

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Klinik für Interne Medizin Kleintiere
(Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Iwan Burgener Dipl. ECVIM-CA Dipl. ACVIM)

**Vergleichende Blutdruckmessung mittels Doppler
sonographischen Verfahrens an der Arteria radialis und der
Arteria coccygea bei unседierten Katzen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Katharina Weber

Wien, im Juli 2017

Betreuer: Priv.-Doz. Dr. med. vet. Florian Zeugswetter
Interne Medizin Kleintiere
Department für Kleintiere und Pferde
Veterinärmedizinische Universität Wien

Begutachter: Ao.Univ.Prof. Dr. Sibylle Kneissl
Klinische Abteilung für Bildgebende Diagnostik
Department für Kleintiere und Pferde
Veterinärmedizinische Universität Wien

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG
 - 1.1. Einleitung
 - 1.2. Fragestellung
 - 1.3. Hypothese
2. LITERATURÜBERSICHT
 - 2.1. Definition und Aufgaben des Blutdrucks
 - 2.2. Blutdruckregulation
 - 2.3. Physiologischer Referenzbereich des Blutdrucks
 - 2.3.1. Beeinflussende Faktoren
 - 2.3.2. Kurzfristige Blutdruckschwankungen
 - 2.4. Systemische Hypertension
 - 2.4.1. Einteilung der Hypertension
 - 2.4.2. Referenzwerte für die Hypertension
 - 2.5. Endorganschäden
 - 2.6. Hypotonie
 - 2.7. Blutdruckmessung
 - 2.7.1. Direkte Blutdruckmessung
 - 2.7.2. Indirekte Blutdruckmessung
 - 2.7.2.1. Doppler Ultrasonographie
 - 2.7.2.1.1. Vorbereitung
 - 2.7.2.1.2. Messung
 - 2.7.2.2. Klassische Oszillometrie
 - 2.7.2.3. High Definition Oszillometrie
 - 2.7.2.4. Vergleich der indirekten Methoden
 - 2.7.3. Lokalisation der Manschette bei der Doppler Sonographie und der Oszillometrie
 - 2.7.4. Cuffform bei nicht invasiver Blutdruckmessung
3. TIERE, MATERIAL UND METHODE
 - 3.1. Tiere
 - 3.1.1. Einschlusskriterien
 - 3.1.2. Ausschlusskriterien
 - 3.2. Material und Methode

- 3.3. Aufbearbeitung der Patientendaten
- 3.4. Statistische Auswertung
- 3.5. Tierschutzrechtliche Aspekte
- 4. ERGEBNISSE
- 5. DISKUSSION
- 6. ZUSAMMENFASSUNG
- 7. EXTENDED SUMMARY
 - 7.1. Introduction
 - 7.2. Animals, Material and Method
 - 7.2.1. Study population
 - 7.2.2. Blood pressure measurement
 - 7.2.3. Data entry
 - 7.2.4. Statistical analysis
 - 7.3. Results
 - 7.4. Discussion
- 8. LITERATURVERZEICHNIS
- 9. ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADH	Antidiuretisches Hormon
AV	Allgemeinverhalten
BCS	Body Conditioning Score
BKH	Britisch Kurzhaar
EKH	Europäisch Kurzhaar
EOS	Endorganschäden
HDO	High Definition Oszillometrie
m	männlich
MCS	Muscle Conditioning Score
PPA	Pulsdruckamplifikation
RAAS	Renin-Angiotensin-Aldosteron-System
S	Schwanz
SAP	systolischer arterieller Blutdruck
V	Vorderextremität
w	weiblich

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

1.1. Einleitung

Die klinische Relevanz der Blutdruckmessung in der Veterinärmedizin hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung zugenommen. Die systemisch bedingte Hypertension stellt bei Katzen ein nicht zu unterschätzendes Problem dar. Der Großteil der hypertensiven Katzen hat eine assoziierte Krankheit, am häufigsten die chronische Niereninsuffizienz oder die Hyperthyreose (Kobayashi et al. 1990, Littman et al. 1994, Stiles et al. 1994). In bis zu 20 % der Fälle kann jedoch keine Ursache für die Hypertension gefunden werden, man spricht hier von idiopathischer oder primärer Hypertension (Maggio et al. 2000, Elliot et al. 2001, Jepson et al. 2007). Ein chronisch erhöhter Blutdruck führt zu sogenannten Endorganschäden, vor allem betroffen sind die Nieren, das Herz, die Augen und das Gehirn (Brown et al. 2007a). Durch regelmäßige Blutdruckkontrollen kann eine systemische Hypertension frühzeitig erkannt und Schäden an Organen, welche oft irreversibel sind, können verhindert werden. Eine frühzeitige Erkennung und Behandlung der Hypertension ist essentiell, um die Lebensqualität des Tieres zu verbessern und zu erhalten. Es ist daher wichtig, eine geeignete Messmethode und Messlokalisation zu finden, die möglichst stressfrei am wachen Tier angewendet werden kann.

Für die Blutdruckmessungen bieten sich direkte und indirekte Messmethoden an. Aufgrund der Invasivität der direkten Methoden und der mit der Implantation des Messsensors verbundenen Narkose haben sich in der Praxis die indirekten, nicht invasiven Messmethoden, die Doppler Ultraschographie und die High Definition Oszillometrie, durchgesetzt. Diese sind deutlich schonender und stressfreier für den Patienten und zeichnen sich durch ihre unkomplizierte Anwendung aus (Henik et al. 1997, Sander et al. 1998, Sparkes et al. 1999, Haberman et al. 2004). In vorangegangenen Studien hat sich sowohl bei anästhesierten, als auch bei wachen Katzen die nicht invasive Doppler sonographische Messmethode bewährt. Verglichen mit traditionell oszillometrischen Methoden waren die Messfehlversuche geringer und die Ergebnisse präziser (Binns et al. 1995, Haberman et al. 2004, Petric et al. 2010).

Die häufigsten Lokalisationen für die Bestimmung des Blutdrucks bei der Katze sind die Arteria radialis an der Vorderextremität, die Arteria coccygea, die Schwanzarterie, und die Arteria tibialis cranialis an der Hinterextremität (Erhardt et al. 2007).

In einer Studie von Cannon und Brett (2012) tolerierten Katzen die Messungen mittels Oszillometer am Schwanz deutlich besser als an der Vorderextremität, wobei die Zeit und die

Anzahl der Fehlversuche berücksichtigt wurden. Zudem waren die gewonnenen Messwerte am Schwanz signifikant höher als an der Vorderextremität.

In der Literatur gibt es bezüglich Doppler sonographischer Blutdruckmessung nur eine Studie, die während der Durchführung dieser Studie publiziert wurde, die Vergleiche zwischen systolischen Blutdruckwerten an der Vorderextremität und am Schwanz anstellt (Whittemore et al. 2017). Die an der Arteria coccygea gewonnenen Werte waren im Mittel um 19 mmHg höher als jene gewonnen an der Arteria radialis. Zudem zeigte sich eine Abhängigkeit der Blutdruckwerte an der Vorderextremität vom Alter und dem Muscle Conditioning Score (MCS). Eine Korrelation zu dem Body Conditioning Score (BCS) der Katzen wurde nicht gefunden. Systolische Blutdruckwerte an der Arteria coccygea waren weder mit Alter, BCS noch MCS korreliert, warum die Autoren der Studie Schwanzmessungen für Blutdruckdiagnosen empfehlen.

Eine vergleichbare Studie wurde 2017 von Mooney et al. an Hunden durchgeführt. Im Gegensatz zu Whittemore et al. (2017) waren die Werte an der Vorderextremität höher als am Schwanz und weder zu BCS, Gewicht, MCS noch Alter wurde ein Zusammenhang zu den systolischen Blutdruckwerten festgestellt.

1.2. Fragestellung

In dieser Studie soll untersucht werden, ob sich mittels Dopplermessungen die Blutdruckwerte an der Arteria radialis der Vorderextremität und an der Arteria coccygea am Schwanz voneinander unterscheiden. Hierbei wird auch ein Augenmerk auf das Geschlecht, das Körpergewicht, das Alter, den Body Conditioning Score und das Allgemeinverhalten der Katzen gelegt, um eventuell vorhandene Zusammenhänge und Gruppierungen zu erkennen, welche suggerieren, eine Lokalisation der anderen vorzuziehen.

Zum anderen soll subjektiv beurteilt werden, welche Lokalisation von den Katzen besser toleriert wird.

1.3. Hypothese

In der geplanten Studie soll gezeigt werden, dass die Blutdruckwerte auch mittels Doppler sonographischen Messungen am Schwanz geringgradig höher sind als an der Vorderextremität, diesem Unterschied jedoch klinisch wenig Relevanz zuzuordnen ist. Die Hypothese ist, dass sich die Pulswellen in der Peripherie verstärken und sich damit aufgrund der weiter exzentrisch gelegenen Lokalisation der Schwanzarterie höhere Werte ergeben (O'Rourke et al. 1984, Gorback et al. 1988, Abrams et al. 1989). Eine mit Oszillometer

durchgeführte Blutdruckstudie bei wachen Katzen (Cannon und Brett 2012) unterstützt diese Vermutung. Die systolischen Blutdruckwerte an der Arteria coccygea (Schwanz) waren geringgradig höher als an der Arteria radialis (Vorderextremität).

Weiters gehen wir davon aus, dass die Blutdruckmessung am Schwanz besser toleriert wird, da man die Katzen weniger stark fixieren muss und die Manipulation am Schwanz nicht aufgrund von Blutabnahmen negativ konditioniert wurde.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Definition und Aufgaben des Blutdrucks

Der Blutdruck übernimmt lebenswichtige Funktionen im tierischen Körper. Sowohl in Ruhe als auch bei Belastung müssen die Perfusion der Organe und deren Versorgung mit Sauerstoff sichergestellt und Stoffwechselendprodukte abtransportiert werden (Egner et al. 2007).

Der arterielle Blutdruck ist abhängig vom Herzminutenvolumen und dem peripheren Widerstand und ist physikalisch als das Produkt beider definiert (Egner et al. 2007, Engelhardt et al. 2015a). Das Herzminutenvolumen ist jene Menge an Blut, die pro Minute ausgeworfen wird und von Herzfrequenz und Schlagvolumen beeinflusst wird. Der periphere Widerstand ist eine Funktion der Gefäßsituation, welche die Nachlast am Herzen beeinflusst. Bei einer Vasokonstriktion ist die Nachlast und somit der periphere Widerstand erhöht, bei einer Vasodilatation ist die Nachlast vermindert und somit auch der periphere Widerstand niedrig (Egner et al. 2007).

Ändern sich das Herzminutenvolumen und/oder der Widerstand, verändert sich folglich auch der Blutdruck. Steigt zum Beispiel die Herzfrequenz, das Blutvolumen oder der periphere Widerstand, steigt auch der arterielle Blutdruck (Egner et al. 2007).

2.2. Blutdruckregulation

Um auf eine wechselnde Belastung einzugehen, muss die Regulation des Blutkreislaufs fein abgestimmt sein. Dies wird einerseits durch eine lokale Anpassung und Regulation der Durchblutung in der Peripherie, als auch durch eine Steuerung im Zentralnervensystem erreicht (Ehmke et al. 2014, Engelhardt et al. 2015b).

Das Kreislaufregulationszentrum befindet sich in dem Pons und der Medulla oblongata, wo Informationen bezüglich Gefäßspannung und Druckverhältnissen als auch über Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt aus der Peripherie gesammelt und verarbeitet werden. Die Informationen stammen von Chemo- und Barorezeptoren, die sich vor allem in der Gefäßwand des Sinus caroticus und des Aortenbogens befinden (Egner et al. 2007, Engelhardt et al. 2015b).

Das Zusammenwirken von neuralen und humoralen Faktoren ist essentiell, um eine adäquate Versorgung der Organe mit Sauerstoff zu gewährleisten und Stoffwechselprodukte effizient abzutransportieren (Egner et al. 2007).

Die wichtigsten Mechanismen, die zur Aufrechterhaltung der Homöostase beitragen, sind die nervalen Presso- und Chemorezeptorreflexe und das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS).

Die beteiligten Regulationsmechanismen unterscheiden sich durch eine unterschiedlich schnelle Aktivierungszeit (Egner et al. 2007).

Die sofortige und kurzfristige Blutdruckregulation erfolgt über Presso- und Chemorezeptorreflexe. In den Gefäßwänden des Aortenbogens und Carotissinus befinden sich dehnungsempfindliche Rezeptoren, welche abhängig von der Gefäßspannung nervale Impulse ins Vasomotorenzentrum in der Medulla oblongata schicken. Bei Blutdruckabfall nimmt die Impulsfrequenz der Afferenzen ins Zentralnervensystem ab und folglich wird mittels einer Steigerung des Sympathicotonus gegenreguliert. Herzfrequenz, Schlagvolumen und peripherer Widerstand erhöhen sich, um einem starken Blutdruckabfall entgegen zu wirken (Egner et al. 2007, Engelhardt et al. 2015b).

Ähnlich reagieren auch die Chemorezeptoren auf einen Abfall des Sauerstoffpartialdrucks bzw. auf die Zunahme des Kohlenstoffdioxidgehalts im Blut. Durch eine Erhöhung des Sympathicotonus kommt es wiederum zu einem kompensatorischen Blutdruckanstieg (Egner et al. 2007, Engelhardt et al. 2015b).

Im Zeitraum von Stunden und Tagen, der sogenannten mittelfristigen Kreislaufregulation, nimmt das RAAS eine zentrale Rolle ein (Egner et al. 2007, Ehmke et al. 2014, Engelhardt et al. 2015b).

Bei einem systemischen Blutdruckabfall kommt es, vermittelt durch Barorezeptoren, zu einer vermehrten Freisetzung von Renin aus den Epitheloidzellen der Niere. Es katalysiert die Bildung von Angiotensin I, welches erst durch das Angiotensin-konvertierende Enzym in die biologisch aktive Form Angiotensin II übergeführt wird. Die Hauptwirkung des Angiotensin II besteht in einer Vasokonstriktion vor allem in den Arteriolen des Körpers, was über den erhöhten peripheren Widerstand in einer Blutdruckerhöhung resultiert. Neben der vasokonstriktorischen Wirkung führt Angiotensin II auch zu einer vermehrten Ausschüttung von Aldosteron aus der Nebennierenrinde und von Antidiuretischem Hormon (ADH) aus der Neurohypophyse (Fromm und Gäbel 2015).

Das Mineralokortikoid Aldosteron führt über eine vermehrte Natrium Resorption im distalen Nierentubulus zu einer Erhöhung des Blutvolumens (Fromm und Gäbel 2015).

Durch ADH kommt es zu einem vermehrten Einbau von Aquaporin II in den Sammelrohren und durch die erhöhte Wasserrückresorption auch zu einer Blutdrucksteigerung. Weiters stimuliert ADH das zentrale Durstzentrum (Fromm und Gäbel 2015).

Für die langfristige Einstellung des Blutdrucks sind alle Vorgänge, die die Natrium- und Flüssigkeitsaufnahme betreffen, maßgeblich. Dazu zählt neben dem RAAS und ADH auch das atriale natriuretische Peptid aus den Vorhofkardiozyten. Durch die verringerte Natriumrückresorption sinken das Plasmavolumen und folglich auch der Blutdruck (Ehmke et al. 2014).

Durch einen chronisch erhöhten peripheren Widerstand kommt es kurzfristig zwar zu einer arteriellen Blutdrucksteigerung, diese sinkt jedoch dann in Folge einer Herzzeitvolumenabnahme wieder ab. Das Herzzeitvolumen ist aufgrund einer verstärkten Druckdiurese und der reflektorischen Hemmung des RAAS vermindert (Ehmke et al. 2014).

2.3. Physiologischer Referenzbereich des Blutdrucks

Für die Interpretation von gemessenen Blutdruckwerten sind Standardwerte zur Orientierung essentiell. Verschiedene Studien haben sich mit dieser Fragestellung beschäftigt, jedoch gibt es relativ hohe Schwankungen bei den beschriebenen Werten für den systolischen arteriellen Blutdruck (SAP) bei Katzen. Die Werte gemessen mit indirekten Messverfahren bei gesunden Katzen reichten von 118 mmHg (Kobayashi et al. 1990) bis zu 162 mmHg (Sparkes et al. 1999). In einer neuen Studie von Lin et al. aus dem Jahr 2006 wurde ein durchschnittlicher SAP von 134 mmHg und eine Standardabweichung von 16 mmHg festgestellt. Ähnliche Referenzwerte ergaben auch weitere Studien, die sich mit dem Blutdruck bei Katzen beschäftigten, 139 mmHg (Klevens et al. 1979), 125 mmHg (Brown et al. 1997), 123 mmHg (Curtet 2001) und 124 mmHg (Egner et al. 2007).

Diese große Variabilität in den publizierten Studien betreffend der Blutdruckwerte für die Normotension bei der Katze entsteht einerseits durch die fehlende Standardisierung der Vorgehensweise bei der Blutdruckmessung in der Veterinärmedizin, andererseits aber auch durch verschiedene Faktoren, die die Blutdruckwerte mehr oder weniger stark beeinflussen. Die Kenntnis dieser Faktoren ist für eine adäquate Interpretation der Messergebnisse wichtig.

Die Aussage „Blood pressure is a function of the way it is measured“ (Bruner et al. 1981) beschreibt sehr gut, warum es durch verschiedene Messmethoden zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt. Besonders der Vergleich von direkten zu indirekten Messmethoden zeigt deutlich, wie stark die Werte voneinander abweichen und wie wichtig es ist, die für die Messmethode erhobenen Werte für Normo-, Hypo- und Hypertension als Referenz zu verwenden.

Diese starke Spannbreite kommt dadurch zustande, dass direkte Verfahren die Druckwelle direkt im Gefäß detektieren, indirekte Messmethoden jedoch die Druckwelle als Ausdehnung der Gefäßwand im Gewebe wahrnehmen, welches von einem Cuff umschlossen wird (Branson et al. 1997).

In der Literatur zeigt sich, dass nicht nur der Vergleich von direkten zu indirekten Methoden, sondern auch der Vergleich der indirekten Methoden untereinander unterschiedliche Messergebnisse liefern.

Sander et al. (1998) führten bei 50 Katzen vergleichend Blutdruckmessungen mittels oszillometrischen und Doppler sonographischen Geräten durch. Es zeigte sich, dass oszillometrisch ermittelte Werte umso stärker von den Doppler Werten abwichen, je höher der Blutdruck war. Des Weiteren wurde festgestellt, dass bei steigenden Blutdruckwerten die Fehlversuche mittels oszillometrischer Methode deutlich zunahmten.

Vergleichende Ergebnisse lieferte auch eine neuere Studie von Haberman et al. (2004). Hier wurden oszillometrische, Doppler sonographische und direkt gewonnene Messwerte verglichen. Auch hier zeigten sich bei oszillometrisch gewonnenen Blutdruckwerten höhere Abweichungen bei hypertensiven als bei hypotensiven Werten. Zusätzlich konnten nur mittels Doppler Verfahren die Blutdruckwerte immer ohne Fehlversuche aufgezeichnet werden.

Auch Jepson et al. (2005) und Petric et al. (2010) fanden bei höheren Blutdruckwerten heraus, dass oszillometrisch gewonnene Blutdruckwerte deutlicher unter den Doppler sonographisch Gewonnenen liegen.

2.3.1. Beeinflussende Faktoren

Faktoren, die den Blutdruck beeinflussen, sind unter anderem Alter, Rasse, Geschlecht und Gewicht (Brown et al. 2007a).

Im Gegensatz zum Menschen sind bei Hunden und Katzen die altersabhängigen Blutdruckveränderungen weniger gut untersucht und belegt (Safar 1990). Die bisherigen Studien über Hunde liefern kontroverse Ergebnisse. Während bei Bodey und Michell (1996) und Bright und Dentino (2002) ein jährlicher Blutdruckanstieg von 1 bis 3 mmHg festgestellt werden konnte, zeigten sich bei Remillard et al. (1991) und Meurs et al. (2000) kein signifikanter Anstieg bei höherem Alter. Ähnlich wie bei Hunden widersprechen sich die Angaben in der Literatur betreffend Korrelation Blutdruck und Alter bei gesunden Katzen. Bodey und Sansom (1998) konnten einen geringgradigen Blutdruckanstieg von 1,5

mmHg/Jahr datieren, wobei bei zwei weiteren Studien keine altersabhängige Blutdruckveränderung gesehen werden konnte (Sparkes et al. 1999, Lin et al. 2006).

Das Geschlecht betreffend konnten bei männlichen Hunden höhere Blutdruckwerte festgestellt werden als bei weiblichen. Der Unterschied lag jedoch unter 10 mmHg (Bodey et al. 1996). Bei Katzen konnte bisher kein Einfluss des Geschlechts festgestellt werden, vermutlich da die meisten beim Tierarzt vorgestellten Katzen kastriert sind und der Hormoneinfluss wegfällt (Bodey und Sansom 1998, Mishina et al. 1998).

Wohingegen bei Hunden rasseabhängige Unterschiede bei Blutdrucknormalwerten festgestellt werden konnten (Schneider et al. 1964, Cox et al. 1976, Bodey und Michell 1996), gibt es bislang keine vergleichbaren Studienergebnisse bei Katzen (Bodey und Sansom 1998, Whittemore et al. 2017).

Übergewicht ist beim Menschen ein Risikofaktor für Hypertension (Kannel et al. 1967, Waeber et al. 2000, Wilson et al. 2002, Abdulle et al. 2014). Bei Hunden konnte mittels oszillometrischer Blutdruckmessung ein geringer Unterschied (< 5 mmHg) festgestellt werden (Joles 1998, Brown et al. 2000). Untersuchungen mittels Doppler festigen diese Aussage jedoch nicht (Remillard et al. 1991). Bei adipösen Katzen wurde kein Unterschied zu normalgewichtigen Tieren festgestellt (Bodey und Sansom 1998).

2.3.2. Kurzfristige Blutdruckschwankungen

Der Blutdruck ist keine starre Größe, sondern eine Variable, die vom Zusammenspiel vieler Faktoren abhängig ist. Schwankungen des Blutdrucks können physiologisch, Tageszeit abhängig oder aufregungsbedingt sein. Zu letzterem zählen der Weißkittel-Effekt, laute Geräusche, grelles Licht oder eine unruhige Umgebung (Egner et al. 2007).

Physiologische Schwankungen kommen durch die Regulationsmechanismen des Körpers zustande, durch die der Organismus sich an die jeweilige Kreislaufsituation anzupassen versucht. Die Regulationsmechanismen nehmen Einfluss auf Herzfrequenz, Füllvolumen und Schlagkraft des Herzens, woraus eine Änderung des Blutdrucks resultiert. Jeder einzelne Herzschlag generiert seine eigene dazugehörige Blutdruckwelle, von Schlag zu Schlag schwankt der Blutdruck ständig bis zu 15 mmHg (Egner et al. 2007).

Brown et al. (1997) haben mittels direkter Blutdruckmessmethode (Telemetrie) die tageszeitliche Blutdrucksituation bei Katzen untersucht. In dieser Studie konnten keine signifikanten Schwankungen gefunden werden.

Aufregungsbedingte Blutdruckschwankungen sind auf den Einfluss der Katecholamine zurückzuführen. Belew et al. (1999) konnten einen Stress assoziierten Anstieg um bis zu 30

mmHg feststellen. Auch einzelne Messwerte einer Messreihe können sehr schnell in die Höhe schnellen, was auf die extrem effiziente Wirkung der Katecholamine zurückzuführen ist. Daher sollte bei der Interpretation der Blutdruckmesswerte immer die Umgebung aktiv mitbeobachtet und dokumentiert werden, um Fehldiagnosen zu vermeiden (Egner et al. 2007).

2.4. Systemische Hypertension

Unter Hypertension versteht man eine abnorme persistierende Erhöhung des arteriellen Blutdrucks (Nelson et al. 2006). Die systemische Hypertension kann sowohl Folge als auch Ursache für bestimmte Krankheiten sein. Eine über einen längeren Zeitraum bestehende Erhöhung des arteriellen Blutdrucks führt zu Schäden an Organen, den sogenannten Endorganschäden (EOS) (Egner et al. 2007).

Dieselben Mechanismen, die für die Erhaltung der Homöostase verantwortlich sind, sind auch an der Entstehung einer Hypertension beteiligt. Aufgrund pathologischer Veränderungen funktioniert die Blutdruckregulation nicht mehr adäquat und es kommt entweder zu einer Erhöhung des Herzminutenvolumens und/oder des peripheren Widerstands, das zu einer Steigerung des systemischen Blutdrucks führt (Littman und Dobratz 1995).

2.4.1. Einteilung der Hypertension

Die Hypertonieursachen können nach den Richtlinien der Veterinary Blood Pressure Society in drei Kategorien eingeteilt werden, die stressbedingte Hypertonie (Weißkittel-Effekt), die sekundäre und die idiopathische Hypertension (Brown et al. 2007a).

Der Weißkittel-Effekt beschreibt eine Blutdruckerhöhung durch Angst oder Stress aufgrund einer erhöhten Aktivität des sympathischen Anteils des Vegetativen Nervensystems durch die Manipulation des Tieres bei der Blutdruckmessung (Brown et al. 2007a). Wie stark und ob es bei der Blutdruckmessung zu einem Anstieg des Blutdrucks kommt, ist individuell abhängig und schwer vorhersehbar. Um die Fehldiagnose einer Hypertension zu vermeiden, sollte die Blutdruckmessung in einer gewohnten Umgebung des Tieres stattfinden bzw. dem Tier Zeit zur Akklimatisation gegeben werden. Brown et al. (2007a) empfehlen fünf bis zehn Minuten vor einer Blutdruckmessserie zu warten, um den Weißkittel-Effekt zu minimieren.

Die sekundäre Hypertension ist die am häufigsten vorkommende Hypertensionsursache bei Katzen (Egner et al. 2007). Als Ursache kommen entweder eine Grunderkrankung oder eine

Therapie mit Blutdruck erhöhenden Medikamenten in Frage. Grunderkrankungen, die in Verbindung mit einem Blutdruckanstieg bei Katzen gebracht werden, sind:

- Nephropathien (Kobayashi et al. 1990, Stiles et al. 1994, Syme et al. 2002)
- Hyperthyreose (Sander et al. 1998, Kobayashi et al. 1990)
- Cardiomyopathien (Chetboul et al. 2003)
- Phäochromozytom (Henry et al. 1993, Maher und McNiel 1997)
- Primärer Hyperaldosteronismus (Flood et al. 1999)
- Cushing-Syndrom (Zeugswetter 2016)

Die primäre oder auch idiopathische Hypertonie beschreibt das Vorhandensein von chronisch erhöhten Blutdruckwerten ohne eine verursachende Grunderkrankung. Die Diagnose ist eine Ausschlussdiagnose und wird nach gründlicher klinischer und labordiagnostischer Untersuchung gestellt. In vielen Fällen ist eine Differenzierung zwischen primärer und sekundärer Hypertension jedoch schwer oder gar nicht möglich (Brown et al. 2007a). Obwohl die sekundäre Hypertension die häufigste Hypertensionsart bei Katzen ist, zeigen neuere Studien, dass bei knappen 20 % der hypertensiven Katzen die Diagnose primäre Hypertension gestellt wird (Maggio et al. 2000, Elliot et al. 2001).

2.4.2. Referenzwerte für die Hypertension

Mehrere Studien haben sich mit der Thematik Hypertension bei Katzen beschäftigt und Angaben zu den Referenzwerten für die Hypertension erstellt. Wie auch bei der Normotension gibt es eine große Bandbreite von Grenzwerten für das Vorhandensein einer Hypertension und die Angaben reichen von 160 mmHg bis 220 mmHg (Kraft und Egner 2002a). Diese hohe Variabilität zeigt deutlich, dass die Diagnose Hypertension nicht alleine durch einen bestimmten Blutdruckwert gestellt werden kann. Vielmehr ist es das gemeinsame Vorhandensein von persistent erhöhten Blutdruckwerten, Endorganschäden und vorhandenen Grunderkrankungen, die im Zusammenhang mit einer sekundären Hypertension stehen, das die Diagnosestellung Hypertension zulässt (Brown et al. 2007a).

Deshalb empfiehlt die Veterinary Blood Pressure Society des ACVIM (Brown et al. 2007a) eine Einteilung der Hypertension in Abhängigkeit vom Risiko für das Auftreten von Endorganschäden.

Ein SAP unter 150 mmHg wird als minimales, ein SAP zwischen 150 mmHg und 159 mmHg als geringgradiges, ein SAP von 160-179 mmHg als mittelgradiges und ein SAP ab 180 mmHg als hochgradiges Risiko für Endorganschäden eingeordnet. In der publizierten

Richtlinie wird eine routinemäßige Therapie erst ab Werten von 160 mmHg und höher empfohlen (Brown et al. 2007a).

2.5. Endorganschäden

Durch die anhaltende Hypertonie kommt es zu einer erhöhten Nachlast am Herzen und einer Schädigung vor allem der Arteriolen und des Kapillarbetts. Daher sind besonders stark vaskularisierte Organe gefährdet. Anfangs schützt sich der Körper durch die autoregulatorische Vasokonstriktion, um den Blutfluss weitest möglich konstant zu halten. Sind jedoch diese Mechanismen erschöpft und hält die Vasokonstriktion länger an, kommt es allmählich zu einer Ischämie des Gewebes und zum Verlust der kapillären Endothelialfunktion. Durch die fehlende Barrierefunktion der Gefäßwand tritt Flüssigkeit ins Gewebe aus. Klinisch lassen sich dann Blutungen und Ödeme nachweisen (Kraft et al. 2007).

Schäden an Organen, die durch eine Hypertension entstehen, werden als Endorganschäden bezeichnet (Brown et al. 2007a). EOS betreffen vordergründig die Augen, die Nieren, das Herz und das Gehirn (Kraft et al. 2007).

Sehr häufig beeinträchtigt und meist als erstes klinisch auffällig sind die Augen. Bei Katzen werden in der Literatur Prävalenzen von bis zu 100 % angegeben. Die anfänglichen intraokulären Blutungen können bis hin zu einer Netzhautablösung führen (Brown et al. 2007a). Die Syndrome werden in Abhängigkeit von den betroffenen Strukturen als hypertensive Retinopathie, Chorioidopathie oder Neuropathie des Sehnervs bezeichnet (Maggio und Davidson 2007). Die innere Retina wird über Netzhautgefäße versorgt. Diese Gefäße besitzen über einen sehr effizienten Autoregulationsmechanismus, der bewirkt, dass eine Erhöhung des Blutdrucks zu einer Vasokonstriktion führt. Bei anhaltendem Bluthochdruck versagen jedoch diese Regulationsmechanismen, die Muscularisschicht der Blutgefäße hypertrophiert und schlussendlich kommt es zu einer vermehrten Collageneinlagerung und Sklerose in der Muskelschicht der Arteriolen. Die Blut-Netzhaut-Schranke wird in Folge durchlässiger und es kommt zum Plasmaaustritt und es entstehen Ödeme (Maggio und Davidson 2007). Die Gefäße der Chorioidea besitzen im Gegensatz zu denen der inneren Retina keine Autoregulationsmechanismen, durch welche hohe Druckschwankungen ausgeglichen werden können (De Venecia 1984). Das im Kreislaufsystem bei hypotonen Zuständen ausgeschüttete Angiotensin II bewirkt in den Gefäßen der Chorioidea eine starke Vasokonstriktion, die mit der Zeit zu nekrotischen Veränderungen führt. Durch die veränderte Gefäßstruktur kommt es zum Blutaustritt und der

Bildung eines serösen Exsudats unter der Retina. Am Augenhintergrund zeigt sich eine bullöse Netzhautablösung (Maggio und Davidson 2007). Nur eine schnelle und effiziente antihypertensive Therapie kann vor einem bleibenden Visusverlust schützen (Kraft et al. 2007).

Ein chronisch erhöhter Blutdruck schädigt außerdem die Nierenfunktion durch einen intraglomerulären Druckanstieg (Brown et al. 2007b). Der erhöhte Druck in den Nephronen (Kraft und Egner 2002b), verbunden mit einer zusätzlichen Produktion von Wachstumsfaktoren (Meyer 1999), führt zu einer Glomerulosklerose und schlussendlich zum Untergang des gesamten Nephrons (Cowgill und Kallet 1986, Tenhüdfeld et al. 2000).

29 % (Maggio et al. 2000) bzw. 49 % (Littman 1994) der hypertensiven Katzen weisen eine neurologische Symptomatik auf, welche auf degenerative Veränderungen der Gefäßwände und folgende Hirnschädigungen zurückzuführen ist (Cotard 2000). Die Anzeichen dafür können sehr unterschiedlich sein und variieren je nach betroffener Hirnregion, angefangen von Verhaltensänderungen, Konvulsionen über neurologische Ausfälle bis hin zum plötzlichen Tod (Brown et al. 2007a, Kraft et al. 2007).

Die Auswirkungen auf das Herz lassen sich aus der erhöhten Nachlast ableiten. Durch die Erhöhung des peripheren Widerstands, vor allem im Körperkreislauf, hypertrophiert der linke Ventrikel konzentrisch und es kommt zu einer hypertrophen Cardiomyopathie (Stepien et al. 2007). Kardiologische Abnormalitäten kommen sehr häufig bei hypertensiven Katzen vor, vier von fünf Tieren sind betroffen (Maggio et al. 2000, Elliot et al. 2001, Chetboul et al. 2003).

2.6. Hypotonie

Unter Hypotonie versteht man das pathologische Absinken des Blutdrucks. Auch hier schwanken die Angaben in der Literatur von 80 bis 110 mmHg. Bei wachen Tieren wird die Hypotonie in drei Stadien klassifiziert, die milde Hypotonie (< 100 mmHg), die moderate Hypotonie (< 90 mmHg) und die schwere Hypotonie (< 70 mmHg) (Henke et al. 2007).

Bei der Entstehung der Hypotonie steht der Flüssigkeitsvolumenverlust im Vordergrund. Sowohl extrazelluläre als auch vaskuläre Flüssigkeitsdefizite führen zu einer Hypovolämie, die unweigerlich zu einem Absinken des Blutdrucks führt.

Jede ausgeprägte und länger andauernde Blutdrucksenkung führt zwangsläufig zu einem Schockgeschehen bis hin zum Tod (Henke et al. 2007).

2.7. Blutdruckmessung

Die Diagnose und Therapie einer Hyper- bzw. einer Hypotension basieren auf der Blutdruckmessung des Patienten. Der Blutdruck kann direkt, über einen intraarteriell liegenden Katheter, oder indirekt, über eine aufblasbare Manschette, bestimmt werden (Brown et al. 2007a, Erhardt et al. 2007).

In der Veterinärmedizin haben sich hauptsächlich die indirekten Methoden durchgesetzt. Sie sind nicht invasiv, schmerzfrei, können am wachen Tier angewendet werden und überzeugen durch das einfache Handling.

2.7.1. Direkte Blutdruckmessung

Die direkte Blutdruckmessung erfolgt über einen intraarteriell liegenden Katheter. Sie ist sozusagen der Goldstandard für die Bestimmung des Blutdrucks, der aufgezeichnete Wert spiegelt bestmöglich den „wahren“ Blutdruckwert wider. Der Katheter ist mit einem elektronischen Druckaufzeichner gekoppelt, der kontinuierlich die systolischen und diastolischen Blutdruckwerte übermittelt. Zusätzlich berechnet das Gerät den mittleren arteriellen Blutdruck und zeichnet die Pulsfrequenz auf. Der Druckaufzeichner kann als sogenannter Tipkatheter direkt im Gefäß zu liegen kommen oder extern angeschlossen sein. Die direkte Blutdruckmessmethode ist invasiv, für die Implantation des Katheters ist eine Narkose verbunden mit den Anästhesierisiken notwendig. Sie ist bei länger andauernden, komplizierten Operationen und in der Intensivmedizin indiziert (Erhardt et al. 2007). Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Validierung indirekter Methoden (Wehner et al. 2017).

Die Verweilkanüle wird bei Hund und Katze meist in die Arteria metatarsa distal an der Hinterextremität oder in die zentrale Ohrarterie implantiert. Alternativ können auch die Arteria dorsalis pedis, das Ursprungsgefäß der Arteria metatarsa dorsal am Tarsus, und die Arteria lingualis, median an der Zungenunterseite, herangezogen werden (Erhardt et al. 2007).

2.7.2. Indirekte Blutdruckmessung

Die indirekte Blutdruckmessung ist eine nicht invasive Methode zur Ermittlung des Blutdruckwertes. Ein großer Vorteil gegenüber der direkten Blutdruckmessung ist, dass sie auch bei wachen Tieren angewendet werden kann. Daher hat sie sich in der Kleintierpraxis durchgesetzt (Erhardt et al. 2007). Das Grundprinzip basiert auf dem Riva Rocci Verfahren (Wehner et al. 2017). Der arterielle Blutstrom wird dabei mittels einer aufblasbaren Manschette unterbrochen. Das Signal beim Wiedereinsetzen des Blutflusses während des

sukzessiven Ablassens der Manschettenluft wird auf unterschiedliche Weise detektiert (Erhardt et al. 2007).

Die in der Veterinärmedizin verwendeten indirekten Blutdruckmessmethoden sind die Doppler Ultrasonographie, die Oszillometrie und die High Definition Oszillometrie (HDO) (Erhardt et al. 2007).

2.7.2.1. Doppler Ultrasonographie

Die Dopplermethode bedient sich zweier unabhängiger Geräte, einerseits einer Manschette mit einem Sphygmomanometer, andererseits eines Ultraschallsensors mit einem Lautsprecher (Erhardt et al. 2007).

Der SAP wird über einen Ultraschall-Flow-Detector erfasst und durch den Lautsprecher wahrgenommen. Abhängig von der Geschwindigkeit des Blutflusses generiert ein Transducer Ultraschallwellen zu verschiedenen Frequenzen (Erhardt et al. 2007).

Die Ultraschallwellen werden von einem Piezo-Kristall emittiert und durch die Bewegung der Arterienwand und der Blutkörperchen auf einen zweiten Kristall reflektiert (Wehner et al. 2017).

2.7.2.1.1. Vorbereitung

Der Ultraschallsensor wird bevorzugt über der Arteria digitalis palmaris communis direkt distal des Handballens oder ventral an der Schwanzwurzel an der Arteria coccygea positioniert. Zur Optimierung der Ankopplung kann die Stelle vor der Messung geschoren und/oder die Haare mittels Alkohol befeuchtet werden. Weiters sollte ausreichend Ultraschallgel zur Anwendung kommen. Die Manschette wird proximal von der jeweiligen Lokalisation angelegt (Erhardt et al. 2007). Die Manschettengröße liegt bei Katzen optimalerweise bei 38 % des Umfanges des betreffenden Extremitätenteils (Haskins 1992). In den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) wird eine Manschettenbreite von 30-40 % des Gliedmaßenumfangs empfohlen (Grandy et al. 1992). Ein zu kleiner Cuff führt zu einer Erhöhung des gemessenen Blutdrucks, ein zu großer zu einer Erniedrigung, wobei die Größe des Fehlers bei letzterem deutlich geringer ist (Ramsey et al. 1991).

2.7.2.1.2. Messung

Die Katze wird in aufrecht sitzender oder sternaler Position gehalten (Wehner et al. 2017). Der Manschettendruck wird 20-40 mmHg über jenen Wert erhöht, ab dem kein akustisches

Signal mehr wahrnehmbar ist (Taylor et al. 2017). Um den Stress während der Messung bei den Katzen möglichst gering zu halten, sollten Kopfhörer zur Anwendung kommen (Taylor et al. 2017, Wehner et al. 2017). Während des langsamen Ablassens der Manschettenluft wird auf das Wiedereinsetzen des akustischen Signals geachtet, welches den systolischen Blutdruck darstellt (Taylor et al. 2017). Die Ablassgeschwindigkeit sollte nur wenige mmHg pro Sekunde betragen, um eine möglichst genaue Aussage über den Blutdruckwert treffen zu können (Erhardt et al. 2007). Die Genauigkeit der Messung ist von der Erfahrung und der Hörfähigkeit des Untersuchers abhängig (Erhardt et al. 2007, Gouni et al. 2014).

Theoretisch ist mittels Doppler sonographischer Methode auch die Bestimmung des diastolischen Blutdrucks möglich, welcher sich durch eine Änderung des akustischen Signals präsentiert. Dieses ist jedoch nicht immer eindeutig und verlangt viel Können und Erfahrung von Seiten des Untersuchers (Gouni et al. 2014). Da der systolische Blutdruckwert bestimmend für die Entstehung von Endorganschäden (Mancia et al. 2001, Mentari und Rahman 2004) und die Lebenserwartung des Patienten ist, ist die Messung des diastolischen Wertes in der Praxis von untergeordneter Bedeutung (Brown et al. 2007a).

2.7.2.2. Klassische Oszillometrie

Bei der klassischen oszillometrischen Blutdruckmessung werden die durch die Druckschwankungen der Pulswelle erzeugten Schwingungen (Oszillationen) der Arterienwand registriert und in Blutdruckwerte umgerechnet (Erhardt et al. 2007, Wehner et al. 2017).

Für die oszillometrische Blutdruckmessung werden eine Manschette und ein elektronischer Drucksensor, der eine numerische Anzeigetafel besitzt, benötigt (Wehner et al. 2017).

Die Manschette wird entweder an der Vordergliedmaße proximal des Carpus (Arteria radialis), an der Hintergliedmaße proximal des Tarsus (Arteria saphena) oder direkt an der Schwanzwurzel (Arteria coccygea) angebracht. Die Messstelle muss nicht geschoren werden (Erhardt et al. 2007).

Das Aufpumpen und wieder Ablassen der Manschette erfolgt Computer gesteuert (Erhardt et al. 2007). Die erste detektierbare Oszillation zeigt das Wiedereinsetzen des Blutflusses an und ist der SAP. Die größte Oszillation entspricht dem mittleren arteriellen Blutdruck und das Zurückgehen der Amplitudenhöhe der Schwingungen signalisiert den diastolischen Blutdruck (Erhardt et al. 2007, Wehner et al. 2017).

2.7.2.3. High Definition Oszillometrie

Die HDO ist die neueste Generation der oszillometrischen Blutdruckmessmethoden und weist gegenüber der klassischen Oszillometrie einige Vorteile auf (Erhardt et al. 2007, Taylor et al. 2017). Die einzelnen Pulswellen werden in Echtzeit detektiert und der systolische, mittlere und diastolische Blutdruckwert angegeben (Adler et al. 2013). Die HDO ist deutlich schneller, präziser und empfindlicher als die klassische Oszillometriemethode und ist in der Lage, Messartefakte, zum Beispiel Bewegungen des Tieres, selbstständig zu erkennen und aus den Messergebnissen herauszurechnen (Erhardt et al. 2007).

Die Manschette wird am besten an der Schwanzwurzel angelegt (Cannon und Brett 2012). Ein Computer steuert die Inflation und Deflation, daher ist die Ablassrate konstant (Wehner et al. 2017). Die Messstelle muss nicht rasiert werden (Erhardt et al. 2007).

Neben den Blutdruckwerten werden auch Aufzeichnungen zu Herzfrequenz und Schlagvolumen gemacht und die Pulswelle graphisch am Monitor dargestellt (Wehner et al. 2017).

2.7.2.4. Vergleich der indirekten Methoden

Die in vielen Kliniken und Praxen verwendete Doppler sonographische Methode zeichnet sich bei der Anwendung an Katzen durch eine gute Korrelation mit direkten Messmethoden aus (Haberman et al. 2004). Des Weiteren überzeugt die Dopplermethode durch eine extrem hohe Erfolgsquote bei den Messungen sowohl bei hypo-, normo- als auch bei hypertensiven Katzen (Sander et al. 1998, Jepson et al. 2005, Petric et al. 2010). Im Gegensatz dazu wird der systolische Blutdruck mit der klassischen Oszillometrie bei hohen Blutdruckwerten oft unterschätzt. In einzelnen Fällen ist es sogar unmöglich, einen Wert bei der Messung zu erhalten (Binns et al. 1995, Sander et al. 1998, Möllenhoff et al. 2001, Pedersen et al. 2002, Haberman et al. 2004, Jepson et al. 2005). Die neue HDO Methode wird in der aktuellen Literatur der klassischen Oszillometrie vorgezogen, da die Korrelation mit direkten Messmethoden signifikant höher ist (Martel et al. 2013) und die erfolglosen Messversuche deutlich geringer als bei der klassischen Oszillometrie sind (Cannon und Brett 2012, Martel et al. 2013). Laut der Studie von Martel et al. (2013) ist die HDO Messung die empfohlene Messmethode für nicht invasive Blutdruckmessungen, da sie als einzige die strengen Validierungskriterien des ACVIM Hypertension Consensus Panel (Brown et al. 2007a) erfüllt. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass einzelne Kriterien nicht eingehalten wurden. In einer Studie von Da Cunha et al. (2014) erfüllten Messungen mittels Doppler Sonographie die Voraussetzungen für die Validierung nicht (Da Cunha et al. 2014).

2.7.3. Lokalisation der Manschette bei der Doppler Sonographie und der Oszillometrie

Die Genauigkeit des Messergebnisses bei indirekten Methoden hängt nicht nur von der optimalen Manschettengröße, sondern auch von der Lokalisation der Manschette ab. In den letzten Jahren haben sich einige Studien mit der Frage beschäftigt, welche Lokalisation die verlässlichsten Ergebnisse liefert, um in weiterer Folge Fehldiagnosen zu vermeiden.

In den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen von Taylor et al. (2017) wird für oszillometrische Messmethoden der Schwanz als beste Lokalisation für die Manschette nahegelegt. Die Angaben stützen sich auf die Studie von Cannon und Brett (2012). In dieser wurden bei 30 ungedienten Katzen der SAP oszillometrisch an Schwanz und Vorderextremität gemessen. Hierbei wurde das Augenmerk auf die Praxistauglichkeit der Messungen für die Kontrollen bei wachen Katzen gelegt. Die Messungen am Schwanz wurden von den Katzen signifikant besser toleriert als jene an der Pfote. Dies zeigte sich einerseits durch die geringere Anzahl an Fehlversuchen bei den Schwanzmessungen als auch durch die geringer benötigte Zeit, um sechs Messungen zu erhalten. Ein Vergleich mit direkten Messungen wurde nicht durchgeführt. Die ermittelten systolischen Blutdruckwerte waren am Schwanz höher als an der Vorderextremität, unabhängig davon, welche Lokalisation zuerst gewählt wurde. Petric et al. (2010) inkludierten anfangs in die Studie oszillometrisch gemessene Werte bei sedierten Katzen an der Arteria coccygea (Schwanz) und an der Arteria radialis (Vorderextremität). Erstere wurden dann jedoch aufgrund der hohen Unterschiede verglichen mit Doppler Messwerten nicht weiter in der Studie untersucht.

In denselben Richtlinien für Hypertension (Taylor et al. 2017) wird erwähnt, dass für Doppler sonographische Messungen die Vordergliedmaße möglicherweise besser ist. Die Empfehlung beruht auf einer Studie von Conti et al. (2013). In dieser werden jedoch nur Hinter- und Vorderextremitätenmessungen evaluiert und die Frage, ob die Schwanzmessung präzisere Werte liefert, außer Acht gelassen. Auch bei Haberman et al. (2004) stimmten die an der Arteria radialis (Vorderextremität) gewonnenen Werte besser mit direkt gemessenen Werten (Radiotelemetrie als Goldstandard) überein. Aber auch in dieser Studie wurden die Blutdruckwerte bei sedierten und wachen Katzen nur an der Arteria radialis (Vorderextremität) und an der Arteria saphena (Hinterextremität) gemessen und ausgewertet. Bei Binns et al. (1995) wiederum waren Messungen bei sedierten Katzen am Schwanz der Hinterextremität aufgrund des geringsten Bias vorzuziehen, die Streuung der Schwanzwerte war jedoch höher als jene an der Pfote.

In einer ganz aktuellen Studie von Whittemore et al. (2017) wurde bei 66 ungedienten Privatkatzen der SAP an der Arteria coccygea und der Arteria radialis mittels Doppler sonographischer Blutdruckmessung verglichen. Als weitere Untersuchungselemente wurden der Einfluss des Alters, des BCS und der MCS inkludiert. Die Schwanz SAP Werte waren im Mittel um 19 mmHg höher als die Extremitätenwerte. Zudem zeigten sich eine positive Korrelation zwischen den Blutdruckwerten der Vordergliedmaße und dem Alter und eine negative Korrelation zu den MCS Gruppen. Coccygeale SAP Werte waren weder mit Alter, BCS noch MCS korreliert.

Eine ähnliche Studie wurde 2017 von Mooney et al. publiziert. Bei 62 Hunden aus Privathaushalten wurde der Einfluss von BCS, Gewicht, MCS und Alter auf den systolischen Blutdruck, gemessen an der Arteria radialis und an der Arteria coccygea mittels Doppler Sonographie untersucht. Im Gegensatz zu Studien an Katzen fanden Mooney et al. (2017), dass der Blutdruck an der Arteria radialis (Mittelwert aus Messungen 2-6) signifikant höher (9 mmHg) war als an der Arteria coccygea. Betreffend BCS, Gewicht, Alter und auch MCS wurde kein Zusammenhang zu dem SAP in dieser Studie gefunden.

2.7.4. Cuffform bei nicht invasiver Blutdruckmessung

Die in der Veterinärmedizin fast ausschließlich verwendeten Manschetten bei der indirekten Blutdruckmessung bei Katzen und Hunden sind zylindrisch geformt. Die Form wurde für Patienten in der Humanmedizin entwickelt, um sich bestmöglich an den Umfang des Oberarms anzulegen. Kanine und feline Patienten besitzen jedoch eine eher konische Unterarmform, da sich der Umfang von proximal nach distal verjüngt. Diese konische Form wurde auch am Oberarm von Adipositaspatienten beobachtet und folglich wurde eine angepasste Manschettenform entwickelt. Durch die bessere Passgenauigkeit kommt es zu einer gleichmäßigeren Kompression des Gefäßes verglichen zu den klassischen zylindrischen Cuffs. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Manschette nach der Positionierung weniger leicht verrutscht (Palatini et al. 2012). Bei Anwendung eines zylindrischen Cuffs bei der Patientengruppe mit dem größten Armumfang (37,5-42,5 cm) wurde der systolische Blutdruck um $2,0 \pm 0,4$ mmHg überschätzt (Palatini et al. 2012). Auch Maxwell et al. (1985) verglichen in einer Studie die Verwendung von klassisch zylindrischen und konisch geformten Cuffs. Unabhängig vom Armumfang der Versuchspatienten war der SAP bei konischen Cuffs niedriger als bei zylindrischen Manschetten.

Aus diesem Grund maßen Ramos et al. (2015) bei 17 Hunden den Blutdruck mittels oszillometrischer Methode mit zylindrischen und konischem Cuff. Als Goldstandard wurde

der Blutdruck invasiv mittels intraarteriellem Katheter (Arteria coccygea) gemessen und als Referenzwert herangezogen. Das Ziel der Studie war herauszufinden, ob durch eine an die Anatomie der Haustiere angepasste Cuffform die Genauigkeit der indirekten Messmethoden erhöht werden kann. Die Validierungskriterien und die Vorgangsweise bei der Blutdruckmessung wurden dem ACVIM Hypertension Consensus Panel (Brown et al. 2007a) entnommen. Für die Positionierung der Manschette wurde die Vorderextremität gewählt.

Nur die mittels zylindrischen Cuff ermittelten Blutdruckwerte erfüllten die empfohlenen Validierungskriterien. Zwar lagen die Blutdruckwerte bei Verwendung eines konischen Cuffs näher am Goldstandard verglichen mit jenen bei der Verwendung einer zylindrisch geformten Manschette, doch die „Limits of Agreement“ (LOA) waren bei konischen Cuffs weiter. Dies bedeutet, dass die Reliabilität bei konischen Cuffs geringer ist. Daher empfehlen die Autoren die weitere Verwendung eines klassischen zylindrischen Cuffs.

Die Hauptlimitation für die Gültigkeit der Studienergebnisse ist, dass alle Tiere Blutdruckwerte im normotensiven Bereich hatten und daher die Streuung der Werte gering war. Eine weitere Einschränkung ist die geringe Anzahl an Hunden (17), die an der Studie teilnahmen. Weiters limitierend für die Gültigkeit der Ergebnisse ist, dass die Reihenfolge der Blutdruckmessungen standardisiert war, es wurde immer zuerst die Messung mit dem konischen und dann mit dem zylindrischen Cuff durchgeführt. Weitere Studien sollten auch hypo- und hypertensive Tiere einbeziehen und verschiedene Tiere mit verschiedenem BCS. Oben erwähnte Humanstudien zeigen, dass die konische Armform bei adipösen Patienten stärker ausgeprägt ist und daher besonders bei diesen Patienten eine Anwendung von konischen Cuffs empfohlen wird.

Vergleichende Studien bei Katzen sind keine bekannt.

3. TIERE, MATERIAL UND METHODE

Es handelt sich um eine prospektive Block-randomisierte Studie.

3.1. Tiere

Es wurden insgesamt 80 Katzen in die Studie aufgenommen. Davon waren 19 Katzen stationäre Patienten der Departments Interne Medizin Kleintier und Kleintierchirurgie der Kleintierklinik der Veterinärmedizinischen Universität Wien (Veterinärplatz 1, 1210 Wien), 20 Katzen kamen aus dem Wiener Tierschutzhaus Vösendorf (Triester Straße 8, 2331 Vösendorf) und weitere 41 Katzen waren im Besitz von Privatpersonen in Wien.

3.1.1. Einschlusskriterien

Alle gesunden Katzen oder Katzen mit diagnostizierten Krankheiten ab einem Alter von sechs Monaten durften als Probanden an der Studie teilnehmen.

3.1.2. Ausschlusskriterien

Von der Studie ausgeschlossen wurden hochgradig aggressive oder sehr ängstliche Tiere oder Tiere, die sich in einem kritischen Zustand befanden und für welche die Blutdruckmessung hohen Stress verbunden mit negativen Folgen bedeutet hätte. Ebenfalls konnten Tiere, die Verletzungen im Schwanzbereich oder an beiden Vorderextremitäten hatten, nicht in die Studie aufgenommen werden, da beide Lokalisationen für die Messungen in der Studie notwendig waren. Auch Tiere mit beidseitigen Venenkathetern wurde aus diesem Grund von der Studie ausgeschlossen.

3.2. Material und Methode

Die Messung des systolischen Blutdrucks erfolgte mittels nicht invasivem Doppler sonographischem Messverfahren sowohl an einer der beiden Vorderextremitäten als auch am Schwanz. Die Technik der Blutdruckmessung mittels Doppler Sonographie wurde nach Erhardt et al. (2007) und Taylor et al. (2017) durchgeführt. Die einzige Unterscheidung von den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) war, dass die erste Messung nicht verworfen wurde, wenn die Abweichung $< 20\%$ betrug. Laut vorangegangenen Studien (Jepson et al. 2005, Mooney et al. 2017) besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der ersten Blutdruckmessung und dem Mittelwert aus mehreren Messwerten. Bei den Messungen kam ein bei Katzen

evaluierter (Haberman et al. 2004, Petric et al. 2010) Doppler-Flow-Detector (Modell 811-B, Eickemeyer®, Parks Medicals Electronics, Inc., Aloha, Oregon, U.S.A) mit aufblasbaren Manschetten (Firma Philips) der Größen 1 bis 3 zum Einsatz (Gr. 1: 3,1-5,7 cm; Gr. 2: 4,3-8,0 cm; Gr. 3: 5,8-10,9 cm). Die günstigste Manschettengröße liegt bei 38 % des Extremitätenumfangs (Haskins 1992). Bei der Wahl der Manschette wurde daher darauf geachtet, dass die Manschettenbreite 30 bis 40 % des Extremitäten- bzw. des Schwanzumfangs weder über- noch unterschritt. Um Nebengeräusche zu reduzieren kamen Kopfhörer (Firma Sennheiser) zum Einsatz. Dies diente einerseits dazu, genauere Messwerte bestimmen zu können, andererseits auch, um die Katzen möglichst wenig durch unbekannte Geräusche zu irritieren (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Doppler-Flow-Detector: Modell 811-B, Eickemeyer®, Parks Medicals Electronics, Inc., Aloha, Oregon, U.S.A.

Die Blutdruckmessungen der Katzen fanden immer in einem ruhigen Raum statt. Bei stationären Patienten erfolgten die Messungen entweder direkt im Käfig oder auf einem Untersuchungstisch, immer in Abwesenheit der Besitzer. Die Katzen von Privatleuten wurden in ihrer bekannten Umgebung in einen ruhigen Raum gebracht und die Messungen immer im Beisein der Besitzer durchgeführt. Im Tierheim Vösendorf wurde für die Blutdruckmessungen ein geschützter Bereich mit Pflegern eingerichtet, um den Katzen die Atmosphäre möglichst angenehm zu gestalten. Die Blutdruckmessungen fanden Tageszeit unabhängig statt, sowohl unter der Woche als auch am Wochenende, um einen möglichst

ruhigen und stressfreien Augenblick für die beteiligten Tiere und Hilfspersonen zu wählen und auch, um den Klinikalltag im Tierheim und an der Veterinärmedizinischen Universität nicht zu behindern.

Die Messungen erfolgten nach einer kurzen Gewöhnungsphase an Untersucherin und Hilfsperson, bei Privatkatzen, wenn möglich, am Schoß des Besitzers. Die Reihenfolge, an welcher der beiden Lokalisationen zuerst gemessen wurde, wurde mittels Block-Randomisierung festgelegt. An der Vorderextremität wurde zuerst ein kleiner ca. 1x1 cm umfassender Bereich auf der Palmarseite der Pfote zwischen Handballen und Metacarpalballen ausrasiert und die restlichen Haare sauber entfernt. Die passende Manschette wurde danach proximal des Karpalgelenks befestigt. Am Schwanz erfolgte die Rasur ventral am Schwanz nach Anbringen der Manschette direkt an der Schwanzbasis. Als Rasierer kam eine für Hunde und Katzen entwickelte, sehr leise Schermaschine „Isis GT 420“ der Firma Aesculap zum Einsatz. Die ausrasierten Stellen wurden, um eine bessere Ankopplung für den Ultraschallsensor zu erhalten, mit Alkohol befeuchtet. Es wurde darauf geachtet, dass sich der Luftschlauch möglichst über der zu komprimierenden Arterie befand. Zur besseren Fixierung der Manschette wurde diese mit einem kleinen Streifen Klebeband befestigt, jedoch wurde niemals die ganze Manschette zirkulär umrundet. Die Stelle unter der Manschette wurde nicht ausrasiert, da Branson et al. (1997) keinen signifikanten Unterschied in der Höhe der Blutdruckwerte zwischen rasierten und unrasierten Bereichen feststellte.

Die Katze durfte nun eine für sie angenehme Position sitzend oder in Brust-Bauchlage einnehmen. Bei den Messungen wurden die Katzen nur minimal fixiert. Die Dopplersonde wurde mit Ultraschallgel benetzt und senkrecht über dem Gefäß platziert, der Arteria digitalis palmaris communis an der Vorderextremität bzw. der Arteria coccygea an der Schwanzunterseite. Nach der akustischen Erkennung des Blutflusses wurde die Manschette mittels Handsphygmomanometer bis zum Verschluss der Arteria radialis bzw. der Arteria coccygea 20-40 mmHg über den systolischen Druck hinaus aufgeblasen.

Durch langsames Ablassen der Luft aus der Manschette über ein Ventil am Handsphygmomanometer wurden fünf Messwerte des SAP ermittelt und anschließend ein Mittelwert errechnet. Wenn der erste Messwert deutlich von den weiteren Werten abwich, wurde er verworfen und ein sechster Wert für die Mittelwertbildung gemessen. Die einzelnen gemessenen Werte durften sich nicht um mehr als 15 mmHg unterscheiden. Alle Messreihen entstanden innerhalb von 10 Minuten.

Anschließend an die Blutdruckmessungen wurde das genaue Gewicht der Katzen ermittelt und der BCS anhand eines 5-Punkte-Modells nach Lund et al. (1999) erhoben (siehe Tab.

1). Dabei umfasste die Gruppe mit einem BCS von 5 alle adipösen, mit einem BCS von 4 alle übergewichtigen, mit einem BCS von 3 alle idealgewichtigen, mit einem BCS von 2 alle untergewichtigen und mit einem BCS von 1 alle hochgradig abgemagerten Tiere.

Tab. 1: 5-Punkte-BCS-Modell nach Lund et al. (1999)

BCS	Rippen	Schwanzbasis	Abdomen
1 (dünn)	leicht palpierbar mit keiner Fettschicht	leicht palpierbare Knochenvorsprünge	straffe Haut über gesamtes Abdomen
2 (untergewichtig)	leicht palpierbar mit minimaler Fettschicht	leicht palpierbare Knochenvorsprünge	offensichtliche Taille
3 (ideal)	palpierbar mit geringer Fettschicht	Nicht evaluiert	gut proportionierte Taille, minimaler Fettpolster
4 (übergewichtig)	schwer zu palpieren, moderate Fettschicht	Nicht evaluiert	kaum oder keine Taille, abdominale Rundung, moderater abdominaler Fettpolster
5 (adipös)	sehr schwer zu palpieren, dicke Fettschicht	Nicht evaluiert	ausgedehnt mit beträchtlichen Fettab- lagerungen, keine Taille, Fettab- lagerungen im Lumbalbereich und eventuell im Gesicht und an den Gliedmaßen

3.3. Aufbereitung der Patientendaten

Die dazugehörenden Patienteninformationen wurden von den Tierbesitzern erfragt, aus der Kartei des Tierheimes abgelesen oder mittels universitätseigener Datenbank, dem TIS (Software zur Sammlung sämtlicher Patientendaten inklusive Krankengeschichten, Befunden

und Therapien), ermittelt. Anschließend wurden die benötigten Patientendaten in einer Excel Datei (MS Windows) gesammelt, sortiert und aufgearbeitet.

Die benötigten Patienteninformationen waren folgende:

1. Rasse
2. Geschlecht
3. Kastration (ja/nein)
4. Körpergewicht (in Kilogramm)
5. BCS (1-5)
6. Alter (in Monaten)
7. Hauptdiagnose/Verdachtsdiagnose/gesund
8. Medikamente, die den Blutdruck beeinflussen

Zusätzlich zu den Blutdruckwerten wurde notiert, welche Lokalisation zuerst gewählt wurde und ob eine Lokalisation deutlich besser von den Katzen akzeptiert wurde. Weiters wurde die Manschettengröße jeweils für die Pfoten- als auch die Schwanzmessung festgehalten.

Die Katzen wurden nach persönlicher Einschätzung ihres Verhaltens während der Vorbereitung und der Blutdruckmessung in Verbindung mit der benötigten Zeit in drei Gruppen eingeteilt:

0. Brav, problemlos
1. Aufgeregt, zappelig
2. Grenzwertig, schwierig

Eine weitere Einteilung der Katzen erfolgte anhand ihrer Diagnose. Die Katzen wurden in neun medizinische Fachgebiete klassifiziert. In die Trauma und Chirurgie Gruppe (1) kamen alle chirurgischen Patienten und solche, die wegen orthopädischer Probleme in der Klinik vorstellig wurden (Lahmheiten, Wundversorgungen, Zahnsanierung, Weichteil- und Knochenoperation). Die Neurologie (2) umfasste alle Tiere mit Erkrankungen des zentralen und des peripheren Nervensystems. Der Gruppe Urologie (3) wurden alle Tiere mit Erkrankungen der Nieren und der harnableitenden Wege zugeordnet. Die Onkologie (4) beinhaltete alle Katzen mit neoplastischen Erkrankungen. In die Gruppe der Kardiologie (5) kamen alle Katzen mit kardialen Erkrankungen (auch Tiere mit nicht weiter diagnostizierten Herzgeräuschen). Patienten mit Erkrankungen, die den Gastrointestinaltrakt betrafen (inklusive Leber und Pankreas), wurden der Gruppe Gastroenterologie (6) zugeteilt. Die

Endokrinologie (7) umfasste Tiere mit vorwiegend endokrinologischen Krankheiten (Diabetes mellitus, Hyperthyreose). In eine weitere Gruppe (8) kamen jene Tiere, die keinem der vorher genannten Fachgebiete eindeutig zugeordnet werden konnten. Die letzte Gruppe (9) umfasste alle klinisch gesunden Tiere.

3.4. Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe des Statistik-Programms SPSS (Statistical Package for Social Sciences) Vers. 24 und mit Microsoft Excel für MS Windows.

Die Voraussetzungen der Normalverteilungen aller nominalen Daten zur Anwendung parametrischer Testverfahren wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest (Signifikanzkorrektur nach Lillifors) überprüft. Aufgrund der graphischen Verteilung wurde die Normalverteilung angenommen und die Ergebnisse als Mittelwert und Standardabweichung angegeben.

Die Ermittlung der Unterschiede zwischen Gruppen wurde mittels T-Test für verbundene Stichproben gemacht.

Lineare Zusammenhänge wurden mit den Korrelationsanalysen nach Spearman (r_{sp}) für ordinalskalierte Daten untersucht.

Die Varianzanalyse (ANOVA) wurde als Crossover Design verwendet, um Einflüsse auf die Blutdruckdifferenzen zu evaluieren.

P-Werte $< 5\%$ ($p < 0,05$) wurden als statistisch signifikant angesehen, die Nullhypothese wurde verworfen.

3.5. Tierschutzrechtliche Aspekte

Die prospektive Studie wurde von der Ethik- und Tierschutzkommission (ETK) der Veterinärmedizinischen Universität Wien genehmigt und als kein Tierversuch gemäß Tierversuchsgesetz (TVG) befunden (ETK 11/04/2017).

4. ERGEBNISSE

Von den 80 in die Studie aufgenommenen Katzen waren 68 (85,0 %) Europäisch Kurzhaar Katzen (EKH). Unter den übrigen zwölf waren vier (5,0 %) Perser, drei (3,8 %) Britisch Kurzhaar Katzen (BKH), zwei (2,5 %) Norwegische Waldkatzen, zwei (2,5 %) Main Coons und ein (1,3 %) Bengale.

Das durchschnittliche Alter der Tiere lag bei 81 (\pm 52) Monaten. Die jüngste Katze, die in die Studie aufgenommen wurde, war zum Zeitpunkt der Blutdruckmessungen sieben Monate alt, die älteste 204 Monate.

Fünfundvierzig (56,3 %) Tiere waren männlich, 35 (43,8 %) weiblich. Sechs männliche Katzen waren unkastriert, 39 waren kastriert. Von den Katzen weiblichen Geschlechts waren acht Tiere unkastriert, die restlichen 27 kastriert.

Das durchschnittliche Körpergewicht der untersuchten Katzenpopulation betrug 4,12 kg (\pm 1,27). Die leichteste Katze brachte ein Gewicht von 2,0 kg auf die Waage, das schwerste Tier wog 7,78 kg.

Der Median des BCS lag bei 3 ($M \pm SD$: 2,86 \pm 0,76) und reichte von 1 (hochgradig abgemagert) bis 5 (adipös). Drei (3,8 %) Katzen hatten einen BCS 1, 18 (22,5 %) Katzen einen BCS 2, 48 (60,0 %) Katzen einen BCS 3, neun (11,3 %) einen BCS 4 und zwei (2,5 %) einen BCS 5 (siehe Abb. 2). Katzen mit einem BCS 1 und einem BCS 2 galten als untergewichtig, Katzen mit einem BCS 3 als normalgewichtig und Katzen mit einem BCS 4 und einem BCS 5 wurden der Kategorie übergewichtig zugeteilt. Somit waren von den 80 Katzen 21 (26,3 %) Tiere untergewichtig, 48 (60,0 %) Katzen normalgewichtig und 11 (13,8 %) Katzen übergewichtig.

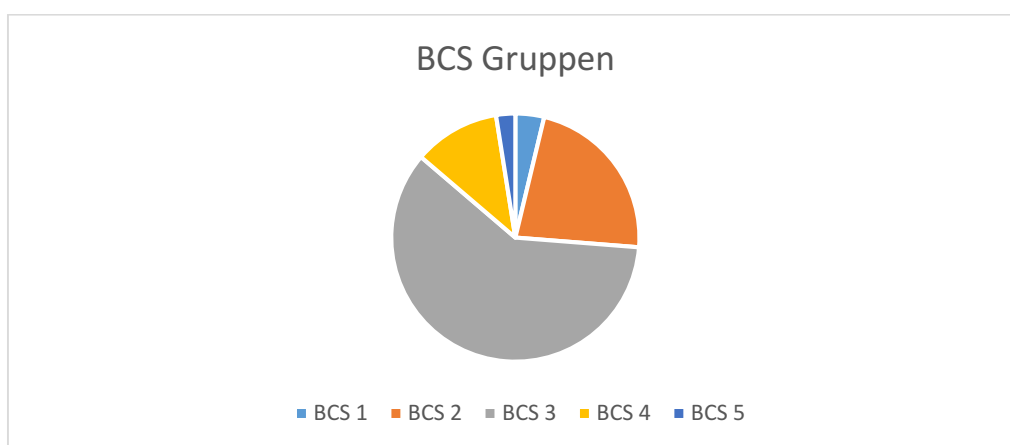


Abb. 2: Verteilung der Katzen in den einzelnen BCS Gruppen

Ihr Verhalten und ihre Kooperation während der Blutdruckmessungen betreffend waren 59 (73,8 %) Katzen brav und problemlos und wurden somit klinisch als ruhig und aufmerksam eingestuft, 16 (20,0 %) Katzen waren aufgeregt und eher zappelig, zeigten also ein geringgradig gesteigertes Allgemeinverhalten, bei fünf (6,3 %) Katzen waren die Messungen grenzwertig bis schwierig, ihr Allgemeinverhalten wurde als mittelgradig bis hochgradig gesteigert eingestuft. Zusammengefasst waren die Messungen bei 59 Katzen problemlos, bei 21 Tieren waren die Messungen mit geringen Schwierigkeiten verbunden.

Das medizinische Fachgebiet Trauma und Chirurgie umfasste sechs (7,5 %) Katzen, die Neurologie zwei (2,5 %), die Urologie neun (11,25 %), die Onkologie zwei (2,5 %), die Kardiologie vier (5,0 %), die Gastroenterologie drei (3,75 %) und die Endokrinologie zwei (2,5 %). Fünf (6,25 %) Katzen konnten keinem Krankheitsbild und somit keiner der vorherig genannten Kategorien eindeutig zugeordnet werden. Die restlichen 47 (58,75 %) der untersuchten Katzen wurden als klinisch gesund kategorisiert.

Für die Blutdruckmessungen am Schwanz wurden Manschetten der Größe 1 bis 3 verwendet (Gr. 1: 3,1-5,7 cm; Gr. 2: 4,3-8,0 cm; Gr. 3: 5,8-10,9 cm). An der Pfote wurde 13 (16,3 %) Mal ein Cuff der Größe 1 benutzt, 64 (80,0 %) Mal Größe 2 und drei (3,8 %) Mal Größe 3. Am Schwanz kam Größe 1 23 (28,8 %) Mal und Größe 2 57 (71,3 %) Mal zur Anwendung. Größe 3 wurde am Schwanz nicht eingesetzt.

Mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest (mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors) wurden die Blutdruckwerte und Variablen auf Normalverteilung untersucht und graphisch verifiziert. Eine Normalverteilung der Daten wird angenommen und daher wird die Angabe als Mittelwert und Standardabweichung gewählt. Unmessbar hohe Blutdruckwerte oder Werte, die 280 mmHg überschritten wurden mit 280 mmHg angegeben.

Per Varianzanalyse (General linear model = GLM) wurde mittels Cross-over-Design untersucht, ob die Messreihenfolge (erste versus zweite Messung) und die Reihenfolge der Lokalisationen (Pfote-Schwanz versus Schwanz-Pfote) einen Einfluss auf die Blutdruckwerte hatten. Es zeigte sich weder ein Einfluss der zeitlichen Messreihenfolge, Periodeneffekt ($F < 1$; $p = 0,157$) noch ein Einfluss der Reihenfolge der Messlokalisierung, Sequenzeffekt ($F < 1$; $p = 0,965$) (siehe Abb. 3). Die beiden Gruppen Schwanzwerte und Pfotenwerte wurden in weiterer Folge miteinander verglichen und auf Einflüsse untersucht.

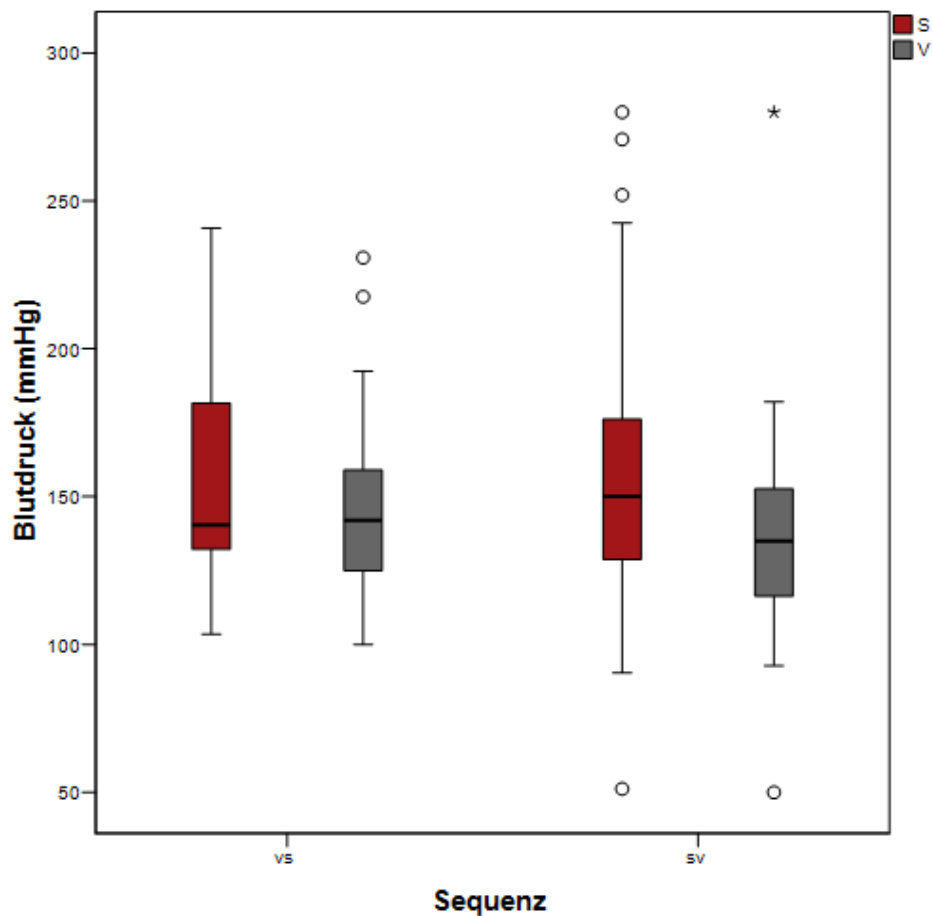


Abb. 3: Box-plot Diagramm zur Darstellung der Blutdruckdifferenzen in Abhängigkeit von der Sequenz. Die Schwanzwerte sind unabhängig davon, welche Lokalisation bei der Messung zuerst an der Reihe war, höher als die Pfotenwerte. (rot = Schwanzmessung, grau= Pfotenmessung; vs = zuerst Pfotenmessung; sv = zuerst Schwanzmessung). Das Box-plot Diagramm wurde zur graphischen Darstellung der Messwerte gewählt, um einen schnellen Eindruck zu vermitteln, in welchem Bereich die Werte liegen und wie sie verteilt sind. Die Box wird in zwei Richtungen von Linien verlängert. Diese Linien werden als „Whisker“ bezeichnet und werden durch einen Querstrich abgeschlossen. Die Grenzen der Box heißen Tukeys Hinges und entsprechen dem 25 %- bzw. dem 75 %-Perzentil. Somit entspricht die Box dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Die Länge der Box repräsentiert daher den Interquartilsabstand (IQR). Der Median wird als Strich in der Box gekennzeichnet. Die Whisker sind maximal 1,5 Mal so lang wie der Interquartilsabstand. Milde Ausreißer werden als Punkte dargestellt ($1,5-3 \times IQR$), extreme Ausreißer als Sterne ($> 3 \times IQR$) (Tukey 1977).

Der mittlere systolische Blutdruckwert gemessen an der Arteria radialis (Vorderextremität) lag bei 141 mmHg (± 32), der Mittelwert an der Arteria coccygea (Schwanz) lag bei 160 mmHg (± 44). Der mittlere Wert der ersten Messung an der Pfote lag bei 142 mmHg (± 32), am Schwanz betrug der Mittelwert der ersten Messung 159 mmHg (± 44) (siehe Abb. 4). Sowohl bei Pfoten- ($r_{sp} = 0,923$; $p < 0,001$) als auch bei Schwanzwerten ($r_{sp} = 0,994$; $p < 0,001$) war die erste Messung mit dem Mittelwert aus fünf Messungen positiv korreliert.

Die mittleren SAP Werte gemessen an der Arteria radialis und an der Arteria coccygea waren signifikant ($p < 0,001$) und moderat positiv ($r_{sp} = 0,519$) miteinander korreliert. Der Mittelwert am Schwanz war um 19 mmHg (± 38) höher als an der Pfote. Die maximale Abweichung der Blutdruckwerte zwischen Schwanz und Vorderextremität betrug 142 mmHg. Die Differenzen der Mittelwerte zweier Messungen waren jedoch nicht einheitlich negativ oder positiv. Alter, Geschlecht, Gewicht, Allgemeinverhalten, BCS, radiale und coccygeale Blutdruckwerte werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Darstellung der Charakteristika der 80 ungedienten Katzen, bei denen mittels Doppler sonographischem Verfahren der Blutdruck an der Arteria radialis und der Arteria coccygea gemessen wurde, eingeteilt in BCS Klassen

Variable	BCS 1-2 (n = 21)	BCS 3 (n = 48)	BCS 4-5 (n = 11)	alle (n = 80)
Alter (Monate)	106 \pm 56	68 \pm 50	88 \pm 37	81 \pm 52
Geschlecht	w = 11; m = 8	w = 17; m = 31	w = 7; m = 6	w = 35; m = 45
Gewicht (kg)	3,4 \pm 0,9	4,1 \pm 1,2	5,3 \pm 1,3	4,1 \pm 1,3
AV 0	14	37	8	59
AV 1	6	8	2	16
AV 2	1	3	1	5
Radialer SAP (mmHg)	146 \pm 44	140 \pm 27	141 \pm 24	141 \pm 32
Coccygealer SAP (mmHg)	155 \pm 46	155 \pm 40	187 \pm 56	160 \pm 45

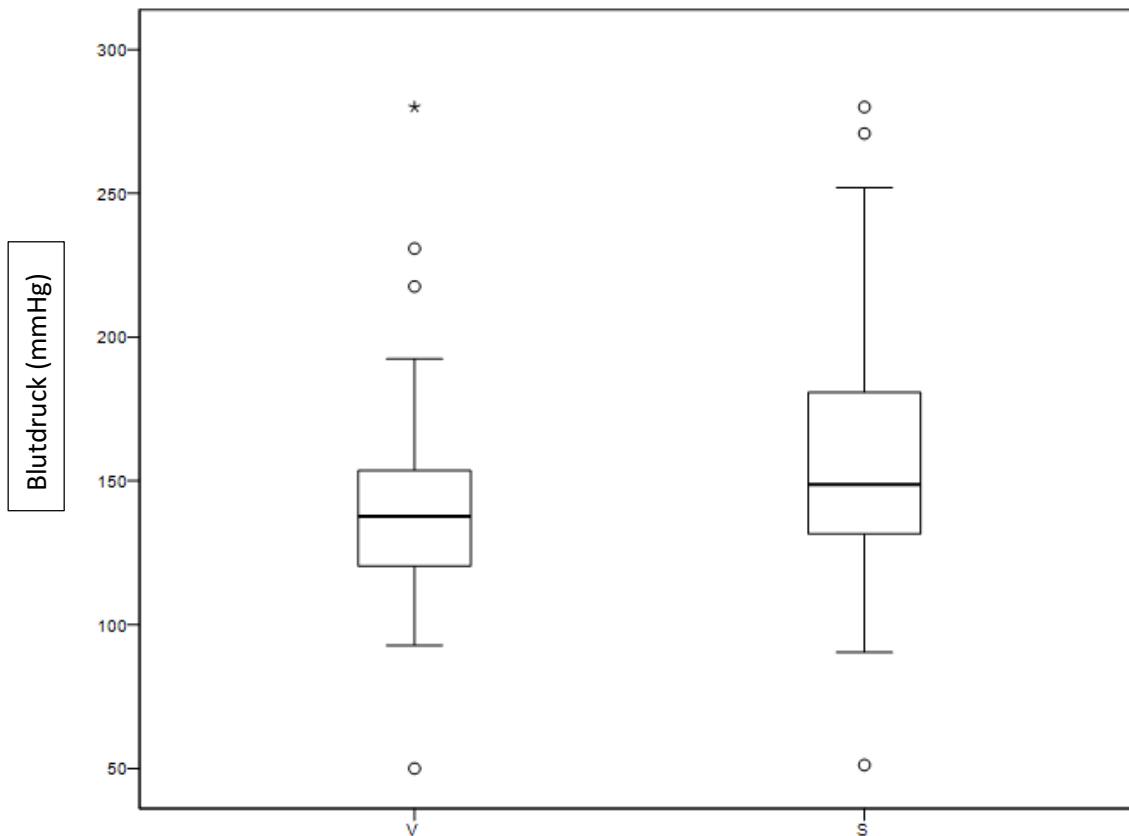


Abb. 4: Box-plot Diagramm zur Darstellung der Blutdruckwerte Vorderextremität und Schwanz vergleichend

Der Mittelwert am Schwanz war um 19 mmHg (± 38) höher als an der Pfote.

v = Vorderextremität

s = Schwanz

Die prozentuelle Differenz zwischen Pfote und Schwanz war signifikant ($p = 0,046$) und positiv ($r_{sp} = 0,224$) mit den mittleren Pfotenmessungen korreliert. Das bedeutet, dass die Unterschiede der Messwerte Schwanz zu Pfote mit steigenden Blutdruckwerten zunehmen (siehe Abb. 5).

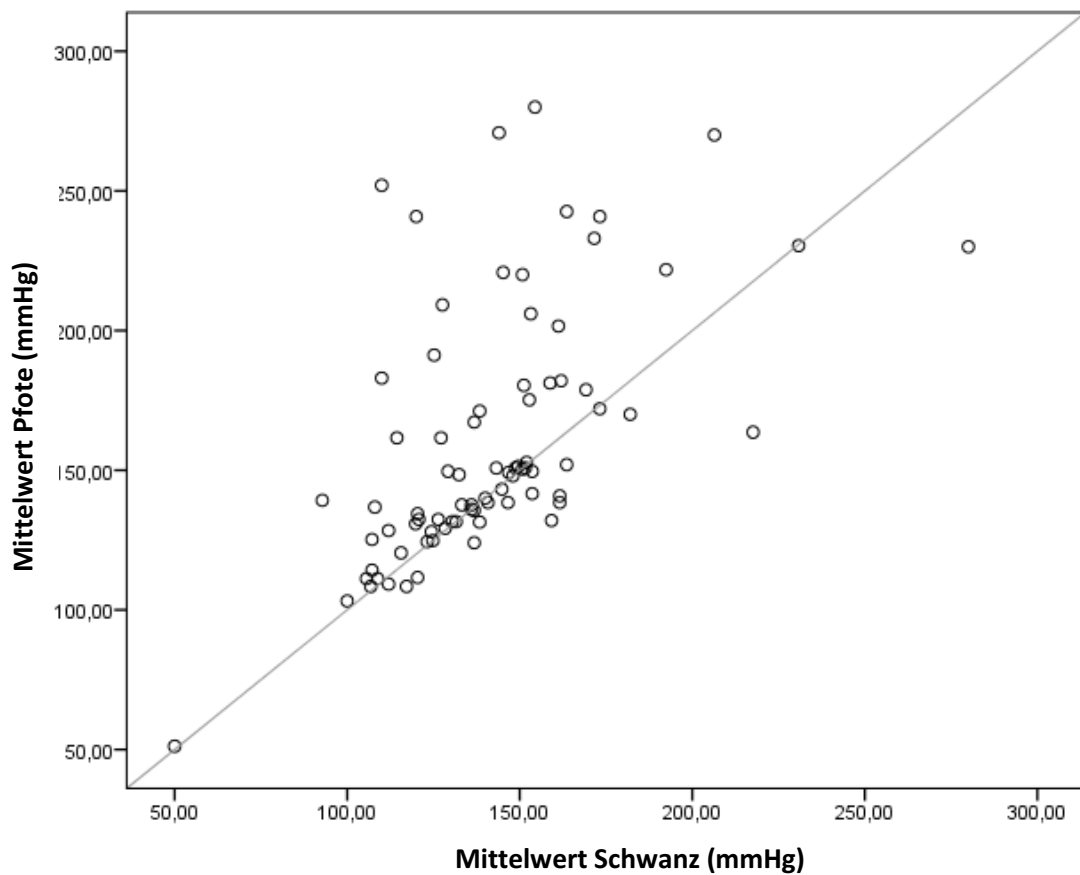


Abb. 5: Streudiagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Blutdruckwerten von Pfote und Schwanz mit einer Regressionsgeraden ($r_{sp} = 0,519$; $p < 0,001$). In den meisten Fällen sind die Schwanzwerte höher als die Pfotenwerte und die Differenzen nehmen mit steigendem Blutdruck zu.

Der Einfluss des Geschlechts auf die Blutdruckdifferenzen wurde mit T-Test für verbundene Stichproben untersucht und zeigte keine Signifikanz ($p = 0,246$) (siehe Abb. 6).

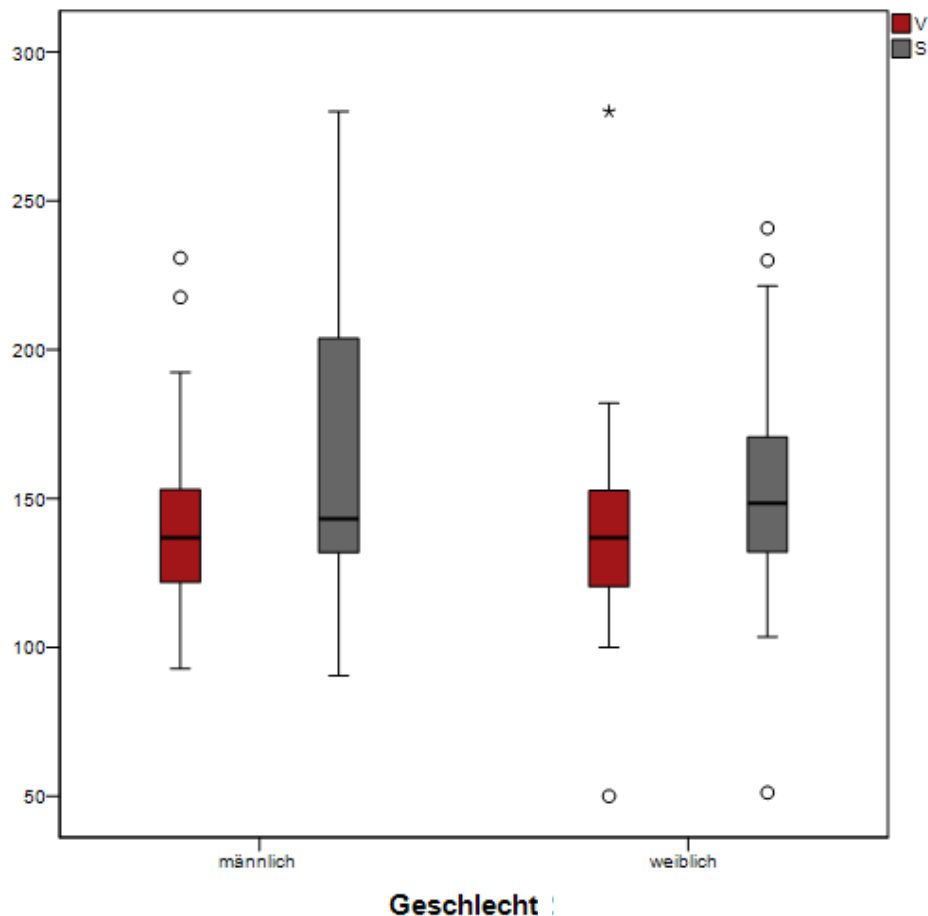


Abb. 6: Box-plot Diagramm zur Darstellung des Einflusses des Geschlechts auf die Blutdruckwerte. Der Einfluss des Geschlechts ist nicht signifikant.

rot = Vorderextremität

grau = Schwanz

Mittels T-Test für verbundene Stichproben wurde die Einflusswirkung des Allgemeinverhaltens der Katzen auf die Blutdruckdifferenzen untersucht. Dabei wurden die Katzen in zwei Gruppen, unproblematisch und geringe Schwierigkeiten bei der Messung, eingeteilt. Die Blutdruckdifferenzen sind unabhängig vom Verhalten der Katzen, der Einfluss ist nicht signifikant ($p = 0,424$).

Die Korrelation des Alters und Körpergewichts mit den radialen und coccygealen Blutdruckmittelwerten wurde mittels Spearman Test untersucht. Die absoluten

Blutdruckdifferenzen zwischen Schwanz und Pfote korrelierten weder mit dem Alter ($r_{sp} = 0,122$; $p = 0,337$) noch mit dem Körpergewicht ($r_{sp} = 0,004$; $p = 0,710$).

Nach den neuen Kriterien für Hypertension aus den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) erfolgt die Entscheidung für oder gegen eine antihypertensive Therapie durch das Vorhandensein von EOS und einen erhöhten Blutdruckwert. Die empfohlene Einteilung der systolischen Blutdruckwerte erfolgt in vier Bereiche:

- 1) < 150 mmHg
- 2) ≥ 150 mmHg
- 3) ≥ 160 mmHg
- 4) ≥ 170 mmHg

In dieser Studie wurde untersucht, ob und um wie viele Kategorien sich die Entscheidungen für eine antihypertensive Therapie je nach Messlokalisierung, entweder Schwanzmessung oder Pfotenmessung, unterschieden.

Bei 48 der 80 untersuchten Katzen wäre die gleiche Entscheidung getroffen worden. Bei insgesamt acht Katzen lag die zugeteilte Kategorie bei der radialen Messung höher als bei der coccygealen. Zwei Mal war die Kategorie um zwei Bereiche höher, bei den restlichen sechs Tieren unterschieden sich die Kategorien um einen Bereich. Die Schwanzmessung war in 24 Fällen so deutlich über den Pfotenmessungen, dass diese Tiere anderen Blutdruckkategorien zugeordnet werden hätten müssen. Bei sieben Tieren unterschieden sich die Kategorien um einen Bereich, bei neun Tieren um zwei und bei acht Tieren sogar um drei Kategorien (siehe Abb. 7). Das heißt, dass acht Tiere, die nach der Messung an der Arteria radialis als normotensiv (SAP < 150 mmHg) eingestuft worden wären, nach der Doppler Messung an der Arteria coccygea der höchsten hypertensiven Blutdruckkategorie zugeteilt werden hätten müssen (SAP ≥ 170). Diese Tiere hätten daher auch in Folge antihypertensiv therapiert werden müssen.

Eine Katze wurde basierend auf radialer (50 mmHg) und coccygealer (51 mmHg) Blutdruckmessung als hypotensiv klassifiziert.

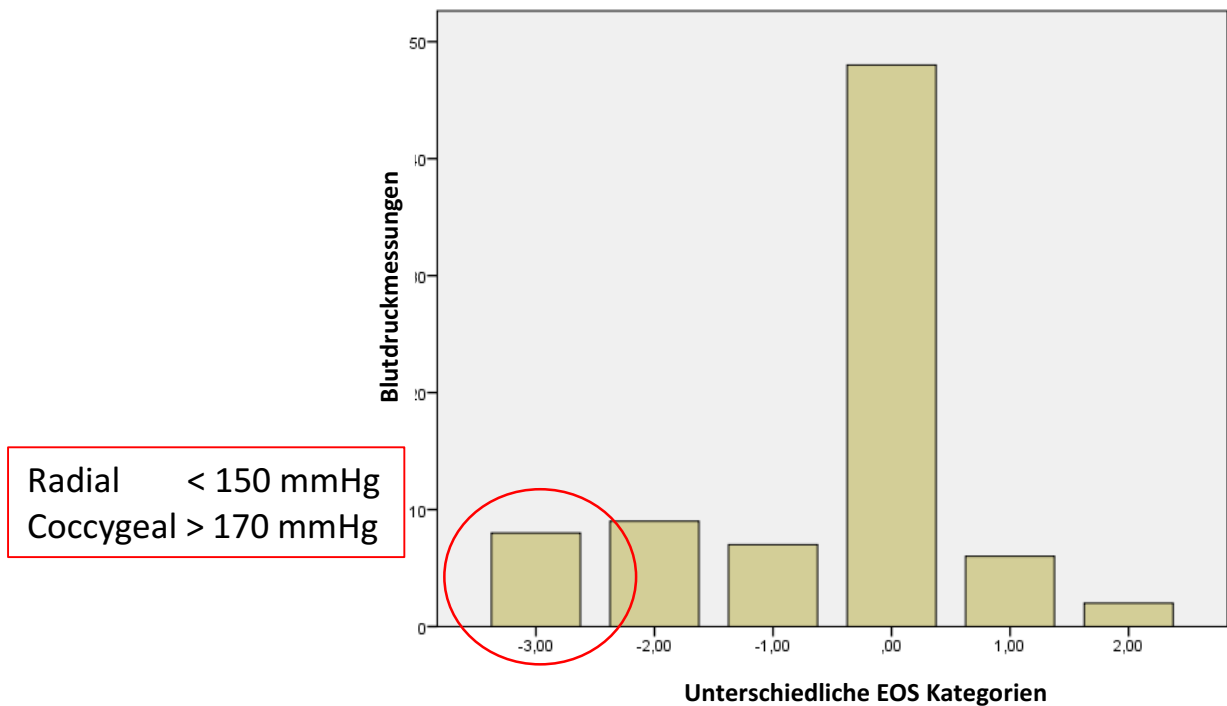


Abb. 7: Graphische Darstellung der unterschiedlichen Einteilung der 80 Katzen in die EOS Kategorien.

00: keine Unterscheidung

1: Radiale Blutdruckmessung um eine Kategorie höher als coccygeale

2: Radiale Blutdruckmessung um zwei Kategorien höher als coccygeale

-1: Coccygeale Blutdruckmessung um eine Kategorie höher als radiale

-2: Coccygeale Blutdruckmessung um zwei Kategorien höher als radiale

-3: Coccygeale Blutdruckmessung um drei Kategorien höher als radiale

Die Katzen wurden subjektiv aufgrund ihres Ernährungszustandes in drei Gruppen eingeteilt (BCS 1-2: untergewichtig, BCS 3: normalgewichtig, BCS 4-5: übergewichtig). Der BCS der Katzen hat einen signifikanten Einfluss auf die systolischen Blutdruckdifferenzen Pfote – Schwanz ($p = 0,016$).

Katzen, die der Untergewicht-Gruppe zugeordnet wurden, hatten einen Blutdruck Mittelwert von 146 mmHg (± 10) an der Pfote und einen Blutdruck von 155 mmHg (± 10) am Schwanz. Der Mittelwert der Differenzen war am Schwanz um 10 mmHg (± 25) höher als an der Pfote. Die größte Gruppe der Katzen hatte einen BCS 3. Diese Tiere hatten an der Vorderextremität einen mittleren Blutdruckwert von 140 mmHg (± 4) und am Schwanz einen

mittleren SAP von 156 mmHg (± 6). Am Schwanz lag der Wert durchschnittlich um 16 mmHg (± 36) höher als an der Vorderextremität.

Bei den übergewichtigen Katzen, BCS 4-5, lag der mittlere Blutdruckwert gemessen an der Arteria radialis bei 141 mmHg (± 7), jener gemessen an der Arteria coccygea bei 187 mmHg (± 17). Die Differenz der beiden Lokalisationen lag als Mittelwert bei 46 mmHg (± 51).

Mittels post hoc Test nach Scheffé wurde untersucht, wie die drei Gruppen untereinander differierten. Die Blutdruckdifferenzen der übergewichtigen Katzen waren signifikant höher als bei den normalgewichtigen ($p = 0,036$) und bei den untergewichtigen ($p = 0,021$) Tieren (siehe Abb. 8).

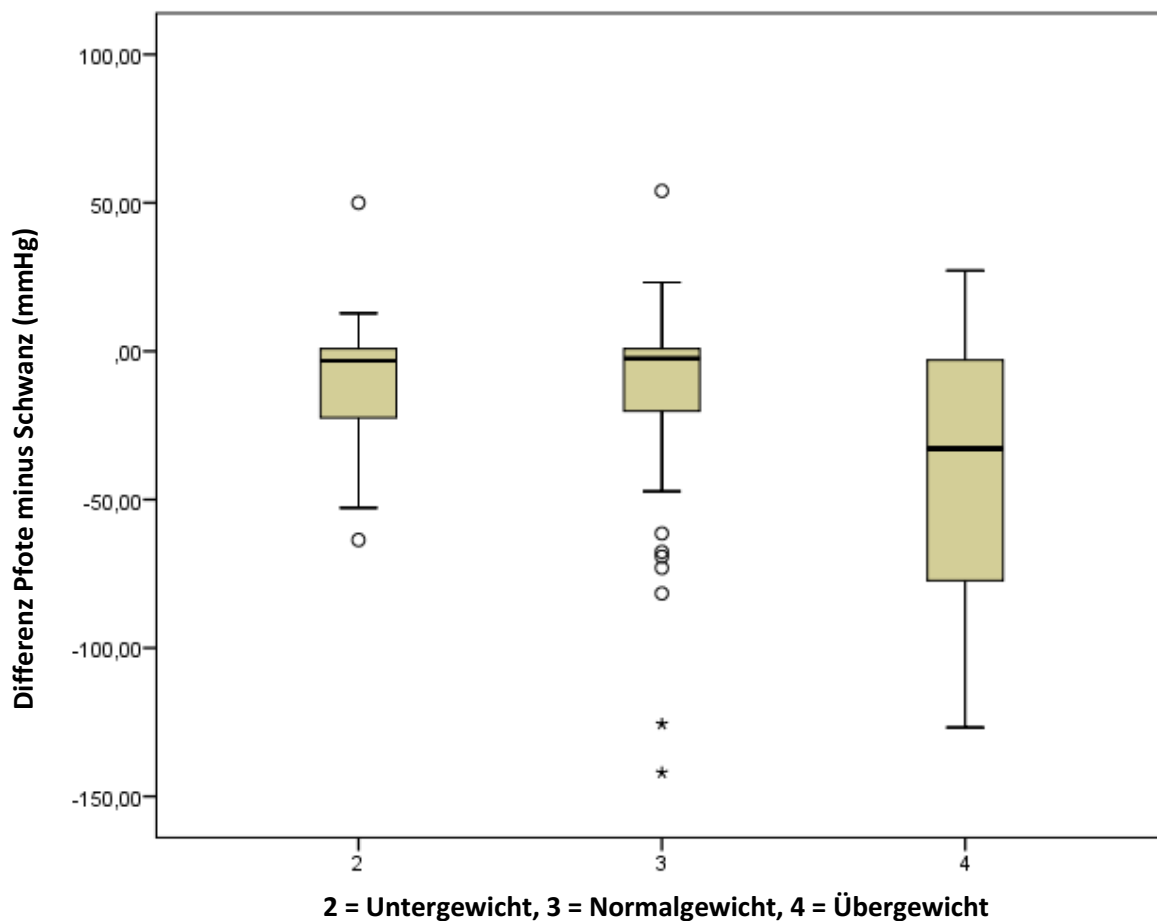


Abb. 8: Box-plot Diagramm zur Darstellung der Blutdruckwerte nach Einteilung des Ernährungszustandes. Die Differenzen bei übergewichtigen Katzen sind deutlich höher und die Streuung ist größer als bei den anderen BCS Gruppen.

Der Vergleich der beiden Messlokalisationen Schwanz versus Pfote lässt sich graphisch gut mittels Bland-Altman-Blot aufzeigen (siehe Abb. 9).

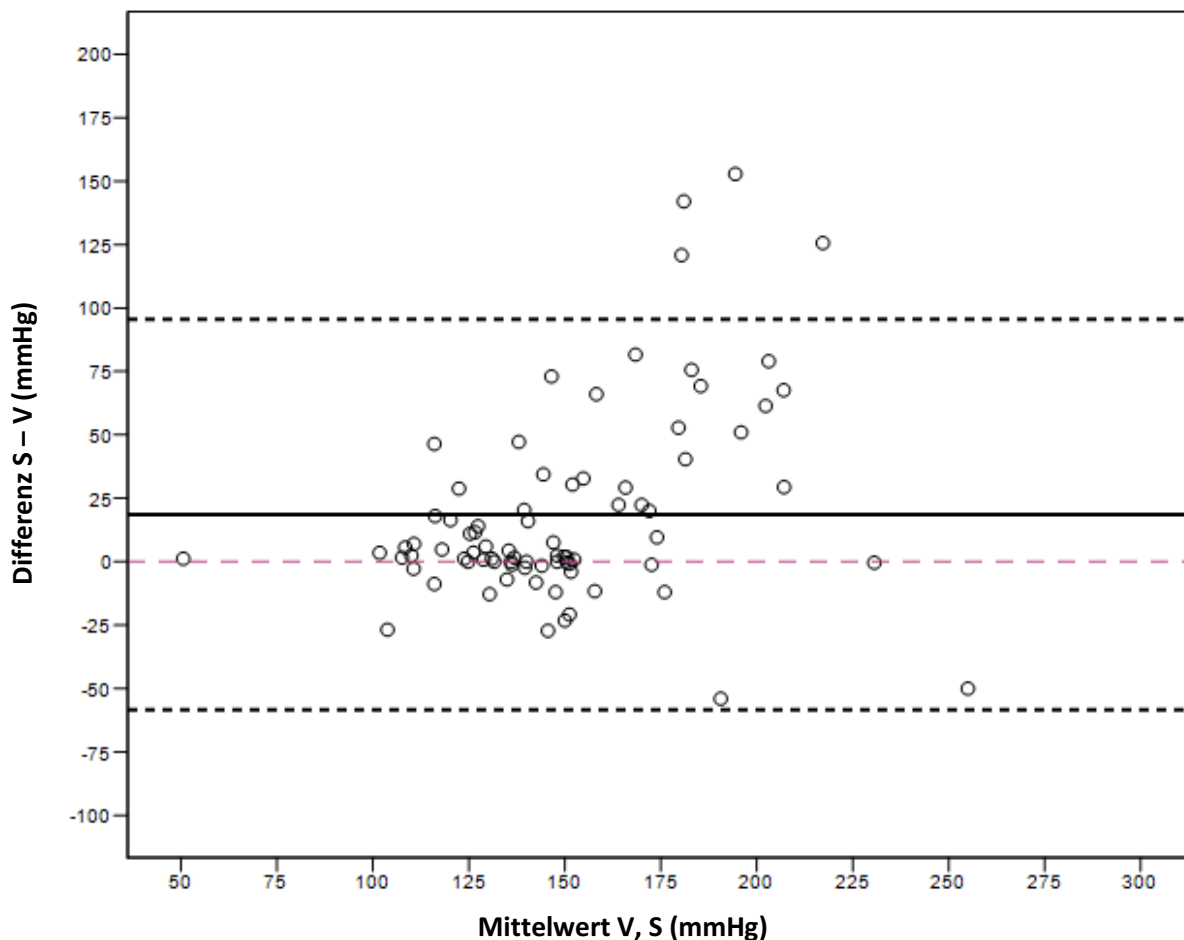


Abb. 9: Bland-Altman-Blot zur Darstellung der absoluten Blutdruckdifferenzen (Schwanz (S) minus Vorderextremität (V)) in Abhängigkeit der Blutdruckmittelwerte. Die rot gestrichelte Linie stellt die Nulllinie dar, die schwarze durchgehende Linie den Mittelwert und die gestrichelten schwarzen Linien die zweifache Standardabweichung. Es ist zu erkennen, dass die Schwankungsbreite der Abweichungen hoch ist und die Streuung der Abweichungen bei höheren Blutdruckwerten zunimmt. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Schwanzwerte meist höher als die Vorderextremitätenwerte sind, da sich fast alle der 80 Kreise, die die Blutdruckdifferenzen repräsentieren, im positiven Bereich befinden.

5. DISKUSSION

Die Blutdruckmessung ist ein wichtiger Bestandteil der veterinärmedizinischen Diagnostik und hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Eine frühe und rechtzeitige Erkennung von sowohl hypotensiven als auch hypertensiven Blutdruckwerten ist unabdingbar, um Organschäden zu vermeiden und die Lebenserwartung der Patienten zu erhöhen. Um dies sicherzustellen und Fehldiagnosen zu vermeiden muss eine zuverlässige und am wachen Tier anwendbare Messmethode zur Anwendung kommen. Aufgrund der einfachen und stressfreien Anwendung haben sich die indirekten Blutdruckmessmethoden in der Praxis etabliert. In dieser Studie wurde die Doppler Sonographie gewählt, da sie eine hohe Präzision aufweist (Petric et al. 2010), Messungen bei vielen Studien zu 100 % erzielt werden konnten (Sander et al. 1998, Haberman et al. 2004, Jepson et al. 2005, Petric et al. 2010) und die Autoren aufgrund der Verwendung an der Veterinärmedizinischen Universität in Wien mit der Handhabung vertraut waren.

Vorangegangene Studien haben gezeigt, dass die SAP Werte je nach Messlokalisierung variieren können. Die häufigsten Lokalisationen bei Katzen für nicht invasive Blutdruckmessungen sind die Arteria radialis (mediopalmar an der Vorderextremität) und die Arteria coccygea (median an der Schwanzunterseite).

Die aktuellsten Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) empfehlen als Lokalisation für die HDO Messung die Arteria coccygea und berufen sich auf die 2012 erschienene Publikation von Cannon und Brett. In dieser Studie tolerierten die Katzen die Messungen am Schwanz besser als an der Vorderextremität, die Schwanzwerte lagen signifikant über den Blutdruckwerten an der Vorderextremität. Ein Vergleich zu einer invasiven Methode (Goldstandard) wurde jedoch nicht durchgeführt. Für Dopplermessungen wird in den Guidelines angedeutet, dass die Vorderpfote möglicherweise die beste Lokalisation ist. Sie beziehen sich auf eine Studie von Conti et al. (2013). Hier ist zu bemängeln, dass in dieser Studie nur Vorder- und Hinterextremität miteinander verglichen und keine Schwanzmessungen durchgeführt wurden. Das Ziel der vorliegenden Studie war es daher, die beiden Lokalisationen Schwanz und Vorderextremität miteinander zu vergleichen und etwaige Einflüsse von Alter, Geschlecht, Körpergewicht, BCS und Allgemeinverhalten zu untersuchen, um bestenfalls eine Empfehlung für zukünftige Blutdruckmessungen bei Katzen aussprechen zu können. Auch weitere Literatur gibt keinen eindeutigen Hinweis, welche Lokalisation für die nicht invasiven Blutdruckmessungen besser geeignet ist.

Petric et al. (2010) fanden bei 50 anästhesierten Katzen einen signifikanten Unterschied zwischen Schwanz- und Pfotenblutdruckwerten mittels HDO Messung. Da die Streuung der Schwanzwerte deutlich über denen der Pfotenmessungen lag, wurde diese Lokalisation von der Studie exkludiert und die Autoren raten explizit von der Verwendung dieser Lokalisation bei HDO Messungen ab.

Haberman et al. (2004) untersuchte mittels oszillometrischer Methode Schwanz- und Pfotenmessungen. Im Gegensatz zu Petric et al. (2010) wurden die Messungen zusätzlich mit einer invasiven Radiotelemetrie (Goldstandard) verglichen. Hier zeigten sich nur geringe Unterschiede von Blutdruckwerten der Arteria radialis und der Arteria coccygea, wobei letztere geringgradig besser mit den „wahren“ Blutdruckwerten korrelierten.

Bei Anwendung von Doppler sonographischen Blutdruckgeräten in der Vergangenheit wird in der Literatur vorwiegend die Arteria radialis als Messlokalisierung genannt. Verglichen mit direkten Methoden wird der Blutdruckwert unterschätzt: 8 mmHg (Klevens et al. 1979), 14 mmHg bei (Grandy et al. 1992), 11,5 mmHg bei Katzen in Narkose (Haberman et al. 2004) und 23 mmHg bei unsedierten Katzen (Haberman et al. 2004). Binns et al. (1995) verglich nicht nur coccygeale Blutdruckwerte, sondern auch Blutdruckwerte der Arteria saphena mit einem Goldstandard. Am Schwanz wurde der wahre Blutdruckwert um durchschnittlich 4,7 mmHg überschätzt und an der Hinterextremität wurde er durchschnittlich um 9,4 mmHg unterschätzt. Obwohl das Bias, die Abweichung vom wahren Wert, am Schwanz geringer ist als an der Hinterextremität, ist die Präzision, die Streuung der Blutdruckwerte, deutlich höher, was die Schwanzmessung nicht zu einer verlässlichen Lokalisation macht. In einer Studie von Da Cunha et al. (2014) konnte bei 39 anästhesierten Katzen keine gute Übereinstimmung zwischen Dopplerwerten an der Vorderpfote und direkten Blutdruckwerten erzielt werden. Die Autoren legen daher nahe, Doppler Messwerte mit Vorsicht zu interpretieren und den klinischen Vorbericht der Katzen nicht zu vernachlässigen.

In präsentierter Studie wurden die mittleren SAP Werte mit nicht invasiver Doppler sonographischer Blutdruckmessmethode an der Arteria radialis und der Arteria coccygea miteinander verglichen. Radiale und coccygeale Messwerte waren positiv miteinander korreliert, wobei die Korrelation moderat war ($r_{sp} = 0,519$; $p < 0,001$). Der mittlere Blutdruckwert am Schwanz lag um 19 mmHg (± 38) höher, wobei die Differenzen an den beiden Lokalisationen nicht einheitlich positiv oder negativ waren. Die prozentuelle Blutdruckdifferenz zwischen radialen und coccygealen Werten korrelierte signifikant ($p = 0,046$) und positiv ($r_{sp} = 0,224$) mit den radialen SAP Werten. Dies bedeutet, dass mit

Anstieg der Blutdruckwerte die Differenzen zwischen Schwanz und Pfote geringgradig größer werden.

Fast idente Ergebnisse wurden in einer aktuellen Studie von Whittmore et al. (2017) gefunden. Der Mittelwertsunterschied betrug 19 mmHg, wobei auch hier die Schwanzmessungen nicht einheitlich über den Pfotenmessungen lagen. Die Korrelation zwischen Messungen an der Arteria radialis und der Arteria coccygea war moderat positiv ($r = 0,45$). Whittmore et al. (2017) untersuchten an einer Katzenpopulation von 66 Privatkatzen die coccygealen und radialen SAP Werte gemessen mittels Doppler Sonographie und beurteilten den Einfluss von BCS, MCS und Alter. Von den Autoren wurde eine negative Korrelation ($r = -0,30$) von MCS und radialen SAP Werten und eine positive Korrelation ($r = 0,48$) von Alter ebenfalls mit radialen SAP Werten gefunden. Coccygeale SAP Werte waren weder mit Alter, BCS noch MCS signifikant korreliert.

In aktueller Studie wurde der Einfluss von Geschlecht, Allgemeinverhalten und BCS auf die festgestellten Blutdruckdifferenzen Schwanz versus Pfote eruiert. Es zeigte sich weder eine signifikante Einwirkung von Geschlecht ($p = 0,246$) noch dem Allgemeinverhalten der Katzen ($p = 0,424$) auf die absoluten Blutdruckdifferenzen. Der BCS (untergewichtig (BCS 1-2), normalgewichtig (BCS 3), übergewichtig (BCS 4-5)) ergab einen signifikanten Einfluss auf die Blutdruckunterschiede zwischen Pfote und Schwanz ($p = 0,016$).

Die Blutdruckdifferenzen korrelierten weder mit dem Alter ($r_{sp} = 0,044$; $p = 0,710$), noch mit dem Körpergewicht ($r_{sp} = 0,122$, $p = 0,337$) der Katzen.

Ein direkter Vergleich zu der Studie von Whittmore et al. (2017) bezüglich der verschiedenen Cofaktoren (BCS, MCS, Gewicht, Alter, Allgemeinverhalten, Geschlecht) kann nicht getroffen werden. Die beiden Variablen BCS und Alter wurden in beiden Studien integriert und deren Einfluss auf die Blutdruckwerte untersucht. Whittmore et al. (2017) schauten sich jedoch den Einfluss der Covariablen auf die einzelnen Messungen entweder Schwanz oder Pfote an. Das Hauptaugenmerk in präsentierter Studie aber lag auf dem Vergleich der beiden Messlokalisationen und wie sich die Differenzen, wenn vorhanden, zwischen den beiden gewählten Lokalisationen Schwanz und Pfote durch verschiedene Einflüsse verändern.

Auch bei Hunden wurde kein Einfluss von BCS, MCS, Alter, Allgemeinverhalten oder Gewicht auf die Blutdruckmittelwerte an der Arteria radialis bzw. an der Arteria coccygea (Mooney et al. 2017) nachgewiesen. Doch auch hier wurde nur die Korrelation in Hinsicht auf eine Lokalisation alleine untersucht und nicht auf die Differenzen der beiden Messorte.

Im Gegensatz zu Cannon und Brett (2012) wurde keine bessere Toleranz für die Schwanzmessung festgestellt. Die Autoren nennen hier die geringere Anzahl an Messfehlerversuchen und die niedrigere Zeit, um sechs Messungen zu erzielen. Die initiale Vermutung der Autoren der vorliegenden Studie, dass Schwanzmessungen besser toleriert werden, konnte nicht bestätigt werden. In der Studie waren die Präferenzen der Katzen sehr unterschiedlich und es konnte keine einheitliche Tendenz festgestellt werden, um eine Lokalisation aufgrund besserer Akzeptanz der anderen vorzuziehen. Nur bei neun der insgesamt 80 Katzen konnte überhaupt eine deutliche Abneigung gegenüber einer Lokalisation eruiert werden. Fünf Katzen zeigten eine starke Aversion gegen Manipulationen am Schwanz, vier Tiere tolerierten die Vorderextremitätenmessung schlechter. Dies zeigte sich durch Abwehrreaktionen oder Fluchtversuche der Katzen, die Messungen konnten jedoch aufgrund leichter Fixierung der Katzen durch die Hilfsperson durchgeführt werden. Eine mögliche Ursache für Intoleranz der Vorderpfotenmessung könnten vorangegangene Blutabnahmen oder gesetzte Venenkatheter sein, die negativ konditioniert wurden. Jedoch auch das Fieber messen wird von vielen Katzen als schlechtes Erlebnis abgespeichert und eine geringe Manipulation im Schwanzbereich kann daher schon als störend empfunden werden. Die Verteilung der Gruppen bezüglich des Allgemeinverhaltens (59 (73,8 %) Katzen ruhig und aufmerksam, 16 (20,0 %) Katzen geringgradig gesteigertes Allgemeinverhalten, fünf (6,3 %) Katzen mittelgradig gesteigertes Allgemeinverhalten) zeigte, dass die Tiere in dieser Studie Großteils dem ruhigeren Kaliber zuzuordnen waren. Durch den Ausschluss von Katzen, die hochgradig aggressiv oder ängstlich waren, kam dieses Verteilungsmuster zustande und die Messungen waren bei fast allen Tieren problemlos möglich. Auch im normalen Klinikalltag ist es unmöglich, bei sehr unkooperativen Patienten den Blutdruck zu messen, ohne das Tier stark zu manipulieren. Diese Maßnahmen führen jedoch unweigerlich zu Stress bedingt erhöhten Blutdruckwerten und dürfen nicht zur Diagnose herangezogen werden, was den Ausschluss dieser Katzen von vornherein von der Studie rechtfertigt. Die höheren Schwanzwerte im Vergleich zu den Pfotenwerten könnten sich durch den Weißkittel-Effekt erklären lassen, wenn die Tiere diese Messlokalisierung weniger gut tolerieren. Der Weißkittel-Effekt beschreibt den Blutdruckanstieg aufgrund von Stress oder Angst (Belew et al. 1999). Es ist einerseits möglich, dass Katzen durch die länger andauernde Blutdruckmessung aufgeregter werden und bei der zweiten Messung daher höhere Werte zeigen. Andererseits beruhigen sich viele Tiere nach anfänglicher Aufregung auch, wenn sie merken, dass keine schmerzhaften Manipulationen durchgeführt werden. Um diese Einflüsse auf die Studienergebnisse zu minimieren, wurde die Reihenfolge der

Lokalisationen Block-randomisiert ermittelt, die Messungen in ruhiger Umgebung nach mindestens fünf Minuten Akklimatisation und wenn möglich im Beisein des Besitzers durchgeführt. Es zeigte sich, dass weder ein signifikanter Einfluss von der zeitlichen Messreihenfolge (1. Messung versus 2. Messung) noch von der Messlokalisationssequenz (Pfote-Schwanz versus Schwanz-Pfote) vorhanden war. Auch die Tatsache, dass die erste Messung gut mit dem Mittelwert aus fünf Messungen korreliert, unterstreicht, dass der Weißkittel-Effekt nicht für die erhöhten SAP Werte an der Arteria coccygea verantwortlich gemacht werden kann. Das Allgemeinverhalten der Katzen (0 = ruhig und aufmerksam, 1 = ggr. gesteigertes Allgemeinverhalten, 2 = mgr. gesteigertes Allgemeinverhalten) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Blutdruckdifferenzen ($p = 0,424$).

Weitere Quellen für Variationen zwischen den Blutdruckwerten können die Lage des Tieres, die verwendete Cuffgröße und die Cuffform sein.

Im Gegensatz zu Rondeau et al. (2013) und Da Cunha et al. (2014), die bei Hunden signifikante Unterschiede zwischen den Doppler Blutdruckmessungen bei verschiedenen Lagepositionen (laterale vs. dorsale Lage) feststellen konnten, konnte bei Katzen keine signifikante Differenz gefunden werden (Petric et al. 2010). In präsentierter Studie durften die Katzen eine für sie bequeme Position einnehmen. Eine Studie in der Humanmedizin bei schlafenden Patienten zeigte, dass abhängig von der Lagerung des Armes unter oder über Herzdistanz der Unterschied des Blutdrucks gemessen mit nicht invasiver Blutdruckmessung um maximal 10 mmHg differierte und diesem geringen Unterschied keine klinische Relevanz zuzuordnen ist (Cavelaars et al. 2000). Daraus ist zu schließen, dass die Änderung der Blutdruckwerte mit dem vertikalen Abstand vom rechten Atrium bei Katzen aufgrund ihrer Größe mit großer Wahrscheinlichkeit eine klinisch vernachlässigbare Rolle spielt.

Verschiedene Cuffgrößen führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Ein zu kleiner Cuff führt zu einer Erhöhung des Blutdrucks, ein zu großer zu einer Erniedrigung (Ramsey et al. 1991, Sparkes et al. 1999). Seitens ACVIM Hypertension Consensus Panel (Brown et al. 2007a) und den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) wird eine Cuffgröße von 30-40 % des Extremitäten- bzw. Schwanzumfangs empfohlen. In präsentierter Studie wurde der Cuff longitudinal angelegt und nach Augenmaß die passende Größe ausgesucht.

Aus der Humanmedizin ist bekannt, dass eine adäquate und gleichmäßige Kompression des darunterliegenden Gefäßes bei indirekten Blutdruckmessmethoden essentiell für den Erhalt aussagekräftiger Blutdruckwerte ist. Bei adipösen Patienten, deren Oberarmform eher konisch zulaufend ist, lieferten klassische zylindrische Cuffs schlechtere Ergebnisse als

speziell angefertigte konische Manschetten. Die Werte mit zylindrischen Cuffs wurden tendenziell überschätzt (Maxwell et al. 1985, Palatini et al. 2012). Eine Studie an Hunden (Ramos et al. 2015) konnte diese Befunde jedoch nicht unterstreichen, da das 95 % Konfidenzintervall bei konischen Cuffs deutlich weiter war als bei den zylindrischen. Die Studie hat jedoch einige Limitationen, die die Aussagekraft der Ergebnisse in Frage stellen. Die Reihenfolge der Messungen war nicht randomisiert, sondern standardisiert, alle Tiere waren im normotensiven Bereich und der Faktor, Tiere mit verschiedenen BCS Kategorien und vor allem übergewichtige Tiere zu inkludieren, wurde außer Acht gelassen. Des Weiteren wurde nur der Unterarm als Manschettenlokalisierung gewählt. Die konische Form ist jedoch vermutlich am Schwanz stärker ausgeprägt. Daher wird zu weiteren Studien sowohl bei Hunden als auch bei Katzen an verschiedenen Lokalisationen geraten, um die Ergebnisse von Ramos et al. (2015) zu verifizieren.

Dass die mittleren Schwanzwerte bei übergewichtigen (BCS 4-5) Katzen in der hier genannten Studie stärker von den Pfotenwerten differieren, könnte auf die Fetteinlagerung an der Schwanzbasis und der daraus resultierenden kegelförmig zulaufenden Form erklärbar sein.

Eine andere Erklärung für höhere coccygeale Werte wäre auch die sogenannte Pulsdruckerhöhung. Wenn eine Pulswelle von der zentralen Aorta in die peripheren Gefäße wandert, verändert sich ihre Form. Der Anstieg der Kurve wird steiler und der Peak wird höher. Dieses Phänomen wird auch als Pulsdruckamplifikation (PPA) bezeichnet und lässt sich durch verschiedene physikalische Prozesse, unter anderem die Impedanz, die Resonanz und den veränderten Widerstand in den Gefäßen, erklären. Durch die PPA ist der SAP in weiter peripher gelegenen Gefäßen höher als in zentral gelegenen (O'Rourke et al. 1984, Gorbach et al. 1988, Abrams et al. 1989). Eine Studie bei Hunden von Acierno et al. (2015) konnte diesen Effekt bei Hunden jedoch nicht feststellen. Blutdruckwerte an der Arteria radialis waren höher als an der weiter peripher gelegenen Arteria dorsalis pedis.

In Beachtung vorangegangener Studien, der Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) und der Tatsache, dass die Referenzwerte für EOS größtenteils auf radialen Blutdruckmessungen basieren, ist die Pfotenmessung für die Doppler sonographische Blutdruckmessung bisher als der Goldstandard anzusehen. Die Ergebnisse aus aktueller Studie werfen jedoch viele Fragen auf, die an der Empfehlung der radialen Blutdruckmessung rütteln und im Folgenden besprochen werden.

Die untersuchten Probanden der Studie wurden vier Kategorien entsprechend den Kriterien für antihypertensive Therapie (Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen, Taylor et al. 2017) sowohl für die radialen als auch für die coccygealen SAP Werte zugeordnet: < 150 mmHg, \geq 150 mmHg, \geq 160 mmHg, \geq 170 mmHg. Diese Aufteilung in vier Gruppen basiert auf einer Einteilung der International Renal Interest Society (IRIS) betreffend das Risiko für EOS (Brown 2016). Bei 48 der 80 untersuchten Katzen wäre die gleiche Entscheidung getroffen worden, acht Katzen wären bei der Schwanzmessung einer niedrigeren Kategorie zugeteilt worden und 24 Katzen einer höheren. Bei acht Tieren unterschieden sich die Kategorien sogar um das Maximum, dh. eine nach der radialen Blutdruckmessung als normotensiv gewertete Katze wäre laut coccygealer Einschätzung hochgradig hypertensiv gewesen und müsste radikal antihypertensiv therapiert werden, um Folgeschäden zu verhindern. Wäre jedoch die coccygeale Messung, jene, die den „wahren“ Blutdruckwert widerspiegelt, wäre bei 24 Katzen eine Hypertension übersehen worden.

Eine Limitation in dieser Studie war der fehlende Vergleich der Doppler Messungen mit einer direkten Messmethode (Goldstandard). Aufgrund der durch die Implantation des Messensors verbundene Invasivität wurde aus ethischen Gründen jedoch darauf verzichtet, da die Probanden größtenteils von Privatpersonen und Tierschutzhäusern stammten. Es ist auch zu erwähnen, dass es für die Blutdruckdiagnose in der Praxis von höherer Bedeutung ist, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten und steigende bzw. sinkende Blutdrucktendenzen rechtzeitig und sicher zu erkennen als den „wahren“ Blutdruckwert zu ermitteln.

Eine weitere Einschränkung der Studie war, dass der Anteil der übergewichtigen Katzen verglichen mit unter- und normalgewichtigen Artgenossen am geringsten war. Es waren 21 (26,3 %) Tiere untergewichtig, 48 (60,0 %) Tiere normalgewichtig und nur 11 (13,8 %) Tiere übergewichtig.

Limitierend war auch die fehlende Untersuchung auf EOS. Hier stellt sich die Frage, ob coccygeale oder radiale Blutdruckwerte besser für die Entstehung von EOS in Betracht gezogen werden sollten.

Im Unterschied zu der Studie von Whittemore et al. (2017) wurden in präsentierter Studie entsprechend den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) und dem ACVIM Hypertension Consensus Panel (Brown et al. 2007a) Kopfhörer verwendet, um Nebengeräusche sowohl für die Katzen als auch den Untersucher zu minimieren. Weiters wurden fünf Blutdruckmessungen zur Bildung des

Mittelwertes herangezogen und nicht nur drei wie bei Whittemore et al. Auch die Lagerung der Katzen war unterschiedlich, in dieser Studie durften die Katzen ihre Position bequem wählen (Empfehlung der Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen, Taylor et al. 2017) und wurden nicht in Seitenlage für die Pfotenmessungen und in sternale Lage für die Schwanzmessungen gebracht (Whittemore et al. 2017).

Aufgrund der in dieser Studie ermittelten Daten muss die Empfehlung von Whittemore et al. (2017), die Schwanzmessung bei Doppler sonographischen Blutdruckmessungen bei Katzen zu verwenden, kritisch betrachtet werden.

Die hohen Blutdruckunterschiede zwischen Vorderextremitäten- und Schwanzmessungen vordergründig bei dicken Katzen (BCS 4-5) werfen die Frage auf, welche Lokalisation den „wahren“ Blutdruckwert besser repräsentiert. Wichtiger als die Widerspiegelung des „wahren“ Blutdruckwertes ist aus klinischer Sicht betrachtet jedoch jene Lokalisation zu finden, die die beste Vorhersage für EOS liefert, damit Folgeschäden weitestgehend verhindert werden können. Die Bedeutung der hohen coccygealen Blutdruckwerte bei übergewichtigen Katzen muss genauer untersucht werden.

Der Einfluss von Übergewicht auf die PPA wurde in der Humanmedizin schon genauerer Betrachtung unterzogen und ein Zusammenhang wurde bestätigt. Die Studien lieferten jedoch kontroverse Ergebnisse. Wykretowicz et al. (2011) fanden eine negative Korrelation von prozentuellem Körperfettanteil und der PPA, wohingegen Vergnaud et al. (2007) eine positive Korrelation in ihrer Studie ermittelten. Gemeinsamkeiten in Humanstudien zeigen sich bei dem Einfluss von Fett auf die endotheliale Gefäßfunktion und den histologischen Aufbau. Die leichten Entzündungsreaktionen tragen vermutlich zu einer vermehrten Kollageneinlagerung, vor allem in die Tunica media der Gefäße und einem Elastinabbau und folglichem Elastizitätsverlust bei (Wykretowicz et al. 2007, Vergnaud et al. 2008). Dieser Kollageneinbau wird nicht nur durch Übergewicht, sondern auch durch fortschreitendes Altern beschrieben (Najjar et al. 2005). Besonders die zentralen, elastischen Arterien werden durch diesen Remodelling Vorgang steifer (Sutton-Tyrell et al. 2001, Wildman et al. 2003, Czernichow et al. 2005, Zebekakis et al. 2005, Majane et al. 2008). Dadurch breiten sich die Pulsdruckwellen schneller in die Peripherie aus, die reflektierten Wellen aus der Peripherie überlagern die zentral neu entstandenen Wellen deswegen jedoch auch in einer früheren Herzaktivitätsphase, die Amplitude der Pulswelle wird folglich höher. Dies ist als eine Erhöhung des zentralen Pulsdrucks nachweisbar (O'Rourke et al. 2005). Eine andere Theorie von Mitchell et al. (2008) sieht den erhöhten zentralen Pulsdruck in einem durch

Gefäßumbau entstandenen geringeren Durchmesser der proximalen Aorta. Welche der beiden Theorien die Pulsdruckerhöhung erklären kann, ist noch nicht weiter erforscht. Vasan (2008) vermutet, dass beide Erklärungsvorschläge ihre Gültigkeit haben und zu dem Phänomen beitragen. Durch die zentrale Pulsdruckerhöhung sinkt laut Wykretowicz et al. (2011) die PPA, weil sich die Gefäßsteifheit stärker in den zentralen als in den peripheren Gefäßen nachweisen lässt.

Wie sich Übergewicht bei Katzen auf die Gefäßsituation, die PPA und die Unterschiede von coccygealen und radialen Blutdruckwerten auswirkt, ist noch weitestgehend unerforscht. Es wäre möglich, dass Fettstoffwechselprodukte vermehrt in weiter exzentrisch gelegenen Gefäßen abgelagert werden, die Gefäße steifer werden und sich der Widerstand erhöht. Dadurch würde sich der Blutdruck an der Arteria coccygea stärker in die Höhe verändern als an der Arteria radialis und auch die PPA wäre weiterhin stärker ausgeprägt. Wenn sich eine vaskuläre Erkrankung ausgelöst durch Übergewicht stärker an coccygealen als an radialen Blutdruckwerten abspiegelt, müsste man bei diesen Tieren die coccygeale Messung bevorzugen.

Besonders bei dicken Tieren sollten hohe coccygeale SAP Werte kritisch hinterfragt werden und die klinische Symptomatik und eventuell vorhandene Anzeichen für EOS mit in die Diagnosefindung und Therapieentscheidung einbezogen werden.

Abschließend ist zu sagen, dass die Autoren auf jeden Fall empfehlen, die Messlokalisierung zu notieren. Bei fragwürdigen Ergebnissen sollten Nachkontrollen der Blutdruckwerte in Betracht gezogen werden.

Für die Zukunft wird dringend zu einer Validierungsstudie mit direkten Blutdruckmessungen mit besonderem Augenmerk auf übergewichtige (BCS 4-5) Katzen und vorhandene Anzeichen von EOS geraten.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die nicht invasive Blutdruckmessung als Bestandteil der veterinärmedizinischen Diagnostik hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Eine frühzeitige Erkennung und adäquate Behandlung von hypo- und hypertensiven Blutdruckwerten trägt maßgeblich dazu bei, irreversible Organschäden zu vermeiden und die Lebenserwartung der Tiere zu erhöhen. Vorangegangene Studien haben gezeigt, dass die Blutdruckwerte je nach Messlokalisation bei der Doppler sonographischen Blutdruckmessung differieren können. Ziel der Studie war es, die Blutdruckwerte an der Arteria radialis (Vorderextremität) und der Arteria coccygea (Schwanz) miteinander zu vergleichen und eventuell vorhandene Einflüsse von Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Body Conditioning Score und Allgemeinverhalten auf die Blutdruckdifferenzen zu eruieren.

In dieser prospektiven Studie wurde der systolische arterielle Blutdruck mittels nicht invasiver Doppler sonographischer Messmethode bei 80 Katzen der Veterinärmedizinischen Universität Wien, des Tierschutzhauses Vösendorf und von Privatpersonen jeweils an der Arteria coccygea und an der Arteria radialis untersucht. Die Reihenfolge der Messungen wurde Block-randomisiert festgelegt. Aus jeweils fünf Messungen wurde der Mittelwert gebildet. Zusätzlich wurde bei allen Katzen Alter, Rasse, Geschlecht, Körpergewicht, Body Conditioning Score (BCS 1-5), Erkrankungen, Medikamente, Manschettengröße und das Verhalten während der Messungen (0 = brav und problemlos, 1 = zappelig und aufgeregt, 2 = schwierig bis grenzwertig) dokumentiert. Anhand ihres BCS wurden die Tiere in drei Gruppen unterteilt (BCS 1-2: untergewichtig, BCS 3: normalgewichtig, BCS 4-5: übergewichtig). Anschließend wurden die gesammelten Patientendaten in ein Excel Dokument übertragen und statistisch mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS Vers. 24 analysiert.

Unsere ermittelten Ergebnisse zeigten, dass eine moderat positive ($r_{sp} = 0,519$) Korrelation zwischen den SAP Werten an Schwanz und Pfote vorhanden war. Es wurde keine bessere Toleranz einer Lokalisation festgestellt. Der mittlere systolische Blutdruckwert an der Arteria coccygea war um 19 mmHg (± 38) höher als an der Arteria radialis, die Differenzen waren aber nicht einheitlich positiv oder negativ. Bei höheren Blutdruckwerten stieg die Differenz zwischen den beiden Lokalisationen leicht an ($r_{sp} = 0,224$; $p = 0,046$). Diese Differenzen waren weder durch das Alter ($r_{sp} = 0,044$; $p = 0,710$), das Körpergewicht ($r_{sp} = 0,122$; $p = 0,337$), das Geschlecht ($p = 0,246$) noch durch das Allgemeinverhalten der Katzen ($p = 0,424$) erklärbar. Es wurde jedoch eine signifikante Einwirkung ($p = 0,016$) des BCS erkannt.

Eine logische Erklärung ist die verminderte Kompression der Schwanzarterie bei dickeren Katzen, da sich an der Schwanzbasis Fett subcutan einlagert und die Form konisch wird. Durch die Verwendung von klassisch zylindrischen Manschetten in der Veterinärmedizin ist keine adäquate Kompression der Arterie am Schwanzansatz mehr möglich. Weiters ist die Pulsdruckamplifikation, ein physikalisches Phänomen, welches unter anderen durch Impedanz, Resonanz und erhöhten peripheren Widerstand zu einer Erhöhung des Blutdrucks in der Peripherie führt, eine mögliche Erklärung für höhere Schwanzwerte. Humanstudien zeigen, dass Übergewicht einen Einfluss auf die Gefäßwandstruktur, die Pulswellenausbreitung und auch die PPA hat. Wie sich dies bei Katzen äußert, ist weitestgehend unerforscht, könnte jedoch aufgrund veränderter Lokalisation der beiden in dieser Studie untersuchten Gefäße eine Erklärung für unterschiedliche Blutdruckwerte liefern.

Vorangegangene Studien, die Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) und die Tatsache, dass die Referenzwerte für EOS großteils auf radialen Blutdruckmessungen basieren, verleiten zum schnellen Entschluss, die Pfotenmessung für die Doppler sonographische Blutdruckmessung als Goldstandard zu werten. Durch die Ergebnisse dieser Studie ist diese Behauptung jedoch in Frage zu stellen und es kann nicht mit Sicherheit behauptet werden, dass entweder die Schwanzmessungen falsch hoch oder die Pfotenmessungen falsch niedrig sind.

In unserer Studie wurde analysiert, wie oft sich nun die SAP Werte an Schwanz und Pfote anderen Kategorien für antihypertensive Therapie zuordnen hätten lassen. Die Einteilung wurde den Consensus Guidelines für die Diagnose und Therapie von Hypertension bei Katzen (Taylor et al. 2017) entnommen: 1) < 150 mmHg 2) ≥ 150 mmHg 3) ≥ 160 mmHg 4) ≥ 170 mmHg. In 24 Fällen war die Schwanzmessung höher als die Pfotenmessung, bei acht Tieren sogar um maximale drei Kategorien. Es wären nun entweder 24 Tiere zu unrecht antihypertensiv therapiert worden, wäre die Pfotenmessung der bessere Indikator für Hypertension und EOS Risiko, oder 24 hypertensive Katzen wären nicht erkannt worden, wenn die Schwanzmessung genauere Vorhersagen liefert.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die hohen Blutdruckunterschiede zwischen der Arteria radialis und der Arteria coccygea vor allem bei adipösen Katzen, die Frage aufwerfen, welche Lokalisation der bessere Indikator für EOS ist und den „wahren“ Blutdruckwert widerspiegelt. Die Autoren betonen, Blutdruckwerte immer im Zusammenhang mit klinischen Befunden zu interpretieren und bei fragwürdigen Blutdruckmesswerten Nachkontrollen durchzuführen, um die richtige Therapieentscheidung treffen zu können.

Für die Zukunft wird dringend zu einer Validierungsstudie mit direkten Blutdruckmethoden und der Kontrolle von Hinweisen auf EOS unter Einbezug vor allem von übergewichtigen Katzen und Tieren verschiedener Blutdruckkategorien geraten. Auf jeden Fall sollte die gewählte Messlokalisation notiert werden.

7. EXTENDED SUMMARY

7.1. Introduction

In Veterinary medicine the measurement of arterial blood pressure by non-invasive methods has become more and more important over the last few years.

Hyper- as well as hypotension are associated with a decreased rate of survival (Henke et al. 2007). Systemic hypertension in cats has also been shown to cause irreversible damage to target organs such as heart, brain, kidney and eye (Brown et al. 2007a). In the majority of cats, systemic hypertension occurs in association with chronic kidney disease and hyperthyroidism (Kobayashi et al. 1990, Littman et al. 1994, Stiles et al. 1994). In up to 20 % no cause for systolic hypertension can be found, it is then called idiopathic or primary hypertension (Maggio et al. 2000, Elliot et al. 2001, Jepson et al. 2007).

To avoid target organ damage (TOD) and ensure a higher life expectation, accurate blood pressure monitoring is essential.

Although direct arterial blood pressure measurement remains the gold standard for blood pressure determination, it has several limitations in a clinical setting. Due to its invasivity and requirement of specialised equipment, direct blood pressure measurements are technically demanding. Therefore, indirect, non-invasive methods such as Doppler ultrasonography and high definition oscillometry are more practical for routine monitoring of blood pressure in conscious cats. These methods are free of pain and less stressful for the cats and much easier to perform (Henik et al. 1997, Sander et al. 1998, Sparkes et al. 1999, Haberman et al. 2004). Currently, the only recommended modalities are the Doppler flow detector and the high definition oscillometry (HDO). The Doppler flow detector has been shown to generate more precise measurements of systolic arterial blood pressure in anaesthetised as well as conscious cats (Binns et al. 1995, Haberman et al. 2004, Petric et al. 2010).

Published data show that there are differences in blood pressure depending on which site is used. The most recommended sites for Doppler ultrasonography in cats are the coccygeal artery (tail) and the radial artery (front paw) (Erhardt et al. 2007).

Although measurements at the tail are preferred by the majority of cats, resulting in fewer failures and shorter expenditure of time (Cannon and Brett 2012), little is known about the precision and accuracy of this measurement site. In this study coccygeal measurements were significantly higher than radial measurements.

In the literature there is only one study comparing arterial coccygeal and radial blood pressure measurements by Doppler ultrasonography in conscious cats (Whittemore et al.

2017). Mean coccygeal measurements were significantly higher than mean radial measurements (19 mmHg). Furthermore, radial systolic arterial blood pressure (SAP) was negatively correlated to muscle conditioning score (MCS) ($r = -0.30$) and positively correlated to age ($r = 0.48$). There was no effect of body conditioning score (BCS) on radial measurements. As neither age, MCS, nor BCS had an impact on coccygeal SAP, the authors recommend to use the coccygeal artery.

A similar study was conducted by Mooney et al. (2017) in dogs. In contrast to the study in cats, the authors found higher blood pressure at the radial than at the coccygeal artery. Neither to BCS, MCS nor age a significant correlation was determined.

The purpose of this study was to compare the blood pressure obtained by radial and coccygeal Doppler ultrasonographic measurements in conscious cats and assess the effects of breed, gender, age, body weight, body conditioning score and general behaviour on the systolic radial and coccygeal blood pressure differences. Furthermore, it was subjectively assessed which site, forelimb or tail, was better tolerated by the cats.

The hypothesis was that the blood pressure at the more excentrically localised artery, the coccygeal artery, is slightly higher than at the radial artery because of the peripheral pulse wave amplification (O'Rourke et al. 1984, Gorback et al. 1988, Abrams et al. 1989).

7.2. Animals, Material and Method

7.2.1. Study population

The systolic arterial blood pressure of 80 healthy as well as ill cats from private owners, animal shelters and stationary patients from the Veterinary University of Vienna was examined at the tail and on one forelimb. The order of measurement site was block randomised. We excluded highly aggressive and extremely anxious cats, cats under six months, cats with injuries involving the tail or both forelimbs and cats with venous catheters at both forelimbs.

7.2.2. Blood pressure measurement

For the blood pressure measurement we used a Doppler flow detector (model 811-B, Eickemeyer®, Parks Medicals Electronics, Inc., Aloha, Oregon, U.S.A) with blood pressure cuffs size one to three (Philips®, size 1: 3.1-5.7 cm, size 2: 4.3-8.0 cm size 3: 5.8-10.9 cm) (Figure 1). The cuff size was chosen by width of the tail or leg (30 to 40 % of the circumference) and noted. The measurement was performed by following the Consensus Guidelines on the diagnosis and management of hypertension in cats (Taylor et al. 2017),

the only exception was that we did not exclude the first measurement when the difference was $< 20\%$.

For the radial artery measurement the cuff was placed on the forelimb between the carpus and the elbow and for the coccygeal measurement the cuff was placed around the tail base. In both cuff positions the cats were allowed to settle in a sternal position and before the measurements the cats had enough time to adapt to the examiner, the assistant and the environment. Headphones (Sennheiser) were worn by the investigator to limit the potential of white coat hypertension due to stress caused by noise.

Five measurements were performed and then used to calculate a mean value for the systolic arterial pressure. All test series were performed in ten minutes.

Afterwards, the exact weight and the body conditioning score (BCS 1-5) were determined. Any necessary information was achieved from the University's own data base (TIS), the data base from the animal shelter and the owner of the cat (breed, gender, age, diagnosis, medication known to influence blood pressure).



Figure 1: Doppler-Flow-Detector: Modell 811-B, Eickemeyer®, Parks Medicals Electronics, Inc., Aloha, Oregon, U.S.A.

7.2.3. Data entry

The collected data were then transferred into MS Excel.

Cats were categorised into three groups, depending on their behaviour during the measurement performance (0 = calm, 1 = excited/nervous, 2 = difficult, very nervous).

According to the criteria for antihypertensive therapy and the risk for target organ damages from the Consensus Guidelines on the diagnosis and management of hypertension in cats (Taylor et al. 2017), the patients were assigned to one of four risk groups (1: < 150 mmHg, 2: ≥ 150 mmHg, 3: ≥ 160 mmHg, 4: ≥ 170 mmHg). In the presented study, we evaluated how often tail and forelimb measurements would have led to a different decision concerning antihypertensive therapy.

7.2.4. Statistical analyses

Statistical analyses were performed using the statistics programme SPSS Vers. 24 together with MS Excel.

Descriptive statistics were computed for each parameter.

Data were analysed for normality of distribution with Kolmogorov-Smirnov test. Parameters with normally distributed data were reported as mean and standard deviation, with non-parametrically distributed data reported as median and range.

To assess interclass differences T test was used.

Spearman product moment coefficients were calculated to investigate correlations.

A mixed effects crossover design (ANOVA) was chosen to evaluate impacts on blood pressure differences between radial and coccygeal measurements.

7.3. Results

Eighty cats of different breeds were tested in the study. Most of them were European short hair (85 %). The mean age was 81 (± 52) months. The youngest cat was seven months old at the time of the measurements, the oldest 204 months. Forty-five (56.3 %) cats were male, 35 (43.8 %) were female. The mean weight was 4.12 (± 1.27) kg. The median BCS of the animals was 3 (M ± SD: 2.86 ± 0.76). In total there were 21 (26.3 %) underweight cats (BCS 1-2), 48 (60.0 %) were normalweight and eleven (13.8 %) cats were overweight.

Concerning their behaviour 59 (73.8 %) cats were relaxed and calm (general behaviour 0), 16 (20.0 %) cats were nervous/excited (general behaviour 1) and five (6.3 %) cats were very excited (general behaviour 2) and it was hard to receive measurements from both sites.

We used cuff sizes 1 to 3. For forelimb measurements size 1, 2 and 3 were used in 13 (16.3 %), 64 (80.0 %) and three (3.8 %) cats, respectively. For tail measurements cuff one was used 23 (28.8 %) times and size two 57 (71.3 %) times. Cuff size three was not used for the tail.

The average systolic blood pressure (SAP) of the 80 cats was 141 mmHg (± 32) at the forelimb and 160 mmHg (± 44) at the tail. The first measurement from the forelimb ($r_{sp} = 0.923$; $p < 0.001$) as well as from the tail ($r_{sp} = 0.994$; $p < 0.001$) strongly correlated with the mean of the measurements (1-5). The measurement order did not have any effect on the blood pressure differences. In table 1 age, gender distribution, body weight, general behaviour, BCS and mean radial and coccygeal measurements are summarised.

Table 1: Baseline demographics for 80 conscious cats in which indirect radial and coccygeal systolic arterial blood pressure measurements were performed

Variable	BCS 1-2 (n = 21)	BCS 3 (n = 48)	BCS 4-5 (n = 11)	BCS 1-5 (n = 80)
Age (months)	106 \pm 56	68 \pm 50	88 \pm 37	81 \pm 52
Gender	f = 11; m = 8	f = 17; m = 31	f = 7; m = 6	f = 35; m = 45
Body weight (kg)	3.4 \pm 0.9	4.1 \pm 1.2	5.3 \pm 1.3	4.1 \pm 1.3
General behaviour 0	14	37	8	59
General behaviour 1	6	8	2	16
General behaviour 2	1	3	1	5
Mean radial SAP (mmHg)	146 \pm 44	140 \pm 27	141 \pm 24	141 \pm 32
Mean coccygeal SAP (mmHg)	155 \pm 46	155 \pm 40	187 \pm 56	160 \pm 45

The mean coccygeal and radial SAP were correlated moderately ($r_{sp} = 0.519$; $p = < 0.001$) (Figure 2). The coccygeal mean was 19 mmHg (± 38) higher than at the paw (Figure 3). The differences between both measurements were not consistently positive or negative.

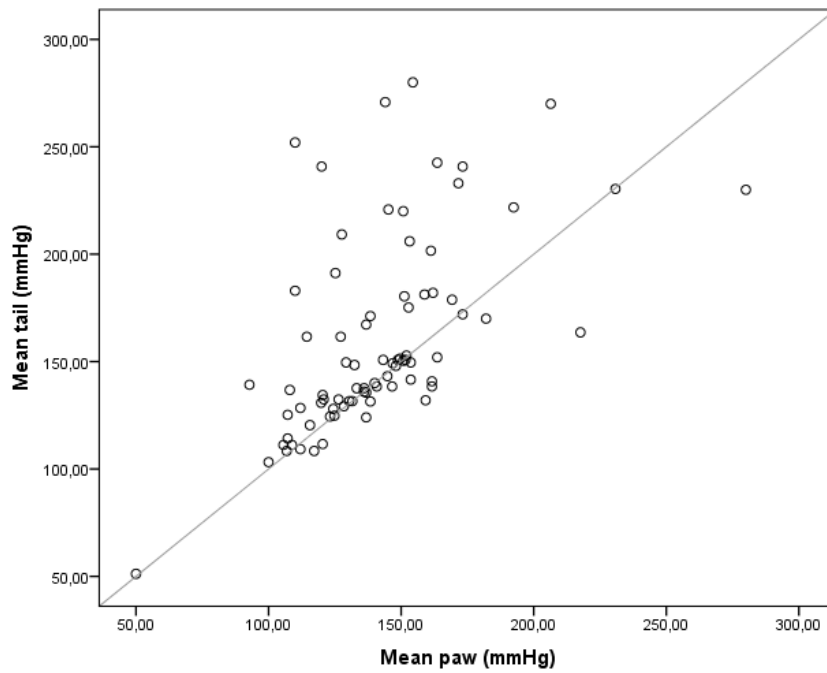


Figure 2: Correlation between mean radial and coccygeal SAP collected via Doppler ultrasonography in 80 conscious cats

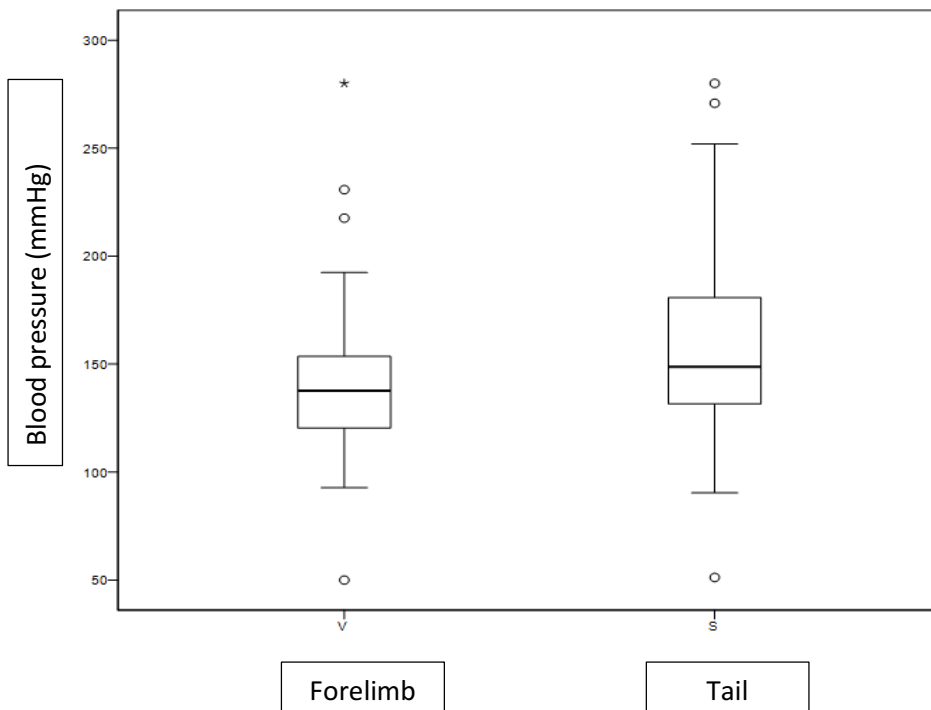


Figure 3: Box-plots showing the difference between radial and coccygeal blood pressure measurements via Doppler ultrasonography for 80 conscious cats

The procentual difference leg minus tail was positively correlated with limb measurements ($r_{sp} = 0,224$; $p = 0,046$), showing that differences between the two measurement sites increase with higher SAP.

The differences between the measuring sites were neither correlated with age ($r_{sp} = 0.044$; $p = 0.710$) nor body weight ($r_{sp} = 0.122$; $p = 0.337$). A significant effect of BCS ($p = 0.016$), but not gender ($p = 0.246$) or anxiety score ($p = 0.424$) was identified. With increasing BCS score, tail measurements tended to be higher. Cats with BCS 1-2 had a mean difference of blood pressure of 10 mmHg (± 25), cats with BCS 3 had a difference of 16 mmHg (± 36) and overweight cats (BCS 4-5) had a mean difference of 46 mmHg (± 51) (Figure 4).

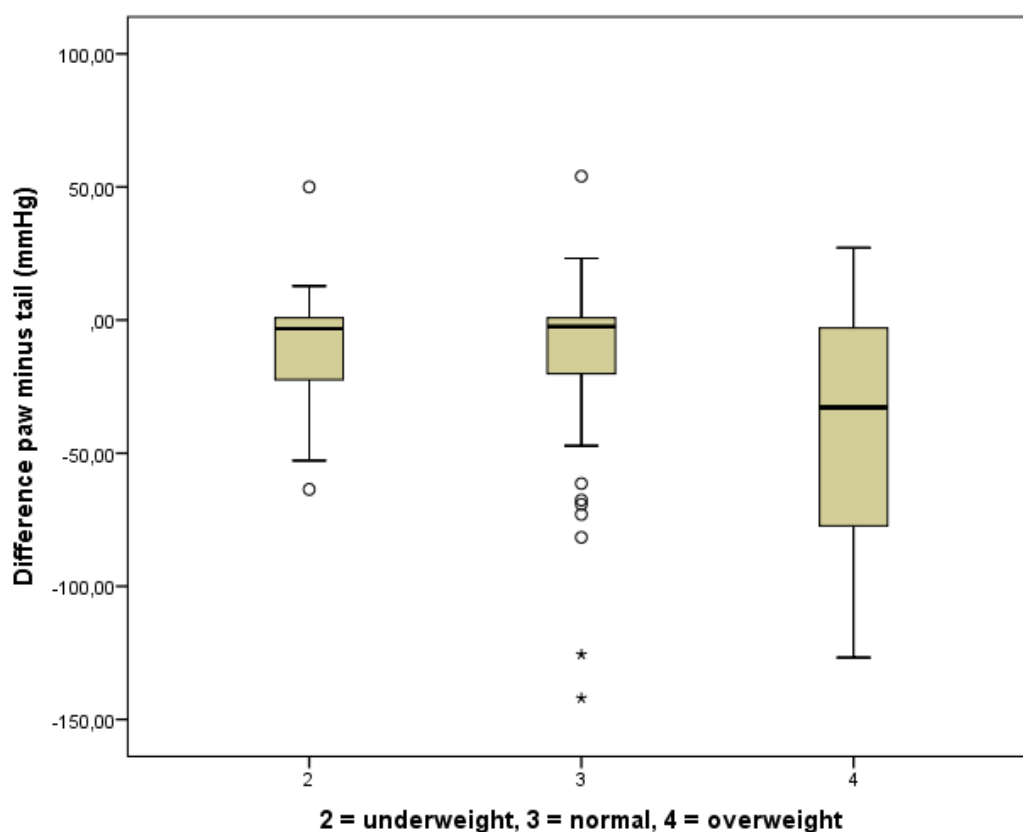


Figure 4: Box-plots showing the differences of coccygeal and radial blood pressure measurements depending on BCS (2 = BCS 1-2, 3 = BCS 3, 4 = BCS 4-5)

In 48 cases the same decision would have been made. Eight cats would have been in a higher risk group if the radial decision had priority and in 24 cases, coccygeal measurements categorised cats in higher risk classes than radial measurements. In eight cases the mean tail measurement was extremely higher than the one conducted at the forelimb. Therefore,

the risk groups differentiated in a maximum of three categories, which means that a normotensive cat would have been treated as a highly hypertensive cat, using the tail measurement as gold standard.

7.4. Discussion

The results of this study corroborate the results of Binns et al. (1995) in anaesthetised, and Whittemore et al. (2017) in conscious cats, who showed that the choice of the measuring site (front limb or tail), massively impacts SAP measurement results obtained with Doppler ultrasonography. In the latter study, the impact of age, BCS and MCS on radial and coccygeal SAP was assessed. According to the Consensus Guidelines on the diagnosis and management of hypertension in cats (Taylor et al. 2017), the best site for Doppler sonography may be the forelimb (Conti et al. 2013).

In this prospective study, the systolic blood pressure of 80 cats was assessed by an indirect Doppler sonography device using tail and forelimb measurements. Radial and coccygeal blood pressure values were positively correlated ($r_{sp} = 0.519$; $p < 0.001$), but differences between both sites were not consistently positive or negative. Mean coccygeal measurements (1-5) were significantly higher than radial measurements (19 mmHg \pm 38). With increasing blood pressure values differences slowly increased. Whittemore et al. (2017) found the same results, as mean coccygeal measurements were 19 mmHg higher than mean radial measurements.

In contrast to results from a recent study (Whittemore et al. 2017), we found a significant impact of BCS ($p = 0.016$) on blood pressure differences. Overweight or obese (BCS 4-5) cats had significantly higher coccygeal blood pressure values than normal- (BCS 3) and underweight (BCS 1-2) cats. A similar study in dogs (Mooney et al. 2017) found no association between BCS, age, anxiety score or body weight and blood pressure values obtained by radial and coccygeal measurements.

In the present study, the authors did not find a better tolerance of one measurement site in contrast to a study by Cannon and Brett (2012), where radial and coccygeal HDO measurements were compared. Cannon and Brett (2012) detected a preference for tail measurements. Tail measurements had fewer failure rates and needed less time to obtain six blood pressure values. Only nine of 80 cats showed a clear preference for one or the other measurement site in the present study. Five cats showed an aversion to tail and four cats to forelimb measurements, respectively. Despite the fact, that these cats showed defensive reactions or tried to escape, all measurements could be performed with slight

fixation. One possible reason for intolerance of one or the other site could be negative conditioning due to preceding venipunctures, rectal digital exploration, enema or measuring the inner body temperature.

Possible explanations for the discrepancies between radial and coccygeal blood pressure results include on the one hand artefacts caused by stress/discomfort, body positioning or cone shaped tails especially in overweight animals and on the other hand true differences caused by peripheral pulse pressure amplification.

White coat hypertension is a phenomenon which refers to an increase in blood pressure secondary to stress or anxiety during the measurement process (Belew et al. 1999). In the present study it is unlikely that stress or discomfort were causative, as no effect of the anxiety score or measurement order was observed. Furthermore, all cats were allowed to acclimatise to the examiner and the environment for at least five minutes.

In contrast to Rondeau et al. (2013) and Da Cunha et al. (2014) who found small but significant differences in blood pressure depending on body positions (lateral versus dorsal position) in dogs, Petric et al. (2010) could not find this effect in cats. In our study most of the cats were allowed to settle in a sternal position. One study, performed in sleeping human patients (Cavelaars et al. 2000), showed that blood pressure differentiated by no more than 10 mmHg when arms were held under or over the level of the heart. As in small animals like cats the vertical distance from a peripheral artery to the heart is very short, it is unlikely that positioning has a clinically relevant impact on blood pressure values.

Normally, cylindrical cuffs are used for non-invasive blood pressure measurement devices in Veterinary medicine. In Human medicine it has been shown that especially in obese patients with conical shapes of the upper arm, cylindrical cuffs do not provide an adequate compression of the artery, leading to falsely high blood pressure values (Maxwell et al. 1982, Palatini et al. 2012). Excessive fat on the base of the tail in obese cats (BCS 4-5) could have an impact on the ability of the inflatable bladder to compress the artery beneath, leading to excessively high coccygeal measurements. In a recent study including 17 anaesthetised dogs, the use of specially fabricated conical cuffs at the antebrachium did not show any benefit (Ramos et al. 2016) and did not meet the strict validation criteria recommended by Brown et al. (2007a). As only the cylindrical cuffs met the validation criteria, the authors recommended to furthermore use the traditional cuffs. Unfortunately, all of the dogs under investigation were normotensive, the blood pressure range was very narrow, the study was not randomised and BCS was not given. Further studies are definitely required.

Another possible cause for SAP differences between measurement sites is peripheral pulse pressure amplification. Blood pressure is higher in more eccentrically localised arteries than in centrally localised ones due to physical phenomena such as impedance, resonance and varied resistance in peripherally localised arteries (O'Rourke et al. 1984, Gorback et al. 1988, Abrams et al. 1989). A study in dogs (Acierno et al. 2014), where the blood pressure was higher at the arteria radialis (front leg) than at the more peripherally localised arteria dorsalis pedis (hind limb) did not show this effect.

Interestingly, BCS influences the difference between the measurements at different body sites in humans (Clark et al. 2012).

Taking into consideration previous studies, the Consensus Guidelines on the Diagnosis and Management of Hypertension in Cats (Taylor et al. 2017) and the fact that most blood pressure reference intervals and categories for risk of TOD are based on radial blood pressure measurements, forelimb measurements have been the gold standard for Doppler ultrasonography. Results obtained in this current study challenge this proposition and further studies are required.

A limitation in the present study was that direct blood pressure measurement, which is considered the gold standard, was not performed. We have to emphasise that in the clinical daily routine it is important to obtain reproducible results and to recognise tendencies e.g. decreasing or increasing blood pressures, rather than evaluating the "true" blood pressure value.

Another limitation of the study was that only a small group of overweight cats was included. Twenty-one (26.3 %) cats were underweight, 48 (60.0 %) cats normal weight and only eleven (13.8 %) cats overweight.

In conclusion, the choice of measuring site, radial versus coccygeal artery, has a significant impact on Doppler ultrasonography blood pressure measurement results. In many cats these discrepancies are huge and would certainly affect treatment decisions.

High measurements obtained by coccygeal measurement especially in overweight cats should be interpreted with caution and for every blood pressure measurement the site should be noted. The decision for or against antihypertensive therapy should always include a preceding thorough clinical examination and evaluation of possible TOD. In questionable cases, measurement at both sites is reasonable.

Further studies including direct blood pressure measurements, a higher number of overweight cats and evaluating signs for TOD, are strongly recommended.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- ABDULLE, A., AL-JUNAIBI, A., NAGELKERKE, N. (2014): High Blood Pressure and its Association with Body weight among Children and Adolescents in the United Arab Emirates. *PLoS ONE* **9** (1), e85129.
- ABRAMS, J.H., CERRA, F., HOLCROFT, J.W. (1989): Cardiopulmonary monitoring. In Wilmore DW (Hrsg.): *Care of the Surgical Patient*. New York, Scientific American Medicine.
- ACIERNO, M.J., DOMINIQUE, M.E., RAMOS, S.J., SHELBY, A.M., DA CUNHA, A.F. (2015): Comparison of directly measured arterial blood pressure at various anatomic locations in anesthetized dogs. *American Journal of Veterinary Research* **76** (3), 266-271.
- ADLER, K., EGNER, B., HELLMANN, K. (2013): Prevalence of primary diseases and evidence of endothelial dysfunction in cats with hypertension (Poster). World Feline Medicine Congress (ISFM), Barcelona, Spanien, 26.6-29.6.2013
- BELEW, A.M., BARLETT, T., BROWN, S. (1999): Evaluation of the White-Coat Effect in Cats. *J Vet Intern Med* **13**, 134-142.
- BINNS, S.H., SISSON, D., BUOSCIO, D.A., SCHAEFFER, D.J. (1995): Doppler ultrasonographic, oscillometric sphygmomanometric and photoplethysmographic techniques for non-invasive blood pressure measurement in anaesthetised cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine* **9** (6), 405-414.
- BODEY, A.R., MICHELL, A.R. (1996): Epidemiological study of blood pressure in domestic dogs. *J Small Anim Pract* **37**, 116-125.
- BODEY, A.R., SAMSOM, J. (1998): Epidemiological study of blood pressure in domestic cats. *J Small Anim Pract* **39**, 567-573.
- BRANSON, K.R., WAGNER-MANN, C.C., MANN, F.A. (1997): Evaluation of an oscillometric blood pressure monitor on anaesthetised cats and the effect of cuff placement and fur on accuracy. *Veterinary Anaesthesia* **26**, 347-353.
- BRIGHT, J.M., DENTINO, M. (2002): Indirect arterial blood pressure measurement in nonsedated Irish Wolfhounds: Reference values for the breed. *J Am Anim Hosp Assoc* **38**, 521-526.
- BROWN, S.A., LANGFORD, K., TARVER, S. (1997): Effects of certain vasoactive agents on the long-term pattern of blood pressure, heart rate, and motor activity in cats. *Am J Vet Res* **58**, 647-652.

- BROWN, S.A., BROWN, C.A., HENDI, R. (2000): Does systemic hypertension damage the canine kidney? *J Vet Int Med* **14**, 351A.
- BROWN, S., ATKINS, C., BAGLEY, R., CARR, A., COWGILL, L., DAVIDSON, M., EGNER, B., ELLIOT, J., HENIK, R., LABATO, M., LITTMAN, M., POLZIN, D., ROSS, L., SNYDER, P., STEPIEN, R., (2007a): Guidelines for the Identification, Evaluation, and Management of Systemic Hypertension in Dogs and Cats. *J Vet Int Med* **21**, 542-558.
- BROWN, S. (2007b): Die Niere als Zielorgan. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 163-170.
- BROWN, S.A. (2016): Hypertension. International Renal Interest Society. <http://iris-kidney.com/education/hypertension.html>
- BRUNER, J.M.R., KRENIS, L.J., KUNSMAN, J.M., SHERMAN, A. P. (1981): Comparison of direct and indirect methods of measuring arterial blood pressure: Part I. *Med instrum* **15**, 11-21.
- CANNON, M.J., BRETT, J. (2012): Comparison of how well conscious cats tolerate blood pressure measurement from the radial and coccygeal arteries. *J Feline Med Surg* **14**, 906-909.
- CAVELAARS, M., TULEN, J.H., MAN IN'T VELD A.J., GELSEMA, E.S., VN DEN MEIRACKER, A.H. (2000): Assessment of body position to quantify its effect on nocturnal blood pressure under ambulatory conditions. *J Hypertens* **18** (12), 1737-1743.
- CHETBOUL, V., LEFEBVRE, H.B., PINHANS, C., CLERC, B., BOUSSOUF, M., POUCHOLON, J.-L. (2003): Spontaneous Feline Hypertension: Clinical and Echocardiographic Abnormalities, and Survival Rate. *J Vet Intern Med* **17**, 89-95.
- CLARK, C.E., TAYLOR, R.S., SHORE, A.c., UKOUMUNNE, O.C., CAMPBELL, J.L. (2012): Association of a difference in systolic blood pressure between arms with vascular disease and mortality: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* Vol **379**, 905-914.
- COTARD J.P. (2000): Hypertonie. *Proceedings, Seminar Reutlingen*, 15-27.
- CONTI, L.M.D.C., CHAMPION, T., GUBERMAN, U.C., FERNANDES, S.L., LAZARO, M.D.A., FORTUNATO, V.R. (2013): Comparison of indirect systolic blood pressure on the forelimb and hindlimb of cats. *Rev Acad Cienc Agrár Ambient* **11**, 395-401.
- COWGILL, L.D., KALLET, A.J. (1968): Systemic Hypertension. In: Kirk RW (Hrsg.): *Current Veterinary Therapy IX*. WB Saunders, Philadelphia, 360-364.

- COX, R.H., PETERSON, L.H., DETWEILER, D.K. (1976): Comparison of arterial hemodynamics in the mongrel dog and the racing greyhound. *Am J Physiol* **230**, 211-218.
- CURTET, J.D., BUSATO, A., LOMBARD, C.W. (2001) The use of memoprint in the cat. *Schweizer Archiv fur Tierheilkunde* **143**, 241-247.
- CZERNICHOW, S., BERTRAIS, S., OPERT, J.M., GALAN, P., BLACHER, J., DUCIMETIÈRE, P., HERCBERG, S., ZUREIK, M. (2005): Body composition and fat repartition in relation to structure and function of large arteries in middleaged adults (the SUVIMAX study). *Int J Obes* **29**, 826-832.
- DA CUNHA, A.F., SAILE, K., BEAUFRÈRE, H., WOLFSON, W., SEATON, D., ACIERNO, M.J. (2014): Measuring level of agreement between values obtained by directly measured blood pressure and ultrasonic Doppler flow detector in cats. *J Vet Emerg Crit Care* **24**, 272-278.
- DE VENECIA, G., JAMPOL, L.M. (1984): The eye in accelerated hypertension. II. Localized serous detachments of the retina in patients. *Arch Ophthalmol* **102** (1), 68-73.
- EGNER, B. (2007): Blutdruckmessung-Grundlagen und praktische Umsetzung. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 1-21.
- EHMKE, H. (2014): Das Kreislaufsystem: Kreislaufregulation. In: SILBERNAGL, S., PAPE, H.C., KURTZ, A. (Hrsg.): *Taschenatlas der Physiologie*. 7. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 238-248.
- ELLIOT, J., BARBER, P.J., SYME, H.M., RAWLINGS, J.M., MARKWELL, P.J. (2001): Feline hypertension: clinical findings and response to antihypertensive treatment in 30 cases. *J Small Anim Pract* **42**, 122-129.
- ENGELHARDT, W. (2015a): Kreislauf – Biophysikalische Grundlagen der Hämodynamik. In: ENGELHARDT, W., (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. 4. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart, 173-177.
- ENGELHARDT, W. (2015b): Kreislauf – Kreislaufregulation. In: ENGELHARDT, W., (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. 4. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart, 188-193.
- ERHARDT, W., HENKE, J., CARR, A., EGNER, B. (2007): Über die Bedeutung der Blutdruckmessung-Technik. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 28-65.
- FLOOD, S.M., RANDOLPH, J.F., GELZER A.R., REFSAL, K. (1999): Primary Hyperaldosteronism in two cats. *J Am Anim Hosp Assoc* **35**, 411-416.

- FROMM, M., GÄBEL, G. (2015): Niere – Endokrine Funktionen. In: ENGELHARDT, W., (Hrsg.): Physiologie der Haustiere. 4. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart, 318.
- GRANDY, J.L., DUNLOP, C.I., HODGSON, D.S., CURTIS, C.R., CHAPMAN, P.L. (1992): Evaluation of the Doppler ultrasonic method of measuring systolic arterial blood pressure in cats. *American Journal of Veterinary Research* **53** (7), 1166-1169.
- GORBACK, M.S. (1988): Considerations in the interpretation of systemic pressure monitoring, in Lumb PD, Bryan-Brown CW (Hrsg.): *Complications in Critical Care Medicine*. Yearbook Medical Publishers, 296-310.
- GOUNI, V., TISSIER, R., MISBACH, C., BALOUKA, D., BUENO, H., POUCHELON, J_L., LEFEBVRE, H.P., CHETBOUL, V. (2014): Influence of the observer's level of experience on systolic and diastolic arterial blood pressure measurements using Doppler ultrasonography in healthy conscious cats. *J Feline Med Surg* **17**, 94-100.
- HABERMAN, C.E., MORGAN, J.D., KANG, C.W., BROWN, S.A. (2004): Evaluation of Doppler ultrasonic and oscillometric methods in cats. *J Appl Res Vet Med* **2**, 279-289.
- HASKINS, S.C. (1992): Die Überwachung des anästhesierten Patienten. In: Paddleford RR, Erhardt W. (Hrsg.): *Kleintieranästhesie*. F.K. Schattauer Verlag Stuttgart, New York, 155-188.
- HENIK, A.H. (1997): Systemic hypertension and its management. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* **27** (6), 1355-1372.
- HENKE, J., ERHARDT, W., CARR, A. (2007): Ursachen und Folgen der Hypotonie. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 95.
- HENRY, C.J., BREWER, W.G., MONTGOMERY, R.D. (1993): Adrenal pheochromocytoma in a cat. *J Vet Int Med* **7**, 173-182.
- JEPSON, R.E., HARTLEY, V., MENDEL, M., CANEY, S.M.E., GOULD, D.J. (2005): A comparison of CAT Doppler and oscillometric Memoprint machines for non-invasive blood pressure measurement in conscious cats. *J Feline Med Surg* **7**, 147-152.
- JEPSON, R.E., ELLIOT, J., BRODBELT, D., SYME, H.M. (2007): Effect of control of systolic blood pressure on survival in cats with systemic hypertension. *J Vet Intern Med* **21**, 402-409.
- JOLES, J.A. (1998): Obesity in dogs: Effects on renal function, blood pressure, and renal disease. *Vet Q* **20**, 117-120.

- KANNEL, W.B., BRAND, N., SKINNER, J.J.JR., DAWBER, T.R., MCNAMARA, P.M. (1967): The Relation of Adiposity to Blood Pressure and Development of Hypertension. The Framingham Study. *Ann Intern Med* **67**(1), 48-59.
- KLEVANS, L.R., HIRKALER, G., KOVACS, J.L. (1979): Indirect blood pressure determination by Doppler technique in renal hypertensive cats. *Am J Physiol* **237**, 720-723.
- KOBAYASHI, D.L., PETERSON, M.E., GRAVES, T.K., LESSNER, M., NICHOLS, C.E. (1990): Hypertension in cats with chronic renal failure or hyperthyroidism. *J Vet Int Med* **4**, 58-62.
- KRAFT, W., EGNER, B. (2002a): Ursachen und Folgen der Hypertonie – Wann spricht man von Hypertonie? In: EGNER, B. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 1. Aufl., Parey Buchverlag, Berlin, 23.
- KRAFT, W., EGNER, B. (2002b): Ursachen und Folgen der Hypertonie – Welche Folgen hat die Hypertonie für den Organismus? In: EGNER, B. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 1. Aufl., Parey Buchverlag, Berlin, 54.
- KRAFT, W., EGNER, B., CARR, A. (2007): Ursachen und Folgen der Hypertonie. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 67-92.
- LIN, C.H., YAN, C.-J., LIEN, Y.-H., HUANG, H.P. (2006): Systolic blood pressure of clinically normal and conscious cats determined by an indirect Doppler method in a clinical setting. *J Vet Med Sci* **68**, 827-832.
- LITTMAN, M.P. (1994): Spontaneous Hypertension in 24 cats. *J Vet Intern Med* **8** (2), 79-86.
- LITTMAN, M.P., DROBATZ, K.J. (1995): Hypertensive and hypotensive disorders In: Ettinger SJ, (Hrsg.): *Textbook of Veterinary Internal Medicine*. Philadelphia: WB Saunders, 93-100.
- LUND, E.M., ARMSTRONG, P.J., KIRK, C.A., KOLAR, L.M., KLAUSNER, J.S. (1999): Health status and population characteristics of dogs and cats examined at private veterinary practices in the united states. *JAVMA* **214**, 1336-1341.
- MAGGIO, F., DE FRANCESCO, T.C., PIZZIRANI, S., GILGER, B.C., DAIDSON, M.G. (2000): Ocular lesions associated with systemic hypertension in cats: 69 cases (1985-1998). *J Am Vet Med Assoc* **217**, 695-702.
- MAGGIO, F., DAVIDSON, M.G. (2007): Das Auge als Zielorgan. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 153-161.

- MAHER, E.R., Jr, MCNIEL, E.A. (1997): Pheochromocytoma in dogs and cats. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* **27**, 359-380.
- MAJANE, O.H.I., WOODIWISS, A.J., MASEKO, M.J., CROWTHER, N.J., DESSEIN, P.H., NORTON, G.R. (2008): Impact of age on the independent association of adiposity with pulse-wave velocity in a population sample of African ancestry. *Am J Hypertens* **21**, 936-942.
- MANCIA, G., PARATI, G., HENNIG, M., FLATAU, B., OMBONI, S., GLAVINA, F., COSTA, B., SCHERZ, R., BOND, G., ZANCHETTI, A. (2001): Relation between blood pressure variability and carotid artery damage in hypertension: Baseline data from the European Lacidipine Study on Atherosclerosis (ELSA). *J Hypertens* **19**, 1981-1989.
- MARTEL, E., EGNER, B., BROWN, S.A., KING, J.N., LAVEISSIERE, A., CHAMPEROUX, P., RICHARD, S. (2013): Comparison of high-definition oscillometry – a non-invasive technology for arterial blood pressure measurement – with a direct invasive method using radio-telemetry in awake healthy cats. *J Feline Med Surg* **15**, 1104-1113.
- MAXWELL, G.F., PRUJIT, J.F., ANRTZENIUS, A.C. (1985): Comparison of the conical cuff and the standard rectangular cuffs. *Int J Epidemiol* **14**, 468-472.
- MENTARI, E., RAHMAN, M. (2004): Blood pressure and progression of chronic kidney disease: Importance of systolic, diastolic, or diurnal variation. *Curr Hypertens Rep* **6**, 400-404.
- MEURS, K.M., MILLER, M.W., SLATER, M.R., GLAZE, K. (2000): Arterial blood pressure measurement in a population of healthy geriatric dogs. *J Am Anim Hosp Assoc* **36**, 497-500.
- MEYER, H.P. (1999): The role of angiotensin converting enzyme inhibitors in the progression of chronic renal failure in the dog. 32. Voorjaarsdagen Congress, Amsterdam. Proceedings, 34-36.
- MISHINA, M., WATANABE, T., FUJII, K., MAEDA, H., WAKAO, Y., TAKAHASHI, M. (1998): Non-invasive blood pressure measurement in cats: Clinical significance of hypertension associated with chronic renal failure. *J Vet Med Sci* **60**, 805-808.
- MITCHELL, G.F., CONLIN, P.R., DUNLAP, M.E., LACOURCIÈRE, Y., ARNOLD, M.O., OGLIVIE, R.I., NEUTEL, J., IZZO, J.L., PFEFFER, M.A. (2008): Aortic diameter, wall stiffness, and wave reflection in systolic hypertension. *Hypertension* **51**, 105-111.
- MÖLLENHOFF, A., NOLTE, i., KRAMER, S. (2001): Indirect blood pressure determination in cats using Doppler ultrasonic and oscillometric method. *Tierärztliche Praxis* **29**, 191-197.

- MOONEY, A.P., MAWBY, D.I., PRICE, J.M., WHITTEMORE, J.C. (2017): Effects of various factors on Doppler flow ultrasonic radial and coccygeal artery systolic blood pressure measurements in privately-owned, conscious dogs, *Peerj* 5:e3101; DOI 10.7717/peerj.3101.
- NAJJAR, S.S., SCUTERI, A., LAKATTA, E.G. (2005): Arterial Aging: Is It an Immutable Cardiovascular Risk Factor? *Hypertension* **46**, 454-462.
- NELSON, R.W., COUTO, C.G., GRAUER, G.F., HAWKINS, E.C., JOHNSON, C.A., LAPPIN, M.R., TAYLOR, S.M., WARE, W.A., WATSON, P.J., WILLARD, M.D., BUNCH, S.E. (2006): Systemisch arterielle Hypertonie. In: NELSON, R.W., COUTO, C.G. (Hrsg.): *Innere Medizin der Kleintiere*. 1. Aufl., Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München, 208.
- O'ROURKE, M.F., YAGINUMA, T. (1984): Wave reflections and the arterial pulse. *Arch Intern Med* **144**, 366.
- O'ROURKE, M.F., NICHOLS, W.W. (2005): Aortic diameter, aortic stiffness, and wave reflection increase with age and isolated systolic hypertension. *Hypertension* **45**, 652-658.
- PALATINI, P., BENETTI, E., FANIA, C., MALIPIERO, G., SALADINI, F. (2012): Rectangular cuffs may overestimate blood pressure in individuals with large conical arms. *J Hypertens* **30**, 530-536.
- PEDERSEN, K.M., BUTLER, M.A., ERSBOLL, A.K., PEDERSEN, H.D. (2002): Evaluation of an oscillometric blood pressure monitor for use in anaesthetised cats. *Journal of American Veterinary Medical Association* **221**, 646-650.
- PETRIC, A.D., PETRA, Z., JERNEJA, S., ALENKA, S. (2010): Comparison of high definition oscillometric and Doppler ultrasonic devices for measuring blood pressure in anaesthetised cats. *J Feline Med Surg* **12**, 731-737.
- RAMOS, S.J., DA CUNHA A.F., DOMINGUES, M., SHELBY A.M., STOUT, R.W., ACIERNO, M.J. (2015): Comparison of blood pressure measurements of anesthetized dogs obtained noninvasively with a cylindrical blood pressure cuff and an anatomically modified conical blood pressure cuff, *AJVR* **77** (1), 59-64.
- RAMSEY, M. (1991): Blood pressure monitoring: Automated oscillometric devices. *J Clin Monit* **7**, 56-67.
- REMILLARD, R.L., ROSS, J.N., EDDY, J.B. (1991): Variance of indirect blood pressure measurements and prevalence of hypertension in clinically normal dogs. *Am J Vet Res* **52**, 561-565.

- RONDEAU, D.A., MACKALONIS, M.E., HESS, R.S. (2013): Effect of body position on indirect measurement of systolic arterial blood pressure in dogs. *J Am Vet Med Assoc* **242**, 1523-1527.
- SAFAR, M. (1990): Aging and its effects on the cardiovascular system. *Drugs* **39** (1), 1-8.
- SANDER, C., HORAUF, A., REUSCH, C. (1998): Indirect blood pressure measurement in cats with diabetes mellitus, chronic nephropathy and hypertrophic nephropathy. *Tierärztl Prax* **26**, 110-118.
- SCHNEIDER, H.P., TRUEX, R.C., KNOWLES, J.O. (1964): Comparative observations of the hearts of mongrel and greyhound dogs. *Anat Rec* **149**, 173-179.
- SPARKES, A. H., CANEY, S.M.A., Caney, KING, M.C.A., GRUFFYDD-JONES, T.J. (1999): Inter- and Intraindividual Variation in Doppler Ultrasonic Indirect Blood Pressure Measurements in Healthy Cats. *J Vet Int Med* **13**, 314-318.
- STEPIEN, R.L. (2007): Das Herz als Zielorgan. In: EGNER, B., CARR, A., BROWN, S. (Hrsg.): *Blutdruck auf den Punkt gebracht*. 4. Aufl., VBS VetVerlag, Babenhausen, 143-152.
- STILES, J., POLZIN, D.J., BISTNER, S.I. (1994): The prevalence of retinopathy in cats with systemic hypertension and chronic renal failure or hyperthyroidism. *J Am Anim Hosp Assoc* **26**, 647-651.
- SUTTON-TYRELL, K., NEWMAN, A., SIMONSICK, E.M., HAVLIK, R., PAHOR, M., LAKATTA, E., SPURGEON, H., VAITKEVICIOUS, P., for the Health ABC Investigators (2001): Aortic stiffness is associated with visceral adiposity in older adults enrolled in the study of health, aging, and body composition. *Hypertension* **38**, 429-433.
- SYME, H.M., BARBER, P.J., ELLIOT, J. (2002): Prevalence of systolic hypertension in cats with chronic renal failure at initial evaluation. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **220** (12), 179-1804.
- TAYLOR, S.S., SPARKES, A.H., BRISCOE, K., CARTER, J., SALA, S.C., JEPSON, R.E., REYNOLDS, B.S., SCANSEN, B.A. (2017): ISFM Consensus Guidelines on the Diagnosis and Management of Hypertension in Cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery* **19**, 288-303.
- TENHÜNDFELD, J., MISCHKE R., EGNER B., NOLTE I. (2000): Effects of benazepril on the blood pressure of dogs with chronic renal failure. *Proceedings, DVG InLab-tagung München*, 1-4.
- TUKEY, J.W. (1977): *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, ISBN 0-201-07616-0.

- VASAN, R.S. (2008): Pathogenesis of elevated peripheral pulse pressure: some reflections and thinking forward. *Hypertension* **51** (1), 33-36.
- VERGNAUD, A.C., PROTOGEROU, A.D., LI, Y., CZERNICHOW, S., VESIN, C., BLACHER, J., SAFAR, M.E. (2007): Pulse pressure amplification, adiposity and metabolic syndrome in subjects under chronic antihypertensive therapy: The role of heart rate. *Artherosclerosis* **199**, 222-229.
- WAEBER, B., BRUNNER, H.R., BURNIER, M., COHN, J.N. (2000): Hypertension. In: WILLERSON, J.T. and COHN, J.N. (Hrsg.): *Cardiovascular Medicine*, 2nd edition, Churchill Livingstone, Philadelphia, 1496-1528.
- WEHNER, A., RICHTER, P., DORSCH, R. (2017): Die systemische Hypertension bei der Katze – Diagnostik und Behandlung. *Kleintierpraxis* **62**, 159-180.
- WHITTEMORE, J.C., NYSTROM M.R., MYWBY, D.I. (2017): Effects of various factors on Doppler ultrasonographic measurements of radial and coccygeal arterial blood pressure in privately owned, conscious cats. *JAVMA* Vol **250** (7), 763-769.
- WILDMAN, R.P., MACKEY, R.H., BOSTOM, A., THOMPSON, T., SUTTON-TYRELL K. (2003): Measures of obesity are associated with vascular stiffness in young and older adults. *Hypertension* **42**, 468-473.
- WILSON, P.W.F., RALPH, B., D'AGOSTINO, R.B., SULLIVAN, L., PARISE, H., WILLIAM, B., KANNEL, W.B. (2002): Overweight and Obesity as Determinants of Cardiovascular Risk. The Framingham Experience. *Arch Intern Med* **162**, 1867-1872.
- WYKRETOWICZ, A., ADAMSKA, K., GUZIK, P., KRAUZE, T., WYSOCKI, H. (2007): Indices of vascular stiffness and wave reflection in relation to body mass index or body fat in healthy subjects. *Clin Exp Pharmacol Physiol* **34**, 1005-1009.
- WYKRETOWICZ, A., RUTKOWSKA, A., KRAUZE, T., PRZYMUSZALA, D., PRZEMYSŁAW, G., MARCINIĄK, R., WYSOCKI, H. (2011): Pulse pressure amplification in relation to body fatness. *British Journal of Clinical Pharmacology* **73** (4), 546-552.
- ZEBEKAKIS, P.E., NAWROT, T., THIJS, L., BALKENSTEIN, E.J., VAN DER HEIJDEN-SPEK, J., VAN BORTEL, L.M., STRUIJKER-BOUDIER, H.A., SAFAR, M.E., STAESSEN, J.A. (2005): Obesity is associated with increased arterial stiffness from adolescence until old age. *J Hypertens* **23**, 1839-1846.
- ZEUGSWETTER, F.K. (2016): Systolische Hypertension bei Katzen mit Diabetes mellitus. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift – Veterinary Medicine Austria* **103**, 189-194.

9. ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abb. 1: Doppler-Flow-Detector

Abb. 2: Verteilung der Katzen in den einzelnen BCS Gruppen

Abb. 3: Box-plot Diagramm zur Darstellung der Blutdruckdifferenzen in Abhängigkeit von der Sequenz

Abb. 4: Box-plot Diagramm zur Darstellung der Blutdruckwerte Vorderextremität und Schwanz vergleichend

Abb. 5: Streudiagramm zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Blutdruckwerten von Pfote und Schwanz mit einer Regressionsgeraden

Abb. 6: Box-plot Diagramm zur Darstellung des Einflusses des Geschlechts auf die Blutdruckwerte

Abb. 7: Graphische Darstellung der unterschiedlichen Einteilung in die EOS Kategorien

Abb. 8: Box-plot Diagramm zur Darstellung der Blutdruckwerte nach Einteilung des Ernährungszustandes

Abb. 9: Bland-Altman-Blot zur Darstellung der absoluten Blutdruckdifferenzen (Schwanz – Vorderextremität) in Abhängigkeit der Blutdruckmittelwerte

Tab. 1: 5-Punkte-BCS-Modell nach Lund et al. (1999)

Tab. 2: Darstellung der Charakteristika der 80 Katzen eingeteilt in BCS Klassen