



Funktion und Physiologie der Kieferhöhle

Seit Jahrzehnten stellt die Frage nach der „wahren“ Funktion der Kieferhöhle bzw. Nasennebenhöhlen (NNH) ein umstrittenes Thema in der HNO-Heilkunde dar, welches zu kontroversen Diskussionen, Spekulationen und vielen verschiedenen Theorien geführt hat. Zahlreiche alte Theorien können leicht nach kurzer Diskussion verworfen werden, bei anderen fällt es jedoch schwer, diese zu widerlegen.

Geschichtlicher Hintergrund

In früheren Zeiten hielt man die NNH für eine mysteriöse Region des menschlichen Körpers. Vor allem die Ärzte des Mittelalters, welche einer stark theologisch geprägten Epoche angehörten, verkündeten kuriose Theorien über die NNH. Eine Theorie nahm an, dass die NNH zur Aufbewahrung von Ölen dienten, die zu einer Erleichterung der Augenbewegung führten; die andere Theorie besagte, dass diese dazu dienten, das Gehirn von den „bösen Geistern“ zu befreien bzw. zu entwässern [45].

» Laut Schriften aus den Jahren 3700–1500 v. Chr. wurden die NNH von den Ägyptern entdeckt

Die ursprüngliche Entdeckung der NNH des Schädels geht wahrscheinlich auf die alten Ägypter zurück, welche das Gehirn der Toten vor der Mumifizierung durch die Nasenhaupthöhle entfernten. Schriften aus den Jahren 3700–1500 v. Chr. weisen nach, dass die NNH ursprünglich von den Ägyptern entdeckt wurden, die mit dem Oberkieferknochen und dessen Struktur vertraut waren [14].

Die alten Griechen wie Hippokrates, Galen und Celsus haben vermutlich auch die NNH als Teil des Schädels identifiziert. Beispielsweise berichtete Hippokrates, dass die Luft während der Stimmbildung durch die leeren Hohlräume im Schädel strömt und wiederhallt [21].

Eines der bekanntesten Bilder des Künstlers Leonardo da Vinci (*1452, Italien) ist mit Sicherheit die Zeichnung „The skull sectioned“ aus dem Jahr 1489, in welchem er einen menschlichen knöchernen Schädel im frontalen Querschnitt zeichnete und klar die Kieferhöhle und die anderen NNH abgebildet sind (Abb. 1; [12]; [41]). Diese Zeichnung des menschlichen Schädels wurde von da Vinci so präsentiert, dass der Betrachter sehen kann, was unter dem oberflächlichen Weichteilmantel der Knochenstruktur vor sich geht. Der Schädel, in 2 Hälften geschnitten, zeigt die Kieferhöhle und die Stirnhöhlen, die Nasenhaupthöhle und die Wurzeln der Zähne. Sämtliche knöchernen Fissuren des Schädels, die aus dem Blickwinkel erkennbar sein sollten, sind exakt dargestellt. Die Zähne mit ihren Wurzeln sind genau dargestellt sowie nummeriert und verdeutlichen die unmittelbare Beziehung der Zahnwurzeln zum Boden der Kieferhöhle. Da Vincis Theorie zu den Kieferhöhlen war, dass diese „den Humor enthalten, der die Zähne nährt“ [46]. Dies zeigt möglicherweise, dass da Vinci erkannte, dass nicht selten Erkrankungen der Kieferhöhlen von den Zähnen ausgehen können.

Auch der Name Nathaniel Highmore (*1613) ist durchaus bekannt und wird oft in Zusammenhang mit der Kieferhöhle genannt („Highmore’s antrum“). Viele Jahre ging man davon aus, dass er der ers-

te Anatom war, der diese entdeckte. Der Grund hierfür war, dass die Zeichnungen des eigentlichen Erstbeschreibers der Kieferhöhle – Leonardo da Vinci – erst im Jahr 1901 entdeckt wurden [41, 45].

Entwicklungsbiologie

Eine Literaturrecherche bei PubMed wurde mit einer Kombination der Suchbegriffe „Physiologie“, „Funktion“, „Kieferhöhle“ und „Nasennebenhöhlen“ durchgeführt.

Die Theorie zur evolutionären Entwicklungsbiologie der NNH, die „Evo-Devo-Theorie“ [25], besagt, dass durch die erythropoetische Knochenmarkdegeneration der Stirn, des Oberkiefers und der Keilbeinhöhle Hohlräume in den Knochen entstehen, welche mit Gas gefüllt sind. Das Gas kann über die Öffnungen der Ostien in die Nasenhöhle entweichen. Laut dieser Theorie haben die Schleimhäute, die die „atmungsaktive“ Nasenhaupthöhle und die NNH bedecken, nicht denselben phylogenen oder ontogenen Ursprung, denn im Gegensatz zur übrigen Schleimhaut der Nase können die Kieferhöhlen kontinuierlich und spontan Stickstoffmonoxid (NO) herstellen. Sie dienen also als Reservoir für Gase, insbesondere NO.

Die Kieferhöhlen entwickeln sich erst allmählich mit dem Durchbruch der bleibenden Zähne, also etwa ab dem 7. Lebensjahr, da der Oberkiefer zunächst die Zahnanlagen der zweiten Zähne enthält.

In den NNH finden sich 4 verschiedene Zelltypen: Becherzellen, Basalzellen, zilienlose Epithelzellen (mit Mikrovilli) und mit Zilien ausgestattete Zellen. Die Zilienzellen gehören zu den am häufigsten zu findenden Zellen, jede Zelle



Abb. 1 ◀ „The skull sectioned“ von Leonardo da Vinci aus dem Jahr 1489. Schwarze Kreide und Tusche auf Papier, 19,0 × 13,7 cm, The Royal Collection Trust London. © Sheila Terry/ Science Photo Library

Tab. 1 Mögliche Funktionen der Kieferhöhlen/Nasennebenhöhlen

Unterstützung bei Gesichtswachstum/ Harmonisierung der Gesichtsarchitektur
Gewichtsreduktion des Schädels
Verbesserung der Resonanz der Stimme
Absorber von Traumen am Schädel skelett
Bildung von Sollbruchstellen bei Schädel-Hirn-Traumata
Wärmedämmung bei äußeren Temperaturschwankungen
Optimierung der respiratorischen Funktion der Nase (Klimatisierung der Atemluft)
Unterstützung der nasalen Immunabwehr
Bildung und Reservoir von Stickstoffmonoxid (NO)
Evolutionäre Überreste

hat etwa 50–200 Flimmerhärchen, welche etwa 700- bis 800-mal/min schlagen und den Schleim Richtung Ostium bewegen (9 mm/min). Die Becherzellen sind für die Produktion von Glykoproteinen zuständig, welche für die Viskosität des Schleims verantwortlich sind. Die wahre Funktion der Basalzellen ist unbekannt, evtl. sind diese als Stammzellen für die Differenzierung zuständig. Die mit Mikrovilli ausgestatteten Zellen vergrößern die Oberfläche, sie erwärmen und befeuchten die einströmende Luft [53].

Theorien zur Funktion

Im Folgenden soll kurz auf verschiedene wissenschaftliche Theorien über die Funktion der Kieferhöhlen/NNH (▣ Tab. 1) eingegangen werden. Die unten aufgeführten Theorien stammen u. a. aus den Übersichtsarbeiten von Keir [27] und Jankowski et al. [26].

Eine Zeit lang wurde angenommen, dass die Kieferhöhle die olfaktorische Schleimhaut vergrößere [9], bis in neuerer Zeit festgestellt wurde, dass die NNH damit nicht ausgekleidet sind [54].

Auch der Vorschlag, dass die Nebenhöhlen als Schwimmhilfe vorgesehen waren, wurde unterbreitet [19, 49].

Historisch schlugen einige Autoren vor, dass die NNH zur Unterstützung des Gleichgewichtssinns aufgrund eines Gewichtsreduktion des Schädels vorhanden seien [11, 16, 20, 52]. Es wurde jedoch festgestellt, dass die NNH keinen

relevanten Beitrag zur Gewichtsreduktion des Schädels leisten [5].

Eine Theorie nimmt an, dass die NNH das Gesichtswachstum unterstützen [47], jedoch wurde von einem anderen Autor festgestellt, dass Menschen mit fehlenden NNH keine Gesichtsdeformitäten aufweisen [44].

Früher vermutete man eine Wärmedämmung bzw. Isolation wichtiger Schädelstrukturen durch die NNH [48]. Diese Theorie wurde als Hauptfunktion der NNH mittlerweile verworfen, da beispielsweise Eskimos oft keine Stirnhöhlen besitzen [30, 48, 51].

Die Theorie der Nebenhöhlen als der Produzent von Schleim [18] wurde mittlerweile verworfen, da die Nebenhöhlen eine viel geringere Anzahl an schleimproduzierenden Drüsen aufweisen als die Nasenhaupthöhle selbst und somit diese Menge vernachlässigbar ist [42].

» Die Kieferhöhle spielt einigen Autoren zufolge bei der Stimmqualität eine gewisse Rolle

Eine der bekannteren Theorien ist, dass sich durch die NNH die Stimmresonanz verändert; so berichtet Howell [23] davon, dass die Mitglieder des neuseeländische Maori-Volks, bei denen eine Unterentwicklung der NNH vorlag, „seltsam tote Stimmen“ hätten. In einer Anatomiestudie von Negus et al. [44] wurde nachgewiesen, dass es keinen

Zusammenhang zwischen Fehlen oder Vorliegen von NNH und der Stimme gibt. Auch findet keine Stimmveränderung nach Operationen an den NNH statt [13]. In einer Studie von Koo et al. [31], in der die Stimmqualität vor und nach Kieferhöhlenoperationen untersucht wurde, wiesen die Autoren jedoch nach, dass die Kieferhöhle bei der Stimmqualität eine gewisse Rolle spielt und einen gewissen Teil der Stimme beeinflusst. Sie raten dazu, v. a. professionelle Sänger sowie Patienten, die beruflich auf ihre Stimme angewiesen sind, über eine mögliche Stimmveränderung aufzuklären.

Nach einer anderen These dienen die NNH als Absorber von Traumen am Schädel skelett, indem sie bei Krafteinwirkungen auf das Gesicht die Aufprallenergie teilweise absorbieren und gezielt umleiten. Durch mögliche Sollbruchstellen werden schwerwiegende Schäden an Gehirn und den Augen verringert [28, 32]. Lee et al. [32] untersuchten in einer Studie diese Theorie, in dem sie 2 Vergleichsgruppen bildeten: Eine Gruppe hatte normal pneumatisierte NNH und Nasenhöhlen, bei einer anderen Vergleichsgruppe wurden die NNH und die Nasenhöhle mit Zement ausgefüllt. Durch das anschließende experimentelle Schädeltrauma kam es bei den Schädeln mit freien NNH sowie Nasenhöhle vermehrt zu Frakturen der Os frontale und der vorderen Schädelgrube, wohingegen die hintere Schädelgrube von dem Trauma eher nicht betroffen war (▣ Abb. 2a;

[32]). Durch die Obliteration mit Zement war bei der Vergleichsgruppe das vordere Schädelgewölbe dadurch stabiler/geschützt, es kam aber vermehrt zu Frakturen der hinteren Schädelgrube und zu Schäden der dort lokalisierten Strukturen (Abb. 2b; [32]). Ein Schaden der hinteren Schädelgrube führt jedoch vermehrt zu lebensbedrohlichen Folgen und einem schlechteren Outcome, z. B. im Rahmen von Unfällen. Die Autoren schlussfolgern, dass die NNH als mögliche „Knautschzone“ zum Schutz der kranialen lebenswichtigen Strukturen dienen, v. a. zum Schutz der hinteren Schädelgrube.

» Nach aktuellen Theorien wirkt die Schleimhaut der Kieferhöhlen bei Immunabwehr und NO-Produktion mit

Man geht davon aus, dass die NNH die inspiratorische Einatemluft erwärmen und befeuchten. Jedoch wird die Luft in den Kieferhöhlen auch nach 5 min regelmäßiger Atmung nicht ausgewechselt und wird nicht von der inspiratorischen Luft durchströmt [3]. Numerische Strömungssimulationen mittels einer Computational-Fluid-Dynamics(CFD)-Software der intranasalen Luftströmung zeigten, dass keine eigentliche Durchströmung der Kieferhöhlen mit Atemluft stattfindet. Die operative Resektion des Processus uncinatus führt lediglich zu einer veränderten Luftströmung im Bereich der ostiomeatalen Einheit am natürlichen Ostium zur Kieferhöhle und nicht zu einer veränderten „Belüftung“ der Kieferhöhle [8]. Jedoch zeigt sich nach „radikalen“ Operationen an den Kieferhöhlen eine gestörte intranasale Luftströmung sowie Klimatisierung der Atemluft [35]. Verschiedene Durchmesser des Ostiums der Kieferhöhle beeinflussen in numerischen Simulationen weder die Temperatur noch die Luftströmung in der Kieferhöhle selbst [55]: Dies wurde in der Studie bei 8 mm, 10 mm, 12 mm und 15 mm untersucht. Bei „Typ-III-Fensterungen“ der Kieferhöhle könnte man sich aber durchaus Strömungsveränderungen der Luft vor-

HNO 2020 · 68:566–572 <https://doi.org/10.1007/s00106-020-00869-2>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

H. L. Sieron · F. Sommer · T. K. Hoffmann · A.-S. Grossi · M. O. Scheithauer · F. Stupp · J. Lindemann

Funktion und Physiologie der Kieferhöhle

Zusammenfassung

Hintergrund. Schon seit vielen Jahrzehnten stellt die Frage nach der „wahren“ Funktion der Kieferhöhle bzw. den Nasennebenhöhlen (NNH) einen Streitpunkt in der Literatur dar und hat zu vielen kontroversen Diskussionen sowie Spekulationen geführt.

Ziel. Das Review fasst kurz verschiedene Theorien über die mögliche Physiologie und mögliche Funktionen der Kieferhöhle/NNH zusammen, die über die Jahrhunderte bis heute diskutiert wurden.

Material und Methoden. Eine Literaturrecherche bei PubMed wurde mit einer Kombination der Suchbegriffe „Physiologie“, „Funktion“, „Kieferhöhle“ und „Nasennebenhöhle“ durchgeführt.

Ergebnisse. Die aktuellen und möglichst wissenschaftlich belegten Theorien werden beschrieben. Die „Sinusologie“ ist die Wissenschaft der NNH. Die Kieferhöhlen können einfach nur dazu dienen, die respiratorische Funktion der Nase zu verbessern. Eine Durchströmung mit inspiratorischer Luft

findet nicht statt. Die Kieferhöhlen sind an der Produktion von Stickstoffmonoxid (NO) und damit der Unterstützung der Immunabwehr der Nasenhöhle entscheidend beteiligt. Die Mukosa der Kieferhöhle synthetisiert kontinuierlich NO und dient damit als Reservoir von NO. Weitere wichtige Funktionen sind der Schutz der Orbita und des Gehirns bei Schädelfrakturen sowie eine Gewichtsreduktion des Schädels.

Schlussfolgerung. Die verschiedenen Theorien über die Funktion der Nasennebenhöhlen werfen auch heute noch viele Fragen auf, und die wahre Funktion ist nicht vollständig geklärt. Mögliche Funktionen der Kieferhöhlen bestehen bei der lokalen Immunabwehr durch die Produktion von NO. Die NNH dienen als „Knautschzone“ im Rahmen von Schädel-Hirn-Traumata.

Schlüsselwörter

Nasennebenhöhlen · Trauma · Respiratorisches System · Stimme · Stickstoffmonoxid

Function and physiology of the maxillary sinus

Abstract

Background. The question of the “true” function of the maxillary sinus and the paranasal sinuses (PS) has been a controversial issue in the literature for decades, leading to many discussions and speculations.

Objective. This review briefly summarizes various theories on the possible physiology and functions of the maxillary sinus/PS that have been discussed over the centuries.

Materials and methods. A literature search was conducted in PubMed using a combination of the search terms “physiology,” “function,” “maxillary sinus,” and “paranasal sinuses.”

Results. Current and scientifically evidenced theories are described. “Sinusology” is the science of the PS. The maxillary sinuses might simply serve to improve the respiratory function of the nose. A flow of inspiratory air does not occur. The maxillary sinuses are decisively involved in the production

of nitrogen monoxide (NO) and thus in supporting the immune defense of the nasal cavity. The mucosa of the maxillary sinus continuously synthesizes NO and serves as a reservoir of NO. Other important functions are protection of the orbit and the brain in case of skull fractures, as well as weight reduction of the skull.

Conclusion. The various theories about the function of the PS still raise many questions and their true function is yet not fully understood. Possible functions of the maxillary sinuses are local immune defense through the production of NO. The PS serve as a crumple zone for vital cerebral structures in the context of craniocerebral traumas.

Keywords

Paranasal sinuses · Trauma · Respiratory system · Voice · Nitrogen monoxide

stellen, da der Durchmesser des Ostiums > 3 cm im Durchmesser wird. Hier finden sich bislang keine numerischen Untersuchungen in der Literatur.

Stickstoffmonoxid (NO; **Abb. 2**) ist als Vasodilatator bekannt, welches vom Gefäßendothel hergestellt wird und die Muskelfasern der Gefäßwände entspannt [36]. NO wird durch NO-Synthetase (NOS) aus O₂ und L-Arginin hergestellt [15]. Eine der aktuellen Theorien besagt, dass auch die Schleimhaut der Kieferhöhlen bei der Immunabwehr und der Produktion von NO eine große Rolle spielen. Zum einen könnte es die mukoziliäre Clearance und damit indirekt die Immunabwehr fördern, zum anderen produziert die Schleimhaut der NNH auch Immunglobuline und lytische Enzyme (Peroxidasen, Peptidoglykane) zur Immunabwehr [33]. Die NNH produzieren kontinuierlich NO, welches durch die Ostiumöffnung freigesetzt wird. Die Ostien öffnen sich durch Schallschwingungen, die durch Summen oder Vibrationen ausgelöst werden

können [26]. Es wurde nachgewiesen, dass durch vibrierendes Brummen die NO-Freisetzungsrates 5-mal höher ist als bei der normalen Ausatmung. Die NO-Rate ist in der ersten Sekunde beim Brummen am höchsten, dann sinkt das Plateau langsam auf etwa 1500 nl/min, bei der normalen Ausatmung bleibt sie hingegen konstant (**Abb. 3**; [40]). Durch die Katheterisierung der Kieferhöhle wurde festgestellt, dass dort ein höherer NO-Gehalt vorlag als endonasal. Durch Instillation von NOS-Inhibitoren wurde der NO-Spiegel um etwa 80% reduziert, somit wurde verifiziert, dass im Sinus eine aktive NO-Synthese stattfindet. Nach diesem Versuch erhielten sich die NO-Werte sehr schnell, was auf eine kontinuierliche Produktion von NO hindeutet [37, 38]. Einerseits schützt NO vor Infektionen, es ist für einige Viren und Bakterien giftig [10, 39], andererseits wirkt es sich auch auf die Ziliarschlagfrequenz aus [24]. Außerdem wird vermutet, dass NO eine Rolle bei der Erwärmung und Anfeuchtung der

Atemluft spielt, da es die Blutgefäße erweitert und so ihre Kapazität erhöht bzw. reguliert und dem entsprechend auch Einfluss auf die intranasale Temperatur hat [22].

Güclü et al. [17] untersuchten, ob die Kieferhöhle eine Rolle bei der Synthese von nasalem NO spielt. Man geht davon aus, dass eine chronische Sinusitis mit niedrigen NO-Werten in der Atemluft einhergeht, was möglicherweise durch eine Obstruktion des Ostiums der Kieferhöhle bedingt ist. Die Hauptquelle von NO in der Atemluft ist jedoch die intranasale Mukosa. In dieser Studie wurde *Streptococcus pneumoniae* kontrolliert in der Kieferhöhle von Kaninchen appliziert, um Veränderungen der NO-Synthese der Nasenschleimhaut zu untersuchen. Die Proben wurden mittels Echtzeit-Polymerasekettenreaktion (RT-PCR) auf Expressionen von Stickoxidsynthase (e-NOS) und induzierbarer Stickoxidsynthase (i-NOS) untersucht. Es zeigte sich eine signifikante Zunahme der induzierbaren Stickoxidsynthaseex-

Hier steht eine Anzeige.

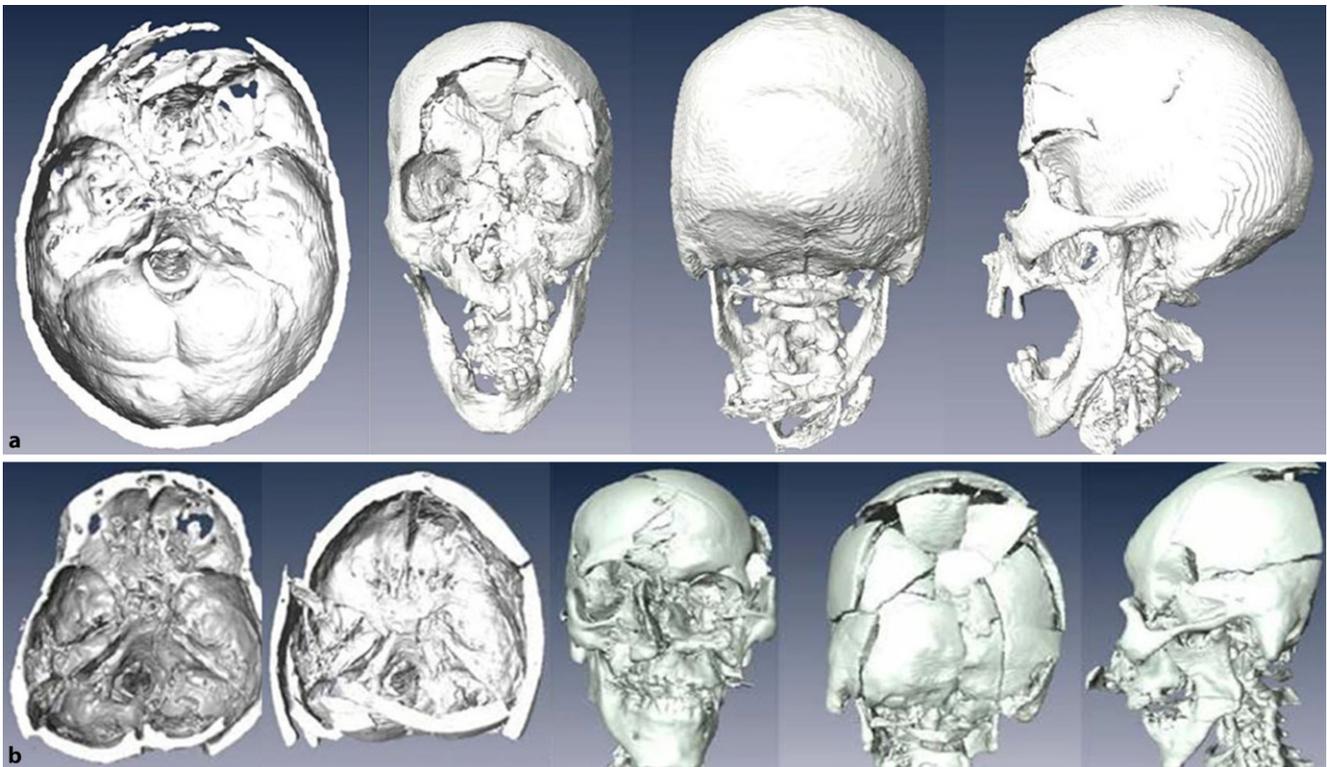


Abb. 2 ▲ **a** Frakturmuster bei freier Belüftung der Nasennebenhöhlen (NNH)/Nasenhaupthöhle. (Aus [32]. Mit freundl. Genehmigung © John Wiley and Sons. Alle Rechte vorbehalten.) **b** Frakturmuster bei zementierten NNH/Nasenhaupthöhle. (Aus [32]. Mit freundl. Genehmigung © John Wiley and Sons. Alle Rechte vorbehalten)

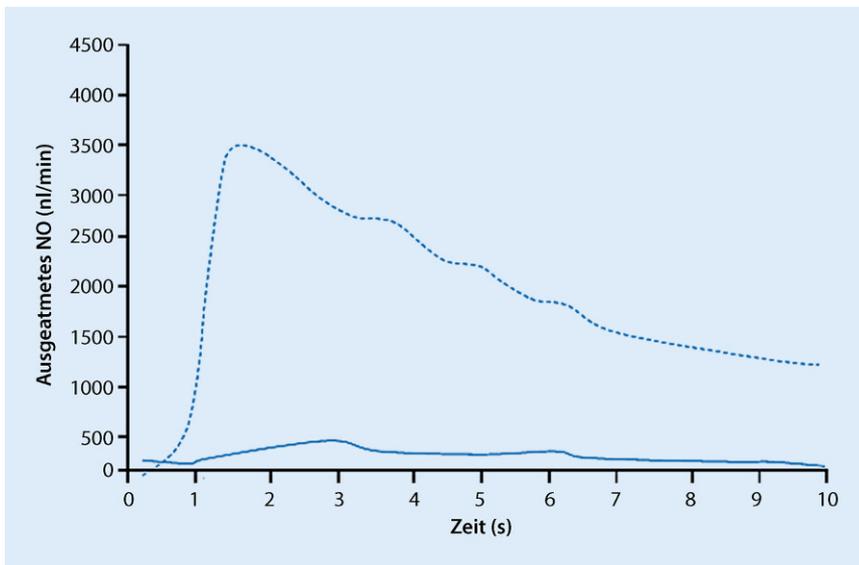


Abb. 3 ▲ Individuelle Stickoxid-Fließkurve während 10 s stiller/Ruheatmung (*flache Kurve*) und brummender/summender Nasenatmung (*aufsteigende Kurve*). (Mod. nach [26, 40])

pression (i-NOS) in den Gewebeproben in der Pneumokokkengruppe. Es gab keinen Anstieg der endothelialen Stickoxidsynthase-Expression (e-NOS). Die beiden Kontrollgruppen wiesen keine signifikante Veränderung der i-NOS-

oder e-NOS-Expression auf. In der Akutphase, nachdem die Kieferhöhle einem Pathogen ausgesetzt war, nahm die i-NOS-Expression in der Nasenschleimhaut zu, die endotheliale NOS-Expression war jedoch nicht betroffen.

Folglich wurde in dieser Studie eine kombinierte Reaktion in der Kieferhöhle und der Nasenschleimhaut zur Stickoxidsynthese gezeigt.

Kirihene et al. [29] untersuchten in einer Studie den Einfluss der Größe des Kieferhöhlenostiums auf den NO-Spiegel in der Nase und in der Kieferhöhle. Eine Theorie besagt, dass eine Vergrößerung des Ostiums möglicherweise die mukoziliäre Clearance stört und die Konzentration von NO in der Nase und den NNH verringert. Die Autoren wiesen nach, dass eine operative Vergrößerung des Kieferhöhlenostiums zu einer relevanten Abnahme der NO-Konzentration sowohl in der Kieferhöhle als auch in der Nasenhöhle führte. Über die Auswirkung des NO-Abfalls auf die Anfälligkeit für zukünftige Infektionen ist bisher nichts bekannt. Es wird vermutet, dass weit eröffnete Kieferhöhlen die Tendenz haben, sich immer wieder zu infizieren, da u. a. die antibakterielle Wirkung des höheren NO-Spiegels dadurch aufgehoben wird. Obwohl es Hinweise darauf gibt, dass Patienten mit chronischer Rhinosinusi-

tis eine Abnahme der nasalen NO-Spiegel aufweisen [34], ist nicht sicher, ob diese Patienten bereits vor ihrer chronischen Erkrankung eine Abnahme der NO-Spiegel zu verzeichnen hatten oder ob die chronische Entzündung und die Blockade der Kieferhöhlen zu den fallenden NO-Spiegeln geführt haben. Fraglich ist, ob ein niedrigerer NO-Spiegel wirklich einen klinisch signifikanten Effekt hat und ob ein größeres Kieferhöhlenostium wirklich anfälliger ist für rezidivierende Infektionen.

Naraghi et al. [43] wiesen in ihrer Studie höhere Raten an NO-Metaboliten bei Patienten mit chronischer Sinusitis nach. Sie weisen darauf hin, dass es bei Patienten mit chronischer Sinusitis durch die hohen Raten an NO und deren Metaboliten in den Kieferhöhlen möglicherweise zu einer toxischen Schädigung des Epithels kommen könnte. Letztlich bleibt aber auch die NO-Theorie nur eine wissenschaftliche Hypothese.

Auch könnten die NNH nur Residuen, evolutionäre Überreste, darstellen, die in der heutigen Zeit keinen Nutzen mehr haben [44].

» Sehr selten findet man eine Hypoplasie der NNH

Sehr selten findet man eine Hypoplasie der NNH. Am häufigsten tritt diese in der Literatur in den Keilbein- und Stirnhöhlen auf [6]. Die Prävalenz der Hypoplasie der Kieferhöhle reicht von 1,5–10 %, einige Studien berichten aber auch von einer Prävalenz <1,5 % [6]. Außer einzelnen Fallbeschreibungen [4, 7] gibt es keine genauen Angaben zur Häufigkeit der Aplasia der Kieferhöhle, Shiki et al. [50] und Amine et al. [2] konnten in ihren Studien keinen einzigen Fall nachweisen. Die meisten Patienten mit Kieferhöhlenhypoplasie sind asymptomatisch, und diese Besonderheit wird nur durch Zufall im Rahmen einer Diagnostik mittels Computertomographie diagnostiziert [1].

Ausblick

Die verschiedenen Theorien über die Funktion der NNH werfen auch heute noch viele Fragen auf. Während histori-

sche Theorien leicht verworfen werden können, sind andere mögliche Funktionen nicht so leicht von der Hand zu weisen. Eine der neuesten und vielversprechendsten Theorien besagt, dass die Kieferhöhlen im Rahmen der lokalen Immunabwehr durch die Produktion von NO eine große Rolle spielen. Die NNH dienen im Rahmen von Schädel-Hirn-Traumata zum Schutz lebenswichtiger zerebraler Strukturen. Zudem verbessern die Kieferhöhlen entweder die respiratorischen Funktionen der Nase oder aber sie sind eben nur Überreste der evolutionären Entwicklung. Ein Fragezeichen bleibt also durchaus bestehen.

Fazit für die Praxis

- Die Funktionen der Kieferhöhlen und damit der Nasennebenhöhlen (NNH) sind bis heute nicht wirklich geklärt.
- Die verschiedenen Theorien über die mögliche Funktion der NNH werfen sowohl kontroverse als auch komplexe Fragen auf.
- Insbesondere die Produktion von Stickoxid (NO) und die Funktion als Reservoir von Gas zur Unterstützung der Immunabwehr in der Nasenhaupthöhle ist ein vielversprechender aktueller Erklärungsansatz.
- Die NNH dienen als „Knautschzone“ im Rahmen von Schädel-Hirn-Traumata zum Schutz lebenswichtiger zerebraler Strukturen, insbesondere der hinteren Schädelgrube und der Orbita.
- Zusätzlich dienen die NNH vermutlich dazu, die Funktion der Nase insgesamt zu optimieren.
- Vielleicht stellen sie auch Überreste der evolutionären Entwicklung dar.

Korrespondenzadresse

H. L. Sieron
Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde,
Universitätsklinikum Ulm
Frauensteige 12, 89075 Ulm, Deutschland
hannah.sieron@uniklinik-ulm.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. H.L. Sieron, F. Sommer, T.K. Hoffmann, A.-S. Grossi, M.O. Scheithauer, F. Stupp und J. Lindemann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Alnafisah AM, Hameed S (2020) Aplasia of the maxillary sinus, a large periapical cyst in the maxillary arch, and a swimming and kissing molar. A rare case report. *Cureus* 12(2):e6859
2. Amine K, Slaoui S, Kanice F-Z, Kissa J (2020) Evaluation of maxillary sinus anatomical variations and lesions. A retrospective analysis using cone beam computed tomography. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2019.12.021>
3. Aust R, Stierna P, Drettner B (1994) Basic experimental studies of ostial patency and local metabolic environment of the maxillary sinus. *Acta Otolaryngol* 114(sup515):7–10 (discussion 11)
4. Baykara M, Erdogan N, Öztürk M, Erkan M (2002) Maxillary sinus aplasia. *Turk J Med Sci* 32:273–275
5. Biggs NL, Blanton PL (1970) The role of paranasal sinuses as weight reducers of the head determined by electromyography of postural neck muscles. *J Biomech* 3(3):255–262
6. Bolger WE, Woodruff WW, Morehead J, Parsons DS (1990) Maxillary sinus hypoplasia. Classification and description of associated uncinat process hypoplasia. *Otolaryngol Head Neck Surg* 103(5):759–765
7. Chrcanovic BR, Freire-Maia B (2010) Maxillary sinus aplasia. *Oral Maxillofac Surg* 14(3):187–191
8. Chung S-K, Kim D-W, Na Y (2016) Numerical study on the effect of uncinectomy on airflow modification and ventilation characteristics of the maxillary sinus. *Respir Physiol Neurobiol* 228:47–60
9. Cloquet H (1830) A system of human anatomy. Wells and Lilly, Boston
10. Croen KD (1993) Evidence for antiviral effect of nitric oxide. Inhibition of herpes simplex virus type 1 replication. *J Clin Invest* 91(6):2446–2452
11. Skillern RH (1920) Accessory sinuses of the nose, 2. Aufl. Lippincott, Philadelphia (cited from Da Vinci L (1452))
12. Da Vinci L (1489) The skull sectioned. <https://www.rct.uk/collection/search#/1/collection/919058/recto-the-cranium-sectioned-verso-the-skull-sectioned>. Zugegriffen: 1. Apr. 2020
13. Flottes L, Clere P, Rui R, Devilla F (1960) La Physiologie des Sinus (Societe Francaise D'Oto-Rhino-Laryngologie). Librairie Arnette, Paris, S 359–360
14. Forby ML (1960) The maxillary sinus. *Proc R Soc Med* 53:163–168
15. Förstermann U, Closs EI, Pollock JS, Nakane M, Schwarz P, Gath I, Kleinert H (1994) Nitric oxide synthase isozymes. Characterization, purification, molecular cloning, and functions. *Hypertension* 23(6 Pt 2):1121–1131

16. Galen (1968) Galen De Usu Partium, 1x, 2 et. seq. (Kuhn) III. Cornell University Press, New York, S 691 (Translation by Tallmadge M.)
17. Güçlü O, Uludağ A, Akçali A, Tekin K, Erdoğan H, Silan F, Dereköy FS (2012) Does the maxillary sinus have a triggering role in nasal nitric oxide synthesis? *Rhinology* 50(4):402–407
18. Haller A (1763) *Elementa physiologiae corporis humani*. Liber XIV.5, p180, (cited by Wright J (1914) A history of laryngology and rhinology, 2nd edn., Lea and Febiger, New York, 169)
19. Hardy A (1960) Was man more aquatic in the past? *New Sci* 7:642–645
20. Highmore N (1651) *Corp human disquisition Anatom*, Hagae
21. Hippocrates (1992) *Collected writings Bd. 4. Cactus*, Athens
22. Holden WE, Wilkins JP, Harris M, Milczuk HA, Giraud GD (1999) Temperature conditioning of nasal air. Effects of vasoactive agents and involvement of nitric oxide. *J Appl Physiol* (1985) 87(4):1260–1265
23. Howell HP (1917) Voice production from the standpoint of the laryngologist. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 26:643–655
24. Jain B, Rubinstein I, Robbins RA, Leise KL, Sisson JH (1993) Modulation of airway epithelial cell ciliary beat frequency by nitric oxide. *Biochem Biophys Res Commun* 191(1):83–88
25. Jankowski R (2013) *The evo-devo origin of the nose, anterior skull base and midface*. Springer, Paris
26. Jankowski R, Nguyen DT, Poussel M, Chenuel B, Gallet P, Rumeau C (2016) Sinusology. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 133(4):263–268
27. Keir J (2009) Why do we have paranasal sinuses? *J Laryngol Otol* 123(1):4–8
28. Kellman RM, Schmidt C (2009) The paranasal sinuses as a protective crumple zone for the orbit. *Laryngoscope* 119(9):1682–1690
29. Kirihene R, Rees G, Wormald PJ (2002) The influence of the size of the maxillary sinus ostium on the nasal and sinus nitric oxide levels. *Am J Rhinol* 16(5):261–264
30. Koertvelyessy T (1972) Relationships between the frontal sinus and climatic conditions. A skeletal approach to cold adaptation. *Am J Phys Anthropol* 37(2):161–172
31. Koo SK, Kwon SB, Chon KM, Kim YJ, Kim YJ (2015) The role of the maxillary sinus on the voice. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 272(9):2347–2350
32. Lee TS, Kellman RM, Darling A (2014) Crumple zone effect of nasal cavity and paranasal sinuses on posterior cranial fossa. *Laryngoscope* 124(10):2241–2246
33. Levine H, Clemente MP (2005) *Sinus surgery: endoscopic and microscopic approaches*. Thieme, Stuttgart, S57–62
34. Lindberg S, Cervin A, Runer T (1997) Nitric oxide (NO) production in the upper airways is decreased in chronic sinusitis. *Acta Otolaryngol* 117(1):113–117
35. Lindemann J, Brambs H-J, Keck T, Wiesmiller KM, Rettinger G, Pless D (2005) Numerical simulation of intranasal airflow after radical sinus surgery. *Am J Otolaryngol* 26(3):175–180
36. Lundberg JO (2008) Nitric oxide and the paranasal sinuses. *Anat Rec (Hoboken)* 291(11):1479–1484
37. Lundberg JO, Rinder J, Weitzberg E, Lundberg JM, Alving K (1994) Nasally exhaled nitric oxide in humans originates mainly in the paranasal sinuses. *Acta Physiol Scand* 152(4):431–432
38. Lundberg JO, Farkas-Szallasi T, Weitzberg E, Rinder J, Lidholm J, Anggård A, Hökfelt T, Lundberg JM, Alving K (1995) High nitric oxide production in human paranasal sinuses. *Nat Med* 1(4):370–373
39. Mancinelli RL, McKay CP (1983) Effects of nitric oxide and nitrogen dioxide on bacterial growth. *Appl Environ Microbiol* 46(1):198–202
40. Maniscalco M, Weitzberg E, Sundberg J, Sofia M, Lundberg JO (2003) Assessment of nasal and sinus nitric oxide output using single-breath humming exhalations. *Eur Respir J* 22(2):323–329
41. Mavrodi A, Paraskevas G (2013) Evolution of the paranasal sinuses' anatomy through the ages. *Anat Cell Biol* 46(4):235–238
42. Mygind N, Winther B (1987) Immunological barriers in the nose and paranasal sinuses. *Acta Otolaryngol* 103(5-6):363–368
43. Naraghi M, Deroe AF, Ebrahimkhani M, Kiani S, Dehpour A (2007) Nitric oxide: a new concept in chronic sinusitis pathogenesis. *Am J Otolaryngol* 28(5):334–337
44. Negus V (1957) The function of the paranasal sinuses. *AMA Arch Otolaryngol* 66(4):430–442
45. Nogueira JF, Hermann DR, dos Reis Américo R, Barauna Filho IS, Stamm AEC, Pignatari SSN (2007) A brief history of otorhinolaryngology. *Otology, laryngology and rhinology*. *Braz J Otorhinolaryngol* 73(5):693–703
46. O'Malley CD, Saunders JC (1952) Leonardo da Vinci on the human body: the anatomical physiological and embryological drawings of Leonardo da Vinci. H. Schuman, New York
47. Proetz AW (1922) Observations upon the formation and function of the accessory nasal sinuses and the mastoid air cells. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 31:1083–1100
48. Proetz AW (1953) *Applied physiology of the nose*, 2. Aufl. Annales Publishing, Saint Louis, S7–68
49. Rhys Evans PH (1992) The paranasal sinuses and other enigmas. An aquatic evolutionary theory. *J Laryngol Otol* 106(3):214–225
50. Shiki K, Tanaka T, Kito S, Wakasugi-Sato N, Matsumoto-Takeda S, Oda M, Nishimura S, Morimoto Y (2014) The significance of cone beam computed tomography for the visualization of anatomical variations and lesions in the maxillary sinus for patients hoping to have dental implant-supported maxillary restorations in a private dental office in Japan. *Head Face Med* 10:20
51. Tillier AM (1975) *Les Sinus Craniens chez les Hommes Actuels et Fossils: Essai d'Interprétation*, PhD thesis, Paris: University of Paris
52. Vesalius A (1542) *De Humani Corporis Fabrica, Lib 1, Cap VI-IX* (cited by Wright, *ibid*, 168)
53. Watelet JB, van Cauwenberge P (1999) Applied anatomy and physiology of the nose and paranasal sinuses. *Allergy* 54(Suppl 57):14–25
54. Williams PL, Warwick R (1980) *Gray's anatomy*, 36. Aufl. Churchill Livingstone, Edinburgh
55. Zang H, Wu J, Hu C, Li L, Liu Y, Yu S, Zhou B, Han D (2015) Study on the correlation between the ostia diameter changes and airflow characteristics in maxillary sinus. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi* 50(10):805–809

Förderpreis der Deutschen Gesellschaft für Audiologie

Der Förderpreis der DGA richtet sich an Nachwuchswissenschaftlerinnen und -Nachwuchswissenschaftler auf dem Gebiet der Audiologie in der Forschung und klinischen Praxis. Er soll der Förderung der beruflichen Laufbahn dienen, indem preiswürdige Arbeiten, insbesondere auch Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten, prämiert werden. Es werden jährlich bis zu vier Preise in Höhe von jeweils **500 €** vergeben. Über die Vergabe des Preises entscheidet ein Preisrichterkollegium, dessen Mitglieder vom Vorstand der DGA benannt werden.

Die Arbeiten sollen einen besonderen Beitrag darstellen um Phänomene des Hörens und der Schwerhörigkeit besser zu verstehen oder die damit verbundenen Störungen wirksamer zu bekämpfen. Die zur Prämierung eingereichten Arbeiten müssen auf der folgenden Jahrestagung der DGA in Form mündlicher Vorträge oder Posterpräsentationen vorgestellt werden. Als Beurteilungsgrundlage für die Zuerkennung eines Preises dient in erster Linie die fachliche Qualität der Arbeit, aber auch die Qualität der mündlichen oder Posterpräsentation des Beitrages während der Tagung. Bewerbungen sind jeweils bis zum **31. Dezember** des Jahres vor der DGA-Tagung, für die der Beitrag angemeldet wird, mit dem Manuskript der Arbeit, dem Abstract der Beitragsanmeldung und einem tabellarischen Lebenslauf an die Geschäftsstelle der DGA zu richten. Die Preisvergabe erfolgt während der Mitgliederversammlung der darauffolgenden Tagung.

DGA-Geschäftsstelle
c/o Haus des Hörens
Marie-Curie-Straße 2
26129 Oldenburg

Telefon: +49 (0) 441 2172500

Fax: +49 (0) 441 2172550

E-Mail: info@dga-ev.com

DGA im Internet: www.dga-ev.com

Quelle: www.dga-ev.com