



1 Einleitung

Erkrankungen der Nasennebenhöhlen (NNH) des Pferdes sind von besonderer klinischer Bedeutung in der Pferdemedizin. Die häufigste Veränderung der equinen NNH stellt die Sinusitis dar (NICKELS 2011). Die ihr zugrunde liegenden pathophysiologischen Mechanismen sind bis heute nicht abschließend erforscht. Die Anatomie der Nasenhöhle und NNH ist sehr komplex. Detaillierte Kenntnisse der anatomischen Verhältnisse sind hinsichtlich erfolgreicher Diagnostik und chirurgischer Therapie von entscheidender Bedeutung (WAGENMANN u. NACLERIO 1992; RUGGLES et al. 1993; CHAN u. MUNROE 1995; WORSTER u. HACKETT 1999; QIU et al. 2004; LATORRE u. RODRIGUEZ 2007). Moderne schnittbildgebende Methoden wie die Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglichen eine detaillierte Darstellung, ohne dass es zu einer Überlagerung von Strukturen kommt. Es können zusätzliche, diagnostisch wichtige Informationen gewonnen werden, die durch alleinige röntgenologischer Untersuchung unerkannt bleiben (KRAFT u. GAVIN 2001).

Bildgebende Modalitäten wie die CT und die MRT sind nicht-invasive Verfahren, die anatomische Strukturen als ein zweidimensionales Schnittbild darstellen (LATORRE u. RODRIGUEZ 2007). Die Interpretation dieser zweidimensionalen Schnittbilder kann sich als schwierig erweisen. Die mentale Rekonstruktion der Schnittbilder ist abhängig von der Erfahrung und dem Vorstellungsvermögen des Betrachters und stößt bei sehr komplexen Strukturen bald an ihre Grenzen (HESSER u. MÄNNER 1997; JENDRYSIK 1997). Die dreidimensionale (3D) Rekonstruktion der zweidimensionalen Schnittbildserien ermöglicht ein exzellentes Verständnis komplexer anatomischer Verhältnisse (NÖLLER et al. 2004).

In der Humanmedizin existiert ein tiefgreifendes Bewusstsein hinsichtlich der klinischen Bedeutung der Kommunikationswege zwischen der Nasenhöhle und den NNH. In zahlreichen Studien, sowohl am makroskopischen Präparat (MESSERKLINGER 1966; AUST u. DRETTNER 1974; AUST et al. 1976) wie auch durch bildgebende Diagnostik (BOLGER et al. 1991; YOUSEM et al. 1991; LAINE u. SMOKER 1992; MARU u. GUPTA 2001; KANTARCI et al. 2004; MAMATHA et al. 2010) wurden die natürlichen Zugänge untersucht. Hierbei erlangt in der Bildgebung sowohl die zweidimensionale CT wie auch eine nachfolgende 3D-Rekonstruktion dieser Daten eine herausragende Bedeutung. Das Verfahren der Segmentierung und



die damit einhergehende 3D-Rekonstruktion werden sowohl für volumetrische Vermessungen (KAWARAI et al. 1999) wie auch für die Darstellung und Etablierung chirurgischer Zugänge verwendet (MORAL et al. 2007; TINGELHOFF et al. 2008; PIRNER et al. 2009). Die Obstruktion der sinunasalen Zugänge gilt als eines der primären pathophysiologischen Mechanismen zur Entstehung der Sinusitis (WAGENMANN u. NACLERIO 1992). Schon Messerklinger (1966) konstatiert, dass der wichtigste Faktor zur Gesunderhaltung der NNH die Drainage ist und im Erkrankungsfall ihrer Wiederherstellung die erste Sorge gilt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die detaillierte Beschreibung der Morphologie des Zugangs in die NNH beim Pferd. Erstmals soll eine computergestützte 3D-Darstellung der equinen sinunasalen Kommunikationswege erfolgen. Die Beschreibungen und Ergänzungen der bereits existierenden Nomenklatur sollen eine präzise Ansprache einzelner Abschnitte des sinunasalen Kanalsystems ermöglichen. In einem ersten Schritt erfolgt zunächst die 3D-Darstellung der equinen NNH. Hierbei soll der inter- und intraindividuellen Ausbildung der einzelnen NNH-Kompartimente Beachtung gewidmet werden. Es soll eine morphologische Beschreibung wie auch eine volumetrische Vermessung der NNH erfolgen.

Zur Etablierung neuartiger minimalinvasiver Verfahren zur Diagnostik und Therapie von NNH-Erkrankungen sind Detailkenntnisse des natürlichen Zugangs in die equinen NNH notwendig, die über die bisher verfügbaren Beschreibungen in der anatomischen und klinischen Fachliteratur hinausgehen. Weitergehend können diese zusätzlichen Kenntnisse der Kommunikationswege zwischen der Nasenhöhle und den NNH zu einem neuartigen Verständnis pathophysiologischer Vorgänge führen. Durch die Anfertigung von 3D-Modellen der Zugänge, wie auch der NNH selbst, werden die komplexen Lagebeziehungen dieser Strukturen zueinander übersichtlich und leicht verständlich veranschaulicht.



2 Literaturübersicht

2.1 Klinisch-funktionelle Anatomie

2.1.1 Übersicht: obere Atemwege

Der Atmungsapparat wird unterteilt in die oberen und tiefen Atemwege. Die oberen Atemwege umfassen die Nase und den Nasenrachen, die tiefen Atemwege Kehlkopf, Trachea und Lungen (SALOMON 2008a). Der Atmungsapparat setzt sich einerseits aus luftleitenden und andererseits aus luftaustauschenden Abschnitten zusammen (KÖNIG u. LIEBICH 2012). Die Funktion der Atmungsorgane liegt in der Sicherung des Luftzustroms sowie dem Gasaustausch zwischen Atemluft und Blut (WAIBL 2004). Weitere Funktionen sind die Reinigung, Anwärmung und Befeuchtung der eingeatmeten Luft, die Orientierung in der Umwelt durch Nutzung des im Nasengrunds befindlichen olfaktorischen Organs sowie die Lautäußerung durch Stimmerzeugung im Kehlkopf (SALOMON 2008a).

2.1.1.1 Äußere Nase und Naseneingang

Der Schädel wird unterteilt in zwei Anteile. Der die Hirnkapsel umschließende Anteil ist der Hirnschädel (Cranium, Neurocranium), wohingegen Nasenkapsel, Unterkiefer und Zungenbein dem Gesichtsschädel (Facies, Viscerocranium) zugeordnet werden (NICKEL et al. 2004). Die äußere Nase (Nasus externus) bildet den Nasenrücken (Dorsum nasi) sowie seitliche Abschnitte des Gesichtsschädels. Sie beginnt an der Nasenspitze (Apex nasi), die die beiden Nasenlöcher (Nares) beinhaltet (WAIBL 2004). Die Nasenlöcher stellen den Zugang zur Nasenhöhle (Cavum nasi) dar (SALOMON 2008a). Dieser Naseneingang wird beim Pferd als Nüster bezeichnet und ist im Gegensatz zu den anderen Haussäugetieren zumeist von feiner behaarter, pigmentierter Haut ausgekleidet (SALOMON 2008a; WISSDORF et al. 2010). Der Naseneingang ist medial, dorsal und ventral knorpelgestützt. Mit der median gelegenen Nasenscheidewand, die in ihrem vordersten Abschnitt als Septum narium bezeichnet wird, steht der ausschließlich beim Pferd ausgebildete Flügelknorpel (Cartilago nasalis alaris) in bindegewebiger oder gelenkiger Verbindung (WAIBL 2004). Dieser bilateral ausgebildete Flügelknorpel besteht einerseits aus einer dorsomedial gelegenen Platte (Lamina) und andererseits aus einem ventromedial gelegenen Horn (Cornu) (WAIBL 2004; WISSDORF et al. 2010). Die bei anderen



Haussäugetieren prominenten dorsalen und ventralen Seitenwandknorpel sind beim Pferd nur rudimentär ausgebildet oder fehlen gänzlich (WAIBL 2004). Letztlich existiert noch der beim Pferd s-förmig ausgebildete laterale Ansatzknorpel (Cartilago nasalis sigmoidea), der an der ventralen Nasenmuschel entspringt und seinen Verlauf in der Flügelfalte (Plica alaris) findet (WISSDORF et al. 2010).

Die laterale Begrenzung erfolgt durch die nicht knorpelgestützten lateralen Nasenflügel (Ala nasi laterales). Aufgrund des beim Pferd sehr stark ausgebildeten Nasenzwischenkiefer-Ausschnitts (Incisura nasoincisiva), der sich zwischen dem Proc. rostralis des Nasenbeins (Os nasale) und dem Zwischenkieferbein (Os incisivum) befindet und der besonderen Ausprägung des Flügelknorpels, wird die Pferdenase als sog. „weiche Nase“ (Nasus cutaneus) bezeichnet (WAIBL 2004; SALOMON 2008a; WISSDORF et al. 2010). Es besteht somit die Möglichkeit den Naseneingang aktiv durch Muskeleinwirkung wie auch passiv durch erhöhten Luftstrom in Form und Durchmesser zu verändern (DYCE et al. 1991).

Eine Besonderheit des equinen Naseneingangs stellt die Nasentrompete (Diverticulum nasi) dar. Die oben angesprochene Flügelfalte unterteilt den Naseneingang in das eigentliche, „wahre“ Nasenloch, welches ventral der Flügelfalte ausgebildet ist sowie das dorsal der Falte befindliche „falsche“ Nasenloch, welches den Zugang zum Diverticulum nasi darstellt (WAIBL 2004). Die Nasentrompete ist ein Blindsack, der in seiner kaudalen Ausdehnung bis in die Höhe der Incisura nasoincisiva reicht (WISSDORF et al. 2010).

2.1.1.2 Nasenhöhle und knöcherne Grundlage der Nase

Die Nasenhöhle (Cavum nasi) liegt im Gesichtsschädel. Die knöcherne Nasenkapsel beginnt rostral an der Apertura nasi ossea, die vom Os incisivum und dem Os nasale begrenzt wird (NICKEL et al. 2004).

Von rostral nach kaudal wird sie in den Nasenvorhof (Vestibulum nasi), den Hauptteil (Cavum nasi proprium) und den Nasenhöhlengrund (Fundus nasi) eingeteilt. Durch die median ausgeprägte Scheidewand (Septum nasi) entstehen zwei voneinander getrennte Höhlen (Cavum nasi dextrum et sinistrum) (WAIBL 2004). Die Scheidewand wird in drei Abschnitte unterteilt. Sie beginnt rostral als bindegewebige Pars membranacea. Den Hauptteil stellt die knorpelige Pars cartilaginea dar (NÖLLER u. BUDRAS 2009; WISSDORF et al. 2010). Von ventral erfolgt eine Unterstützung durch den Vomer mit seinem Sulcus septalis (NICKEL et al. 2004). Den Abschluss bildet die knöcherne Pars ossea, die sich in die Lamina



perpendicularis des Siebbeins (Os ethmoidale) und dem Vomer fortsetzt (NICKEL et al. 2004; WISSDORF et al. 2010). Der vordere bewegliche Abschnitt der Scheidewand wird auch als Pars mobilis septi nasi bezeichnet (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008a). Es ist zu beachten, dass die Schleimhaut des Septum nasi mit großen Venenpolstern bestückt ist (WISSDORF et al. 2010).

Das Dach der knöchernen Nasenhöhle wird vom Nasenbein (Os nasale) sowie von Anteilen des Stirnbeins (Os frontale) gebildet (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008a, b; LIEBICH u. KÖNIG 2012). Das Nasenbein liegt rostral vor dem Stirnbein. Die Außenfläche (Facies externa) ist leicht konkav, bei „ramsköpfigen“ Pferden leicht konvex gewölbt (LIEBICH u. KÖNIG 2012). Die Innenseite (Facies interna) bietet dem Endoturbinale I an der Crista ethmoidalis Ansatz (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008b). Nach rostral ist das Nasenbein jeweils medial als Proc. rostralis fortgesetzt. Der kaudale Abschnitt des Nasenbeins ist bei älteren Pferden oftmals pneumatisiert. Dieser Hohlraum wird in der Literatur entweder als rostrale Ausbuchtung der Stirnhöhle (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008b) oder als kleiner Nasenbeinsinus angesprochen (ZIETZSCHMANN 1943). Das Os frontale wird zu den Knochen des Hirnschädels gezählt und stellt beim Pferd die Grundlage für die fast ebene, breite Stirn dar (ZIETZSCHMANN 1943). Lediglich seine Pars nasalis greift von kaudal kommend auf den Angesichtsschädel über und steht in Verbindung mit dem Nasenbein (NICKEL et al. 2004).

Die Seitenwände der Nasenhöhle werden von dem Oberkieferbein (Maxilla), dem Tränenbein (Os lacrimale), dem Jochbein (Os zygomaticum) und dem Zwischenkieferbein (Os incisivum) gebildet (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008a; LIEBICH u. KÖNIG 2012).

Die Bodenwand wird durch das Os incisivum, der Maxilla und das Gaumenbein (Os palatinum) geformt (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008a; LIEBICH u. KÖNIG 2012).

Die kaudale knöcherner Begrenzung zur Schädelhöhle erfolgt durch die quergestellte Siebbeinplatte (Lamina cribrosa) des Siebbeins (Os ethmoidale) sowie durch die Lamina interna des Os frontale (NICKEL et al. 2004; SALOMON 2008b). Durch das Verschmelzen der Bodenplatte (Lamina basalis) des Os ethmoidale mit Anteilen des Vomers entsteht eine horizontal ausgerichtete Knochenplatte, die den dorsal gelegenen Fundus nasi vom ventral folgenden Nasenrachengang (Meatus nasopharyngeus) trennt (NICKEL et al. 2004).