Vergleichende Untersuchungen zur respiratorischen Funktion von Säugetiernasen (Mensch-Paarhufer)

S. Grützenmacher, J. Sevecke, G. Mlynski

Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie
der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald (Direktor: Prof. Dr. W. Hosemann)

Einleitung

Die respiratorische Nasenfunktion bei Tieren wurde, bis auf wenige Ausnahmen, bisher nicht untersucht. Erkenntnisse hierzu können das bekannte Wissen über Bau und Funktion der Nase validieren. Gleichzeitig kann dieses Wissen dabei helfen, gezielter Tiermodelle für arbeits- oder umweltmedizinische Untersuchungen auszuwählen. Die Hauptaufgabe der Nase besteht im Reinigen, Anfeuchten und Temperieren der Atemluft. Die phylogenetisch ältere Funktion der Nase ist das Riechen. Es ist somit anzunehmen, dass im Laufe der Evolution eine Anpassung der Nase an die „neue“ Aufgabe, die Respiration, erfolgte. Eine vergleichende Untersuchung zwischen den Nasen einiger ausgewählter Paarhuferarten und der menschlichen Nase soll hierzu Aufschluss geben.

Methode

Die Untersuchungen wurden an Nasenmodellen von 5 repräsentativen Vertretern der Paarhufer (Wildschwein, Rehbock, Schaf, Ziege und Hausrind (Abb. 1)) und von 2 Menschen (12 Tage alter Säugling und Erwachsener) vorgenommen. Alle Modelle wurden unter Beachtung der Ähnlichkeitsgesetze mit Wasser in Inspirationsrichtung durchströmt. Die Strömungsbeobachtung erfolgte bei entsprechenden Luftströmungsgeschwindigkeiten von 50 bis 500ml/s. Durch Zugabe von Farblösungen ließ sich die Wasserströmung visualisieren. Für eine geometrische Untersuchung wurde die längste Distanz in anteriorer-posteriorer Richtung bestimmt, wobei sich der dorsale Messpunkt jeweils oberhalb des Ductus nasopharyngeus befand (Nasenlänge). Die zweite Messstrecke beinhaltete die längste Distanz vom Nasenboden zum Nasendach (Nasenhöhe). Aus den Messwerten wurde die Längen- Höhen-Relation jeder Nase errechnet. Gleichzeitig wurde die Anzahl der sich in der Riechregion befindlichen Nasenmuscheln (Ethmoturbinalia) ermittelt. Zusätzlich wurden mit der Rhinoresistometrie folgende Messwerte bestimmt: Strömungswiderstand, Widerstandskoeffizient als Maß für die turbulenzauslösenden Wandkonfiguration und hydraulischer Durchmesser. Der hydraulische Durchmesser beschreibt die durchströmte Nasenfläche in Relation zu seinem Umfang. Er ist somit ein Weitemaß der Nase.

Abb. 1 Stammbaum der Artiodactyla (Paarhufer)

Abb. 2: Medianschnitt durch den Schädel eines Paarhufer und eines Menschen. Der Verlauf der Schädelbasis ist rot dargestellt.

I-V – Ethmoturbinalia
1 – Concha nasalis ventralis bzw. inferior
2 – Concha nasalis media
3 – Concha nasalis superior

Anatomische Betrachtungen

Bei allen untersuchten Artiodactyla-Spezies findet man jeweils zwei Conchae im direkten Atemstrom (Concha nasalis ventralis und dorsalis), und zusätzlich eine unterschiedliche Anzahl von Conchae oberhalb des Ductus nasopharyngeus. Letztere sind überwiegend mit olfaktorischem Epithel (Regio olfactoria) besetzt und werden vom Os ethmoidale gebildet. In Analogie zum Menschen entsprechen diese der Concha nasalis media und superior. Gelegentlich findet sich beim Menschen eine Concha nasalis suprema. Die größte respiratorische Concha der Paarhufer, die Concha nasalis ventralis, beginnt direkt an der lateralen Wand des Ostium nasale externum. Sie hat, wie die untere Muschel des Menschen, ein eigenes Os turbinale. Typisch für die Schädelbasis des Menschen ist eine Winkelbildung (Abb. 2). Diese ist auf die Entwicklung des aufrechten Gangs und der erheblichen Zunahme des Hirnvolumens (Großhirn) zurückzuführen. Hierdurch rotiert die bei den Tierspezies eher vertikal verlaufende Lamina cribrosa in eine horizontale Position. Weiterhin kommt es durch die Änderung der Größenverhältnisse zwischen Hirn- und Gesichtsschädel zu einer relativen Verkürzung des Mittelgesichts, was sich in der Längen-Höhen-Relation der Nase ausdrückt.

Ergebnisse der Strömungsbeobachtung, der geometrischen Messung und der Rhinoresistometrie

	Wildschwein	Hausrind	Schaf	Ziege	Rehbock	Mensch (adult)	Mensch (12d alt)
Strömungsbild - $\dot{V}=100\text{ml/s}$							
Anzahl der Ethmoturbinalia	8	5	5	5	5	2	2
Längen-Höhen-Relation	5,75	4,08	2,84	2,36	2,55	1,95	2,55
Hydraulischer Durchmesser [mm]	5,35	12,58	9,58	9,17	7,22	7,38	1,93
Inspiratorischer Strömungswiderstand [sPa/ml]	0,13	0,11	0,11	0,13	0,19	0,13	2,76
Lambda (inspiratorisch)	1,5	1,5	1,5	2,9	4,4	1,9	3,1

Diskussion

Bei den untersuchten Tierspezies handelt es sich um Paarhufer (Artiodactyla). Diese lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden: Nonruminantia (Nicht-Wiederkäuer, z. B. suiformes oder Schweine) und Ruminantia (Wiederkäuer) (Abb. 1). Die Nasenform dieser Spezies, wie auch die der meisten anderen Säugetiere erscheint gestreckt und flach. Eine prominente äußere Nase, wie sie für den Menschen typisch ist, ist bei den untersuchten Arten nur rudimentär vorhanden. Die Nonruminantia gelten entwicklungsgeschichtlich als die primitivsten Vertreter der Artiodactyla.

Die nasalen Längen-Höhen-Relationen der untersuchten Spezies ist sehr different. Beim Wildschwein findet sich die größte Relation, beim erwachsenen Menschen die Kleinste. Es ist bekannt, dass das Riechen die phylogenetisch älteste Funktion der Nase ist. Im Laufe der Evolution schiebt sich die respiratorische Funktion in den Vordergrund. Somit ist zu vermuten, dass die Regio olfactoria bei primitiveren Arten ein größeres Areal beansprucht als bei höher entwickelten Spezies. Dies kann sich in der Anzahl der Ethmoturbinalia widerspiegeln, da sie die Regio olfactoria tragen. Schweine besitzen 8, Wiederkäuer und Hirschartige 5 und Menschen 2 Ethmoturbinalia. Eine Wertung im Sinne einer Höherentwicklung ist somit möglich.

Für die respiratorische Funktion der Nase muss ein niedriger Atemwiderstand die nasale Atmung gewährleisten. Dieser erscheint von der arttypischen Körpergröße unabhängig zu sein. Möglicherweise darf ein gewisser nasaler Atemwiderstand nicht unterschritten werden, um ein Kollabieren der Alveolen in der Lunge zu vermeiden. Der suffiziente Kontakt zwischen Schleimhaut und Atemluft ermöglicht den Stoff- und Energieaustausch und somit die Konditionierung der Atemluft. Hierfür sollte möglichst das gesamte respiratorische Epithel belüftet werden (große Schleimhautoberfläche) und die Luftpartikel sollten mehrmals den Kontakt zur Schleimhaut finden (turbulente Strömung). Bei den untersuchten Tierspezies setzt die ventrale Muschel unmittelbar am Ostium nasale externum an, so dass die gesamte Nasenhöhle, ab dem Ostium nasale externum als Funktionsbereich zu sehen ist. Deshalb erscheint es hier respiratorisch sinnvoll, die Atemluft auch bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten bereits nahezu rein turbulent zu inspirieren. Beim Menschen wird der Bereich vom Ostium nasale externum bis zum Kopf der mittleren Muschel als Einstrombereich bezeichnet, er ermöglicht eine Verteilung der Atemluft über den gesamten Nasenquerschnitt, gleichzeitig bewirkt er einen turbulenten Zerfall der Atemluft. Dieser Einstrombereich befindet sich in der äußeren Nase. Da bei den untersuchten Tierspezies ein solcher Bereich fehlt, ist zu vermuten, dass er und somit auch die äußere Nase eine Anpassung an das für den Menschen typische kurze und hohe Cavum nasi darstellt. In der Säuglingsnase ist die Strömung schon bei niedrigen Geschwindigkeiten nahezu rein turbulent. Da hier das Cavum mit einer Längen-Höhen-Ratio von 2,55 ebenfalls eher gestreckt und flach geformt ist, erscheint ein Einstrombereich, wie beim Erwachsenen noch nicht erforderlich zu sein. Dies spiegelt sich auch äußerlich in der typisch hypoplastischen Säuglingsnase wieder.

Schlussfolgerung

Das Verhältnis zwischen Nasenlänge und Nasenhöhe hat sich in der Entwicklung zum Menschen verringert. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in der Ontogenese wider. Die Nasen der untersuchten Tierspezies besitzen keinen Einstrombereich. Die Luft wird hier nahezu vollständig turbulent aspiriert. Die größte Nasenmuschel setzt direkt am Ostium nasale externum an. Die gesamte Nase entspricht somit einem Funktionsbereich. Beim Menschen existiert ein Einstrombereich. Er verteilt die Strömung über den gesamten Nasenquerschnitt und erzeugt Turbulenzen. Er kann als Anpassung an die relative Zunahme der Nasenhöhe betrachtet werden. Abhängig vom Entwicklungsstand zeigt sich bei den untersuchten Spezies eine Reduktion der Ethmoturbinalia und somit auch der Regio olfactoria. Dies unterstreicht die zunehmende Dominanz der respiratorischen Funktion gegenüber der olfaktorischen Nasenfunktion im Laufe der phylogenetischen Entwicklung.