Open Access
DOI 10.2377/0023-2076-63-252
Daniel Koch Kleintierchirurgie AG Diessenhofen[1], Pferdeklinik der Vetsuisse Fakultät der Universität Zürich[2], Kleintierklinik der Vetsuisse Fakultät der Universität Zürich[3]

Vergleich von transnasalem Druck und Widerstand bei brachyzephalen und normozephalen Hunden

Daniel A. Koch[1], Thomas Wiestner[2], Aaron Balli[3], Pierre M. Montavon[3], Susanna Arnold[3]

Korrespondenzadresse: daniel.koch@dkoch.ch

Zusammenfassung In dieser Untersuchung wurde der Zusammenhang zwischen dem Maß der Brachyzephalie und transnasalen Druck- und Widerstandswerten ermittelt. Es wurden 64 Hunde unterschiedlicher Rassen untersucht. Von allen Tieren wurden zunächst normale Atmungskurven aufgenommen. Anschließend wurden unter Anästhesie die transnasalen Druckunterschiede in Abhängigkeit vom Luftfluss und bei Inspiration sowie Exspiration mithilfe eines modifizierten Spirometers gemessen. Die transnasalen Widerstands- (R) und Druckdifferenzen (P) wurden berechnet und auf das Körpergewicht normalisiert. Das Maß der Brachyzephalie wurde auf Röntgenbildern mithilfe des S-Index (Gesichtsschädellänge/Hirnschädellänge) errechnet, der dann mit den spirometrischen Daten ins Verhältnis gesetzt wurde. Es wurden 24 Hunde als brachyzephal eingestuft. Diese hatten ein kleineres Körpergewicht als die normozephalen Hunde. Sowohl in Inspiration als auch in Exspiration waren die transnasalen R- und P-Werte in der Gruppe der brachyzephalen Hunde erhöht. Hieraus lässt sich schließen, dass diese Hunde für das Aufrechterhalten der Thermoregulation und für die Sauerstoffversorgung höhere transnasale Atemdrucke aufbauen müssen als normozephale Hunde. Der S-Index und hohe transnasale Druckwerte können als objektive Parameter für das brachyzephale Syndrom betrachtet werden.

Schlüsselwörter Brachyzephalie, Dyspnoe, Spirometrie, Hund

Correlation of transnasal pressure and resistance differences to brachycephalic and normocephalic dogs

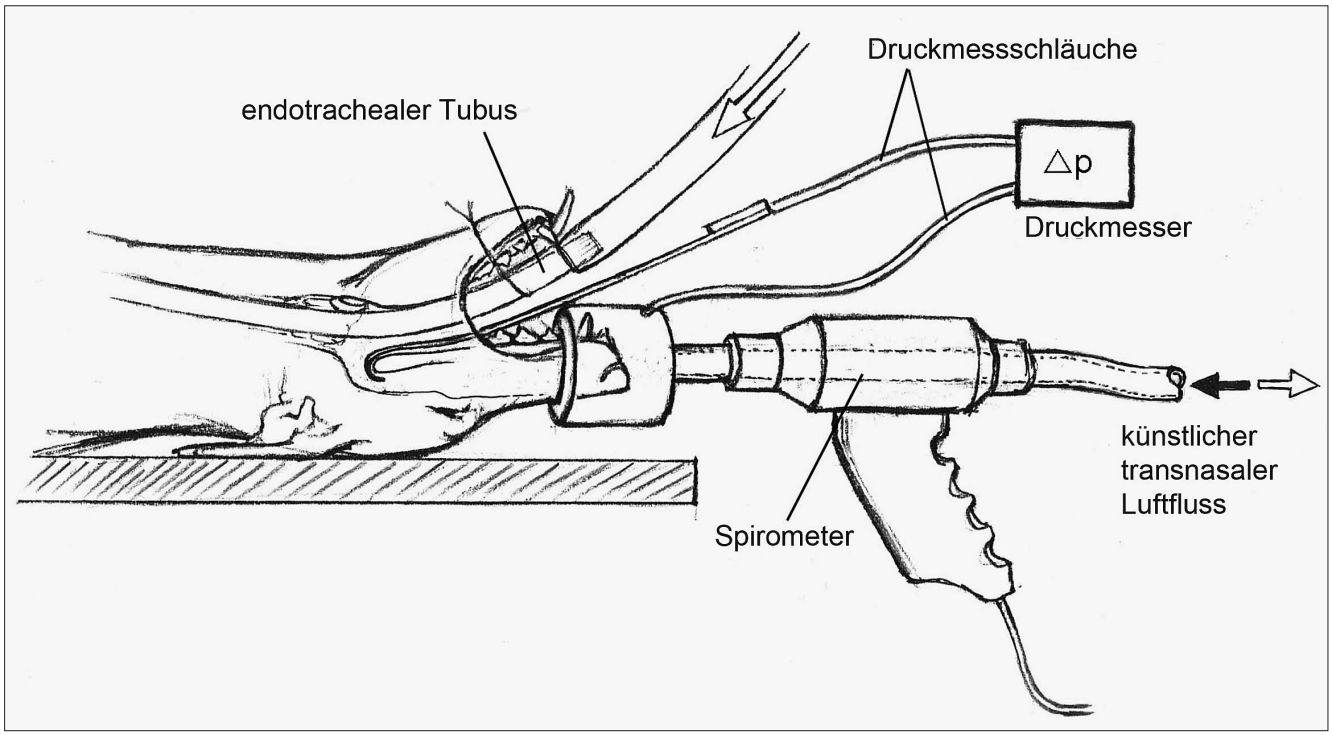
Summary This study correlates the degree of brachycephaly to the transnasal air pressure and resistance during inspiration and expiration. A total of 64 dogs from different breeds were investigated. Spontaneous breathing curves were recorded from all the dogs. A modified spirometer was used during anaesthesia to record transnasal pressure differences against air flow during inspiration and expiration. Transnasal resistances (R) and pressure differences (P) were calculated and normalised to the body weight. The degree of brachycephaly was assessed by the S-index (nasal length/cerebral length) measured using skull radiographs and was then compared to the spirometry data. Twentyfour dogs were classified as brachycephalic. They had a lower body weight than the normocephalic dogs. The transnasal R and P were significantly higher in the brachycephalic group, both during inhalation and exhalation. In conclusion, brachycephalic dogs must generate higher transnasal negative pressures than normocephalic dogs to regulate body temperature and to supply them with adequate oxygen. A low S-index and a high transnasal pressure may be objective parameters for determining the presence of brachycephalic syndrome.

Keywords Brachycephaly, dyspnoea, spirometry, dog

Einführung

Brachyzephale Hunde leiden des Öfteren am brachyzephalen Syndrom, welches durch enge Nasenlöcher, langes Gaumensegel, Protrusion der Weichteile im Oropharynx, einen kollabierenden Larynx und evertierte Larynxtaschen gekennzeichnet sein kann. Die typischen klinischen Symptome sind Stridor, Stertor, allgemeine Dyspnoe, reduzierte Leistungsfähigkeit und Würgen (Aron und Crowe 1985, Knecht 1979, Koch et al. 2003). Hohe Umgebungstemperaturen verstärken das Syndrom, weil die Hunde wegen der Unfähigkeit zum Schwitzen auf eine Atemluftpassage durch die Nase angewiesen sind, um ihre Körpertemperatur mithilfe der großen evaporativen Oberflächen auf den Conchae zu regulieren (Schmidt-Nielsen et al. 1970).

Es ist naheliegend, die kurze Nase der brachyzephalen Hunde als Ausgangspunkt der Pathophysiologie zu benennen. Durch eine Stauchung der Nase, eine Verkleinerung der thermoregulatorisch wichtigen Schleimhäute und eine Kaudalverlagerung der Conchae müssten die Atemarbeit verstärkt und der thorakale Unterdruck vergrößert werden, womit sich der Atemdruck und der Atemwiderstand in der Nase verändern müssten. Dies würde erklären, weswegen die Weichteile entlang der Atemwegpasssage in das Lumen eingezogen werden, hypertrophieren und somit die Atemwegsobstruktion weiter verstärkt wird. Ziel der Untersuchung war es, den Zusammenhang von kurzer Nase und Strömungsparametern aufzuzeigen. Die Hypothese lautete, dass ein kurzer Nasenschädel zu höherem transnasalem Widerstand und zu verstärktem negativem Atemdruck führen soll.



Zeichnung: Mathias Haab, Pferdeklinik, Vetsuisse Fakultät Universität Zürich

Abb. 1: Messvorrichtung für posteriore Rhinomanometrie

Material und Methoden

Es wurden Röntgenbilder der Schädel von 64 Hunden verschiedener Rassen untersucht. Alle Hunde waren Patienten der Vetsuisse Fakultät der Universität Zürich, welche für einen elektiven Eingriff (meist Kastration) eingewiesen wurden. Keiner dieser Hunde litt an Dyspnoe oder anderen Erkrankungen. Die präoperative Blutuntersuchung lieferte in allen Fällen keine oder nur geringe Abweichungen von den Normwerten. Die Besitzer wurden jeweils um Erlaubnis über die Anfertigung von Röntgenbildern und das Erheben von spirometrischen Daten gefragt. Die Studie wurde als Tierversuch von der zuständigen Behörde (Veterinäramt Kanton Zürich, 44/2003 und 90/2003) genehmigt.

Rhinomanometrische Untersuchung

Die Hunde wurden mit Buprenorphin (0,007 mg/kg KG i. m., Temgesic®, Essex Chemie AG, Schweiz) und Acepromazin 0,03 mg/kg KG i. m., Prequillan®, FATRO s.p.a., Italien) sediert. In stehender Position wurde eine Atemmaske (Provet AG, Schweiz) über die Schnauze gestülpt und festgehalten. Während mindestens einer Minute wurde die spontane Atemtätigkeit mit einem Spirometer gemessen (Eco Medics, Schweiz). Anschließend wurde die Anästhesie mit Propofol (4 mg/kg KG i. v., Propofol-Lipuro® 1 %, Braun Medical AG, Schweiz) eingeleitet und nach orotrachealer Intubation mittels Sauerstoff und 2–3 % Isofluran (Provet AG, Schweiz) unterhalten.

Der nasale Widerstand R_N wurde durch passive Rhinomanometrie aus dem simultan erhobenen nasalen Luftstrom (Q_N) und der transnasalen Druckdifferenz (P_N) berechnet (Kim et al. 1998, Silkoff et al. 1999). Die passive Rhinomanometrie, angepasst durch Wiestner et al. (2007), basiert auf Messungen der artifiziell belüfteten Nase und wird hier kurz zusammengefasst.

Die intubierten Tiere wurden auf Polstern in Rückenlage verbracht. Die kleinstmögliche Atemmaske wurde über den Oberkiefer gestülpt, wobei der Gummiring dorsal über dem Os nasale und ventral gerade kaudal der Canini liegen musste. Der frei liegende Raum wurde mit Teig (Mischung aus Wasser und Mehl) abgedichtet. Mithilfe eines Metallhakens wurde dann der weiche Gaumen ein wenig nach rostral gezogen, damit die Luft frei im Nasopharynx zirkulieren konnte. Nun wurde gefilterte Luft durch die Atemmaske in die Nase geblasen (▶ Abb. 1). Der Luftfluss Q_N und der zwischen Maske und Nasopharynx entstehende Druck P_N wurden mit einer Frequenz von 200 Hz simultan mittels einer Multifunktionsfluss-Registriereinheit (Exhalyzer D® mit Spiroware® Software, Eco Medics AG, Schweiz) erfasst. Die Messung wurde mit umgekehrtem Luftfluss wiederholt, die Luft also mithilfe des Gerätes aus der Nase gesaugt. Die Daten beider Messungen bildeten einen Zyklus, wobei der erste Fluss die Inhalation (in), der zweite die Exspiration (ex) markierte. Für jeden Hund wurden drei Zyklen innerhalb von 15 Minuten erhoben.

P_N stieg nicht-linear bei höheren Q_N. Diese mathematische Beschreibung dieser Beziehung beruht auf einer Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate für die Inhalation und die Exspiration. Die Regressionskoeffizienten der drei Zyklen wurden für den Hund gemittelt. Wegen der Flusseigenschaften und Körperabmessungen haben bei gleichem Q_N kleine Hunde höhere R_N als große

Grafik: Koch

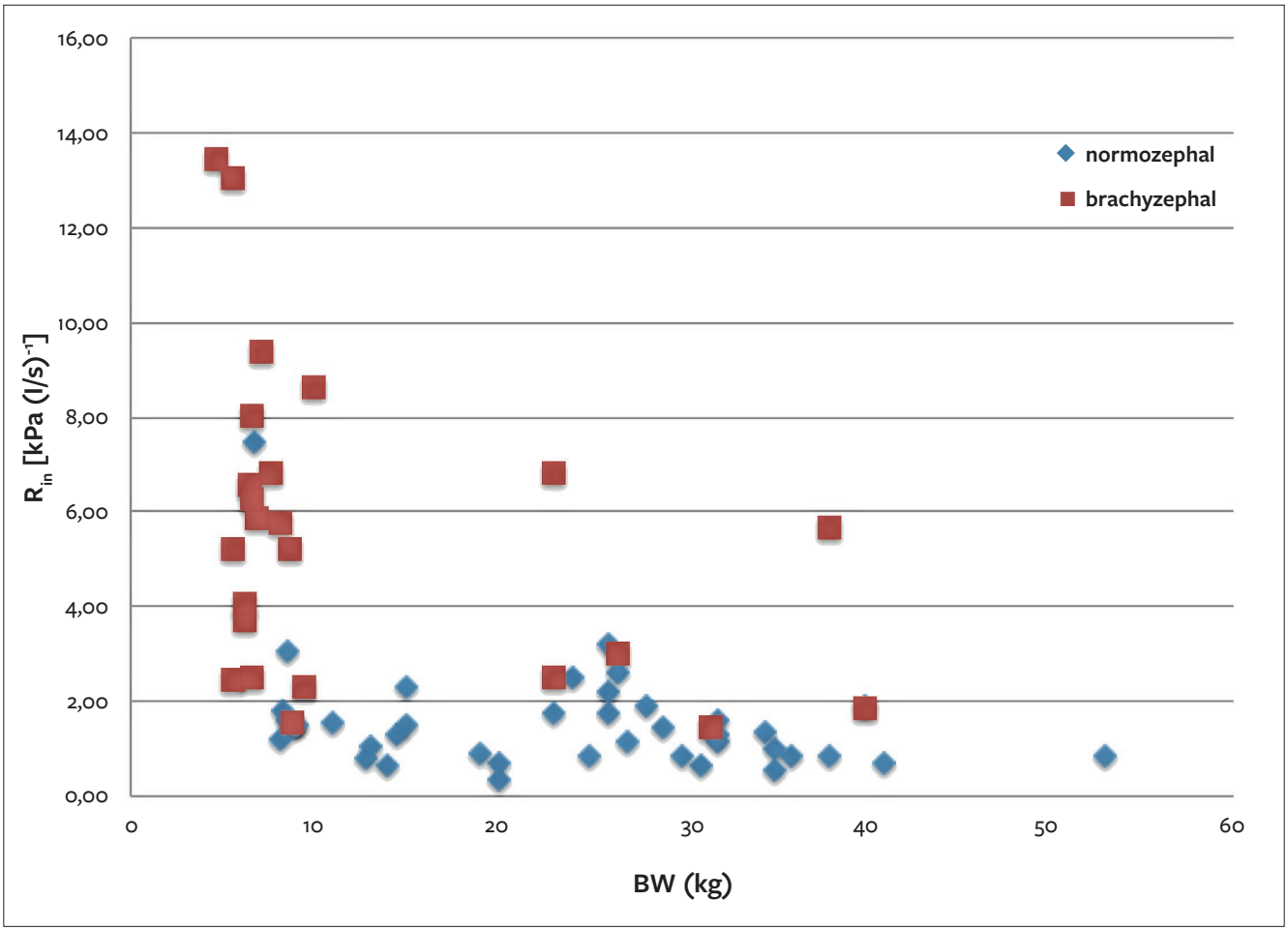


Abb. 2: Zusammenhang zwischen transnasalem R_{in} und dem Körpergewicht (BW) während des simulierten Einatmungsluftstroms

Hunde. Die spirometrischen Daten wurden zu Vergleichszwecken deswegen standardisiert. Nach Wiestner et al. (2007) wurden P_{Nmet} und R_{Nmet} als individuelle Werte bei einem sogenannten metabolischen Fluss Q_{Nmet} bestimmt. Dieser leitet sich aus der Körpergröße nach der Formel $Q_{Nmet} = 0.018 \times BW^{0.75}$ l/s ab (BW = Körpergewicht), wobei die Beziehung von P_N zu Q_N zur Hilfe genommen wurde.

Tab. 1: Vergleich der rhinomanometrischen Parameter bei normo- und brachyzephalen Hunden

PARA-METER	EINHEIT	NORMOZEPHAL (N = 40) MITTEL ± SD	BRACHYZEPHAL (N = 24) MITTEL ± SD
S-Index	-	1,63 ± 0,26	0,89 ± 0,27 **d**
BW	kg	23,6 ± 11,3	12,9 ± 11,0 **a**
$flow_{met.}$	l/s	0,19 ± 0,07	0,12 ± 0,07 **a**
P_{in}	kPa	0,27 ± 0,15	0,55 ± 0,34 **a**
P_{out}	kPa	0,28 ± 0,17 **b**	0,78 ± 0,95 **a, c**
R_{in}	kPa (l/s)$^{-1}$	1,56 ± 1,17	5,51 ± 3,30 **a**
R_{out}	kPa (l/s)$^{-1}$	1,66 ± 1,30 **b**	7,06 ± 5,66 **a, c**

S-Index = Skull-Index, BW = Körpergewicht, $flow_{met}$ = metabolischer Luftfluss, P_{in} = Druck bei Inspiration, R_{in} = Widerstand bei Inspiration, P_{out} = Druck bei Exspiration, R_{out} = Widerstand bei Exspiration

a: Signifikanter Unterschied (t-test) zwischen normo- und brachyzephalen Hunden
b: Signifikanter Unterschied (paired t-test) zwischen inspiratorischen und exspiratorischen Werten
c: Signifikanter Unterschied (Wilcoxon signed rank test) zwischen inspiratorischen und exspiratorischen Werten
d: Signifikanter Unterschied (Mann-Whitney U-test) zwischen normo- und brachyzephalen Hunden

Radiologische Untersuchungen

Nach den rhinomanometrischen Untersuchungen wurden von allen Hundeschädeln Röntgenbilder im laterolateralen und dorsoventralen Strahlengang angefertigt und die Länge des Gesichtsschädels (vom rostralen Ende des Os incisivum bis zum rostralen Ende des Cavum cranii) sowie die Länge des Cerebrums (vom rostralen Ende des Cavum cranii bis zum kaudalen Ende des Os occipitale) bestimmt. Aus diesen Strecken wurde der S-Index nach Koch et al. (2012) durch Division der Gesichtsschädellänge durch die Länge des Cerebrums berechnet. Mit diesem Verfahren ließen sich eine brachyzephale (S-Index ≤ 1,25) von einer normozephalen Gruppe (mesozephale und dolichozephale Hunde, S-Index > 1,25) unterscheiden.

Datenanalyse und Statistik

Für die Gruppe der brachyzephalen und der normozephalen Hunde wurden das Körpergewicht (BW), Q, P und R bestimmt und statistisch ausgewertet. Weil die Rohdaten nicht normal verteilt waren, wurden sie für die weiteren Analysen logarithmisch transformiert. Für den Vergleich zwischen den brachy- und normozephalen Hunden wurde der Student t-Test verwendet. Inhalations- und Exspirationswerte wurden mit dem Paired t-Test in der normozephalen Gruppe und dem Wilcoxon Rang-Test in der brachyzephalen Gruppe (hier ergab die Logarithmierung keine Normalverteilung) verglichen.

Grafik: Koch

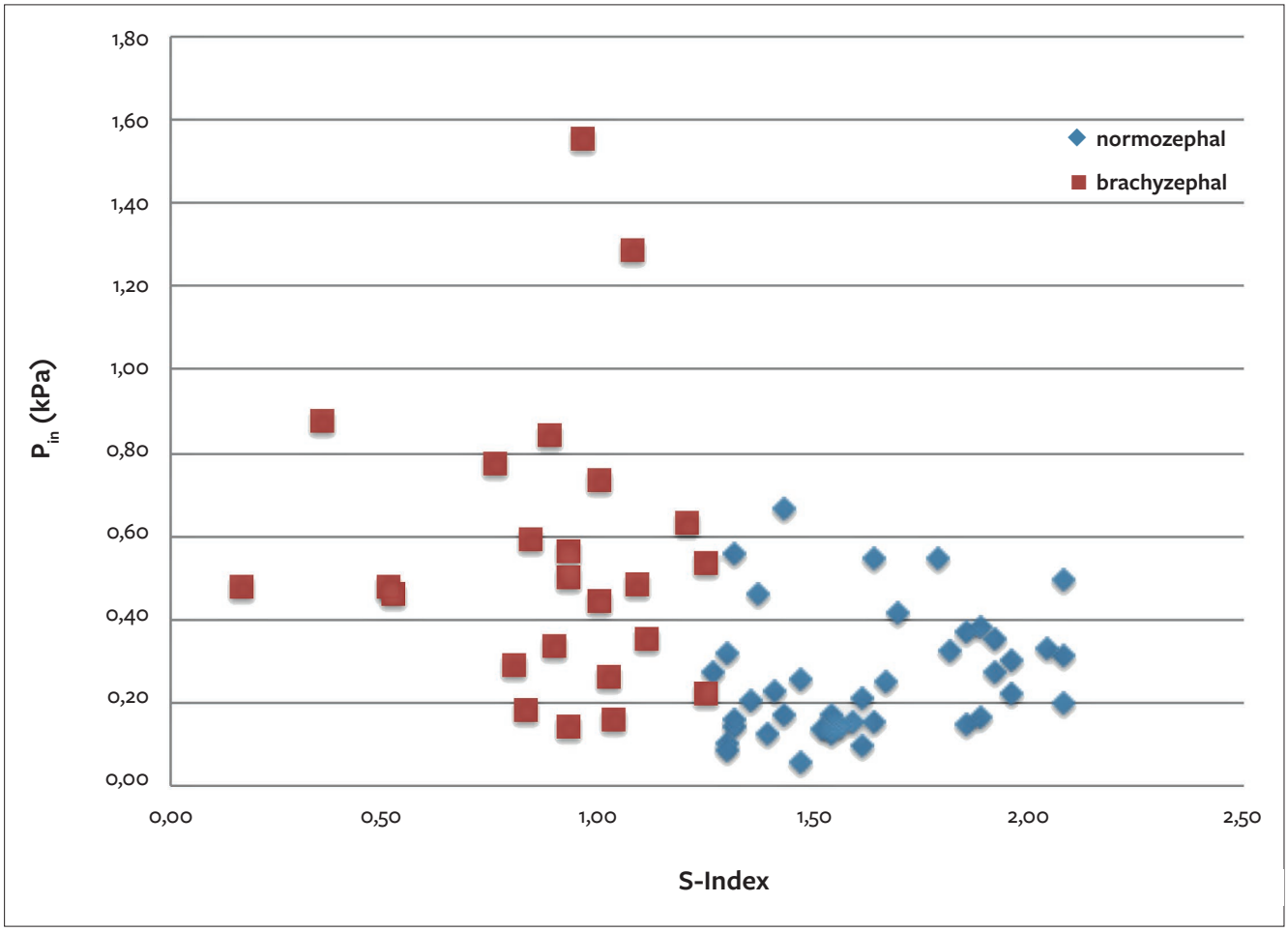


Abb. 3: Beziehung zwischen P_{in} und dem S-Index während simuliertem Einatmungsluftstrom

Ergebnisse

Auf Basis der radiografischen Untersuchung wurden 24 der 64 Hunde als brachyzephal eingeteilt (S-Index ≤ 1,25), die anderen 40 als mesozephal oder doliochozephal (S-Index > 1,25; ▶ Tab. 1). Das Verhältnis zwischen dem maximalen Luftfluss bei Spontanatmung und dem metabolischen Körpergewicht war linear (maximaler Fluss = 0,0037 $BW^{0.75}$; R^2 = 0,8; $p < 0,001$). Zwischen dem Körpergewicht und dem nasalen Widerstand R bestand eine offensichtliche Abhängigkeit (▶ Abb. 2). Die meisten brachyzephalen Hunde hatten ein Körpergewicht unter 10 kg.

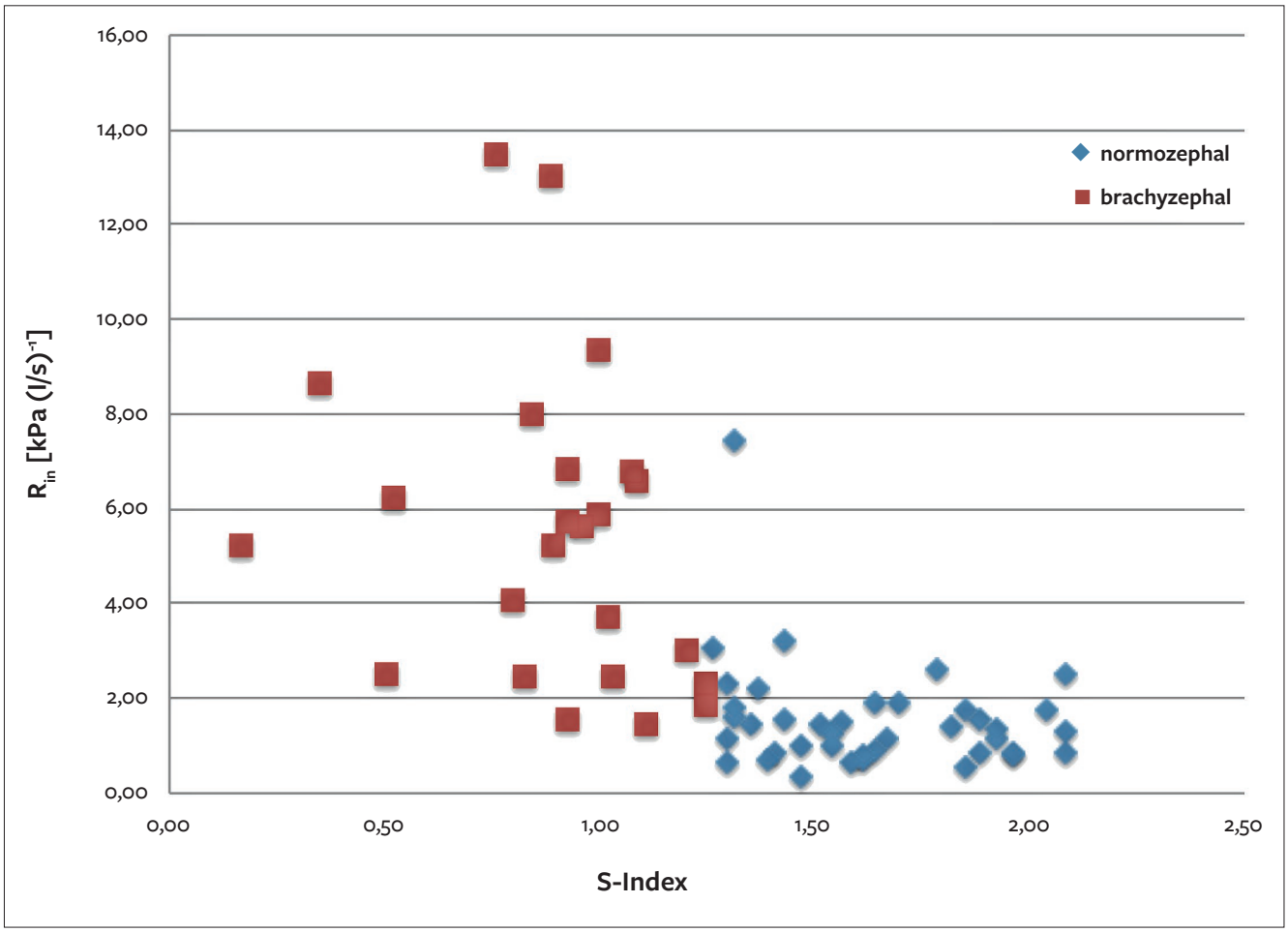
Die individuellen nasalen Druck- und Widerstandswerte bei Inspiration (P_{in} und R_{in}) sind in den ▶ Abbildungen 3 und 4 sowie in ▶ Tabelle 1 dargestellt. Die mittleren P- und R-Werte brachyzephaler Hunde sind bei Inspiration und Exspiration signifikant höher als bei den normozephalen Hunden ($p < 0,001$). Bei beiden Gruppen sind die P_{out} ($p < 0,001$) und R_{out} ($p < 0,006$) signifikant höher als die dazugehörenden individuellen inspiratorischen Werte.

Diskussion

Der Gesamt-Atemwiderstand setzt sich aus den Widerständen entlang der Atemwege zusammen. Die Nase weist, abhängig vom Luftfluss, mit 69 bis 81 % den höchsten Widerstand auf (Ohnishi und Ogura 1969, Ohnishi et al. 1971). Bei brachyzephalen Hunden wird angenommen, dass durch die Nasenverkürzung eine zusätzliche Widerstandserhöhung eintritt. Mithilfe der Rhinomanometrie konnte die bei brachyzephalen Hunden interessierende Nasenpassage spezifisch geprüft werden und es wurde auf nichtinvasive Untersuchungstechniken wie die Pneumotachografie zur Analyse von Atemzugskurven (Clercx et al. 1993, Pardali et al. 2010) oder die vollkommen ohne Zwangsmaßnahme durchführbare Plethysmografie (Bedenice et al. 2006, Liu et al. 2016) verzichtet. Letztere messen die Parameter über die gesamten Atemwege.

Für einen Vergleich der physikalischen Eigenschaften von unterschiedlich großen Hunden mussten Anpassungen an die Auswertungen gemacht werden. Da Widerstand und Druck abhängig vom Luftfluss sind und Letzterer wiederum bei kleinen Hunden niedriger ist als bei großen, musste dafür der individuelle maximale Luftfluss als Basis für die Messungen herangezogen werden. Unter Annahme eines linearen Luftflusses und eines zylindrischen Körpers gilt, dass der Widerstand von Länge und Durchmesser des Objektes wie folgt abhängig ist: $R \sim L_n/D_n^4$ (L_n = Länge der Nase, D_n = Durchmesser der Nase; Eck 1974). Die linearen Dimensionen folgen der ungefähren Beziehung von $L \sim BW^{1/3}$. Dies bedeutet, dass der Vergleich von unterschiedlich großen Hunden schwierig wird, weil kleine Hunde eher hohe und große Hunde eher kleine nasale Widerstände haben müssten.

Um dieses Dilemma zu umgehen, haben wir die Druck- und Widerstandswerte bei einem für das entsprechende Körpergewicht individuellen Luftstrom erhoben. Wir benutzten also einen aus physiologischen Untersuchungen (Gros 2000) abgeleiteten sogenannten metabolischen Luftfluss $flow_{met} = 0,018 \times BW^{0.75}$ (l/s). Ein Vergleich mit den gemessenen inspiratorischen Spitzenflussraten während der Spontanatmung ergab einen etwa doppelt so hohen Sauerstoffbedarf, der sich mit erhöhtem Stress und erhöhtem Metabolismus



Grafik: Koch

Abb. 4: Beziehung zwischen R_{in} und dem S-Index während simuliertem Einatmungsluftstrom

der Tiere im Rahmen der Untersuchungen erklären lässt. Da sich die P-Werte unserer Hunde deutlich voneinander unterschieden, muss hauptsächlich die unterschiedliche Geometrie und weniger die absolute Größe der Tiere dafür verantwortlich sein. Dies wird bei jenen sieben brachyzephalen Hunden mit stark unterschiedlichem Körpergewicht deutlich ersichtlich (vier Hunde unter 11 kg, drei Hunde über 22 kg), bei denen P_{in} jeweils über 0,6 kPa lag.

Spontane Atmung bedeutet, dass die Atemluft durch negativen intrathorakalen Druck eingesaugt wird. Dies haben wir in unserer Studie durch einen positiven Außendruck simuliert. Bei der Exspiration galt das Umgekehrte. Dieser systemische Fehler wirkte sich allerdings bei den errechneten Werten nicht aus, wie der Vergleich unserer normozephalen Hunde [P_{in}: 0,27 kPa und R_{in}: 1,56 kPa (l/s)$^{-1}$] mit denjenigen aus einer Untersuchung mit physiologisch richtigem Luftfluss [P_{in}: 0,25 kPa und R_{in}: 1,4 kPa (l/s)$^{-1}$] zeigte (Amis et al. 1996).

Die klinisch bedeutsamen Schlussfolgerungen müssen aus den im Vergleich zu normozephalen Hunden signifikant höheren Druck- und Atemwiderstandswerten der brachyzephalen Hunde während Inspiration und Exspiration gezogen werden. Nach unserer Ansicht handelt es sich nicht um die Ursache, sondern um das pathophysiologische Resultat. Züchterisch bedingte Nasenkürzung raubt den brachyzephalen Hunden die Möglichkeit zur adäquaten Thermoregulation über das Hecheln. Dabei streicht die Luft in hoher Frequenz über die großen Oberflächen der Conchae, wird mit Feuchte beladen und gibt sie übers Maul ab (Schmidt-Nielsen et al. 1970). Bei hoher Außentemperatur oder körperlicher Anstrengung gelingt den Hunden die Regulierung ihrer Körpertemperatur nur ungenügend, weswegen sie die Aktivität einstellen, sich ausruhen und trinken. Gleichzeitig sollte der Körper auch noch mit Sauerstoff versorgt werden. Um diese Einschränkung zu kompensieren, verstärken sie ihre Atemarbeit und bilden mehr Atemmuskeln, wie dies bei vielen brachyzephalen Hunden mit markanter Thoraxform gesehen werden kann. Es kommt zur Ausbildung eines verstärkten negativen Atemdrucks bei Inspiration und damit zum Einsaugen der Weichteile entlang der Atemwege (Eck 1974). Zunächst werden die knorpelig geführten Nüstern kollabieren, unter anderem auch, weil der M. levator nasolabialis durch Nasenkürzung hypotrophiert ist und wenig zur Weitung bei Inspiration beitragen kann. Gleichzeitig wird das Gaumensegel verdickt und verlängert. Wegen des durch die zusätzlichen Obstruktionen nochmals erhöhten negativen Drucks hypertrophieren auch andere Gewebe und engen Pharynx und Larynx weiter ein. Der thorakale Unterdruck erklärt auch, weswegen Teile des Magens nach kranial gezogen werden und Regurgitieren keine seltene Beobachtung bei brachyzephalen Hunden ist (Poncet et al. 2005). In diesen pathophysiologischen Mechanismus passt auch die erhöhte Obstruktion durch aberrante Conchen, wie sie von Oechtering et al. (2007, 2016a) beschrieben wurden. Wir gehen allerdings davon aus, dass das Wachstum und die Größe der Conchae hauptsächlich durch die Thermoregulation des Gesamtkörpers gesteuert werden. Diese wird durch die Verkürzung des Nasenschädels bei brachyzephalen Hunden natürlich stark beschnitten, weswegen die Conchae, relativ zur Nase gesehen, zu groß sein müssen. Offenbar konnten alle brachyzephalen Hunde in unserer Studie eine Kompensation ihrer Atemdefizite bewerkstelli-

gen. Es ist zu erwarten, dass mit weiter reduziertem Nasenschädel die typischen Symptome des brachyzephalen Syndroms auftreten oder sie bei einigen unserer Hunde unter dem Bereich der klinischen Erfassung blieben.

Obwohl die Unterschiede zwischen brachyzephalen und normozephalen Hunden statistisch signifikant sind, soll nicht unbeachtet bleiben, dass einige kurznasige Hunde P- und R-Werte aufwiesen, welche im Bereich der normalnasigen Hunde liegen. Die alleinige Schädelvermessung wird den Strömungsparametern also nicht überall gerecht. Dies zeigt sich insbesondere bei den Norwich Terriern, welche trotz verhältnismäßig langer Nase teilweise das brachyzephale Syndrom zeigen (Ruchti 2009). Im Weiteren wird der über die Jahre aufrechtgehaltene Teufelskreis von Obstruktion und kompensierendem negativem Inspirationsdruck alle Weichteile hypertrophieren, sodass zu erwarten ist, dass älter werdende brachyzephale Hunde höhere Druck- und Widerstandswerte generieren würden. Dieser Zusammenhang und der Einfluss des Body-Mass-Index wurden hier nicht untersucht und verlangen nach einer longitudinalen Studie von Hunden mit unterschiedlichen Graden von Brachyzephalie.

Es lässt sich schlussfolgern, dass die im Vergleich zu normozephalen Hunden erhöhten Druck- und Widerstandswerte bei der Luftpassage durch die Nase mit einem verkürzten Nasenschädel einhergehen. Die dazugehörende Symptomatik des brachyzephalen Syndroms kann man in einem direkten Zusammenhang dazustellen. Die dem Nasenschädel innen anliegenden Weichteile unterliegen einer Dynamik, welche zu noch schlechteren Strömungswerten führen kann. Die chirurgische Korrektur soll sich auf die Folgen der pathophysiologischen Prozesse konzentrieren und bringt den Tieren Erleichterung, wenn chirurgisch zugängliche Weichgewebe wie kollabierende Nüstern, verdicktes und verlängertes Gaumensegel, evertierte Larynxtaschen oder aberrante Conchen (Oechtering et al. 2016b) entfernt werden. Nachhaltigen Erfolg verspricht nur die Züchtung mit längeren Nasenschädeln.

Conflict of interest

Hiermit erklären die Autoren, dass sie keine geschützten, finanziellen, beruflichen oder anderen persönlichen Interessen haben, welche die im Manuskript dargestellten Inhalte oder Meinungen beeinflussen könnten.

Literatur

Amis TC, O'Neill N, Van der Touw T, Tully A, Brancatisano A (1996): Supraglottic airway pressure-flow relationships during oronasal airflow partitioning in dogs. J Appl Physiol 81: 1958–1964.

Aron DN, Crowe DT (1985): Upper airway obstruction. General principles and selected conditions in the dog and cat. Vet Clin North Am Small Anim Pract 15: 891–917.

Bedenice D, Rozanski E, Bach J, Lofgren J, Hoffman AM (2006): Canine awake head-out plethysmography (HOP): characterization of external resistive loading and spontaneous laryngeal paralysis. Respir Physiol Neurobiol 151: 61–73.

Clercx C, Gustin P, Landser FJ, Van de Woestijne KP (1993): Measurement of total respiratory impedance in dogs by the forced oscillation technique. Vet Res Commun 17: 227–239.

Eck B (1974): Strömungslehre. Taschenbuch für den Maschinenbau. Dubbel. Springer, Berlin.

Gros G (2000): Atmung. In: Engelhardt W, Breves G (Hrsg.), Physiologie der Haustiere. Enke, Stuttgart, 217–253.

Kim CS, Moon BK, Jung DH, Min YG (1998): Correlation between nasal obstruction symptoms and objective parameters of acoustic rhinometry and rhinomanometry. Auris Nasus Larynx 25: 45–48.

Knecht CD (1979): Upper airway obstruction in brachycephalic dogs. Comp Cont Educ Pract Vet 1: 25–31.

Koch D, Wiestner T, Balli A, Montavon P, Michel E, Scharf G, Arnold S (2012): Proposal for a new radiological index to determine skull conformation in the dog. Schweiz Arch Tierheilkd 154: 217–220.

Koch DA, Arnold S, Hubler M, Montavon P (2003): Brachycephalic syndrome in dogs. Comp Cont Educ Pract Vet 25: 48–55.

Liu NC, Adams VJ, Kalmar L, Ladlow JF, Sargan DR (2016): Whole-body barometric plethysmography characterizes upper airway obstruction in 3 brachycephalic breeds of dogs. J Vet Intern Med 30: 853–865.

Oechtering TH, Oechtering GU, Nöller C (2007): Strukturelle Besonderheiten der Nase brachyzephaler Hunderassen in der Computertomographie. Tierärztl Prax 35: 177–187.

Oechtering GU, Pohl S, Schlueter C, Lippert JP, Alef M, Kiefer I, Ludewig E, Schuenemann R (2016a): A novel approach to brachycephalic syndrome. 1. Evaluation of anatomical intranasal airway obstruction. Vet Surg 45: 165–172.

Oechtering GU, Pohl S, Schlueter C, Schuenemann R (2016b): A novel approach to brachycephalic syndrome. 2. Laser-assisted turbinectomy (LATE). Vet Surg 45: 173–181.

Ohnishi T, Ogura JH (1969): Partitioning of pulmonary resistance in the dog. Laryngoscope 79: 1847–1878.

Ohnishi T, Ogura JH, Nelson JR (1971): Effects of nasal obstruction upon the mechanics of the lung in the dog. Laryngoscope 81: 220–225.

Pardali D, Adamama-Moraitou KK, Rallis TS, Raptopoulos D, Gioulekas D (2010): Tidal breathing flow-volume loop analysis for the diagnosis and staging of tracheal collapse in dogs. J Vet Intern Med 24: 832–842.

Poncet CM, Dupre GP, Freiche VG, Estrada MM, Poubanne YA, Bouvy BM (2005): Prevalence of gastrointestinal tract lesions in 73 brachycephalic dogs with upper respiratory syndrome. J Small Anim Pract 46: 273–279.

Ruchti M (2009). Das obere Luftweg-Syndrom beim Norwich Terrier – Beschreibung der Erkrankung und der Untersuchungsmethoden sowie Entwicklung und Evaluierung eines zuchthygienisch nutzbaren Scoring-Schemas. Universität Bern, Diss.

Schmidt-Nielsen K, Bretz WL, Taylor CR (1970): Panting in dogs: unidirectional air flow over evaporative surfaces. Science 169: 1102–1104.

Silkoff PE, Chakravorty S, Chapnik J, Cole P, Zamel N (1999): Reproducibility of acoustic rhinometry and rhinomanometry in normal subjects. Am J Rhinol 13: 131–135.

Wiestner TS, Koch DA, Nad N, Balli A, Roos M, Weilenmann R, Michel E, Arnold S (2007): Evaluation of the repeatability of rhinomanometry and its use in assessing transnasal resistance and pressure in dogs. Am J Vet Res 68: 178–184.

Korrespondenzadresse
Dr. Daniel Koch
Daniel Koch Kleintierchirurgie AG
Ziegeleistrasse 5
8253 Diessenhofen
Schweiz
daniel.koch@dkoch.ch