N. medianus/ulnaris* befand. Drei ml Ropivacain 0,5 % (0,1 ml/kg) wurden an dieser Lokalisation injiziert. Die Nadel wurde dann leicht zurückgezogen und in Richtung des *N. musculocutaneus*, kranial zur *A. brachialis* vorgeschoben, wodurch eine Kontraktion des Brachialis-Muskels (Ellenbogenbeugung) ausgelöst wurde. An dieser Stelle wurden 1,5 ml Lokalanästhetikum (0,05 ml/kg) injiziert. Basierend auf der fehlenden Reaktion ANS, auf die chirurgischen Manipulation und dem reduzierten postoperativen Pain Score, war die Desensibilisierung der Vorderextremität in diesem Bericht erfolgreich (Portela et al. 2013).

Eine modifizierte Vorgehensweise des US-gestützten RUMM Blocks, welche es erlaubt alle Nerven von der medialen Seite des Humerus zu blocken, wurde von Castiñeiras et al. (2015), anhand eines Hundes, der einer distalen Radius/Ulna Frakturversorgung unterzogen wurde, erläutert. Der große Vorteil dieser Technik ist, dass die vier Hauptnerven des PB über einen medialen Zugang des Humerus durch einfaches Umlenken der Nadel geblockt werden können, was das Umlagern des Patienten nicht mehr erforderlich macht und somit das Potenzial für weitere Gewebeschäden verringert, welche zum Beispiel durch Instabilität einer Fraktur entstehen könnten. Die *A.* und *V. brachialis* wurden zusammen mit den medianen, ulnaren und muskulokutanen Nerven, wie von Portela et al. (2013) beschrieben, mithilfe von US identifiziert. Jedoch wurde in diesem Fall ein "out-of-plane" Zugang anstatt einer "in-plane" Technik gewählt, da die Nerven *Medianus* und *Ulnaris* zwischen der *A.* und *V. brachialis* liegen und die "in-plane" Technik das Risiko einer Gefäßpunktion erhöhen kann. Der *N. medianus*, *N. ulnaris* und *N. musculocutaneus* wurden ähnlich wie von Portela et al. (2013) beschrieben, geblockt. Danach wurde die US-Sonde leicht nach distal und nach kaudal bewegt, bis eine hyperechoische Struktur, sprich der *N. radialis* kaudal des Humerus sichtbar wurde. Anschließend wurde der *N. radialis* ebenfalls mit der "out-of-plane" Technik desensibilisiert. Das verwendete Gesamtvolumen von Ropivacain war niedriger als die von Portela et al. (2013) eingesetzte Menge (0,18 ml/kg versus 0,25 ml/kg) (Castiñeiras et al. 2015). Es wurde zuvor gezeigt, dass eine Nervenblockade wahrscheinlich erfolgreich ist, wenn mehr als 50% des Umfangs des Nervs von Lokalanästhetikum umgeben ist (Marhofer et al. 2014). Basierend darauf und auf die ultrasonographische Verteilung des Lokalanästhetikums um den Nerv

herum, welche darauf schließen lässt, dass für einen effektiven Block eine geringere Menge ausreichen würde, hat Castiñeiras et al. (2015) das Volumen von Ropivacain gewählt.

Eine weitere modifizierte Technik der US gestützten RUMM Blockade wurde von Leung et al. (2019) in einer Kadaverstudie mit Katzen beschrieben. Die Vorgehensweise unterscheidet sich von der klassischen RUMM Blockade, in dem der Zugang ausschließlich von der lateralen Seite erfolgt. Ziel der Studie war es auch die zwei Nadeleinstichtechniken „in-plane“ und "out-of-plane" zu vergleichen. Die Studie beinhaltete eine Gruppe von 18 Katzenkadavern, welche in zwei Gruppen geteilt wurde. An beiden Vorderextremitäten jeder Katze wurde ultraschallgestützt Methylenblau (0,4 ml) durch einen lateralen Zugang entweder in der „in-plane“ oder der "out-of-plane" Technik injiziert. Es zeigte sich, dass durch den lateralen Zugang mit beiden Nadeleinstichtechniken die RUMM-Nerven zu erreichen waren und die „in-plane“ Technik signifikant erfolgreicher als die "out-of-plane" Technik war. Allerdings werden klinische Studien notwendig sein, um zu klären, ob diese Menge (0,4 ml Methylenblau) eines Lokalanästhetikums erfolgreich die thorakalen Gliedmaßen der Katze desensibilisieren kann.

Otero et al. (2020) hat ebenfalls eine Kadaverstudie an Katzen und zusätzlich eine US-Studie an lebenden Katzen durchgeführt, um einen neuen lateralen ultraschallgesteuerten Zugang für den proximalen RUMM Nervenblock zu entwickeln. Ziel der Studie war es die Durchführbarkeit einer US-gesteuerten proximalen RUMM-Blockade unter Verwendung eines lateralen in-plane-Zugangs bei Katzenkadavern zu beurteilen und zu ermitteln, ob ein oder zwei Injektionspunkte erforderlich sind, um alle Zielnerven erfolgreich zu färben. An den anästhesierten Katzen wurden die Ultraschallanatomie des Brachiums, die Orientierungspunkte und der Ort für Nadelzugänge bestimmt. Dann wurden zwölf aufgetaute Katzenkadaver verwendet, um die Ausbreitung der Farbstofflösung und Nervenfärbung nach einem US-gesteuerten lateralen Zugang zur proximalen RUMM-Injektion mit einem und zwei Injektionspunkten zu beurteilen. Jeder Kadaver wurde mit 0,15 ml/kg einer 0,25 % neuen Methylenblaulösung injiziert, und zwar entweder in einer einzigen Injektion, die auf den Radialnerv einer Extremität ausgerichtet war oder über zwei Stellen mit 0,1 ml/kg und 0,05 ml/kg für den radialen Nerv und den muskulokutanen Nerv der gegenüberliegenden Extremität.

Dieser neuartige laterale US-geführte Zugang zu den proximalen RUMM-Nerven ermöglichte eine gute Identifikation der Nerven und der zugehörigen Strukturen, und er bot eine konsistente

Muskelstruktur, durch welche die Nadel leicht geführt werden konnte. Jedoch schien eine Injektion in zwei Aliquoten im kaudalen und kranialen Kompartiment der neurovaskulären Hülle, welche die RUMM-Nerven beinhaltet, notwendig zu sein, um alle Zielnerven erfolgreich zu färben. Weitere Studien mit einem größeren Stichprobenumfang sind erforderlich, um die Aussagekraft der in dieser Studie präsentierten Behauptungen zu erhöhen.

3 Material und Methode

3.1 Fallbericht

3.1.1 Nationale und Anamnese

Eine acht Jahre alte, männlich kastrierte Europäisch Kurzhaar Katze mit 5,1 kg wurde zur Versorgung einer traumatischen Radius-Ulnafraktur der rechten Vorderextremität an die Kleintierklinik der Veterinärmedizinischen Universität überwiesen. Der überweisende Tierarzt hatte bereits eine Erstversorgung des Patienten mit einem versteiften Verband zur Stabilisation der Fraktur sowie eine Röntgenuntersuchung, welche eine distale Querfraktur von Radius und Ulna ergab, durchgeführt.

3.1.2 Präanästhetische Untersuchungen, Schmerztherapie und Anästhesie

3.1.2.1 Allgemeine klinische Untersuchung und Diagnostik

Bei der klinischen Untersuchung wurde ein Pain Face Grad zwei und ein leicht verschärftes vesikuläres Atemgeräusch über das gesamte Lungenfeld festgestellt. Die Katze war ruhig und aufmerksam und hatte einen Body Condition Score (BCS) von fünf. Sie zeigte eine Herzfrequenz (HF) von 136 Herzschläge/Minute, eine innere Körpertemperatur von 39,00°C und eine Atemfrequenz (AF) von 80 Atemzüge/Minute. Die Auskultation des Herzens war unauffällig. Der Puls war kräftig, regelmäßig, gleichmäßig und die Arterie gut gefüllt und gut gespannt. Die Hautelastizität war erhalten.

Ein Venenkatheter (22G, VasofixSafety, BBraun, Germany) wurde in die linke *Vena cephalica* gesetzt, aus welchem gleichzeitig Blut für die Blutuntersuchung gewonnen wurde. Die Blutuntersuchung wies keine Abweichungen der Referenzwerte auf. Zusätzlich wurde eine Röntgenaufnahme vom Brustkorb angefertigt. Die Röntgenuntersuchung des Brustkorbs war ebenfalls unauffällig.

3.1.2.2 Schmerztherapie

Die Katze wurde stationär aufgenommen, um eine analgetisch adäquate Versorgung und eine Beobachtung bis zu dem chirurgischen Eingriff, der für den kommenden Tag vorgesehen war, ermöglichen zu können. Die Therapie des Patienten bestand aus der Verabreichung von Methadon (0,2 mg/kg i. v. alle 4 Stunden; Methadon 10 mg/ml-Ampullen Streuli Pharma AG, Schweiz) sowie Meloxicam (0,05 mg/kg i. v. alle 24 Stunden; Metacam, Boehringer Ingelheim, Germany). Zusätzlich wurde eine Infusionstherapie (2 ml/kg/h i. v., Sterofundin ISO, BBraun, Germany) gestartet, um einer möglichen Dehydratation vorzubeugen.

3.1.2.3 Präanästhetische Untersuchung

In der präanästhetischen Untersuchung am Morgen vor dem chirurgischen Eingriff war die Katze ruhig und aufmerksam, ggr.-mgr. schmerzhaft und zeigte eine Herzfrequenz (HF) von 148 Herzschl ge/Minute, eine innere Körpertemperatur von 39,2°C und eine Atemfrequenz (AF) von 100 Atemzüge/Minute. Die Auskultation des Herzens sowie der Lunge waren unauffällig. Der Puls war kräftig, regelmäßig, gleichmäßig und die Arterie gut gefüllt und gut gespannt. Die Hautelastizität war erhalten. Die Katze wurde als ASA II eingestuft.

3.1.2.4 Prämedikation, Narkoseeinleitung und Anästhesieerhaltung

Der Patient wurde mit Midazolam (0,2 mg/kg i. v., Midazolam: Dormicum, Roche Austria GmbH, Austria) und Alfaxalon (1 mg/kg i. v., Alfaxalon: Alfaxan, Jurox, Germany) prämediziert. Nach dem Erlangen der gewünschten Sedierung wurde der Patient mit einer Face-Maske mit 100 % Sauerstoff für 3 Minuten präoxygeniert. Danach wurde die Katze mit Propofol (3 mg/kg i. v., Propofol: Propofol 1 % MCT Fresenius, Fresenius Kabi, Austria) eingeleitet und mit einem PVC-Tubus mit Cuff (innerer Durchmesser 4 mm) intubiert. Der Larynx wurde vor der Intubation mit einer Mischung von NaCl 0,9 % (BBraun, Germany) und 2%igem Lidocain (Xylanest 2 % purum, Gebro Pharm GmbH, Austria) desensibilisiert. Der Endotrachealtubus wurde mit einem pädiatrischen Kreissystem mit dem Anästhesiegerät (Datex Ohmeda Excel 210 SE, Satex Ohmeda, USA) verbunden. Die Anästhesie wurde mit Isofluran (Iso-Vet, Vana GmbH, Austria) in Sauerstoff (100 %) erhalten. Die endtidale

Konzentration des Isoflurans (EtIso) während der OP- Vorbereitung war 1.0 %. Während der Anästhesieeinleitung wurde die Katze kontinuierlich apparativ (Blutdruck, arterielle Sauerstoffsättigung, Endtidaler CO₂ (EtCO₂) Partialdruck, Endtidale Isoflurankonzentration (EtIso), HF, AF, innere Körpertemperatur; IntelliVue M60 patientmonitor, Philips, Germany) überwacht. Zum nicht apparativen Monitoring zählte das Überprüfen des Lidreflexes, der Bulbusposition, der Kieferspannung, die Messung der Pulsstärke und der kapillären Füllungszeit.

3.1.3 Durchführung der RUMM Blockade

Um eine intraoperative Antinozizeption zu gewährleisten, wurde eine Ultraschall- und Nervenstimulationsgestützte proximale RUMM Blockade mit der Verwendung von 1,3 ml Bupivacain 0,5 % in toto (1,27 mg/kg, Carbostesin® 0,5 %, Aspen Germany GmbH, Germany) durchgeführt. Für die chirurgische Vorbereitung des Patienten und die Durchführung der Blockade wurde die Katze in linke Seitenlage gebracht und die frakturierte Extremität nach oben gelagert. Anschließend wurde die frakturierte Vorderextremität ab Höhe der Schulter bis nach distal ausrasiert und aseptisch vorbereitet. Die Extremität, an welcher die Blockade durchgeführt werden sollte, wurde in leichte Extension gebracht (Abb. 5). Der Schallkopf (HFL38x/13-6MHz, Sonosite, USA) wurde an der lateralen Seite, auf Höhe des proximalen Humerus und perpendikulär zur Längsachse des Humerus positioniert (Abb. 5). Nachdem alle ultrasonographischen Landmarks (Humerus, Trizepsmuskel, brachiale Gefäße) und die RUMM Nerven visualisiert wurden (Abb. 6), wurde eine echogene Nadel (21G, Sonoplex Stim, Pajunk, Germany), die an einen Nervenstimulator (Stimuplex NHS12, Braun, Germany) angeschlossen war, „in-plane“ und von latero-kaudal in kranio-mediale Richtung eingeführt (Abb. 5). Als die Spitze der Nadel in der Nähe der RUMM Nerven war, wurde der Nervenstimulator eingeschaltet (Stromstärke von 0,1 ms, 2 Hz und 0,4 mA) um die korrekte Position der Spitze der Nadel zu bestätigen. Als spezifische muskuläre Antwort während der Stimulation des *N. musculocutaneus* wurde die Kontraktion des *M. bicepsbrachii* (Flexion des Ellbogens), die spezifische muskuläre Antwort des *N. radialis* die Kontraktion des *M. triceps brachii* (Extension des Ellbogens) und die des *N. ulnaris* und des *N. medianus* die Kontraktion der kaudalen Unterarm-Muskulatur (Flexion des Karpus und der Zehen) genommen (Portela et

al.2019). Für die Blockade des *N. musculocutaneus* wurde 0,25 ml Bupivacain 0,5 % (0,24 mg/kg, Carbostesin® 0,5 %, Aspen Germany GmbH, Germany) und des *N. radialis* 0,35 ml Bupivacain 0,5 % (0,34 mg/kg, Carbostesin® 0,5 %, Aspen Germany GmbH, Germany) verwendet. Da die beide Nerven (*N. medianus* und *N. ulnaris*) eng nebeneinander liegen wurden beide Nerven mit einer Injektion von 0,6 ml Bupivacain 0,5 % (0,59 mg/kg; Carbostesin® 0,5 %, Aspen Germany GmbH, Germany) geblockt. Vor jeder Applikation des Lokalanästhetikums wurde ein Aspirationstest durchgeführt. Es wurde nur appliziert, wenn der Aspirationstest negativ und kein Widerstand bei der Applikation zu spüren war. Die Ausführung der Blockade hat vier min gedauert.

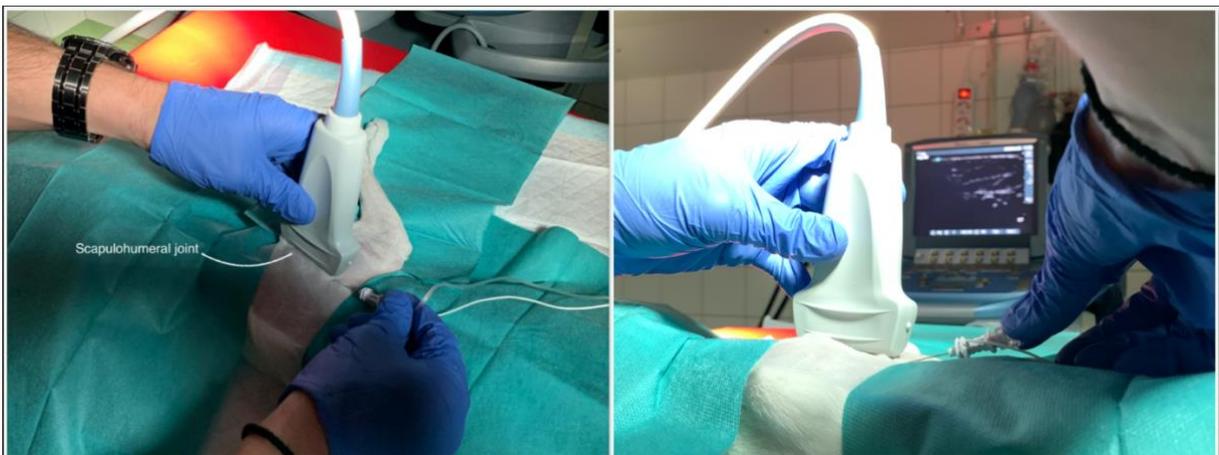


Abb. 5: Bilder zur Veranschaulichung der Position des Körpers, des Schallkopfs und die Richtung der echogenen Nadel bei der Durchführung der proximalen RUMM Blockade mit der Verwendung des lateralen Zugangs

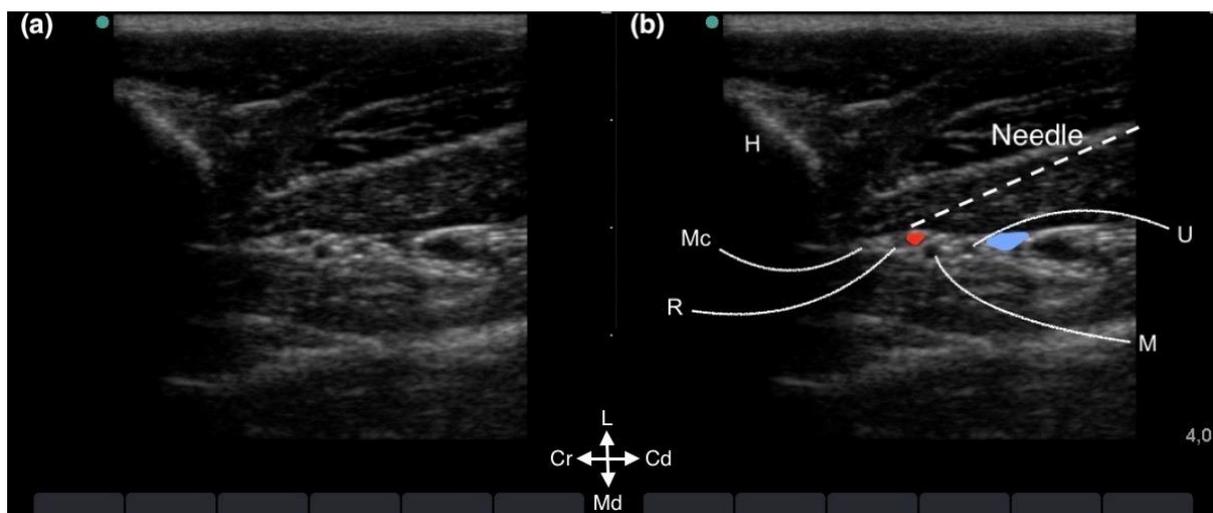


Abb. 6 (a) Ultraschallbild der kaudalen Oberarmregion. Der lineare Schallkopf befindet sich senkrecht zur Längsachse des Beins und kaudal am Niveau der proximalen Humerusepiphyse. **(b)** Schematische Repräsentation von (a) und das Einführen der Nadel. Der rote Punkt illustriert die *A. brachialis* und der blaue Punkt die *V. brachialis*. Cd, kaudal; Cr, kranial; H, Humerus; L, lateral; Mc, *N. musculocutaneus*; Md, medial; M, *N. medianus*; R, *N. radialis*; U, *N. ulnaris*.

3.1.4 Intraoperative Überwachung und chirurgische Versorgung

Die Katze wurde in den Operationssaal gebracht und dort während der gesamten Anästhesie kontinuierlich apparativ (Blutdruck, arterielle Sauerstoffsättigung, Endtidaler CO₂ (EtCO₂) Partialdruck, Endtidale Isoflurankonzentration (EtIso), HF, AF, innere Körpertemperatur; IntelliVue M60 patientmonitor, Philips, Germany) und nicht-apparativ (Kiefertonus, Lidreflex, Position der Bulbi, kapillare Füllungszeit, Pulsstärke) überwacht. Die Anästhesie wurde mit Isofluran (endtidale Isoflurankonzentration 0,9-1 %) in einer Mischung aus Luft -Sauerstoff-Mischung (50 % O₂) erhalten. Für die intraoperative Flüssigkeitstherapie wurde Sterofundin (6 ml/kg/h i.v., Sterofundin ISO, BBraun, Germany) verwendet. Das Antibiotikum Cefazolin (22 mg/kg, Kefzol, Astro-Pharma, Austria) wurde 30 Minuten vor dem Hautschnitt und alle 90 Minuten intraoperativ als präventive antibiotische Therapie gegeben. Die Katze wurde intraoperativ mittels Wärmedecke, welche mit einem Heißluftgerät (Bair Hugger, 3M, USA) verbunden war, gewärmt. Aufgrund des Auftretens eines zeitgleichen chirurgischen Notfalls konnte der Beginn des Eingriffs erst 120 Minuten nach der lateralen RUMM Blockade erfolgen. Während des gesamten chirurgischen Eingriffs war keine analgetische Intervention notwendig, da keine Nozizeption durch die chirurgische Manipulation bemerkt wurde. Der Patient wies

eine konstante HF von 80–100 Herzschläge/Minute mit einem mittleren arteriellen Blutdruck (MAP) von 70–80 mmHg und einer AF von 10–20 Atemzüge/Minute auf. Der EtCO₂ lag bei 40–50mmHg bei einem EtIso von 0,9 bis 1 % und einer SpO₂ von 100 %.

Die Katze wurde für die Versorgung der Fraktur in Brustbauchlage gelagert. Die distale Radiusfraktur rechts wurde mit einer Platte und sechs Schrauben versorgt. Die Ulna blieb unversorgt, hat sich jedoch parallel zum Radius ausgerichtet und justiert. Der chirurgische Eingriff hat 95 Minuten gedauert. Die Anästhesie hat insgesamt 290 Minuten gedauert. Zehn Minuten nach dem Ende der Anästhesie wurde die Katze in den Aufwachraum gebracht. Der Endotrachealtubus wurde entfernt, sobald die Katze wieder einen Schluckreflex zeigte. Dies erfolgte drei Minuten nach Stopp der Isofluranzufuhr. Nach weiteren zehn Minuten war die Katze komplett wach. Die Flüssigkeitstherapie wurde in der Aufwachphase mit Sterofundin (3 ml/kg/h i.v., Sterofundin ISO, BBraun, Germany) fortgesetzt. Die Aufwachphase verlief komplikationslos. Als postoperative Analgesie bekam die Katze Methadon (0,2 mg/kg i. v. alle 4 Stunden; Methadon 10 mg/ml-Ampullen Streuli Pharma AG, Schweiz) sowie Meloxicam (0,1 mg/kg i. v alle 24 Stunden, Metacam, Boehringer Ingelheim, Germany). Zum postoperativen Management zählte das Anlegen eines Schutzverbandes sowie eines Halskragens. Die Katze schien postoperativ nicht schmerzhaft zu sein. Aufgrund eines hohen Patientenaufkommens konnte ein kontinuierliches Pain Scoring leider nicht durchgeführt werden. Nach drei Tagen konnte die Katze in häusliche Pflege entlassen werden. Als Schmerztherapie erhielt sie Tramadol (3 mg/kg 2x tgl per os, Tralieve, Dechra Veterinary Products GmbH, Österreich) und Meloxicam (0,05 mg/kg per os alle 24 Stunden, Metacam, Boehringer Ingelheim, Germany). Nach zwölf Tagen wurde die Katze zur Kontrolle vorgestellt. Bei dieser wurden die Nähte entfernt, sie zeigte während der Untersuchung keine Schmerzhaftigkeit, belastete ihr rechtes Bein und zeigte keine neurologischen Defizite.

3.2 Literaturrecherche

Für die systematische Literaturrecherche, die im März 2021 erfolgte, wurden die Suchmaschinen „PubMed“, „Scopus“, „ScienceDirect“ und „Google Scholar“ sowie diverse Fachbücher genutzt. Gesucht wurden Studien sowohl in deutscher als auch englischer Sprache, die sich mit der Regionalanästhesie der Vorderextremität bei Hund und Katze beschäftigen. Hauptaugenmerk wurde auf Studien, welche sich mit der RUMM Blockade auseinandersetzen, gelegt. Des Weiteren wurden die Literaturverzeichnisse der gefundenen Studien berücksichtigt. Studien, die vor dem Jahre 2000 durchgeführt wurden, welche andere Tierarten als Katzen und Hunde beinhalteten sowie jene, die sich mit der Regionalanästhesie der Hinterextremität beschäftigten, wurden ausgeschlossen.

Tabelle 3: Liste der Suchkriterien

Parameter	
Sprache	Englisch, Deutsch
Zeitraum	März 2021
Suchmaschinen	PubMed Scopus SciencDirect Google Scholar
Suche	In den Referenzen von gefundenen Studien Suche unter den vorgeschlagenen „related articles“

Suchbegriffe	<p>RUMM block in dogs</p> <p>RUMM block in cats</p> <p>proximal RUMM block</p> <p>midhumeral RUMM block</p> <p>Plexus brachialis block in dogs</p> <p>Plexus brachialis block in cats</p> <p>regional anesthesia thoracic limb</p> <p>US guided nerve block</p> <p>NS guided nerve block</p> <p>localanesthesia</p> <p>localanesthetics</p> <p>RUMM Blockade Hund</p> <p>RUMM Blockade Katze</p> <p>Regionalanästhesie Vorderextremität</p>
Ausschlusskriterien	<p>Studien, die sich mit anderen Tierarten als Katzen und Hunden beschäftigten</p> <p>Studien, welche sich der Regionalanästhesie der Hinterextremität widmeten</p> <p>Studien vor dem Jahr 2000</p>

4 Resultate

4.1 Fallbericht

Der Patient zeigte über den gesamten Zeitraum des Eingriffs keine Anzeichen einer Nozizeption durch die chirurgische Manipulation, weshalb es keiner analgetischen Intervention bedarf. Die Katze wies eine konstante HF von 80–100 Herzschläge/min mit einem MAP von 70–80 mmHg und einer AF von 10–20 Atemzüge/min auf. Der EtCO₂ lag bei 40–50mmHg bei einem EtIso von 0,9 bis 1 % und einer SpO₂ von 100 %. In dem vorliegenden Fall wurde eine systemische Analgesie mit Methadon das letzte Mal 225 Minuten vor dem Hautschnitt verabreicht. Somit ist die intraoperative Analgesie bei der Katze allein der RUMM Blockade zu zuschreiben, da die Wirkdauer von Methadon in der verabreichten Dosierung von 0,2 mg/kg auf 180–240 Minuten Maximum begrenzt ist (Murrell 2011). Die durch Periphere Nervenblockade (PNB) erreichte intraoperative Antinozizeption erhöht die Anästhesiesicherheit, da die minimale Alveolarkonzentration (MAC) vieler Inhalationsnarkotika bei diesen Patienten reduziert werden kann. Damit werden auch kardiorespiratorische Nebenwirkungen der Inhalationsanästhetika minimiert (Mosing et al. 2010).

Der MAC-Wert für Isofluran ist bei Katzen 1,58 % (Barletta et al. 2016). Während der gesamten Operation wurde ein EtIso- Wert von 0,9–1 % gemessen. Das entspricht 58–65 % des in der Literatur berichteten MAC-Wertes für Isofluran bei Katzen. Bupivacain ist ein häufig verwendetes Lokalanästhetikum in der Veterinärmedizin in verschiedenen Konzentrationen von 0,125–0,75 %. Die maximale Dosis für die PNB beträgt laut Lehrbüchern 2 mg/kg (Lerche 2016). In diesem Fallbericht wurde 1,3 mg/kg verwendet, was unter der empfohlenen maximalen Dosis ist.

4.2 Literaturrecherche

Insgesamt konnten 41 Artikel, die von potenziellem Interesse zur Beantwortung der Fragestellung dieser Diplomarbeit waren, gefunden werden. Nach Selektion der in Tabelle 3 genannten Kriterien, blieben 21 Artikel zum Thema Regionalanästhesie an der Vorderextremität übrig und wurden inkludiert. Von diesen 21 Artikeln haben sieben die RUMM Blockade zum Inhalt. Hierbei handelt es sich um jeweils zwei Kadaverstudien zu Katzen und Hunden sowie drei Fallberichten über die Durchführung der RUMM Blockade bei Hunden.

Tabelle 4: Inkludierte Artikel: Regionalanästhesie Vorderextremität

Adami C, Studer N. 2015. A case of severe ventricular arrhythmias occurring as a complication of nerve-stimulator guided brachial plexus location. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i> , 42 (2):230–231.
Bhalla RJ, Leece EA. 2015. Pneumothorax following nerve stimulator-guided axillary brachial plexus block in a dog. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i> , 42 (6):658–659.
Campoy L, Bezuidenhout AJ, Gleed RD, Martin-Flores M, Raw RM, Santare CL, Jay AR, Wang AL. 2010. Ultrasound-guided approach for axillary brachial plexus, femoral nerve, and sciatic nerve blocks in dogs. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i> , 37 (2):144–153.
Choquette A, Troncy E, Guillot M, Varin F, del Castillo JRE. 2017. Pharmacokinetics of Lidocaine Hydrochloride Administered with or without Adrenaline for the Paravertebral Brachial Plexus Block in Dogs. <i>PLOS ONE</i> , 12 (1): e0169745.
De Marzo C, Crovace A, De Monte V, Grimaldi D, Iarussi F, Staffieri F. 2012. Comparison of intra-operative analgesia provided by intravenous regional anesthesia or brachial plexus block for pancarpal arthrodesis in dogs. <i>Research in Veterinary Science</i> , 93 (3): 1493–1497.
Futema F, Fantoni DT, Auler JOC, Cortopassi SRG, Acaui A, Stopiglia AJ. 2002. A new brachial plexus block technique in dogs. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i> , 29 (3):133–139.

Hofmeister EH, Kent M, Read MR. 2007. Paravertebral block for forelimb anesthesia in the dog – an anatomic study. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 34 (2):139–142.

Lemke KA, Creighton CM. 2008. Paravertebral Blockade of the Brachial Plexus in Dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 38 (6):1231–1241.

Mahler SP, Adogwa AO. 2008. Anatomical and experimental studies of brachial plexus, sciatic, and femoral nerve-location using peripheral nerve stimulation in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 35 (1): 80–89.

Mosing M, Reich H, Moens Y. 2010. Clinical evaluation of the anaesthetic sparing effect of brachial plexus block in cats. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 37 (2):154–161.

Portela DA, Romano M, Otero PE. 2019. Locoregional Anesthesia of the Thoracic Limbs and Thorax in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 49 (6):1063–1083.

Portela DA, Verdier N, Otero PE. 2018. Regional anesthetic techniques for the thoracic limb and thorax in small animals: A review of the literature and technique description. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*, 241, 8–19.

Rioja E, Sinclair M, Chalmers H, Foster RA, Monteith G. 2012. Comparison of three techniques for paravertebral brachial plexus blockade in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39 (2):190–200.

Viscasillas J, Sanchis-Mora S, Hoy C, Alibhai H. 2013. Transient Horner's syndrome after paravertebral brachial plexus blockade in a dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 40 (1):104–106.

Tabelle 5: Inkludierte Artikel: RUMM Blockade

<p>Bortolami E, Love EJ, Harcourt-Brown TR, Higgs P, Robinson K 2012. Use of mid-humeral block of the radial, ulnar, musculocutaneous and median (RUMM block) nerves for extensor carpi radialis muscle biopsy in a conscious dog with generalized neuro-muscular disease. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i>, 39 (4):446–447.</p>
<p>Castiñeiras D, Viscasillas J, Seymour C. 2015. A modified approach for performing ultrasound-guided radial, ulnar, median and musculocutaneous nerve block in a dog. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i>, 42 (6):659–661.</p>
<p>Leung JBY, Rodrigo-Mocholi D, Martínez-Taboada F. 2019. In-plane and out-of-plane needle insertion comparison for a novel lateral block of the radial, ulnar, median and musculocutaneous nerves in cats. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i>, 46 (4):523–528.</p>
<p>Otero PE, Fuensalida SE, Sánchez F, Verdier N, Tarragona L, Briganti A, Portela DA. 2020a. Development of a lateral ultrasound-guided approach for the proximal radial, ulnar, median and musculocutaneous (RUMM) nerve block in cats. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i>, 47 (5): 686–693.</p>
<p>Portela DA, Raschi A, Otero PE. 2013. Ultrasound guided mid-humeral block of the radial, ulnar, median and musculocutaneous (RUMM block) nerves in a dog with traumatic exposed metacarpal luxation. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i>, 40 (5): 552–554.</p>
<p>Trumpatori BJ, Carter JE, Hash J, Davidson GS, Mathews KG, Roe SC, Lascelles BDX. 2010. Evaluation of a Midhumeral Block of the Radial, Ulnar, Musculocutaneous and Median (RUMM Block) Nerves for Analgesia of the Distal Aspect of the Thoracic Limb in Dogs: Midhumeral Nerve Block. <i>Veterinary Surgery</i>, 39 (7):785–796.</p>
<p>Tayari H, Otero P, Rossetti A, Breggi G, Briganti A. 2019. Proximal RUMM block in dogs: Preliminary results of cadaveric and clinical studies. <i>Veterinary Anaesthesia and Analgesia</i>, 46 (3): 384–394.</p>

5 Diskussion

Nach bestem Wissen des Autors ist dies der erste Fallbericht, bei dem der laterale Zugang für die proximale RUMM Blockade verwendet wurde, um eine intraoperative Antinozizeption bei einer anästhesierten Katze, die einer Unterarmoperation unterzogen wurde, zu erreichen. Leung et al. (2019) und Otero et al. (2020) beschreiben in Kadaverstudien an Katzen zum ersten Mal einen modifizierten lateralen Zugang der RUMM Blockade, jedoch konnte im Zuge der Literaturrecherche keine Studie gefunden werden, in welcher ein RUMM Nervenblock mit lateralen Zugang an einem lebenden Tier durchgeführt wurde. Bisher wurden RUMM Blockaden entweder über einen zweistufigen medialen und lateralen Zugang oder über einen einzigen medialen Zugang durchgeführt (Castiñeiras et al. 2015, Portela et al. 2013). Um die klassische zweistufige RUMM Blockade durchzuführen muss der Patient in Seitenlage gebracht werden und somit auf dem Bein liegen, welches geblockt wird, was im Falle einer Fraktur möglicherweise zu weiteren Gewebsschäden führen kann (Castiñeiras et al. 2015). Um das zu vermeiden wäre der laterale Zugang, wie im Fallbericht durchgeführt, für die proximale RUMM Blockade geeignet. Eine Technik zur Blockade des radialen, medianen, ulnaren und muskulokutanen Nerven auf Mitte des Humerus wurde beim Menschen beschrieben (Bouaziz et al. 1997). Es wurde vermutet, dass die Erfolgsrate dieser Technik höher ist als die des traditionellen axillären Zugangs und diese Technik könnte mit einer geringeren Komplikationsrate verbunden sein (Gaertner et al. 1999). In der veterinärmedizinischen Literatur überwiegen Berichte über PB Blockaden trotz Komplikationen wie z.B. Kammerflimmern (Adami und Studer 2015), Pneumothorax (Bhalla und Leece 2015) und Horner Syndrom (Viscasillas et al. 2013), die mit diesem Block verbunden sind. Der RUMM Block ist in der Literatur spärlich beschrieben. Der RUMM Block ist möglicherweise unter den Praktikern nicht populär, weil er technisch anspruchsvoll ist und mehrere Injektionen erfordert, was wiederum einen größeren Zeitaufwand bedeutet (Tayari et al. 2019). Der laterale Zugang, wie in diesem Fallbericht beschrieben, macht eine Umlagerung des Patienten nicht mehr notwendig, wodurch die Durchführung weniger zeitaufwendig ist. Dies und die Einbeziehung von Methoden wie Nervenstimulation und Ultraschall können Gründe sein die RUMM

Blockade praktikabler und interessanter für Tierärzte zu machen. Die Regionalanästhesie entwickelt sich in der Veterinärmedizin kontinuierlich weiter. Der zunehmende Trend in der Literatur zu diesem Thema, der Einfluss der modernen Technologien, die in die klinische Praxis eingeführt werden, die Weiterentwicklung neuartiger Ansätze und der neue und breite Horizont, in dem RA Anwendung finden kann, räumen peripheren Nervenblockaden einen zentralen Platz in der tierärztlichen Praxis ein (Portela et al. 2018). In der Vergangenheit wurde der RUMM Block mittels „blinder“ Technik (Trumpatori et al. 2010) durchgeführt, indem man das LA anhand palpatorischen anatomischen Orientierungspunkten versucht hat zu lokalisieren. Der Einsatz von objektiven Methoden zur Lokalisierung der Zielnerven, wie Nervenstimulation (NS) und Ultraschall (US), hat die Fehlerraten bei vielen der zuvor blind durchgeführten Techniken reduziert (Lewis et al. 2015, Munirama und McLeod 2015). Die Verwendung eines Nervenstimulators erlaubt den Rückschluss auf die Lage des Nerven, basierend auf dem elektrischen Strom, der für die Auslösung einer Muskelreaktion benötigt wird, während US eine Echtzeit-Visualisierung des Nerven, der Nadel-zu-Nerv-Beziehung und der Injektionsverteilung ermöglicht (Portela et al. 2013). Vorteil der ultraschallgestützten Führung ist, dass die Visualisierung eine optimale Verteilung des Lokalanästhetikums um die Nervenstrukturen herum ermöglicht als auch das Risiko intraneural oder intravaskulär zu injizieren, reduziert (Marhofer et al. 2005). Das Einbeziehen der RA in einem balancierten Narkoseregime reduziert den Verbrauch von Opioiden und anderen Analgetika und somit die potentiellen Nebeneffekte dieser Medikamente, was wiederum zu einer Reduktion der Morbidität, Mortalität, Hospitalisationszeit sowie zur Verbesserung des Outcomes beim Menschen führt (Bugada et al. 2017, Congdon et al. 2017). Der perioperative Einsatz von Opioiden beim Menschen wurde mit einem erhöhten Krankenhausaufenthalt, Übelkeit, Erbrechen, Verstopfung, Dysfunktion des Immunsystems und Unbehagen des Patienten in Verbindung gebracht. Daher werden verschiedene therapeutische Strategien implementiert, um die perioperative Verwendung von potenten Opioiden zu reduzieren (Kumar et al. 2017, Portela et al. 2019). Das ähnliche pharmakologische und therapeutische Verhalten von Opioiden zwischen Mensch und Tier lässt darauf schließen, dass die gleichen Vorteile zu finden sind, wenn der Einsatz von Opioiden bei Tieren reduziert wird. Leider gibt es derzeit in der Veterinärmedizin nur wenige Informationen über die klinischen Auswirkungen eines Einsatzes von Opioiden in der perioperativen Phase (Portela et al. 2018).

Zudem wurde in einer Studie von 2015 gezeigt, dass Tiere, die eine Regionalanästhesie bekommen, niedrigere Stress Biomarker haben als Tiere die intraoperativ mit Opioiden analgetisch abgedeckt werden (Romano et al. 2016). Lokalanästhetika bieten, indem sie direkt auf die Ausbreitung von Nervenimpulsen einwirken, einen einzigartigen Mechanismus zur Analgesie. Die Blockade von nozizeptiven Schmerzimpulsen sorgt für eine tiefgreifende Analgesie intra- und postoperativ mit minimalem Risiko von unerwünschten Wirkungen, die oft mit einigen systemisch verabreichten Analgetika verbunden sind. Mit lokaler Blockade können Inhalationsdosierungen intraoperativ und Opioiddosen sowohl intra- als auch postoperativ reduziert werden, was eine schnellere Erholung von der Narkose und die Entlassung eines Tieres fördert, das wacher und interaktiver mit seinem Besitzer ist (Grubb und Lobprise 2020). Die Ultraschall- und Nervenstimulation gestützte RUMM-Blockade ist derzeit eine vielversprechende und einfach zu handhabende Blockade, um eine perioperative Schmerzlinderung bei Unterarmoperationen zu erreichen. Der neue laterale Zugang für die proximale RUMM Blockade hat die Handhabung der Blockade bei der Katze weiter vereinfacht. Allerdings fehlen kontrollierte Studien über die Wirksamkeit und möglichen Komplikationen.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es die Vorteile der Regionalanästhesie an der Vorderextremität und im speziellen des RUMM Blocks durch eine Literaturrecherche zu erörtern und anhand eines Fallberichtes eines neuen lateralen Zugangs der proximalen RUMM Blockade zu veranschaulichen. Regionalanästhesie als perioperative Schmerzbehandlung hat in den letzten Jahren immer mehr Einsatz und Popularität in der Kleintierpraxis gewonnen. Einer vieler Gründe dafür ist, dass viele regionale Blockaden einfach durchzuführen sind. Vor allem die Verwendung von Nervenstimulation und Ultraschall hat die Umsetzung erleichtert als auch die Erfolgsrate erhöht. Außerdem sind Lokalanästhetika im Gegensatz zu Opioiden in der Lage die Übertragung von Schmerz vollständig zu blockieren und bewirken als präoperative Analgesie durch Regionalanästhesie einen geringeren Bedarf an Narkosemitteln zur Aufrechterhaltung der Narkose als auch intra- und postoperativen Schmerzmitteln. Dies reduziert wiederum das Auftreten von unerwünschten Nebenwirkungen während der Operation. Zudem verhindert die einzigartige Wirkungsweise von Lokalanästhetika die Entwicklung einer sekundären Schmerzsensibilisierung und verbessert den postoperativen Patientenkomfort. Aus all diesen Gründen und der hohen Sicherheitsspanne von Lokalanästhetika sollte Regionalanästhesie als Teil des analgetischen Protokolls bei chirurgischen Eingriffen an der Vorderextremität eingesetzt werden. Speziell die RUMM Blockade, welche bis zum heutigen Zeitpunkt weniger Aufmerksamkeit bekommt als der PB Block, stellt eine vielversprechende Möglichkeit der perioperativen Schmerzlinderung bei Unterarmoperationen dar. Der neue laterale Zugang für die proximale RUMM Blockade mit Hilfe von US und NS bei der Katze, wie im Fallbericht beschrieben, hat die Durchführung der RUMM Blockade weiter vereinfacht. Nach bestem Wissen des Autors ist dies der erste Bericht einer Durchführung eines proximalen lateralen RUMM Blocks an einer lebenden Katze. Um eine intraoperative Antinozizeption zu gewährleisten, wurde eine ultraschall- und nervenstimulationsgestützte proximale RUMM Blockade mit der Verwendung von 1,3 ml Bupivacain 0,5 % in toto (1,27 mg/kg; Carbostesin® 0,5 %, Aspen Germany GmbH, Germany) durchgeführt. Aus dem Fallbericht ging hervor, dass der Patient über den gesamten Zeitraum des Eingriffs keine Anzeichen einer Nozizeption durch die chirurgische Manipulation zeigte, weshalb es keiner analgetischen Intervention bedarf. Die Katze wies eine konstante HF von 80–100 Herzschläge/Minute mit einem MAP von 70–80

mmHg und einer AF von 10–20 Atemzüge/Minute auf. Der EtCO₂ lag bei 40–50mmHg bei einem EtIso von 0,9 bis 1 % und einer SpO₂ von 100 %. Die Katze ist komplikationslos von der Anästhesie aufgewacht. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die laterale RUMM Blockade mit Bupivacain eine exzellente Möglichkeit der intraoperativen Analgesie bei Katzen, die sich einer Unterarmoperation unterziehen, darstellt. Trotzdem benötigt es geübtes Personal und das passende Equipment sowie kontrollierte Studien über die Wirksamkeit und möglichen Komplikationen.

7 Summary

The aim of this paper was to discuss the advantages of regional anesthesia at the thoracic limb and in particular the RUMM block by a literature review and to illustrate it by a case report of a new lateral approach of proximal RUMM blockade. Regional anesthesia as perioperative pain management has gained more and more application and popularity in small animal practice in recent years. One of many reasons for this is that many regional blocks are easy to perform. Especially the use of nerve stimulation and ultrasound has facilitated the implementation as well as increased the success rate. In addition, local anesthetics, unlike opioids, are able to completely block the transmission of pain and, as preoperative analgesia through regional anesthesia, result in a reduced need for narcotics to maintain anesthesia as well as intraoperative and postoperative analgesics. This in turn reduces the occurrence of undesirable side effects during surgery. Furthermore, the unique mode of action of local anesthetics prevents the development of secondary pain sensitization and improves postoperative patient comfort. For all these reasons and the high safety margin of local anesthetics, regional anesthetics should be used as part of the analgesic protocol in thoracic limb surgical procedures. Specifically, RUMM block, which to date receives less attention than brachial plexus block, represents a promising option for perioperative pain relief in forearm surgery. The new lateral approach for proximal RUMM block using US and NS in the cat as described in the case report has further simplified the performance of RUMM block. To the best of the author's knowledge, this is the first report of performing a proximal lateral RUMM block in a live cat. To ensure intraoperative antinociception, ultrasound- and nerve stimulation-assisted proximal RUMM blockade was performed with the use of 1,3 ml bupivacaine 0,5 % in toto (1,27 mg/kg; Carbostesin® 0,5 %, Aspen Germany GmbH, Germany). The case report indicated that the patient showed no signs of nociception from the surgical manipulation throughout the surgical period, and therefore no analgesic intervention was needed. The cat had a constant heartrate of 80–100 beats/minute with a MAP of 70–80 mmHg and a respiration rate of 10–20 breaths/minute. The EtCO₂ was 40–50mmHg with an EtIso of 0,9 to 1 % and an SpO₂ of 100 %. The cat woke up from anesthesia without complications. In conclusion, lateral RUMM blockade with bupivacaine is an excellent option for intraoperative analgesia in cats undergoing thoracic limb surgery.

Nevertheless, it requires skilled personnel and the appropriate equipment, as well as controlled studies on efficacy and possible complications.

8 Abkürzungsverzeichnis

A.	<i>Arteria</i>
Abb.	Abbildung
AF	Atemfrequenz
ANS	Autonomes Nervensystem
BCS	Body Condition Score
BP	<i>Plexus brachialis</i>
EtCo ₂	Endtidale Co ₂
EtIso	Endtidale Isoflurankonzentration
HF	Herzfrequenz
M.	<i>Musculus</i>
MAC	Minimale Alveolarkonzentration
MAP	Mittlere arterielle Blutdruck
N.	<i>Nervus</i>
NS	Nervenstimulator
PNB	Periphere Nervenblockade
PVBP	Paravertebrale Plexus Brachialis Block
RA	Regionalanästhesie
RUMM	<i>R-Radialis; U-Ulnaris; M-Musculocutaneus; M-Medianus</i>
US	Ultraschall
V.	<i>Vena</i>
ZNS	Zentrales Nervensystem

9 Abbildungsverzeichnis

Abb 1.: (Portela et al. 2018) Approaches described for thoracic limb nerve blocks. Modified from Otero and Portela 2017. RUMM, radial, ulnar, median and musculocutaneous nerves.

Abb.2 und 3.: (Budras 2012) Atlas der Anatomie des Hundes. Neunte Auflage. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft. S. 21. Membrum thoracicum: Mediale Venen, mediale Schulter- und Oberarmmuskulatur mit Nervenversorgung caudomediale Ansicht

Abb. 4.: (Lerche et al. 2016) Handbook of Small Animal Regional Anesthesia and Analgesia Techniques. Chichester: John Wiley & Sons. Chapter 1. Page 8. A Peripherer Nervenstimulator. B Teflonbeschichtete Nadel. C Positive Leitung (Anode) und klebrige Elektrode (EKG-Pad). D Negative Leitung (Kathode). E Spritze, Injektionsanschluss und Schläuche.

Abb.5.: Bild zur Veranschaulichung der Position des Körpers, des Schallkopfs und die Richtung der echogenen Nadel bei der Durchführung der proximalen RUMM Blockade mit der Verwendung des lateralen Zugangs

Abb.6 (a): Ultraschallbild der kaudalen Oberarmregion

Abb.6 (b): Schematische Repräsentation von Abb.6 (a) und das Einführen der Nadel

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Geblockte Nerven, Indikationen und relevante Kommentare zu den peripheren Nervenblockaden der thorakalen Extremität (Portela et al. 2018).

Tab. 2: Klinische Pharmakologie von Lokalanästhetika bei Katzen und Hunden modifiziert nach Lerche et al.2016.

Tab. 3: Liste der Suchkriterien

Tab. 4: Inkludierte Artikel: Regionalanästhesie Vorderextremität

Tab. 5: Inkludierte Artikel: RUMM Blockade

11 Literaturverzeichnis

Åberg G. 1972. Toxicological and Local Anaesthetic Effects of Optically Active Isomers of Two Local Anaesthetic Compounds. *Acta Pharmacologica et Toxicologica*, 31 (4):273–286.

Adami C, Studer N. 2015. A case of severe ventricular arrhythmias occurring as a complication of nerve-stimulator guided brachial plexus location. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 42 (2):230–231.

Allam MW, Lee DG, Nulsen FE, Fortune EA. 1952. The anatomy of the brachial plexus of the dog. *The Anatomical Record*, 114 (2):173–179.

Barletta M, Quandt J, Hofmeister E. 2016. Determination of minimum alveolar concentration of isoflurane in dogs and cats using the up-and-down method. A preliminary study. *Research in Veterinary Science*, 106:81–83.

Barletta M, Reed R. 2019. Local Anesthetics. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 49 (6):1109–1125.

Barrington MJ, Brull R, Reina MA, Hadzic A. 2018. Complications and Prevention of Neurologic Injury with Peripheral Nerve Blocks. NYSORA. <https://www.nysora.com/foundations-of-regional-anesthesia/complications/complications-prevention-neurologic-injury-peripheral-nerve-blocks/> (Zugriff 26.09.2021)

Beecroft C, Davies G. 2013. Systemic toxic effects of local anaesthetics. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 14 (4): 146–148.

Bhalla RJ, Leece EA. 2015. Pneumothorax following nerve stimulator-guided axillary brachial plexus block in a dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 42 (6):658–659.

Bortolami E, Love EJ, Harcourt-Brown TR, Higgs P, Robinson K 2012. Use of mid-humeral block of the radial, ulnar, musculocutaneous and median (RUMM block) nerves for extensor carpi radialis muscle biopsy in a conscious dog with generalized neuro-muscular disease. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39 (4):446–447.

- Bouaziz H, Narchi P, Mercier FJ, Labaille T, Zerrouk N, Girod J, Benhamou D. 1997. Comparison Between Conventional Axillary Block and a New Approach at the Midhumeral Level: *Anesthesia & Analgesia*, 84 (5):1058–1062.
- Budras 2012. Schultergliedmaße. In: Budras, Kölle, Mülling, Pfarrer, & Reese., Hrsg. *Atlas der Anatomie des Hundes*. Neunte Auflage. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft. S.21
- Bugada D, Ghisi D, Mariano ER. 2017. Continuous regional anesthesia: A review of perioperative outcome benefits. *Minerva Anestesiologica*, 83 (10).
- Campoy L, Bezuidenhout AJ, Gleed RD, Martin-Flores M, Raw RM, Santare CL, Jay AR, Wang AL. 2010. Ultrasound-guided approach for axillary brachial plexus, femoral nerve, and sciatic nerve blocks in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 37 (2):144–153.
- Campoy L, Read MR. 2013. The Thoracic Limb. In: Campoy L, Read MR.: *Small Animal Regional Anesthesia and Analgesia*. First Editon. Iowa: John Wiley & Sons, Ltd., 141–165.
- Castiñeiras D, Viscasillas J, Seymour C. 2015. A modified approach for performing ultrasound-guided radial, ulnar, median and musculocutaneous nerve block in a dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 42 (6):659–661.
- Choquette A, Troncy E, Guillot M, Varin F, del Castillo JRE. 2017. Pharmacokinetics of Lidocaine Hydrochloride Administered with or without Adrenaline for the Paravertebral Brachial Plexus Block in Dogs. *PLOS ONE*, 12 (1): e0169745.
- Congdon JM, Boscan P, Goh CSS, Rezende M. 2017. Psoas compartment and sacral plexus block via electrostimulation for pelvic limb amputation in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 44 (4):915–924.
- Cox B, Durieux ME, Marcus MAE. 2003. Toxicity of local anaesthetics. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 17 (1):111–136.
- De Marzo C, Crovace A, De Monte V, Grimaldi D, Iarussi F, Staffieri F. 2012. Comparison of intra-operative analgesia provided by intravenous regional anesthesia or brachial plexus block for pancarpal arthrodesis in dogs. *Research in Veterinary Science*, 93 (3): 1493–1497.

Farber SJ, Saheb-Al-Zamani M, Zieske L, Laurido-Soto O, Bery A, Hunter D, Johnson P, Mackinnon SE. 2013. Peripheral Nerve Injury After Local Anesthetic Injection. *Anesthesia & Analgesia*, 117 (3):731–739.

Futema F, Fantoni DT, Auler JOC, Cortopassi SRG, Acaui A, Stopiglia AJ. 2002. A new brachial plexus block technique in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 29 (3):133–139.

Gadsden JC, Choi JJ, Lin E, Robinson A. 2014. Opening Injection Pressure Consistently Detects Needle–Nerve Contact during Ultrasound-guided Interscalene Brachial Plexus Block. *Anesthesiology*, 120 (5):1246–1253.

Gaertner E, Kern O, Mahoudeau G, Freys G, Golfetto T, Calon B. 1999. Block of the brachial plexus branches by the humeral route. A prospective study in 503 ambulatory patients. Proposal of a nerve-blocking sequence: Brachial plexus block at the humeral canal. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 43 (6):609–613.

Grubb T, Lobprise H. 2020. Local and regional anaesthesia in dogs and cats: Overview of concepts and drugs (Part 1). *Veterinary Medicine and Science*, 6 (2):209–217.

Hofmeister EH, Kent M, Read MR. 2007. Paravertebral block for forelimb anesthesia in the dog – an anatomic study. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 34 (2):139–142.

Kapur E, Vuckovic I, Dilberovic F, Zaciragic A, Cosovic E, Divanovic KA, Mornjakovic Z, Babic M, Borgeat A, Thys DM, Hadzic A. 2007. Neurologic and histologic outcome after intraneural injections of lidocaine in canine sciatic nerves. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 51 (1): 101–107.

Kumar K, Kirksey MA, Duong S, Wu CL. 2017. A Review of Opioid-Sparing Modalities in Perioperative Pain Management: Methods to Decrease Opioid Use Postoperatively. *Anesthesia & Analgesia*, 125 (5):1749–1760.

Lemke KA, Creighton CM. 2008. Paravertebral Blockade of the Brachial Plexus in Dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 38 (6):1231–1241.

Lemke KA, Dawson SD. 2000. Local and Regional Anesthesia. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 30 (4):839–857.

Lerche P. 2016. Introduction. In: Lerche P, Aarnes T, Covey-Crump G, & Taboada F M Editor: Handbook of Small Animal Regional Anesthesia and Analgesia Techniques. First Edition. Iowa: John Wiley & Sons, Ltd. S. 1–12.

Leung JBY, Rodrigo-Mocholi D, Martinez-Taboada F. 2019. In-plane and out-of-plane needle insertion comparison for a novel lateral block of the radial, ulnar, median and musculocutaneous nerves in cats. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 46 (4):523–528.

Lewis SR, Price A, Walker KJ, McGrattan K, Smith AF. 2015. Ultrasound guidance for upper and lower limb blocks. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Issue Art. No.CD006459.

Mahler SP, Adogwa AO. 2008. Anatomical and experimental studies of brachial plexus, sciatic, and femoral nerve-location using peripheral nerve stimulation in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 35 (1): 80–89.

Marhofer D, Karmakar MK, Marhofer P, Kettner SC, Weber M, Zeitlinger M. 2014. Does circumferential spread of local anaesthetic improve the success of peripheral nerve block? *British Journal of Anaesthesia*, 113 (1):177–185 |

Marhofer P, Greher M, Kapral S. 2005. Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*, 94 (1): 7–17.

Mosing M, Reich H, Moens Y. 2010. Clinical evaluation of the anaesthetic sparing effect of brachial plexus block in cats. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 37 (2):154–161.

Munirama S, McLeod G. 2015. A systematic review and meta-analysis of ultrasound versus electrical stimulation for peripheral nerve location and blockade. *Anaesthesia*, 70 (9):1084–1091.

Murrell J. 2011. Clinical use of methadone in cats and dogs. *Companion Animal*, 16 (5):56–61.

Orebaugh SL, Kirkham KR. 2018. Introduction to Ultrasound-Guided Regional Anesthesia. NYSORA. <https://www.nysora.com/foundations-of-regional-anesthesia/equipment/introduction-ultrasound-guided-regional-anesthesia/> (Zugriff 26.09.2021)

Otero PE, Fuensalida SE, Sánchez F, Verdier N, Tarragona L, Briganti A, Portela DA. 2020a. Development of a lateral ultrasound-guided approach for the proximal radial, ulnar, median and

- musculocutaneous (RUMM) nerve block in cats. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 47 (5): 686–693.
- Otero PE, Fuensalida SE, Sánchez F, Verdier N, Tarragona L, Briganti A, Portela DA. 2020b. Development of a lateral ultrasound-guided approach for the proximal radial, ulnar, median and musculocutaneous (RUMM) nerve block in cats. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 47 (5): 686–693.
- Portela DA, Otero PE, Biondi M, Romano M, Citi S, Mannucci T, Briganti A, Breggi G, Bollini C. 2013. Peripheral nerve stimulation under ultrasonographic control to determine the needle-to-nerve relationship. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 40 (6): e91–e99.
- Portela DA, Raschi A, Otero PE. 2013. Ultrasound guided mid-humeral block of the radial, ulnar, median and musculocutaneous (RUMM block) nerves in a dog with traumatic exposed metacarpal luxation. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 40 (5): 552–554.
- Portela DA, Romano M, Otero PE. 2019. Locoregional Anesthesia of the Thoracic Limbs and Thorax in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 49 (6):1063–1083.
- Portela DA, Verdier N, Otero PE. 2018. Regional anesthetic techniques for the thoracic limb and thorax in small animals: A review of the literature and technique description. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*, 241, 8–19.
- Rioja E, Sinclair M, Chalmers H, Foster RA, Monteith G. 2012. Comparison of three techniques for paravertebral brachial plexus blockade in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39 (2):190–200.
- Romano M, Portela DA, Breggi G, Otero PE. 2016. Stress-related biomarkers in dogs administered regional anaesthesia or fentanyl for analgesia during stifle surgery. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 43 (1):44–54.
- Salomon FV. 2020. Nervensystem, Systema nervosum. In: Salomon FV, Geyer H, Gille U, Hrsg. *Anatomie für die Tiermedizin*. Vierte Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 566–573.

- Tayari H, Otero P, Rossetti A, Breggi G, Briganti A. 2019. Proximal RUMM block in dogs: Preliminary results of cadaveric and clinical studies. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 46 (3): 384–394.
- Trumpatori BJ, Carter JE, Hash J, Davidson GS, Mathews KG, Roe SC, Lascelles BDX. 2010. Evaluation of a Midhumeral Block of the Radial, Ulnar, Musculocutaneous and Median (RUMM Block) Nerves for Analgesia of the Distal Aspect of the Thoracic Limb in Dogs: Midhumeral Nerve Block. *Veterinary Surgery*, 39 (7):785–796.
- Viscasillas J, Sanchis-Mora S, Hoy C, Alibhai H. 2013. Transient Horner's syndrome after paravertebral brachial plexus blockade in a dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 40 (1):104–106.
- Vivian HYI, Ban CHT. 2018. Equipment for Regional Anesthesia. NYSORA. <https://www.nysora.com/foundations-of-regional-anesthesia/equipment/equipment-regional-anesthesia/> (Zugriff 26.09.2021)