

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
Direktor: Herr Prof. Dr. med. Dr. h.c. Thomas Zahnert

Olfaktorische Funktion bei Patienten vor und nach chirurgischer
Gaumennahterweiterung

D i s s e r t a t i o n s s c h r i f t

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin

Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus
der Technischen Universität Dresden

von

Janina Dimow

aus Haskovo

Dresden 2025

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

1. EINLEITUNG	1
1.1 ANATOMIE DER NASE UND DES GAUMENS	1
1.2 DAS OLFAKTORISCHE SYSTEM	2
1.2.1 <i>Riechschleimhaut</i>	3
1.2.2 <i>Olfaktorische Transduktion</i>	5
1.2.3 <i>Riechbahn</i>	5
1.2.4 <i>Psychophysische Untersuchung des orthonasalen Riechvermögens</i>	6
1.2.5 <i>Psychophysische Untersuchung des retronasalen Riechvermögens</i>	9
1.2.6 <i>Elektrophysiologische Verfahren zur Untersuchung des Riechvermögens</i>	9
1.2.7 <i>Abhängigkeit der Duftwahrnehmung von Nasenanatomie und Luftstrom</i>	9
1.3 DIE GAUMENNAHTERWEITERUNG.....	13
1.3.1 <i>Grundlagen und Indikation</i>	13
1.3.2 <i>Die forcierte Gaumennahterweiterung RME</i>	16
1.3.3 <i>Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung SARME</i>	17
1.3.4 <i>Chirurgisches Vorgehen bei der Korrektur des transversalen maxillären Defizites</i>	18
1.3.5 <i>Apparaturen zur Durchführung der GNE</i>	21
1.3.6 <i>Veränderung durch die Gaumennahterweiterung</i>	22
2. FRAGESTELLUNG	23
3. MATERIAL UND METHODEN	24
3.1 STUDIENDESIGN	24
3.2 PATIENTENKOLLEKTIV	24
3.3. ANAMNESEBOGEN	25
3.4 OLFAKTORISCHE TESTUNG	25
3.4.1 <i>Schwellentest</i>	27
3.4.2 <i>Diskriminationstest</i>	28
3.4.3 <i>Identifikationstest</i>	29
3.4.4 <i>Score - Berechnung SDI- Test und normative Referenzdaten</i>	30
3.5 PLANUNG DER CHIRURGISCHEN INTERVENTION	31
3.6 OPERATIVE VERFAHREN.....	32
3.7 DISTRAKTION UND DISTRAKTOREN.....	36
3.8 UNTERSUCHUNGSABLAUF	39
3.9 DATENAUSWERTUNG.....	39
4. ERGEBNISSE	40
4.1. PATIENTENMERKMALE	40
4.2. ERGEBNISSE DER OLFAKTORISCHE LEISTUNGSTESTUNG (SDI).....	41

4.2.1 Interpretation der Ergebnisse für den Subtest Riechschwelle	43
4.2.2 Interpretation der Ergebnisse für den Subtest Diskrimination.....	43
4.2.4 Interpretation der Ergebnisse für den SDI-Gesamtwert	44
4.3 DISTRAKTIONSWEITE.....	45
4.5 ZUSAMMENHÄNGE DER ERGEBNISSE	46
4.5.1 Korrelation zwischen dem SDI- Wert und der Distraktionsweite.....	46
4.6 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	48
5. DISKUSSION	49
5.1 ÜBERBLICK UND RELATIONEN	49
5.2 ZUSAMMENHÄNGE UND LIMITATIONEN IN DER DURCHGEFÜHRTEN STUDIE	51
5.3 WISSENSCHAFTLICHE BETRACHTUNG UND ZUSAMMENHÄNGE ZU WEITEREN STUDIEN	55
5.3.2 Gaumennahterweiterung und olfaktorische Funktion.....	55
5.3.2 Gaumennahterweiterung und Nasenatmung.....	57
5.4 OPERATIONSMETHODEN.....	60
5.5 ZUSAMMENFASSUNG UND KLINISCHES FAZIT	62
6. ZUSAMMENFASSUNG	63
7. SUMMARY	64
8. LITERATURVERZEICHNIS	65
9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
10. TABELLENVERZEICHNIS	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
12. DANKSAGUNG	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
13. ANLAGEN	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

1. Einleitung

„Narr: Weißt du, warum die Nase mitten im Gesicht steht?“

Lear: Nein!

Narr: Um die Augen auf beiden seiten der Nase zu halten, um das zu sehen, was man nicht erschnüffeln kann.“

„König Lear“ von William Shakespear / Akt 1 Szene 5

Das Riechen und der Gaumen als Komponenten eines komplexen Zusammenhangs besitzen die Hauptrollen in dieser Arbeit.

Um den Zusammenhang des Prozesses näher beschreiben zu können, ist es unerlässlich die einzelnen Komponenten zu erläutern, um die Grundlage für die anschließende Fragestellung präsentieren zu können.

1.1 Anatomie der Nase und des Gaumens

Die Nase ist ein zentraler Bestandteil des Gesichtes. Funktionell stellt sie den Eintritt in die oberen Luftwege dar. Das Regulieren des Atemstroms, das Erwärmen, Anfeuchten und Reinigen der Atemluft gehören zu den vegetativ gesteuerten Funktionen der Nase. Zusätzlich weist sie eine ausgezeichnete Abwehrfunktion auf. Weiterhin dient sie der Sprachbildung und enthält das Riechorgan (Regio olfactoria) und hat somit die Funktion des Riechsinnns.

Eine Untergliederung der Nase kann pauschal in einem äußeren und einem inneren Teil erfolgen. Die äußere Nase besteht aus einem knöchernen und aus einem knorpeligen Anteil. Der knöcherne Teil setzt sich zusammen lateral aus dem Stirnfortsatz des Oberkiefers (Maxilla), kranial aus dem Nasenfortsatz des Stirnbeins (Os frontale) und medial aus dem Nasenbein (Os nasale) mit der Öffnung zur inneren Nase genannt die Apertura piriformis. Der knorpelige Teil besteht aus dem Dreiecksknorpel (Cartilago nasi lateralis) auf jeder Seite, verbunden mit dem Os nasale und dem knorpeligen Anteil des Nasenseptums (Cartilago septi nasi), und den Nasenspitzenknorpel (Cartilago alaris major) die den Nasenflügel und den Nasendom bilden. Der Nasenvorhof (Vestibulum nasi) endet am engen, atemphysiologisch wichtigen „inneren Nasenloch“ die Nasenklappe (Limen nasi). Die innere Nase also die Nasenhaupthöhle reicht vorn von der Nasenklappe bis zu

den Choanen. Das Dach wird gebildet durch das Nasenbein (Os nasale), der Lamina cribrosa des Siebbeins (Os ethmoidale) und dem Keilbeinkörper (Os sphenoidale).

Der Boden entspricht dem harten Gaumen (Palatum durum) und die lateralen Nasenwände aus Anteilen des Oberkiefers (Maxilla), des Tränenbeins (Os lacrimale), des Gaumenbeins (Os palatinum) und des Keilbeins. Die laterale Nasenwand trägt die Nasenmuscheln (Conchae nasales). Die Nasenscheidewand (Septum nasi) bildet die mesiale Nasenwand und enthält das Vomeronasalorgan (VNO).

Der Gaumen ist Bestandteil der Mundhöhle (Cavitas oris) und der Nasenhöhle. Die Mundhöhle ist nicht nur der Eingangsbereich für den Verdauungstrakt, sondern auch ein Teil der Atemwege und ermöglicht die Zuführung größerer Luftvolumina. Der Gaumen (Palatum) bildet das Dach der Mundhöhle und ist Widerlager für die Zunge und bildet zugleich den Boden der Nasenhöhle. Der Gaumen besteht aus dem Palatum durum (harten Gaumen) und dem Palatum molle (weicher Gaumen). Der harte Gaumen wird gebildet aus dem Os incisivum, der Maxilla und dem Os palatinum. (Aumüller, 2007; Lenarz & Boenninghaus, 2012)

1.2 Das olfaktorische System

In einem knappen Satz beschrieben, könnte man sagen, dass der Riechsinn ein Chemosensor zur Wahrnehmung von Duftmolekülen ist.

Der Mensch kann wahrscheinlich einige Milliarden verschiedener Geruchsreize wahrnehmen. Diese sinnliche Wahrnehmung der Geruchsreize erfolgt in der Riechschleimhaut im oberen Bereich der Cavitas nasi.

Duftstoffe sind kleine, leicht flüchtige Substanzen, die unterschieden werden in reine Duftstoffe, die nur durch den N. olfactorius vermittelt werden und in Duftstoffe mit trigeminaler Komponente. (Behrends et al., 2021)

Das Riechen ist nicht nur ein beschriebener physiologischer Prozess, sondern hat eine ausgeprägte hedonische Komponente, was unsere Stimmung und das Wohlbefinden beeinflusst. Die Wahrnehmung von Gerüchen ist wichtig für das Erkennen von Gefahrenquellen wie zum Beispiel verdorbenes Essen, Rauch, Feuer usw. Riechen hat zusätzlich eine besondere Bedeutung bei der Beschreibung der menschlichen Lebensqualität. Die Nahrungsaufnahme und die dabei über die retronasale Passage wahrgenommenen Aromen, können eine positive oder eine negative Reaktion verursachen. Die über die Zeit gesammelten olfaktorischen Eindrücke, Erinnerungen und unsere individuellen Präferenzen spielen eine große Rolle in der sozialen Interaktion. Gerüche können das menschliche Verhalten modulieren. Säuglinge können den Duft der eigenen

Mutter erkennen, was als Saugstimulus gewertet werden kann. Die menschliche Reproduktivität in der Wahl des entsprechenden Partners stützt sich primär auch auf die Wahrnehmung von Düften bzw. von Pheromonen.

Das Riechen ist ein wesentlicher Bestandteil des sozialen Verhaltens und der zwischenmenschlichen Interaktion des einzelnen Individuums. (Croy et al., 2013, 2014; Patel & Pinto, 2014)

1.2.1 Riechschleimhaut

Duftstoffe werden aus der Luft aufgenommen und gelangen über den Luftstrom in die Nasenhöhle und werden dabei der Riechschleimhaut zugeführt. Das Riechepithel liegt jedoch etwas abseits vom regulären Atemstrom. Bei ruhiger Atmung wird der olfaktorische Bereich nur schwach ventiliert. Beim Intensivieren der Luftzufuhr im Sinne vom „schnüffeln“ wird die Atemluft stärker bewegt es kommt in der Nase zu mehr Turbulenzen und somit werden anzunehmender Weise mehr Duftmoleküle der Regio olfactoria zugeführt. Hornung (2006) beschreibt, dass lediglich ca. 10% des zugeführten Luftstromes die Regio olfactoria erreicht (Hummel & Welge-Lüssen, 2006). Die Nasenhöhle ist zum größten Teil mit respiratorischem Epithel (Regio respiratoria) ausgekleidet. Nur im oberen Teil, am Dach der Nasenhöhle findet man die eigentliche Riechschleimhaut (Regio olfactoria). Die meisten zusammenhängenden Anteile der Regio olfactoria befinden sich in der Riechspalte, entlang der Concha nasalis superior et media und dem angrenzenden Septum nasi. Die Gesamtfläche beträgt etwa 500mm² (Rohen, 2001). Nach Salazar (2019) bedeckt das Riechepithel ca. 3% bis 5% der Nasenhaupthöhle und kann eine Ausdehnung von 200 bis 1000mm² aufweisen (Salazar et al., 2019). Eine klare Abgrenzung auf die Riechspalte kann durchaus nicht postuliert werden. Biopsieproben aus Bereichen der anterioren und ventroposterioren mittleren Nasenmuschel konnten histologisch und immunocytochemisch Riechepithel nachweisen (Frasnelli et al., 2005). Leopold et al. (2000) konnten nebst histologischen Untersuchungen aus dem anterosuperioren Bereich der Nasenschleimhaut, durch zusätzliche elektrophysiologische Methoden (Elektroolfaktogramm EOG) aus der gleichen Regio die Verteilung des olfaktorischen Epithels (OE) nicht nur auf anatomischer, sondern auch auf funktioneller Ebene darstellen. Im Bereich oberhalb und unterhalb der anterioren Insertion der mittleren Nasenmuschel konnte eindeutig eine Reaktion auf olfaktorische Reize aufgezeichnet werden. Dies korrelierte mit den Ergebnissen aus den histologischen Untersuchungen. Somit konnte eine weiter anteriore Verteilung des OE, mindestens 1 bis 2 cm anterior zur Riechspalte, gezeigt werden (Leopold et al., 2000).

Es ist grundsätzlich schwer, aufgrund der Diversität und Heterogenität der Riechschleimhaut, deren exakten Ausdehnung und Lokalisation zu definieren und es von dem umgebenden Epithel zu unterscheiden. Im Verlauf und mit zunehmendem Alter zeigt das Epithel zusätzlich dysplastische und respiratorische Areale auf (Heimes & Witt, 2020; Hummel et al., 2009; Salazar et al., 2019). Die Fähigkeit des OE zur lebenslangen Regeneration nimmt mit steigendem Alter ab. Das Ersetzen durch respiratorisches Epithel ist eine häufige Folge von einer Schädigung des olfaktorischen Epithels z.B. durch Infektionen oder Toxine (Leopold et al., 2000). Es kommt zu einer Reduktion der neuronalen Dichte und einer Reduktion der teilenden Basalzellen was auf einer Quieszenz der Stammzellen hindeutet (Fitzek et al., 2022). Die Reduktion der Rezeptordichte weist eine Verschiebung von einer anterior- ventralen in eine posterior- dorsalen Richtung. Dies könnte darin begründet sein, dass der anterior ventrale Bereich der Nasenhöhle und somit die sich hier befindenden Neuronen des OE stärker dem Luftstrom und somit den potenziellen Schadstoffen wie Umweltgifte oder viralen Infektionen ausgesetzt sind (Fitzek et al., 2022).

Die Riechschleimhaut ist ein mehrschichtiges Epithel und sitzt einer glatten Basalmembran auf. Das Epithel besteht aus vier Zelltypen: Riechzellen/Sinneszellen, Stützzellen, Basalzellen und mikrovillare Zellen (MVZ). Die Basalzellen teilen sich während des gesamten Lebens und entwickeln sich zu reifen Riechzellen / olfaktorischen Rezeptorneuronen (ORN) und Stützzellen. Somit entsteht eine neuronale Reihe mit ORN und MVZ und einer epithelialen Reihe mit Stützzellen. Stützzellen dienen der Aufrechterhaltung des Ionengleichgewichtes mit der extrazellulären Matrix und der Biotransformation von Xenobiotika. Die Funktion und Bedeutung der Mikrovilli tragenden MVC ist noch unklar. Diese Zellen sind wie die ORN bipolar und haben Axone die zur Basalmembran führen. Die ORN sind langgestreckte bipolare Nervenzellen, die das Epithel in ganzer Höhe durchziehen und mit einer kolbenartigen Verdickung das Epithel am apikalen Ende etwas überragen. Diese Dendriten ragen in die Mukusschicht der Nasenhöhle und bilden ca. 5-20 dünne nichtmotile Sinneshaare (Zillien) aus. Das Epithel ist mit Schleim bedeckt, der von den serösen sezernierenden Bowman- Drüsen gebildet wird. Auf der Zellmembran der Zilien werden die olfaktorischen Rezeptoren exprimiert. Am basalen Ende bilden die ORN dünne marklose Axone aus, die gebündelt mit anderen Axonen die Fila olfactoria bilden, die Lamina cribrosa durchziehen und zum Bulbus olfactoris projizieren. Die Axone werden von sogenannten „Olfactory Ensheathing Cells“ umhüllt. Diese Gliazellen führen die ORN und verhindern eine Fehlverschaltung zwischen diesen. Schätzungsweise beträgt die Anzahl der ORN zehn bis dreißig Millionen mit einer

Lebensdauer von einem bis wenigen Monaten. (Behrends et al., 2021; Heimes & Witt, 2020; Hummel et al., 2009).

1.2.2 Olfaktorische Transduktion

Der Ort an dem die chemoelektrische olfaktorische Transduktion stattfindet, sind die Zilien, hier binden Duftstoffe an Rezeptormoleküle, die sich in der Zilienmembran befinden. Diese Duftstoffrezeptoren gehören zur Genfamilie der G-Protein gekoppelten Rezeptoren und machen ca. 3% unseres Genoms aus. Hieraus werden jedoch nur ca. 380 funktionelle Rezeptoren codiert (Heimes & Witt, 2020). Jedes einzelne ORN exprimiert nur einen olfaktorischen Rezeptortyp. Die Rezeptoren sind dabei nicht sehr spezifisch und können durch mehrere Duftstoffe aktiviert werden. Die an den Rezeptoren bindenden Duftstoffe lösen eine Kaskade an biochemischen Prozessen aus bei dem das Signal zunächst verstärkt wird und anschließend in einen elektrischen Impuls umgewandelt wird. Der aktivierte Rezeptor des ORN interagiert mit eine G-Protein, es folgt die G-protein gekoppelte Signaltransduktionskaskade bei dem das aktivierte G-Protein eine Adenylat-Cyclase (AC) stimuliert. Es kommt zum Anstieg von zyklischem Adenosinmonophosphat (cAMP), das an Ionenkanäle bindet, die sich in der Zilienmembran befinden. Durch die Bindung des cAMP öffnen sich CNG-Kanäle (cyclic nucleotide gated channels) und Chloridkanäle. Durch das Ausströmen der Chloridionen aus der Zelle und durch das Einströmen von Calcium- und Natriumionen in die Zelle kommt es zur Membrandepolarisation mit Auslösung eines Aktionspotentials das entlang des Axons zum Bulbus olfactorius (OB) geleitet wird (Behrends et al., 2021; Heimes & Witt, 2020; Hummel et al., 2009).

Die olfaktorischen Rezeptoren besitzen keine direkte Selektivität für bestimmte Duftstoffe. Unterschiedliche Duftstoffe binden mit einer heterogenen Affinität an einem OR. Jeder Duftstoff wird von mehreren OR erkannt, was ein charakteristisches Aktivitätsmuster im OB auslöst (Müller et al., 2005).

1.2.3 Riechbahn

Die afferenten Axone des ORN ziehen gebündelt in Fila olfactoria als N. olfactorius durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale zum OB. Der OB enthält ca. 3000 Glomeruli, große synaptische Komplexe, in welche die jeweils 25.000 afferenten Axone des ORN enden und welche efferent auf etwa 100 sekundäre Projektionsneurone, die Mitralzellen, verschaltet sind (Heimes & Witt, 2020). Die Axone der Mitralzellen bilden den Tractus olfactorius und ziehen zum Hypothalamus und dem limbischen System (emotionale und hedonische

Bewertung) sowie zum piriformen und orbitofrontalen Kortex (bewusste Wahrnehmung von Gerüchen) (Behrends et al., 2021). Im OB wird durch die periglomulären Zellen und die Körnerzellen die Signalverarbeitung moduliert, indem diese zwei inhibitorische Zellklassen zur lateralen Inhibition und der negativen Rückkopplung beitragen. Efferente Fasern aus anderen Gehirnarealen enden an diesen Zellen und können so die Informationsverarbeitung im OB modulieren (Behrends et al., 2021).

1.2.4 Psychophysische Untersuchung des orthonasalen Riechvermögens

Die Testung des Riechvermögens mithilfe psychophysischer Verfahren ist stark von der Mitarbeit des Patienten abhängig (Hummel & Podlesek, 2021). Diese sog. subjektiven Testverfahren sind leicht in der Anwendung und Durchführbarkeit, jedoch muss beachtet werden, dass das Testergebnis von den sprachlichen und kognitiven Fähigkeiten des Probanden beeinflusst werden kann. Die Bestimmung des Riechvermögens mittels Testverfahren ist unerlässlich, da Selbsteinschätzungen zur olfaktorischen Funktion als unzuverlässig angesehen werden (Landis et al., 2003; Müller et al., 2005).

Die olfaktorische Testung beruht darauf, eine Reaktion auf einen Duftreiz zu interpretieren. Als Screeningmethode, zur Identifikation olfaktorischer Störungen, eignen sich sog. Kurztests oder Screeningtests, die eine Unterscheidung zw. Normosmie und Dysosmie ermöglichen. Dabei kommen meistens Duftidentifikationstests zur Anwendung, die teilweise nur auf das Erkennen von 3 oder 5 Düften beruhen. Sie sind in der klinischen Umsetzung schnell durchführbar, leicht verständlich für den Untersuchenden aufgebaut und können eine zügige Detektion von Auffälligkeit feststellen. Nachteilig ist jedoch das eine genauere Einschätzung des Riechvermögens damit nicht möglich ist.

Die Ergebnisse der Riechtestung sind deutlich zuverlässiger und reproduzierbarer, wenn mehr Düfte getestet werden und folglich kann somit eine bessere Unterscheidung zwischen Anosmie, Hyposmie und Normosmie erfolgen (Hummel et al., 2023). In den zurückliegenden Jahren wurden weitere standardisierte Verfahren entwickelt und validiert, die eine ausführliche Untersuchung des Riechvermögens ermöglichen und somit eine differenzierte Beurteilung der Riechstörung möglich machen. Mit ihnen werden verschiedene Funktionen erfasst, wie die Wahrnehmungsschwelle für einen oder mehrere Düfte, die Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden oder zu erkennen, das Riechgedächtnis oder die Skalierung überschwelliger Duftstoffkonzentrationen (Hummel et al., 2009, 2023). Zu den am besten validierten Test gehören der UPSIT („University of Pennsylvania Smell Identification Test“), der CCCRC- Test („Connaticut chemosensory Clinical Research Center“ Test) und die „Sniffin´Sticks“ (Müller et al., 2005).

Im deutschsprachigen Raum findet der von Kobal und Hummel (Hummel et al., 1997) entwickelte Sniffin´Sticks-Test die häufigste Anwendung. Es handelt sich um ein validiertes

Untersuchungsverfahren das eine verlässliche Quantifizierung der Dysosmie erlaubt (Damm et al., 2019).

Die Tests basieren auf die „Forced- Choice“ Methode. Ein Duftstoff wird in einer gewissen Konzentration angeboten und der Untersuchte muss sich für eine Antwort aus vorgegebenen Deskriptoren entscheiden. Das primäre Ziel dabei ist die Tests einheitlich zu gestalten, die Wahrnehmung der Testperson in der Antwortfindung zu schärfen und um eine Verneinung der Geruchswahrnehmung als Antwortmöglichkeit „nichts gerochen“ auszuschließen (Hummel et al., 2023).

Bei überschwelligem Tests / Geruchsidentifikationstests werden Düfte in einer überschweligen Konzentration verwendet. Diese werden dem Untersuchten angeboten und dieser soll aus einer Liste von vorgegebenen Antwortmöglichkeiten das Zutreffendste auswählen. Das Ergebnis aus dem Geruchsidentifikationstest entspricht dann der Summe der richtig identifizierten Gerüche. Im Vergleich zu den Screeningtests wird hier eine umfangreichere Anzahl an Gerüchen dargeboten, was weit mehr verlässlichere Ergebnisse und somit eine bessere Differenzierung der olfaktorischen Störung ermöglicht (Hummel et al., 2023; Landis et al., 2005; Müller et al., 2005).

Bei der Bestimmung der Riechschwelle werden dem Untersuchten wiederkehrend auf- und absteigende Konzentrationen desselben Duftes angeboten. Die Riechschwelle ist somit die niedrigste Konzentration eines Duftstoffes die man wahrnehmen kann (Hummel et al., 2023).

Bei Tests zur Diskrimination wird die sog. „three-alternative forced- choice“ Methode angewendet. Zwei von den drei dargebotenen Düften sind identisch und einer ist unterschiedlich. Die Aufgabe ist den Duft herauszufinden welcher sich von den anderen beiden unterscheidet (Landis et al., 2005).

Die Ergebnisse von Identifikations- und Diskriminationstests werden als Ausdruck der zentralen olfaktorischen Verarbeitung angesehen, im Vergleich dazu entspricht die Schwellentestungen eher der peripheren olfaktorische Funktion (Landis et al., 2005; Müller et al., 2005).

Die Ergebnisse von verschiedenen Riechtests werden auch zusammengefasst, um eine höhere Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erreichen (Hummel et al., 2023).

Aus Übersichtsgründen wird hier nur auf eine begrenzte Anzahl an Tests etwas näher eingegangen.

“University of Pennsylvania Smell Identification Test”

UPSIT – Geruchsidentifikationstest

Der UPSIT Test ist ein reiner Identifikationstest. Dieser Riechtest wurde von Doty 1984 (Doty et al., 1984) entwickelt und kann vom Patienten selbst durchgeführt werden. Dabei liegen 40 mikroverkapselte Duftstoffe auf Papier aufgetragen vor, wobei durch Aufkratzen („scratch and sniff“) die Duftstoffe freigesetzt werden. Anhand von Multiple-Choice Vorlagen sollen Düfte identifiziert werden (Hummel et al., 2009; Hummel, Hähner, et al., 2007).

Conneticut Chemosensory Clinical Research Test

CCCRC - Zusammenfassung von Riechschwelle und Duftidentifikation

Der CCCRC Test wird als Kombinations-Riechtest angeboten. Entwickelt von Cain 1988 (Cain et al., 1988) besteht er aus einem Test zur Bestimmung der Riechschwelle und einem Duftidentifikations-Test. Im Schwellentest wird die Wahrnehmungsschwelle für Butanol untersucht und beim Identifikationstest die Geruchsidentifikation von 10 Düften.

„Sniffin´Sticks“ - Zusammenfassung von Riechschwelle, Duftidentifikation und Duftdiskrimination

Eine umfassende Beurteilung des Geruchssinns erlauben die Riechstifte „Sniffin´Sticks“ die von Kobal et al. 1996 erstmalig vorgestellt wurden (Hummel et al., 2009; Kobal et al., 1996).

Der Test beruht auf filzstiftartigen Duftspendern, die mit Duftstoffen getränkt sind.

Neben einem Kurztest bzw. Screeningtest besteht die erweiterte Version aus drei Teilen: Schwellentest, Diskriminationstest und Identifikationstest zusammengefasst als SDI-Test.

Zur Bestimmung der Riechschwelle wird die Wahrnehmung von *n*- Butanol oder Phenylethyalkohol (PEA) getestet. Der Test zur Bestimmung der Riechschwelle beinhaltet 48 Stifte angeordnet in 16 Triplets. Der Diskriminationstest besteht auch aus 16 Triplets und prüft die Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden.

Der Identifikationstest besteht aus 16 Stiften, diese enthalten unterschiedliche Düfte, die aus einer vorgegebenen Liste von je vier Deskriptoren erkannt werden sollen. In der klinischen Anwendung wird dieser Subtest als Screeningtest häufig präoperativ angewandt. Nach abgeschlossener Testung wird aus den drei Einzeltests ein Summenwert ermittelt (SDI- Wert) (Hummel et al., 2009; Hummel, Hähner, et al., 2007; Walliczek-Dworschak & Hummel, 2017). Die Ergebnisse erlauben eine Unterscheidung von Norm-, Hyp- und Anosmie. Zusätzlich wird aufgrund der Veröffentlichung von normativen geschlechts- und altersabhängigen Daten eine genauere Einteilung der Riechleistung möglich (Hummel, Kobal, et al., 2007; Oleszkiewicz et al., 2019a). Eine ausführliche Erläuterung der Testanordnung und Durchführung wird im Kapitel „Material und Methoden“ erfolgen.

1.2.5 Psychophysische Untersuchung des retronasalen Riechvermögens

Beim retronasalen Riechen erfolgt eine Geruchswahrnehmung durch Essen, Schlucken oder Gurgeln. Bei dem Konsum von Nahrungsmittel und Getränken gelangen flüchtige Anteile durch die Bewegung der Muskulatur in die Nasenhöhle. Die Testung der retronasalen Riechfunktion erfolgt mittels standardisierter psychophysischer Tests.

Bei dem sog. Schmeckpulvertest (20 verschiedene pulverförmige Lebensmittel und Gewürze) werden Schmeckpulver in die Mundhöhle platziert und der Untersuchte muss aus 4 Deskriptoren eine korrekte Identifikation tätigen. Ein weiterer Test ist der „candy smell test“ besteht aus Sorbitol- Lutschtabletten die mit Unterschiedlichen Aromen getränkt sind. Hier soll auch eine Zuordnung aus vergebenen Deskriptoren erfolgen (Hummel, Hähner, et al., 2007; Walliczek-Dworschak & Hummel, 2017).

1.2.6 Elektrophysiologische Verfahren zur Untersuchung des Riechvermögens

Die objektive Riechtestung erfolgt mittels elektrophysiologischer Untersuchungen. Diese Untersuchungen umfassen die Ableitung von duftinduzierten Veränderungen, olfaktorisch evozierte Potentiale (OEP), im Elektroenzephalogramm (EEG). Die Anwendung des Olfaktometers zur Riechuntersuchung gestaltet sich als sehr zeit- und kostenintensiv. Aufgrund des hohen apparativen Aufwands wird diese objektive Riechtestung in nur wenigen Zentren durchgeführt und vorwiegend für gutachterliche Tätigkeiten und wissenschaftlichen Studien (Hummel et al., 2009, 2023; Walliczek-Dworschak & Hummel, 2017). Neben der Ableitung von OEP ist es auch möglich Elektro-Olfaktogramme direkt von der Regio olfactoria abzuleiten. Obwohl das Verfahren in experimentellen Studien sehr interessant ist hat sich die Technik in der klinischen Routine nicht durchgesetzt (Hummel, Hähner, et al., 2007).

1.2.7 Abhängigkeit der Duftwahrnehmung von Nasenanatomie und Luftstrom

Die Duftwahrnehmung beim orthonasalen Riechen beginnt mit dem Transport von flüchtigen Substanzen mit der inspiratorischen Luftströmung in Richtung der schleimhautbedeckten Riechrezeptoren. Es ist naheliegend zu behaupten, dass wenn keine Duftstoffe zu den Rezeptoren gelangen, es auch keine Riechantwort geben kann. Daher könnte man pauschal annehmen, dass mit einer zunehmenden Zahl von Duftstoffmolekülen, die in den Rezeptorbereich gelangen auch die Riechantwort zunimmt. Jedoch ist der Zusammenhang weitaus komplexer als diese Annahme.

Die Duftmoleküle passieren die Nasenhöhle und lösen sich im Schleim der olfaktorischen Rezeptoren. Faktoren wie die Anzahl der Duftmoleküle, die die olfaktorischen Rezeptoren erreichen, die Stärke des Luftstroms, die Löslichkeit des Duftstoffes und der Ort der Duftstimulation können die olfaktorische Wahrnehmung beeinflussen (Chen et al., 2020). Die Duftwahrnehmung weist eine Abhängigkeit von zwei zentralen Parametern auf - die Nasenanatomie und der nasale Luftstrom. Diese Abhängigkeit lässt sich durch mehrere wesentlichen Faktoren erklären. Zunächst befindet sich das olfaktorische Epithel in einem begrenzten Abschnitt der Nasenhöhle. Störungen bzw. Veränderungen der intranasalen Luftströmung und der Verteilung der Duftmoleküle in diesem begrenzten Bereich können daher erhebliche Auswirkungen auf die Duftwahrnehmung haben (Zhao, 2004; Zhao & Frye, 2015).

Da der Luftstrom naturgemäß entlang des Weges des geringsten Widerstands verläuft, kommt es bei Blockaden und bei höheren Widerständen zu einer Änderung der strömungsphysikalischen Eigenschaften des Luftstromes (laminar, turbulent oder gemischt). Dies bedeutet, dass die Verteilung des Luftstromes auch ohne wesentliche Veränderungen der Nasenanatomie tiefgreifend beeinflusst werden kann (Zhao & Frye, 2015). Aufgrund der unterschiedlichen Querschnittsflächen der Nasenhöhle erfolgt auch eine unterschiedliche Verteilung des Luftstromes. Der Großteil des nasalen Luftstromes passiert den Nasenboden, der zweitgrößte durchflutete Bereich ist entlang des mittleren Nasenganges in der Nähe des Septums und nur ca. 10% des Luftstromes erreicht die Regio olfactoria (Hornung, 2006; Kelly et al., 2000; Keyhani et al., 1997)

Betrachtet man die Nase aus aerodynamischer und funktioneller Sicht in inspiratorische Strömungsrichtung des Luftstromes kann nach Mlynski (2018) eine Unterteilung in drei Bereiche erfolgen:

1. Der Einströmbereich: in inspiratorischer Richtung besteht dieser aus dem Ostium externum, dem Vestibulum, dem Ostium internum und dem vorderen Kavum;
2. Der Funktionsbereich: die Muschelregion, in welchem die Nase ihre respiratorische und olfaktorische Funktion vollbringt;
3. Der Ausströmbereich: mit dem Meatus nasopharyngeus, die Choane und der Nasopharynx (Mlynski & Pirsig, 2018).

Zwischen der Nasenschleimhaut und der strömenden Luft ist ein suffizienter Kontakt der Luftpartikel mit der Schleimhaut erforderlich. Faktoren wie ausreichende Kontaktzeit, Verteilung des Luftstromes über die gesamte nasale Schleimhautfläche, intakter Nasenzyklus sind als wichtige physikalische Voraussetzungen für die respiratorische Funktion der Nase zu nennen.

In Bezug auf die Querschnittsfläche der Nase hat diese im Funktionsbereich den größten Querschnitt. Die Querschnittserweiterung vom Einströmbereich zum Funktionsbereich führt zur Turbulenzentstehung und zur Verlangsamung der Strömungsgeschwindigkeit. Daraus resultiert, dass die reduzierte Strömungsgeschwindigkeit in der Muschelregion eine verlängerte Interaktionszeit mit der Schleimhaut bewirkt (Mlynski & Pirsig, 2018).

Mathematische Modelle haben sich als nützlich erwiesen, um die Beziehung zwischen nasalem Luftstrom und die Riechfähigkeit zu beschreiben. Modelle wurden erstmals verwendet, um den Massentransport von Geruchsstoffmolekülen aus der Luft zu den Riechrezeptoren zu beschreiben und ein besseres Verständnis zu ermöglichen (Hahn et al., 1994; Hornung, 2006; Keyhani et al., 1997).

Die Beschreibung von geometrischen und strömungsdynamischen Veränderungen mittels CFD- (computational fluid dynamics) Methoden kann nicht nur in numerischen Studien, sondern auch bei experimentellen Messungen verwendet werden (Trnka et al., 2022). Trnka et al. 2022 untersuchten in ihrer numerischen Studie an zwei Modellen die anatomischen Veränderungen bei der Entfernung eines Hypophysenadenoms und konnten nicht nur geometrische Veränderung darstellen, sondern auch die Geschwindigkeits- und Druckveränderungen (Trnka et al., 2022).

Auch in einer Simulation mittels numerischer Strömungsdynamik (CFD) konnten de Gabory et al. (2018) nachweisen, dass die Luftstromgeschwindigkeit während der Inspiration im Bereich der Nasenklappe beschleunigt wird, anschließend deutlich verlangsamt wird entlang des mittleren Nasenganges, um erneut eine Beschleunigung zu erfahren, bevor sie in den Nasopharynx eintritt. Eine weitere Erkenntnis betrifft die unterschiedliche Verteilung des Luftstromes bei der Inspiration und Expiration. Die Durchflutung der Riechspalte während der Inspiration erfolgt nicht vollständig, sondern hauptsächlich während der Expiration durch die hintere Apertur (de Gabory et al., 2018). Dies beschreiben die Autoren als Überlegenheit des Geschmacks von Lebensmittel gegenüber dem eigentlichen Schmecken im Sinne des retronasalen Riechens. Für das retronasale Riechen wurde gezeigt, dass flüchtige Verbindungen nur während bestimmter Phasen des Essensprozesses, z.B. beim Schlucken, Zugang zur Nasenhöhle haben (Frasnelli et al., 2005).

Ein klarer Unterschied zwischen dem orthonasalen und dem retronasalen Riechen besteht in der Möglichkeit die Luftströmung zu modifizieren bzw. zu erhöhen und somit die Durchflutung des Riechepithels zu steigern. Dies ist beim orthonasalen Riechen mittels einer intensiven stoßweißen Nasenbelüftung möglich, dem Schnüffeln (Frasnelli et al., 2005).

Mit der Fragestellung wie sich das Schnüffelverhalten auf die Duftstoffkonzentration in der Nasenhöhle auswirkt beschäftigten sich Beauchamp et al. (2014). Schnüffeln zählt als

dominierender Faktor in der olfaktorischen Perzeption, da es die Anzahl der Geruchsmoleküle, die das Epithel erreicht beeinflussen kann. Dies geschieht entweder durch die Verdünnung der Geruchsstoffe mit der umliegenden, geruchsneutralen Luft, durch eine Anpassung des Luftflusses innerhalb der Nasenhöhle oder durch die Veränderung der Zeit, die ein Geruchsstoff benötigt, um die Riechspalte zu erreichen. So konnte im Rahmen der durchgeführten Studie gezeigt werden, dass moderates Schnüffeln, im Vergleich zu energischen, tiefen oder raschen aufeinanderfolgenden Schnüffelbewegungen, zu einer deutlich höheren Konzentration des Geruchsstoffs in der Riechspalte führt und somit die stärkste Geruchswahrnehmung induziert (Beauchamp et al., 2014).

Zhao et al. (2004) untersuchten auch in einer CFD- Studie basierend auf den computertomographischen Daten eines Probanden, den Einfluss der Nasenanatomie auf den Luftstrom und damit auf den Transport der Duftmoleküle (Zhao, 2004). Sie veränderten im Modell gezielt zwei relevante Bereiche der Nasenhöhle, die mit der Duftwahrnehmung korrelieren, die Region um die Nasenklappe und den Bereich des oberen Meatus unterhalb der Lamina cribrosa / die Riechspalte. Diese Regionen wählten sie aufgrund zuvor veröffentlichten Studie von Leopold (1988) und Damm et al. (2002) zum Zusammenhang zwischen Riechfunktion und der nasalen Volumetrie bei normosmischen und hyposmischen Patienten (Damm et al., 2002a; Leopold, 1988).

Sie konnten darstellen, dass zum Beispiel eine kleine Blockade im Bereich der Nasenklappe zu einer Abnahme des Nasenluftstroms und zu einer Abnahme des Flusses zur Riechregion führte. Da der Nasenklappenbereich anscheinend die Hauptquelle des Nasenwiderstands ist, lieferten die Modellergebnisse überzeugende Hinweise darauf, dass der Nasenklappenbereich entscheidend ist, um den Luftstrom zur Riechregion zu kontrollieren (Hornung, 2006; Zhao, 2004).

In einer erweiterten klinischen CFD- Studie von Li et al. (2018) wurde der Einfluss von strukturellen und aerodynamischen nasalen Merkmalen auf die olfaktorische Funktion untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Nasenanatomie und die Aerodynamik einen deutlichen Einfluss auf die Riechfunktion aufweisen. Eine Verengung im Bereich des Vestibulums / der Nasenklappe und das Entstehen von Luftstrom- Verwirbelungen in der Nasenhöhle führen zu einer größeren olfaktorischen Sensitivität gegenüber stark schleimhautlöslichen Duftmolekülen. Durch die teilweise Verengung der oberen Nasenklappe wird die Ausbildung eines vorderen dorsalen Luftwirbels gefördert, dieser ermöglicht die Durchmischung der Duftmoleküle, erhöht teilweise die Verweildauer innerhalb der olfaktorischen Region und begünstigt somit die höher schleimhautlöslichen Duftmoleküle (Li et al., 2018).

Den Zusammenhang zwischen dem intranasalen Volumen und der olfaktorischen Funktion analysierten Damm et al. (2002) in einer explorativen Studie. Dabei führten sie psychophysische Riechtestungen durch und segmentierten die Nasenhöhle in je 11 Segmente nach erfolgter Magnetresonanztomographie, um eine Korrelation zwischen den olfaktorischen Testergebnissen und dem intranasalen Volumen zu untersuchen. Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigten, dass zwei Nasensegmente für die interindividuellen Unterschiede für die Geruchschwelle für Phenylethylalkohol (PEA) bei gesunden Probanden wichtig sind: Ein Segment im oberen Nasengang unterhalb der Lamina cribrosa und ein vorderes Segment im Bereich des unteren Nasengangs. Das Segment des anterioren unteren Nasenganges wird aus Sicht der Autoren als besonders relevant für die Rhino- Chirurgie angesehen, da eine Modifikation des Volumens in dieser Regio durch Resektion der unteren Nasenmuschel und/oder Septoplastik ermöglicht wird (Damm et al., 2002a).

1.3 Die Gaumennahterweiterung

1.3.1 Grundlagen und Indikation

Die Euginathie beschreibt eine anatomisch normgerechte Stellung der Kiefer zueinander mit Vorliegen einer regelrechten Verzahnung. Die Abweichung von der Euginathie entspricht einer Dysgnathie. Die Dysgnathie umfasst dabei die Fehlentwicklung der Zähne, der Kiefer und anderer Komponenten des Kauapparates. Es erfolgt die Unterscheidung in skelettale und dentoalveoläre Dysgnathien. Bezüglich der Lage, Form und Größe der Kiefer gibt es angeborene oder erworbene Anomalien. (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011)

Die Anomalien können somit die Zahnstellung, die Okklusion, die Artikulation, die Kieferform, die Lage des Gebisses zum Schädel betreffen und somit ästhetische und funktionelle Beeinträchtigungen bedingen.

Die Ursachen der Anomalien können als nichtsyndromal, syndromal oder erworben klassifiziert werden.

Eine schmale transversale apikale Basis des Oberkiefers und ein damit einhergehender Kreuzbiss einseitig oder beidseitig stellt die Hauptindikation zur Gaumennahterweiterung dar (Derichsweiler, 1953; Haas, 1961; Wertz, 1970). Kennzeichnend für die transversale maxilläre Hypoplasie bzw. den Schmalkiefer ist die transversale Enge, ein schmaler Zahnbogen, der frontale Engstand und ein hoher Gaumen. Meistens ist das Vorliegen einer

Mundatmung kennzeichnend. Nachteilige Folgen der transversalen Enge können sich in Form eines lateralen Kreuzbisses oder distalen Zwangsbisses äußern (Schwarz & Watzke, 2009).

Die Indikation zur Erweiterung des Schmalkiefers hängt in erster Linie von der Verknöcherung der Suturen und nicht von der Art der Dysgnathie ab (Schwarz & Watzke, 2009).

Als Indikation der Gaumennahterweiterung gelten in der Literatur (Sander, 2011):

- funktionelle, ein- und beidseitige Kreuzbisse
- die transeversale Unterentwicklung des Oberkiefers
- ein Frontengstand im Oberkiefer
- Schmalkiefer bei Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalte
- Behinderte Nasenatmung bei Schmalkiefer oder Septumdeviation und adenoide Wucherungen

Weiterhin ist zu beachten das bis zu einem Alter von sieben Jahren mittels herausnehmbarer Apparaturen bis zu 5 mm transversal erweitert werden kann. Eine transversale Gaumennahterweiterung erfolgt immer,

- wenn bei einem Patienten im Alter von 8-12 Jahren > 5 mm gedehnt werden soll.
- wenn bei einem Patienten > 12 Jahren (keine Behandlung mehr mit herausnehmbaren Geräten möglich) > 4 mm gedehnt werden müssen (Sander, 2011).

Nach Timms 1984 stellt das Vorhandensein einer behinderten Nasenatmung bzw. das Vorliegen einer nasalen Obstruktion nebst des vorhandenen Kreuzbisses eine Indikation zur Gaumennahterweiterung dar (Timms, 1984). Durch die behinderte Nasenatmung und die somit präferierte Mundatmung seitens der Patienten, leiden diese vermehrt unter Atemwegsinfekten.

Erfolgt die Befundung einer extremen transversalen Enge des Oberkiefers, so ist die Therapie der Wahl die skelettale Verbreiterung des Oberkiefers durch Öffnung der Gaumennaht. Die Erweiterung kann bei Kindern und Jugendlichen konservativ mittels abnehmbaren oder festsitzenden Dehnapparaturen erfolgen. Bei Erwachsenen ist dies nur nach chirurgischer Unterstützung durchführbar. Es werden bei der Gaumennahterweiterung grundsätzlich zwei Therapieverfahren angewandt: die forcierte Gaumennahterweiterung (Rapid Maxillary Extension / RME) und die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (Surgically Assisted Rapid Maxillary Extension / SARME).

Man kann auch etwas vereinfacht zusammenfassen, dass die SARME eine Weiterentwicklung der RME ist.

Die Art der Behandlung, ob RME oder SARME ist von dem Widerstand der knöchernen Strukturen abhängig, der sich im Laufe der Entwicklung und des Wachstums ändert. Während bei Kindern und Jugendlichen eine GNE mittels RME gute Ergebnisse zeigt ist dies bei Erwachsenen nicht mehr möglich aufgrund der großen ossären Resistenzen im Bereich der Crista zygomatico-maxillaris und dem Processus pterygoplatinus (Schwarz & Watzke, 2009).

In den meisten Publikationen wird das Alter als wichtiger Indikationsgrund und als Erfolgskriterium für eine GNE genannt, jedoch besteht keine klare Festlegung, wann der richtige Zeitpunkt für die Durchführung der SARME besteht. Das Aktivieren einer GNE-Apparatur im adulten skelettal ausgewachsenem Gebiss ohne chirurgischer Unterstützung kann zu Wurzelresorptionen, parodontalen Defekten, Zahnkippen, Extrusion der Zähne, Knochenresorptionen, Gingivaretraktionen, Fraktur des Alveolarfortsatzes und zu großen Rezidiven führen (Alpern & Yurosko, 1987; Harzer et al., 2010; Mommaerts, 1999; Tausche et al., 2009; Wertz, 1970). Somit wird seitens Kieferorthopäden und Kieferchirurgen eine kombinierte kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie, um die o.g. Risiken zu minimieren empfohlen.

Nach Mommaerts (1999) ist ab dem 14. Lebensjahr eine GNE nur nach zusätzlicher kortikaler Osteotomie möglich um gegen den ossären Widerstand anzusetzen, somit wäre ab diesem Alter die SARME indiziert (Mommaerts, 1999). Nach Korn und Baumrind (1990) kommt es mit ca. 15. Lebensjahren zum Verschluss der Sutura palatina mediana (Korn & Baumrind, 1990).

Nach Harzer et al. (2010) soll im Rahmen der GNE im Alter von 15-18 Jahren eine kortikale Osteotomie in Regionen der Sutura palatina und der anterioren und lateralen Wände des Oberkiefers erfolgen (Harzer et al., 2010).

Persson und Thilander (1977) beschreiben in ihrer Studie an anatomischen Präparaten, dass die Verknöcherung der Sutura palatina mediana nicht zwingend altersabhängig ist. So wurde bei einer 15-jährigen die vollständige Verknöcherung der Sutura palatina mediana und bei einer 25-jährigen nur eine geringgradige Verknöcherung der Sutura festgestellt (Persson & Thilander, 1977).

Alpern und Yurosko (1987) beschreiben noch zusätzlich die geschlechterspezifische Differenz von ca. 5 Jahren für die Verknöcherung der Sutura palatina mediana bei männlichen und weiblichen Personen (Alpern & Yurosko, 1987).

Bei der Wahl des therapeutischen Mittels sollte bei den Patienten zwischen skelettalem und numerischem Alter differenziert werden.

Im Kindes- und im Jugendalter erfolgt an den Nahtstellen zum Os zygomaticum und zur Schädelbasis eine gute knöcherne und Weichteiladaptation (Tausche et al., 2009). Bei der Erweiterung des Oberkiefers bildet hier das Os palatinum den Hauptwiderstand.

In den Studien von Wertz (1970), Bell & Epker (1967) und Isacson (1964) konnte festgestellt werden, dass der größte Widerstand entgegen einer parallelen Weitung der Oberkiefersegmente nicht die Sutura palatina sondern Strukturen des Os zygomaticum und das Os sphenoidale seien (Bell & Epker, 1976; Isaacson & Ingram, 1964; Wertz, 1970).

Jafari et al. (2003) analysierten in Ihrer dreidimensionalen Finite-Elemente- Studie (FEM-Studie) die biomechanische Auswirkung der GNE auf das Viscerokranium und beschrieben in Ihren Schriften, dass es zu einem großen Widerstand kommt im Bereich der Processus pterygoidei des Os sphenoidale, der Sutura pterygopalatina und im Bereich der Suturen des Os zygomaticum insbesondere der zygomaticotemporalen und zygomaticomaxillären Suturen. Hohe Belastungszonen wurden in allen Bereichen der Maxilla festgestellt (Jafari et al., 2003). Zusätzlich von Bedeutung sind der frontomaxilläre (Apertura piriformis), der zygomaticomaxilläre (Christa zygomaticoalveolaris) und der pterygomaxilläre (Sutura pterygopalatina) Gesichtspfeiler.

In Anbetracht der anatomischen Diversität des Menschen ist anzumerken, dass trotz einer noch nicht obliterierten palatinalen Suture weitere ossäre Strukturen eine Relevanz aufweisen bezüglich einer erfolgreichen transversalen Weitung des Oberkiefers. Ob eine chirurgische Unterstützung erfolgen soll, ist meist individuell durch vorhandene diagnostische Mittel zu eruieren und insbesondere dem skelettalen Alter und nicht dem numerischen ist Beachtung zu schenken.

1.3.2 Die forcierte Gaumennahterweiterung RME

Die transversale Weitung des Oberkiefers mit dem Verfahren der Gaumennahterweiterung (GNE) findet seit dem 19. Jahrhundert Verwendung.

Die erste forcierte Gaumennahterweiterung (RME) wurde 1860 von Emerson Colon Angell im The Dent Cosmos veröffentlicht und somit erstmalig beschrieben (ANGELL, 1860). Dabei wurde die Relevanz besonders auf die Sutura palatina mediana, die skelettale Expansion des Oberkiefers und das Beheben eines vorhandenen Kreuzbisses gelegt.

Bei dem beschriebenen Verfahren von Angell erfolgte die Weitung des Oberkieferzahnbogens mittels einer Dehnschraube, das dabei entstandene Diastema mediale deutete er als Folge des Auseinanderweichens der Oberkieferhälften. (Schwarz & Watzke, 2009; Timms, 2000)

Initial wurde dieses neue Verfahren durch die Fachgesellschaften verpönt, jedoch erfolgte im Verlauf der Jahrzehnte eine rege Weiterentwicklung und die Annahmen und Beschreibungen von Angell konnten als durchaus anerkannt bestätigt werden.

Die Arbeiten von Schroder-Benseler (1913), Derichweiler (1953) und Haas (1961) optimierten das Verfahren weiter und zeigten, dass durch die forcierte Gaumennahterweiterung der Schmalkiefer an der Oberkieferbasis erweitert werden kann (Schopf, 2008). Ein zusätzlicher Vorteil, der durch die Intervention beschrieben wurde, ist die Verbesserung der Nasenatmung durch Verbreiterung der Nasenhöhle (Derichweiler, 1953; Haas, 1961).

1961 stellte Haas die „Kunststoffkappenschiene“ zur forcierten Gaumennahterweiterung vor, eine Apparatur, die auf den Seitenzähnen des Oberkiefers zementiert wurde (Schwarz & Watzke, 2009).

Eine Weiterentwicklung der GNE- Apparaturen erfolgte mit der Hyraxschraube zur transversalen Erweiterung nach Biedermann (Biederman, 1968). Die Schraube mit Retentionsarmen wird im permanenten Gebiss an Bänder der Molaren und Prämolaren angebracht. Hierbei kommt es durch einem Kraftangriff zu einer körperlichen Bukkalbewegung der Seitenzähne und somit zu einer gleichmäßigen Kraftverteilung an den Wurzeln und im Alveolarknochen (Schopf, 2008; Schwarz & Watzke, 2009). Es kommt bei der Verstellung der Erweiterungsspindel zu einem Zerreißen im Bereich der Sutura palatina mediana aufgrund des überschreiten der Kompensationsmöglichkeiten der alveolären Kortikalis und des Parodonts (Tausche et al., 2009).

1.3.3 Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung SARME

Die kombinierte chirurgische und kieferorthopädische Therapie zur Expansion des Oberkiefers wurde initial von Brown (1938) beschrieben, der die Gaumennaht im adulten Gebiss chirurgisch sprengte (Brown, 1938).

Bei der Distraction der ossären Anteile erfolgt die Expansion auf Grundlage der Distractionsosteogenese (DO) (Biederman, 1973; Tausche et al., 2009).

Das Prinzip der DO in der Orthopädie wurde erstmalig 1905 von Codivilla beschrieben (Codivilla, 1905). Als Weiterentwicklung wurde die Distractionsosteogenese im Sinne einer Kallusdistraction unter Anwendung eines Fixateur externum von Ilizarow der europäischen Forschungsgemeinschaft im Jahre 1982 vorgestellt (Ogunyemi, 2017). Die DO beginnt mit der chirurgischen Phase, die Osteotomie wird durchgeführt und die Dehnapparatur wird fixiert. Anschließend folgt die Latenzphase/Ruhephase mit Beginn der Kallusformation und mit einer Dauer von vier bis sieben Tagen (Imola et al., 2002; Suri & Taneja, 2008). In der Distractionsphase erfolgt das kontinuierliche Auseinanderdriften der beteiligten Strukturen

und das Einläuten der Osteogenese im Sinne einer intramembranösen Ossifikation. Das umliegende Weichgewebe unterliegt auch Umbauprozessen einer sog. Distraktionshistogenese folglich einer Volumenzunahme. Abschließend in der Konsolidierungsphase die ca. 1-2 Jahre andauert kommt es zum Knochenumbau (Imola et al., 2002). In der Aktivierungsphase, die Distraktionsphase wird täglich durch Drehen der Distraktionsapparatur zw. 0,25 mm bis 1mm Distraktion erreicht (Mommaerts, 1999; Suri & Taneja, 2008). Sobald die gewünschte Distraktion erreicht wurde, erfolgt die Retentionsphase, die Konsolidierungsphase. Die Apparatur wird ca. 3 bis 6 Monate belassen (Imola et al., 2002; Kraut, 1984; Mommaerts, 1999).

Durch die Vorstellung des transpalatinalen ossär fixierten Distraktors zur maxillären Expansion durch Mommerts (1999) wurden die Theorien von Brown und Ilizarov erfolgreich miteinander in Verbund gebracht (Mommaerts, 1999). Ein besonderer Vorteil des transpalatinalen Distraktors (TPD) wird die direkte Kraftübertragung auf den Knochen angegeben (Sander, 2011).

1.3.4 Chirurgisches Vorgehen bei der Korrektur des transversalen maxillären Defizites

Es sind grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren, die zur Anwendung kommen:

- Die Oberkiefer Segmentierung im Sinne einer Le-Fort-I Osteotomie um eine Reposition der geschaffenen Segmente in einer erweiterten transversalen Dimension zur ermöglichen
- Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (SARME)

Die Kriterien welches Verfahren gewählt wird um das transversale Defizit zu beheben sind nicht klar definiert, meist ist dies die persönliche Präferenz des behandelnden Chirurgen (Suri & Taneja, 2008). Die am häufigsten angewendeten SARME OP-Techniken sind die nach Lines (Lines, 1975), Bell & Epker (Bell & Epker, 1976) oder Glassmann (Glassman et al., 1984) (Sander, 2011).

- Le-Fort-I Osteotomie / segmentierte Le-Fort-I Osteotomie

Das am häufigsten angewandte Verfahren zur Umstellung des Oberkiefers ist die Osteotomie auf der Le-Fort-I-Ebene mit „Downfracture“. Die Osteotomielinien erfolgen nach Muster der von Le Fort (1901) angegebenen Bruchlinien auf Höhe der unteren Nasenapparatur horizontal zum Mittelgesicht (Fort & Tessier, 1972; Roser et al., 2011). Zum Absetzen des gesamten zahntragenden Oberkieferanteils werden die faziale

Kieferhöhlenwand, die laterale Nasenwand und das Nasenseptum sagittal osteotomiert und der Oberkiefer vom Pterygoid separiert (Hausamen & Brachvogel, 1991)

Zur Downfracture wird das Oberkiefersegment nach vorne gedrückt und aufgeklappt. Durch die Mobilisation kann eine Bewegung und Rotation des Oberkiefers in allen Ebenen erfolgen (Roser et al., 2011). Ergänzende Segmentierungen ermöglichen eine zusätzliche Erweiterung oder Verschmälerung sowie eine Nivellierung der Okklusionsebene (Hausamen, 2012).

Die Osteotomie des Oberkiefers in der Le-Fort-I- Ebene als Verfahren geht auf Arbeiten von Cheever (1868), Wassmund (1927) und Axhausen (1934) zurück (Axhausen, 1934; Dabir & Vahanwala, 2021; Esser & Petersen, 1991; Wassmund, 1935). Erst Obwegeser (1965) implementierte das Procedere als Standardverfahren in der kieferorthopädische Chirurgie zur Korrektur des Oberkiefers in sagittaler Richtung im Sinne einer Vorverlagerung bei maxillärer Mikro- oder Retrognathie (Hausamen & Brachvogel, 1991; Obwegeser, 1965). Die Untersuchungen von Bell (1975) und Epker (1980) zu den Durchblutungsverhältnissen im Oberkiefer, die eine ausreichende Vaskularisierung des gesamten Oberkiefer über die palatinale Schleimhauttbrücke bis in die vordere Oberkieferregion ergab, waren die Grundlage der „Downfracture- Technik“ (Bell, 1975; Epker, 1984; Hausamen & Brachvogel, 1991; Roser et al., 2011). Es konnte somit erstmals eine dreidimensionale Korrektur des Oberkiefers in der transversalen, sagittalen und vertikalen Richtung durchgeführt werden.

Durch die Möglichkeit der Segmentierung des Le-Fort-I- Oberkiefersegment können nicht nur skelettale Lageveränderungen sondern auch dentoalveoläre Korrekturen zur Nivellierung des Zahnbogens durchgeführt werden (Roser et al., 2011). Die Segmentierung des Oberkiefers kann in bis zu vier Teilsegmenten ohne Gefahr der Vaskularisation des Knochens und der Zähne erfolgen (Hausamen & Brachvogel, 1991). Bei der zweiteiligen Segmenteosteotomie erfolgt zusätzlich eine paramediane Gaumendachosteotomie beidseits und bei der dreiteiligen Osteotomie erfolgt die Kombination mit einem transversalen Font-/Eckzahnsegment (Roser et al., 2011).

Die Oberkiefersegmente werden mittels Osteosyntheseplatten fixiert. Die Segmentosteotomie wird meist als therapeutisches Mittel beim transversalen Defizit des Oberkiefers eingesetzt, wenn mit einem chirurgischen Eingriff eine Korrektur sämtlicher maxillo-mandibulärer Diskrepanzen erfolgen kann (Suri & Taneja, 2008).

- **Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (SARME)**

Bei extremen Engstand und nach Ossifizierung der Sutura palatina mediana wird zur transversalen Verbreiterung des Oberkiefers vielfach eine SARME notwendig. Das Design

der Osteotomie unterlag mit der Zeit vielfachen Veränderungen und hat eine zunehmende Invasivität erfahren (Roser et al., 2011). Anfänglich erfolgte lediglich die Osteotomie zur Schwächung des Mittelgesichtspfeilers (Regiones Christae zygomaticoalveolares) mit einer medianen Durchtrennung der Sutura palatina mediana und des Alveolarfortsatzes zwischen den mittleren Schneidezähnen. Neuerdings geht die Tendenz jedoch über zur median sagittalen Teilung in Kombination mit einer kompletten Le-Fort-I Osteotomie einschließlich pterygomaxillärer Sprengung (ohne Downfracture) (Roser et al., 2011).

Als Brown (1938) das Verfahren erstmalig erwähnte lag, das Augenmerk ausschließlich auf die Osteotomie der Sutura palatina mediana (Brown, 1938). In der Folge dessen entwickelten sich die unterschiedlichen chirurgischen Verfahren in Abhängigkeit der verschiedenen Theorien und Studien zu den skelettalen Widerständen im Oberkiefer. Nach Glassman et al. (1984) und nach Bays&Greco (1992) liegt die größte Resistenz im Bereich des lateralen Pfeilers, somit wird die durchgehende Osteotomie der seitlichen Nasenwand von der Apertura piriformis nach posterior bis zum zygomaticomaxillären Stützpfiler als notwendig beschrieben, jedoch ohne einer Intervention im Bereich der Sutura palatina mediana zu bedürfen (Bays & Greco, 1992; Glassman et al., 1984). Diese Operationsmethode wurde von einigen Autoren aufgegriffen und in den klinischen Alltag implementiert (Deeb et al., 2010; Feller et al., 1998a; Schimming et al., 2000). Feller et al. (1998) und Schimming et al. (2000) beschrieben zusätzlich in den publizierten Fallstudien, dass die chirurgisch unterstützte Weitung des Oberkiefers durch Schwächung der lateraler und vorderen maxillären Abstützung in Höhe der Le-Fort-I Ebene bei Patienten bis zum 30. Lebensjahr geeignet sei. Bei älteren Patienten solle zusätzlich die Gaumennaht durchtrennt werden. Hierzu beziehen sie sich auf die ihre klinischen Erfahrungen und auf die Studie von Persson&Thilander zur altersabhängigen Verknöcherung der Sutura palatina mediana (Feller et al., 1998a; Persson & Thilander, 1977; Schimming et al., 2000). Diese kombinierte Form wird seitens Lines (1975) grundsätzlich empfohlen (Lines, 1975).

Andere Autoren empfehlen zusätzlich zur Osteotomie im anterioren, lateralen und palatinalen Bereich, die Schwächung der Sutura pterygomaxillaris um eine Aufdehnung im posterioren Bereich des Oberkiefers zu ermöglichen und somit unerwünschte Belastungen im Mittelgesicht und an der Schädelbasis zu reduzieren (Bell & Epker, 1976; Gerlach & Zahl, 2005; Holberg et al., 2007; Jafari et al., 2003). Nur somit lässt sich eine transversale Erweiterung mit Parallelstellung der Oberkiefersegmente in der gesamten Sagittalrichtung erzielen (Roser et al., 2011). Die anschließende Oberkiefererweiterung erfolgt durch das Einbringen der notwendigen Dehnungsapparaturen.

In einigen Fällen ist die SARME der erste Schritt im Rahmen einer komplexeren Behandlung beim Vorliegen von maxillo-mandibulären Diskrepanzen. Dabei wird zunächst das Defizit im Oberkiefer mittels der SARME therapiert und im Anschluss in einem zweiten

Eingriff erfolgt die Repositionierung des Ober- und Unterkiefers im Sinne einer mono- oder bignathen Umstellungsosteotomie (Suri & Taneja, 2008).

1.3.5 Apparaturen zur Durchführung der GNE

Die Gaumennaht wird mit festsitzenden zahngetragenen Dehnschrauben oder knochengetragenen Schraubenapparaturen erweitert. Herausnehmbare Apparaturen im adulten Gebiss werden nicht empfohlen aufgrund der fehlenden suffizienten Verankerung und Stabilität in der intraoperativen und postoperativen Anwendung (Suri & Taneja, 2008). Bei den dental verankerten Apparaturen erfolgt die Kraftübertragung über die Zähne und das Parodont auf den Knochen und es wird angestrebt die Expansionskraft möglichst vollständig auf den Knochen zu übertragen. Die Hyraxschraube zur transversalen Erweiterung ist am Gaumendach positioniert und wird an Bändern der ersten Molaren und ersten Prämolaren angeschweißt oder mit Hilfe von Aufbissen an den Zähnen zementiert (Tausche et al., 2009). Im Zusammenhang mit dental verankerten Apparaturen wird über deutliche dentoalveoläre Nebenwirkungen und Risiken berichtet wie: Extrusion, Wurzelresorptionen, bukkalen Attachmentverlust und über starke Kippung der Ankerzähne (Haas, 1961; Hansen et al., 2007; Kraut, 1984; Wertz, 1970). Um die genannten Risiken zu reduzieren, wurden skelettal verankerte Apparaturen entwickelt. Durch die Verankerung am Gaumendach soll eine direkte Einleitung der Expansionskräfte auf den Knochen unter Umgehung der Zähne erfolgen (Gerlach & Zahl, 2005; Hansen et al., 2007; Harzer et al., 2010; Mommaerts, 1999). Um die dentoalveolären Risiken zu minimieren, stellte Mommaerts 1999 den transpalatinal verankerten Distraktor vor. Durch die Fixierung der Drehschraube mit Ostesyntheseplatten am Gaumen kann eine bessere Verankerung und somit eine bessere Kontrolle der knöchernen Bewegung ermöglicht werden (Gerlach & Zahl, 2005; Mommaerts, 1999). Die dargestellten Vorteile der knochengestützten Erweiterungsapparaturen seien u.a. die größere parallelisierte Bewegung der Kiefersegmente, eine Behandlungsmöglichkeit im dental reduziertem Gebiss und eine Apparatur die mit der kieferorthopädischen Behandlung nicht interferiert (Gerlach & Zahl, 2005; Pinto et al., 2001; Suri & Taneja, 2008). Zu den schon o.g. transpalatinalen Distraktoren wurden eine Reihe von unterschiedlich konstruierten skelettal verankerten Geräten vorgestellt wie der Dresden Distraktor, der Magdeburg palatal Distraktor und der Rotterdam palatal Distraktor (Gerlach & Zahl, 2005; Hansen et al., 2007; Harzer et al., 2010; Koudstaal et al., 2006; Mommaerts, 1999; Tausche et al., 2007).

1.3.6 Veränderung durch die Gaumennahterweiterung

Durch die Gaumennahterweiterung kommt es nicht nur zum Auseinanderdrängen der Oberkiefersegmente es folgen auch eine Anzahl weiterer Veränderungen die nicht nur den knöchernen Oberkiefer betreffen. Die Veränderungen in der transversalen Ebene betreffen primär die Erweiterung im Bereich des Nasenbodens. Hier kommt es zur V-förmigen Öffnung der Sutura palatina mediana mit einer nach anterior größeren Öffnung im Bereich der Apertura piriformis als posterior im Bereich der Choanen (Bell, 1982; Deeb et al., 2010; Garrett et al., 2008; Goldenberg et al., 2007; Haas, 1961, 1965; Sandikçiolu & Hazar, 1997; Tausche et al., 2009; Wertz, 1970). Deeb et al. (2010) und Tausche et al. (2009) beschreiben eine V-förmige anterior-posteriore Erweiterung der Nasenhöhle mit anterior 59%/58%, mittig 26%/27% und posterior 15% (Deeb et al., 2010; Tausche et al., 2009). Die Drehachse für die Bewegung der beiden Oberkiefersegmente befindet sich im dorsalen Abschnitt der Sutura palatina mediana auf Höhe der Weisheitszähne (Bell, 1982; Braun et al., 2000; Deeb et al., 2010).

In der frontalen Ebene betrachtet man ebenso eine V-förmige, pyramidale oder fächerförmige Öffnung mit einer Abnahme nach kranial (Bell, 1982; da Silva Filho et al., 1995; Sandikçiolu & Hazar, 1997; Wertz, 1970). Die Segmente der Maxilla rotieren dabei nach lateral mit der Rotationsachse im Bereich der frontonasalen Suture (Deeb et al., 2010; Haas, 1961; Jafari et al., 2003). Mit zunehmendem Alter kommt die Drehachse weiter kaudal, näher zur aktiv wirkenden Kraft, zu liegen (Sander, 2011). Durch die Expansion der Maxilla, die Lateralisation der Nasenwände, die Erweiterung des Nasenbodens und der Nasenhöhle wird eine Obstruktion der Nasenwege verringert und die Nasenatmung verbessert (Babacan et al., 2006; da Silva Filho et al., 1995; Doruk et al., 2004a; Haas, 1961; Hartgerink et al., 1987; Kunkel et al., 1999). Derichsweiler (Derichsweiler, 1953, 1954) beschreibt, dass eine Spontanumstellung von der Mundatmung auf die Nasenatmung nach erfolgter Gaumennahterweiterung stattfindet, da viele Patienten mit transversaler Enge und steilem Gaumen an einer eingeschränkten Nasenatmung leiden. Es kommt zum Absenken des Nasenbodens und des Gaumendaches, zur Rückbildung von Schleimhautwucherungen und Adenoide im Bereich der Nase was die Umstellung einer bestehenden Mundatmung auf die Nasenatmung führt (Derichsweiler, 1954; Sander, 2011). Die Auswirkungen betreffen auch die Mandibula. Vor der transversalen Weitung des Oberkiefers befand sich der Unterkiefer und dessen Seitenzähne in einer Zwangsposition, diese wird durch die Gaumennahterweiterung aufgehoben (Sander, 2011). Ein weiterer Nebeneffekt betrifft das Mittelohr. Ceylan et al. (Ceylan et al., 1996) und Kilic et al. (Kilic et al., 2008) berichten über den Zusammenhang von Gaumennahterweiterung und die

Verbesserung des Hörvermögen bei Schalleitungsschwerhörigkeit, die durch rezidivierende Otitis media oder bei Problemen der Eustachischen Röhre entstanden.

Die Auswirkungen der Gaumennahterweiterung auf umliegende Strukturen und Funktionen sind weitreichend und sind Bestandteil der gegenwärtigen wissenschaftlichen Forschung.

2. Fragestellung

Bei erwachsenen Patienten mit Kieferlageabweichungen ist in den meisten Fällen eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Behandlung angezeigt, die bei transversalem Platzdefizit sowie starker Protrusion der Frontzahngruppen einen Platzgewinn durch Distraction erfordern.

Eine transversale Erweiterung der apikalen Oberkieferbasis führt zur Vergrößerung des Nasenvolumens, Verringerung der Obstruktion der Nasenwege und Erniedrigung des Strömungswiderstand der Atemluft. (Babacan et al., 2006; Doruk et al., 2004b; Magnusson et al., 2011; Seeberger, Kater, Davids, et al., 2010; Wriedt et al., 2001a)

Bisherige Untersuchungsergebnisse gehen davon aus, dass anatomische Veränderungen im Bereich der Nasenklappe eine Affektion des Luftflusses und damit des Transportes der Duftmoleküle und somit einen Effekt auf die olfaktorische Funktion bedingen (Zhao, 2004). In der Literatur ist der Effekt der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung auf die olfaktorische Funktion kaum untersucht und beschrieben. Der Einfluss auf skelettale Strukturen und der Einfluss auf Nasenatmung und Nasenvolumen ist durchaus Bestandteil jahrzehntelanger Forschung, jedoch ohne die olfaktorische Funktion dazu in Bezug zu bringen.

Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, inwieweit durch die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (GNE) eine messbare Veränderung der olfaktorischen Funktion verursacht wird. In der vorliegenden Studie kamen psychophysische Verfahren zur Anwendung, um mögliche prä- und postoperative Unterschiede im Riechvermögen zu erfassen.

Die Nullhypothese lautete: Es besteht kein Unterschied in der olfaktorischen Funktion vor und nach chirurgischer Gaumennahterweiterung.

3. Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Das geplante prospektive Vorhaben wurde vor der Durchführung seitens der Ethikkommission der medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus der Technischen Universität Dresden (Bearbeitungsnummer: EK335102010) positiv begutachtet. Alle ethischen Richtlinien, festgelegt durch die Deklaration von Helsinki, wurden beachtet und eingehalten. Alle Patienten wurden vor Ihrer Teilnahme ausführlich mündlich und schriftlich aufgeklärt über den Inhalt und Ablauf der Studie, sowohl auch über die Unverbindlichkeit der Teilnahme. Ein Studienabbruch war zu jedem Zeitpunkt ohne Nennung von Gründen möglich und die Teilnahme selbstverständlich freiwillig und ohne monetäre Vergütung. Die Überprüfung der Studienvoraussetzungen erfolgte initial im Rahmen der Rekrutierung der Patienten.

Die Patienten wurden vor und nach erfolgter chirurgischer Intervention untersucht.

3.2 Patientenkollektiv

In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, bei denen aus kieferorthopädischer Sicht eine Gaumennahterweiterung erforderlich war. Die Diagnose wurde auf Grundlage der anamnestischen, klinischen und bildgebenden Befunde gestellt. Die Rekrutierung der Patienten erfolgte über die Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie / Plastische Operationen des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden im Rahmen der interdisziplinären kieferchirurgisch- kieferorthopädischen Dysgnathiesprechstunde. Insgesamt wurden n=48 Patienten untersucht, jedoch konnten nach Anwendung der Einschluss- und Ausschlusskriterien sowohl als auch nach erfolgten partiellem „drop out“ aus persönlichen oder zeitlichen Gründen abschließend n=31 Patienten in der Studie berücksichtigt werden.

Dabei lagen folgende Einschlusskriterien vor:

- Patienten mit geplanter Gaumennahterweiterung.

Die Ausschlusskriterien waren:

- Personen unter 18 Jahren, Schwangerschaft, wesentliche gesundheitliche Beeinträchtigungen (z.B. idiopathisches Parkinson-Syndrom, Niereninsuffizienz), die mit Störungen der Riechfunktion einhergehen können, akute oder chronische Entzündungen der Nase und Nasennebenhöhlen und relevante Vor- bzw. Begleiterkrankungen im HNO-Bereich.

Es waren abschließend 12 weibliche und 19 männliche Studienteilnehmer im Alter von 18 bis 50 Jahren (Altersdurchschnitt 26,3 Jahre).

Die Patienten wurden am ersten Tag des stationären Aufenthaltes initial kieferchirurgisch und allgemeinmedizinisch untersucht. Anschließend erfolgte die Erhebung der Anamnese zur Krankheitsvorgeschichte und zum subjektiven Riechvermögen. Nach Einholen der mündlichen und schriftlichen Einwilligung konnte die geplante Testung durchgeführt werden. Nach ca. 6 Monaten wurden die Patienten erneut einbestellt und die Testungen wiederholt.

3.3. Anamnesebogen

Die Erhebung der Anamnese erfolgte vor Untersuchungsbeginn bei allen Patienten. Diese diente dazu potenzielle Ausschlusskriterien zu detektieren und besonders relevante Vorerkrankungen zu eruieren, die im Untersuchungsablauf eine Relevanz haben hätten können.

Erfragt wurden spezifische Allgemeinerkrankungen, HNO- spezifische Krankheitsbilder und zu vorliegende operative Eingriffe im Kopfbereich sowie traumatische Ereignisse ebenda. Zusätzlich erfolgte die Befragung der subjektiven Einschätzung des Riechvermögens.

3.4 Olfaktorische Testung

Die psychophysische Riechtestung in dieser Studie erfolgte mithilfe der „Sniffin‘Sticks“ der Firma Burghart Messtechnik GmbH (Holm). Das Testverfahren findet weltweit Anwendung und ist in Deutschland die Untersuchungsmethode der ersten Wahl, um das orthonasale Riechvermögen zu untersuchen. Für den klinischen Alltag ist es ein kosteneffizientes,

schnelles und validiertes medizinisches Diagnostikverfahren, um Riechstörungen zu detektieren. (Hummel et al., 2001; Wolfensberger & Schnieper, 1999)

Es kann eine lateralisierte Untersuchung des orthonasalen Riechvermögens mit dem SDI-Test durchgeführt werden. Der Test wird in Module unterteilt, in denen die Fähigkeit zur Identifikation (I) und Diskrimination (D) von Gerüchen überprüft wird und zusätzlich die Riechschwelle (S) für 2- Phenylethylalkohol (PEA) festgestellt wird.

Allgemeiner Testaufbau SDI-Test:

In dieser Studie wurde die „Extended Test 2- Phenylethanol“ Testbatterie (Fa. Burghart Messtechnik GmbH) verwendet. Es erfolgte eine nicht seitengetrennte Untersuchung. Die Testbatterie besteht aus filzartige Duftspendern (14 cm lang und 1,3 cm im Durchmesser), die mit 4ml flüssigen Duftstoffen wie 2- Phenylethylalkohol (PEA) oder mit geruchsneutralem Propylenglykol getränkt sind und durch das Abnehmen der Stiftkappe freigesetzt werden. Die Stiftspitze wurde ca. 2cm unterhalb der Nase zwischen beide Nasenlöchern gehalten und den Patienten ca. 3s zum Riechen dargeboten. Grundsätzlich wird nur eine einmalige Duftstoffapplikation ermöglicht. Basierend auf der „forced-choice“ Methode musste sich der Patient immer für eine Antwort aus einer vorgegebenen Antwortauswahl entscheiden, auch wenn keine tatsächliche Duftwahrnehmung vorlag. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollten die Patienten vor der Untersuchung auf den Konsum von Nikotin, Bonbons und Kaugummis verzichten und es durfte eine Flüssigkeitsaufnahme nur mit klarem Wasser getätigt werden. Bei der Untersuchungsdurchführung wurden seitens des Untersuchers geruchsfreie Handschuhe getragen und der Patient mittels OP-Maske als Augenmaske verblindet. Lediglich bei dem Identifikationstest durfte die visuelle Wahrnehmung zur Identifikation der dargebotenen Düfte ermöglicht werden.

Der **Extended Test** (auch „**SDI-Test**“ – **S**chwelle, **D**iskrimination, **I**dentifikation genannt) besteht aus den genannten einzelnen Modulen. Jeder der einzelnen Tests erzeugt einen Punktwert, der am Ende zu einem SDI-Score aufsummiert wird. Durch den ermittelten Score kann eine Einstufung des Riechvermögens getätigt werden. Insgesamt besteht die Testbatterie aus 112 Riechstiften

- Schwellentest für PEA (16 Triplets = 48 Riechstifte)
- Diskriminationstest (16 Triplets = 48 Riechstifte)
- Identifikationstest 16, blau (16 Riechstifte)

3.4.1. Schwellentest

Der Schwellentest zur Bestimmung der Riechschwelle des Patienten wird als erstes in der Testreihe durchgeführt. Dabei werden Stifte in abgestufter Konzentration desselben Duftstoffes einmalig präsentiert bis der Patient diesen Duft erkennt oder denkt erkannt zu haben und somit die Wahrnehmungsschwelle des Patienten festgestellt werden kann. Das Prinzip ist das „forced-choice-staircase“-Verfahren. Es liegen 16 Triplets vor mit unterschiedlichen Verdünnungen von PEA beginnend mit der höchsten Duftstoffkonzentration von 4% (Stift 1) und absteigend in der Verdünnungsreihe bis 0,00012% (Stift 16). In dem Triplet enthalten zwei Stifte Lösungsmittel (Blanks) und ein Stift PEA (Target).

Die Aufgabe besteht darin, dass der Patient den Stift aus dem Triplet herausfindet, der den Duftstoff beinhaltet. Zu Beginn der Untersuchung wird dem Patienten das Target (Stift 1) vorgestellt, um ihn mit dem Duft vertraut zu machen, anschließend erfolgt die Untersuchung verblindet in aufsteigender Konzentration beginnend bei dem Stiftriolet 16. Der Patient wird verbal darauf hingewiesen, dass die Stiftpräsentation des Triplets erfolgt, da eine visuelle Wahrnehmung nicht möglich ist. Es werden in absteigender Reihenfolge die Stifte 16,14,12 usw. dargeboten, bis ein Triplett richtig erkannt wird. Eine korrekte Identifikation des Riechstoffes gilt nur dann, wenn dieser zweimal hintereinander bei der gleichen Verdünnungsstufe erkannt wurde. Somit wird ein Triplet nur dann ein zweites Mal vorgestellt, wenn initial der Duft richtig erkannt worden ist. Dieser Punkt gilt als Ausgangspunkt bzw. als Startpunkt der Schwellentestung. Ab dem Startpunkt wird die nächsthöhere Verdünnungsstufe angeboten, bis diese erneut zweimal hintereinander erkannt wird, solange bis eine falsche Entscheidung seitens des Patienten getroffen wird. Dies markiert den nächsten Wendepunkt der Untersuchung. Die Testung wird so lang durchgeführt bis sieben Wendepunkte durchlaufen sind. Das Ergebnis der Geruchschwelle wird aus dem Mittelwert der letzten 4 Wendepunkte ermittelt. Es ist ein Maximalscore von 16 und ein Minimalscore von 1 der durch den Patienten erreicht werden kann.

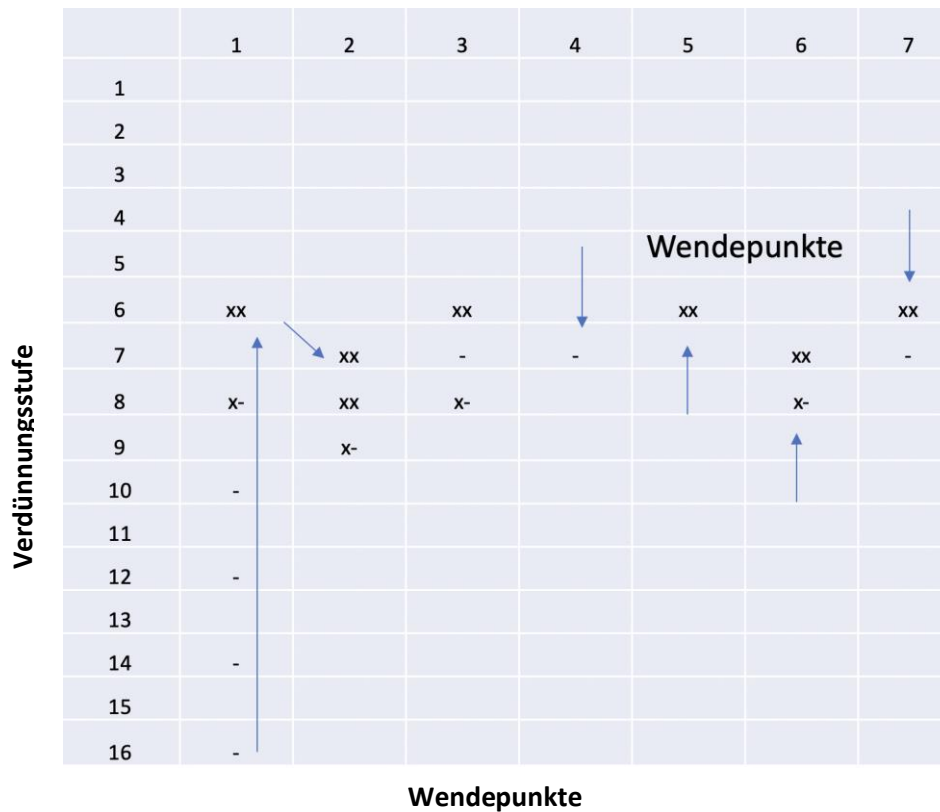


Abbildung 1: Schwellentest Ablaufschema

X = Target erkannt / - = Target nicht erkannt

Startpunkt bei Verdünnungsstufe 6, anschließend weiter mit der nächsthöheren Verdünnungsstufe bei 7

Die letzten 4 Wendepunkte siehe Pfeil sind für den S- Score relevant (7+6+8+6) / 4=6,75)

3.4.2 Diskriminationstest

Bei dem durchgeführten Diskriminationstest ist die Zielvorgabe, den anders riechenden Stift in einem dargebotenen Triplet zu detektieren. Es sind wie beim oben beschrieben Schwellentest 16 Triplets (je drei Stifte) vorhanden, wobei zwei Stifte einen identischen Duft aufweisen und ein Stift (Target) den anderen zu detektierend Duftstoff beinhaltet. Die Untersuchung erfolgte erneut verblindet und seitengleich. Dem Patienten wurden erneut die Stifte verbal vorangekündigt: „Achtung, Stift1! Stift2! Stift3!“. Der Abstand zwischen der Präsentation der einzelnen Triplets betrug ca. 15s. Es erfolgte auch hier das „forced-choice“ Prinzip. Die Auswahl eines Stiftes seitens des Patienten war obligat ohne die Möglichkeit der erneuten Darbietung des Triplets. Das Ergebnis rangiert zwischen Werten von 0 bis 16 als Summe der richtig erkannten Stifte.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Triplets	Rot			x	x				x					x		
	Grün	x	x			x		x		x	x	x	x			x
	Blau			x			x								x	

Untersuchungsreihenfolge

Abbildung 2: Diskriminationstest Auswertung

X = benannter Stift im Triplet / Grün= Target

Das Target wurde 9-mal erkannt, somit entspricht das Ergebnis/ Score D=9 Punkte

3.4.3 Identifikationstest

Als letztes Modul des gesamten SDI-Testes wurde der Identifikationstest durchgeführt. Es wurden dem Patienten 16 Stifte nacheinander vorgestellt mit einem ausreichenden Abstand von ca. 30s dazwischen. Die Stifte sind mit gängigen Düften und mit in einer überschwelligeren Intensität versehen, die eine Zuordnung seitens des Patienten grundsätzlich möglich machen sollten. Um eine Zuordnung zu ermöglichen, wurden dem Patienten pro Stift je vier Auswahlmöglichkeiten aus einer Karte vorgestellt. Die Darstellung erfolgte mittels Bildmaterials und schriftlicher Erläuterung. Somit erfolgte die Untersuchung unverblindet und der Patient hatte nur eine Antwortmöglichkeit im Sinne des „forced-multiple-choice“-Prinzip. Es wurden Punkte zwischen 0 und 16 vergeben. Pro richtig erkannten Duft wurde 1 Punkt vergeben, somit ergab die Summation der einzelnen Punkte den Gesamtwert des Identifikationstests.

1	Orange	Brombeere	Erdbeere	Ananas
2	Rauch	Schuhleder	Klebstoff	Gras
3	Honig	Vanille	Zimt	Schokolade
4	Schnittlauch	Zwiebel	Fichte	Pfefferminz
5	Kokos	Kirsche	Walnuss	Banane
6	Pfirsich	Apfel	Zitrone	Grapefruit
7	Gummibär	Lakritz	Kaugummi	Kekse
8	Terpentin	Gummi	Menthol	Senf
9	Knoblauch	Zwiebel	Sauerkraut	Möhren
10	Zigarette	Kaffee	Wein	Kerzenrauch
11	Melone	Pfirsich	Apfel	Orange
12	Senf	Pfeffer	Zimt	Gewürznelke
13	Birne	Pflaume	Pfirsich	Ananas
14	Kamille	Himbeere	Rose	Kirsche
15	Rum	Anis	Honig	Fichte
16	Fisch	Brot	Käse	Schinken

Abbildung 3: Identifikationstest Antwortmöglichkeiten

- Farbllich markiert sind die korrekten Antworten

3.4.4 Score - Berechnung SDI- Test und normative Referenzdaten

Nach Summation der Werte der einzelnen Subteste (Schwellen-, Diskrimination- und Identifikationswert) erhält man den SDI -Wert. Dieser kann Werte von 1 bis 48 einnehmen und kann somit eine quantitative, altersbezogene Einschätzung des Riechvermögen angeben. Zur Auswertung liegen veröffentlichte normative Daten für die unterschiedlichen Altersgruppen vor. Die Grenzwerte dienen zur Diagnostik von Normosmie, Hyposmie und Anosmie.

Als Referenzwerte für die Auswertung der Studienergebnisse werden die normativen Daten von Hummel et. al (2007) herangezogen . Diese werden in den folgenden Tabellen zur

Übersicht gebracht. Anzumerken ist, dass 2019 durch Oleszkiewicz et al. die normativen Daten aktualisiert wurden. Es erfolgte eine größere Verteilung der Altersgruppen und eine Anpassung der Referenzwerte. Zusätzlich wurde eine Kategorie der „Supersmellers“ bei SDI-Werten von über 41,5 beschrieben. (Hummel, Kobal, et al., 2007)

Eine Abgrenzung von Anosmie und Hyposmie gilt als altersunabhängig. Bei einem SDI-Wert von unter 16 liegt somit eine Anosmie in allen Altersgruppen vor. (Hummel, Kobal, et al., 2007)

Um zwischen einer Normosmie oder Hyposmie zu unterscheiden werden altersabhängige Referenzwerte herangezogen. Begründet ist dies in der bekannten Abnahme des Riechvermögens mit steigendem Alter. Hierbei wird die 10. Perzentile der jeweiligen Altersklasse als Grenze zwischen normosmisch und hyposmisch festgelegt. Ein Wert im Bereich der 10. Perzentile besagt, dass die Patienten grenzwertig normal oder fast hyposmisch sind. Werte darüber oder darunter sprechen für eine Normosmie oder Hyposmie. (Wolfensberger & Schnieper, 1999)

Alter (Jahren)	SDI-Score 10. Perzentile
< 15	24,9
16 - 35	30,3
36 - 55	27,3
> 55	19,6

Tabelle 1: SDI- Normwerte gesunder Probanden nach Altersgruppen nach Hummel et al., 2007

Diagnose	SDI - Wert
Normosmie	≥ 31
Hyposmie	16 - 30,3
Anosmie	≤ 16

Tabelle 2: Grenzwerte des SDI- Wertes bei der Altersgruppe 16-35 Jahre nach Hummel et al., 2007

3.5 Planung der chirurgischen Intervention

Die Operationsplanung erfolgte präoperativ in der interdisziplinären kieferchirurgisch-kieferorthopädischen Dysgnathiesprechstunde. Zum Festlegen des Behandlungskonzeptes wird die Anamnese erhoben bzw. aktualisiert. Bei Risikopatienten (Herzerkrankungen, Diabetes mellitus, Hypertonie, psychiatrischen Erkrankungen usw.) erfolgt vor Beginn der Behandlung eine allgemeinmedizinische/internistische oder fachärztliche und anästhesiologische Vorstellung, um eine Risiko-Nutzen-Abwägung zu

treffen. Anschließend werden Röntgenaufnahmen (FRS/OPG1/Clementsitsch/ggf. CT/DVT), Modelle und Fotos angefertigt. Die Diagnostik mittels seitlichem Fernröntgenbild (FRS) dient zur kephalometrischen Auswertung und Darstellung von skelettalen Anomalien. In dieser 2-dimensionalen Aufnahme können skelettale und dentale Referenzpunkte in der Mediansagittalebene des Gesichtsschädels festgelegt werden. Anschließend können Referenzlinien gezogen werden, die zur Strecken- und Winkelmessung genutzt werden. Abweichungen von normierten Werten beschreiben quantitativ die skelettale Disharmonie. In vielen Fällen werden zur Therapieplanung Schnittbildverfahren, insbesondere Dünnschicht- CT und DVT Aufnahmen eingesetzt (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011). Die Therapieplanung umfasst meist drei Phasen: die kieferorthopädische Vorbehandlung, die Dysgnathieoperation und die Nachbehandlung (kieferorthopädische Feineinstellung der Okklusion, Entfernung des Osteosynthesematerials, Retention).

Nach Erstellung des Behandlungskonzeptes erfolgte die Erläuterung des Behandlungsumfanges und die Aufklärung über mögliche Risiken wie intraoperative und postoperative Blutungen, Zahnschäden, Nervschädigungen, Wundinfektionen, Knochennekrosen, Rezidive, Kieferhöhlenerkrankungen u.a.

Es erfolgte anschließend eine digitale OP-Simulation mit der Software Z1-WinCeph (Abb.: 4) und eine Modell- OP mit ein artikulierten Ober- und Unterkiefer- Modelle (Abb.: 5). Die Herstellung von Zwischen- und Endsplinte sind bei bignathen Umstellungsosteotomien von Bedeutung. Bei monognathen Eingriffen wird kein Zwischensplint benötigt. Das Anpassen der Distraktionsapparatur wurde an den Gipsmodellen präoperativ durchgeführt.

Die stationäre Aufnahme erfolgte am OP-Vortag. Bei allen Patienten wurde der operative Eingriff in Allgemeinnarkose durchgeführt.

Abbildung 4: OP Simulation mit Z1 Winceph

Kephalometrische Referenzpunkte

Abbildung 5: Halbjustierter Planungsartikulator

zur Operationssimulation

Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum Dresden

3.6 Operative Verfahren

Transversale Oberkieferdistraktion / SARME

Bei einer transversalen Enge im Bereich des Oberkiefers nach Abschluss des Kieferwachstums und Verknöcherung der Sutura palatina ist die chirurgische Gaumennahterweiterung mit skelettal oder dental verankerten Apparaturen indiziert (Eufinger et al., 2021; Pinto et al., 2001).

Eine chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung mit dem Einbringen eines Distraktors wurde bei 28 Patienten durchgeführt. Es erfolgte die Gaumennahterweiterung nach Modus Glassmann (Glassman et al., 1984) mit situationsbedingten Modifikationen.

Die Schnittführung erfolgte im Oberkiefer vestibulum beidseits von regione dentis 16 bis 26. Anschließend das Abschieben des Mukoperiosts und die Darstellung der Apertura piriformis beidseits sowie der Spina nasalis und Christa zygomaticoalveolaris beidseits.

Die subperiostale Präparation wurde fortgeführt bis zum Processus pterygoideus bis dieser mit dem Raspatorium tastbar war. Anschließend folgte die Abpräparation des Nasenschlauches. Oberhalb der Wurzelspitzen ca. 3-5mm erfolgte die pyramidiale Osteotomie (Piezochirurgie) mit Durchtrennung der Nasenpfeiler, der fazialen Kieferhöhlenwände und Christa zygomaticoalveolaris beidseits. Der Nasenpfeiler wurde beidseits mit dem Nasenmeißel abgetrennt sowie das Nasenseptum an der Basis durchtrennt. Um irreguläre Frakturen im anterioren Bereich des Alveolarfortsatzes zu vermeiden wird eine Spaltung des Prämaxilla durchgeführt. Mit einem vertikal aufgesetzten Meißel in der Mittellinie der Spina nasalis anterior wurde die Sutura maxillaris mediana getrennt (Abb. 6a) (Eufinger et al., 2021; Hausamen, 2012).

Zusätzlich kann es in manchen Fällen notwendig sein, wenn durch die intraoperative Aktivierung des Distraktors keine ausreichende transversale Erweiterung realisierbar ist, die pterygomaxilläre Suture zu spalten. Bei 23 Patienten aus unserem Studienkollektiv erfolgte aufgrund der geringen Mobilität der Oberkieferhälften das Abschlagen des Pterygoids mit dem Hashimoto-Meißel.

Somit kann in der Sagittalebene eine Parallelposition der Oberkiefersegmente für die transversale Erweiterung ermöglicht werden. Es folgt das Fixieren des Distraktors (Abb. 6b) (Eufinger et al., 2021)) und die probeweise Aktivierung bis zu einem sichtbaren Diastema zwischen beiden Frontzähnen und bei einem symmetrischen Auseinanderweichen der Oberkiefersegmente. Der Distraktor wird abschließend auf Nullstellung zurückgedreht. (Eufinger et al., 2021; Feller et al., 1998a; Hausamen, 2012; Schimming et al., 2000)

Abbildung 6: Transversale Oberkieferdistraktion

a) sagittale Oberkieferspaltung mit dem Lambotte-Meißel. Die Christa zygomaticoalveolaris ist bereits durchtrennt
b) transpalatinal Distraktor in situ

Quelle:

Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: Operationslehre und -atlas; Eufinger H., Kübler A., Schliephake H.;
Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature; Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Oberkieferverlagerung

Bei einem Patienten aus unserem Untersuchungskollektiv erfolgte die Oberkieferverlagerung im Sinne einer Le-Fort-I-Osteotomie. Hierbei erfolgte die Schnittführung im Oberkiefervestibulum horizontal von der linken bis zur rechten Molarenregion (16 bis 26) (Abb. 7a (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011)) . Es wurden die Kieferhöhlenwände, die Crista zygomaticoalveolaris, die Nasenapertur, der pterygomaxilläre Übergang und der N. infraorbitalis beidseits dargestellt. Es folgte die Untertunnelung der basalen Nasenschleimhaut, der lateralen Nasenwände und des Nasenseptums und das Ablösen des Nasenschlauches. Die Osteotomie des Oberkiefers in der Le- Fort- I Ebene vom Ansatz des Pterygoids bis zur Apertura piriformis erfolgte piezochirurgisch. Anschließend wurde das Nasenseptum abgetrennt und der Oberkiefer retromaxillär vom Proc. pterygoideus mit dem Hashimoto- Meißel abgeschlagen. Der zahngetragene Oberkieferabschnitt wird manuell verlagert und als „Down fracture“ von der Kieferhöhlenhinterwand gelöst (Abb. 7b (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011)). Der mobilisierte Oberkieferanteil wurde mittels interokklusalem Splint mit dem Unterkiefer in die zuvor geplante Position fixiert (Abb. 7c (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011)). Abschließend erfolgt die Fixation der ossären Strukturen mittels Miniplattenostesynthese (siehe Abb.). (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011)

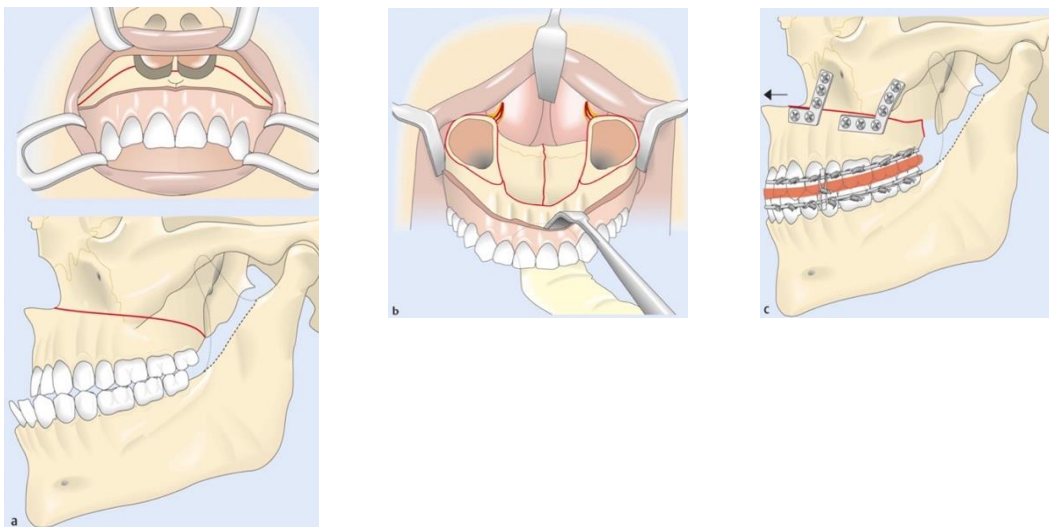


Abbildung 7: LeFort-I-Osteotomie

a) Osteotomielinien von ventral (Bild oben) und lateral (Bild unten)
b) „Down fracture“ des Oberkiefers
c) Positionierung des Oberkiefers mit Osteosynthese und Splint
Quelle: Mund-, Kiefer- Gesichtschirurgie; Schwenzer&Ehrenfeld; Thieme 2011
Mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags

Abbildung 8: OPG nach Oberkiefervorverlagerung

*Studienteilnehmer post operationem
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Universitätsklinikum Dresden*

Abbildung 9: FRS nach Oberkiefervorverlagerung

*Studienteilnehmer post operationem
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und
Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum Dresden*

Bimaxilläre Umstellungsosteotomie

Bei zwei Patienten erfolgte die bignathe oder bimaxilläre Osteotomie. Die Manifestation einer Dysgnathie betrifft häufig beide Kiefer. Ob eine Intervention in beide Kiefer stattfinden soll, hängt vom Ausmaß der Dysgnathie ab (Schwenzer & Ehrenfeld, 2011).

Zusätzlich zur Intervention im Oberkiefer erfolgte hier simultan die Umstellung des Unterkiefers, um ein zufriedenstellendes funktionelles und ästhetisches Ergebnis zu erzielen. Im ersten Schritt erfolgte die Osteotomie im Oberkiefer in der Le-Fort-I Ebene mit „Down fracture“ gefolgt (siehe Abbildung...) von der modifizierten sagittalen retromolaren Osteotomie im Unterkiefer Obwegeser-Dal Pont (Dal Pont, 1961; Trauner & Obwegeser, 1957). Siehe zur Übersicht (Abb. 10 und Abb. 11) die postoperative radiographische Bildgebung von einem unserer Studienpatienten.

Standardverfahren in der modernen orthognathen Chirurgie sind die bilaterale sagittale Spaltungsosteotomie im Unterkiefer und die Le-Fort-I Osteotomie im Oberkiefer (Roser et al., 2011).

Abbildung 10: OPG nach bimaxillärer Umstellungsosteotomie

*Studienteilnehmer post operationem
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Universitätsklinikum Dresden*

Abbildung 11: Aufnahme nach Clementschitsch

*Studienteilnehmer post operationem
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und
Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum Dresden*

3.7 Distraction und Distraktoren

Die aktive Distraction erfolgt am 5./6. postoperativen Tag durch den ärztlichen Kollegen und wird dem Patienten demonstriert. Die Entlassung des Patienten aus der stationären Behandlung erfolgt ca. am 7. postoperativen Tag, wenn eine sichere Distraction gewährleistet werden kann.

Die Distractionphase dauert ca. 2-3 Wochen. Die Distractionweite bzw. die endgültige Dimension der Distraction wird vom Kieferorthopäden festgelegt. Die tägliche Aktivierungsstrecke im Oberkiefer beträgt ca. 0,6mm, wenn die erforderliche Distanz erreicht ist, wird der Distraktor arretiert (verblockt). Eine Stellung des Distraktors erfolgt zweimal täglich um eine Drittel Umdrehung. Ein Distractionprotokoll wird erstellt und dem Patienten ausgehändigt.

Anschließend erfolgt die 4- bis 6- wöchige Retentionsphase. Der Distraktor wird bei suffizienter Re-ossifikation ca. nach 3 bis 6 Monaten entfernt.

Die anteriore Distraktionsweite gemessen an das Diastema mediale zwischen beiden mittleren Schneidezähnen wurde im Rahmen dieser Studie aus den klinischen Untersuchungsakten entnommen. Die Daten wurden im Rahmen der postoperativen Nachuntersuchungen in der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie in den Patientenakten dokumentiert.

Titamed Uni-Smile Distractor Delta System

Die standardisierten Distraktoren Titamed Uni-Smile (Fa. Titamed, Kontich, Belgien) sind transpalatinale Distraktoren und wurden bei 23 Patienten (n=23) angebracht im Rahmen der Intervention (Bsp. Abb. 12)

Die Apparatur besteht aus einem Distraktormodul im Sinne eines teleskopierenden Zylinders und zwei biegbare Abutmentplatten die seitlich am Gaumen aufliegen mit je 4 Pins, um eine bessere ossäre Abstützung zu gewährleisten, diese werden mit Ostesyntheseschrauben (2,3mm Durchmesser, Länge 6/7mm) fixiert. Das Distraktionsmodul ist farblich markiert und ermöglicht somit ein einfaches und anwenderfreundliches Stellungssystem. Intraoperativ erfolgt die initiale Weitung von +/- 1mm gemessen an den Abstand beider mittlerer Inzisivi zueinander (Diastema mediale). Jede 1/3 Umdrehung entspricht einer farblichen Markierung (0,3mm).

Abbildung 12: UNI-Smile Distraktor 14mm

*Patient aus der Studie mit transpalatinaler Distraktor Fa. Titamed
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum Dresden*

Dresden Distraktor

Die Distraction mittels dem Dresden Distraktors (DD) ist eine alternative minimalinvasive, zahnunanabhängige und knochengetragene Expansionsmethode. Die Kraftübertragung am Gaumen beim DD erfolgt über eine Palatinalsplitschraube/Hyraxschraube (Fa. Forestadent, Pforzheim, Deutschland) in der Mitte der Apparatur welche direkt am Gaumen auf der einen

Seite mit einem Implantat (EO-Implantat, Länge 4mm, Durchmesser 3,5mm, Auflage 5mm Durchmesser, Fa. Straumann, Basel, Schweiz) und auf der anderen Seite mit einer selbstschneidenden Knochen- Mini- Osesyntheschraube (Länge 9-13mm, Fa. Martin, Tuttlingen, Deutschland) befestigt wird. Die Apparatur wird im Rahmen der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung eingesetzt. (Hansen et al., 2007; Harzer et al., 2010; Tausche et al., 2009)

Im Rahmen der Studie erfolgte die Verwendung des Dresden Distraktors (Abb. 13) bei 4 Patienten (n=4).

Standardisierte Distraktoren erfordern aufgrund der individuell unterschiedlichen Anatomie der Symphyse einen hohen intraoperativen zeitlichen Aufwand zur Individualisierung der Distraktionsapparatur. Ein Vorteil der präoperativ hergestellten individuellen Distraktoren wie z.B. bei dem Dresden Distraktor ist die anatomische Passgenauigkeit und die Verkürzung der Operationszeit.

Abbildung 13: Dresden Distraktor

*Patientin aus unserer Studie mit Dresden Distraktor in situ mit Diastema mediale
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum Dresden*

Zahngetragener Distraktor

Bei einem Patienten (n=1) erfolgte das Einbringen eines zahngetragenen Distraktors im Sinne einer Hyraxschraubenapparatur (Abb. 14). Die Hyraxschraube ist an Bändern der Molaren und Prämolaren angeschweißt. Das Expansionsvorgehen besteht im zwei- bis dreimaligen täglichen Stellen der Hyraxspindel. Dabei kommt es zu einer transversalen Weitung von 0,2-0,6 mm am Tag (eine Vierteldrehung der Schraube entspricht 0,2mm in transversaler Richtung) .

Abbildung 14: Hyraxschraubenapparatur

*Patientin aus unserer Studie mit zahngetragenem Distraktor nach Distraction mit Bildung Diastema mediale
Quelle: Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum*

3.8 Untersuchungsablauf

Bei der Erstuntersuchung im Rahmen der Studie erfolgte präoperativ die Aufklärung der Patienten, das Einholen des Einverständnisses und das Erheben der Anamnese. Die Durchführung der olfaktorischen Testung erfolgte bei allen Patienten, die an der Studie initial teilnahmen, $n=49$. Die beiden Zeitpunkte der Messung lagen präoperativ und gegen Ende der Konsolidierungsphase ca. 6 Monaten post operationem um mögliche Rezidivtendenzen prinzipiell auszuschließen. Im Rahmen der Nachuntersuchung erfolgte erneut die SDI-Testung.

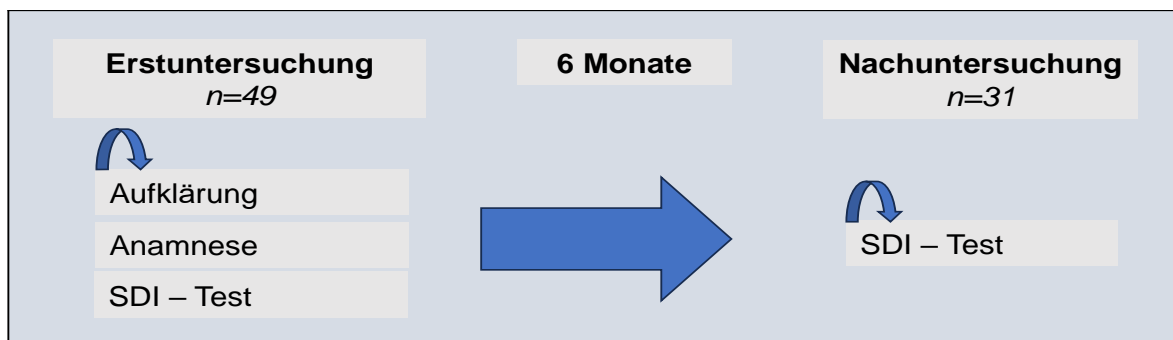


Abbildung 15: Graphische Darstellung des Untersuchungsablaufes

3.9 Datenauswertung

Die erhobenen Daten wurden strukturiert mit einer Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Excel für Mac erhoben, wobei die Patientendaten stets anonymisiert wurden.

Die statistische Auswertung und Analyse erfolgte mittels der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics (Statistical Packages for Social Sciences, Version 29 SPSS Inc., Chicago, USA).

Es erfolgte die Anwendung des t-Tests für verbundene Stichproben, für näherungsweise normalverteilte Daten innerhalb der Gruppe, bei dem die gepaarten Messungen der Merkmale voneinander abhängig sind. Es wurden stets die Mittelwerte der Messwerte errechnet, miteinander verglichen und die Standardabweichung ausgewiesen. Gewählt wurden ein Signifikanzniveau von $p=0,05$ und ein Konfidenzintervall von 95%.

Für die Beschreibung der Stärke des Zusammenhangs der Ergebnisse erfolgte die Anwendung des Korrelationskoeffizient nach Pearson. Die Effektgröße der Stichproben wurde als relativer Effekt oder Cohens d angegeben.

Zur Visualisierung und Darstellung der Ergebnisse im graphischen und tabellarischen Layout wurde Microsoft Excel für Mac, Microsoft Power Point für Mac, IBM SPSS Statistics und DATAtab: Online Statistics Calculator (DATAtab e.U., Graz, Österreich, URL <https://datatab>) verwendet.

Das Erstellen der Arbeit erfolgte mit Microsoft Word für Mac Version 16.72, das Verwalten der Literatur und das Anfertigen des Literaturverzeichnisses wurde mit Zotero Version 6.0.23 durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1. Patientenmerkmale

Die Verteilung der Patienten in unserem Studienkollektiv lag bei 19 (61%) männliche und 12 (39%) weibliche Patienten. Die Altersgrenzen waren bei 18 bis 52 Jahren ($MW = 26,3$ Jahre; $SD = 9,0$). Da die operative Therapie vorwiegend im Alter zwischen 19 und 30 Jahren durchgeführt wird, stellt sich die Altersverteilung der Probanden dieser Studie wie unter Diagramm 2 gezeigt dar.

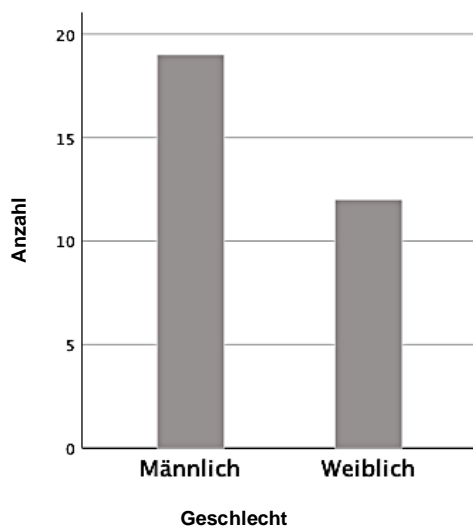


Diagramm 1: Geschlechterverteilung

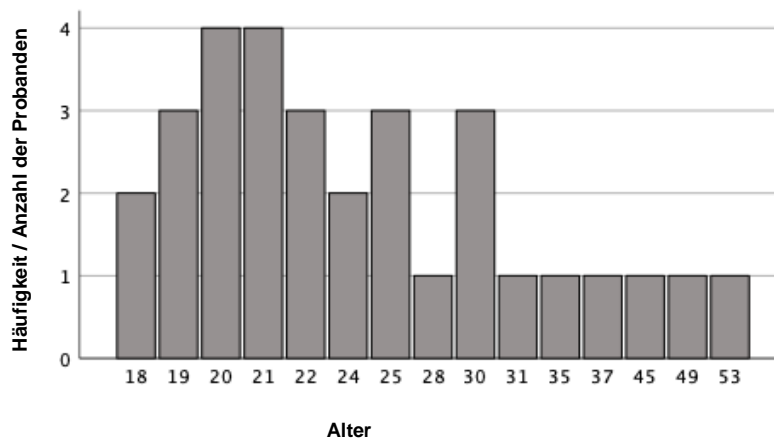


Diagramm 2: Altersverteilung

4.2. Ergebnisse der Olfaktorische Leistungstestung (SDI)

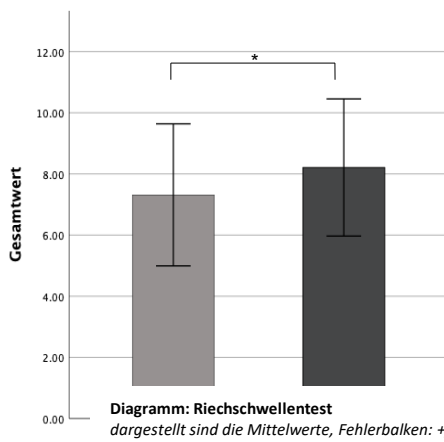
	n	Mittelwert	Standardabweichung
S präoperativ	31	7,31	2,32
S postoperativ	31	8,21	2,24
D präoperativ	31	11,13	2,5
D postoperativ	31	12,16	2,24
I präoperativ	31	12,55	2,26
I postoperativ	31	13,06	1,84
SDI präoperativ	31	31	4,65
SDI postoperativ	31	33,43	4,37

Tabelle 3: Mittelwert und Standardabweichung zu beiden Untersuchungszeitpunkten für den Schwellentest (S), Diskriminationstest (D), Identifikationstest (I) und den SDI- Score

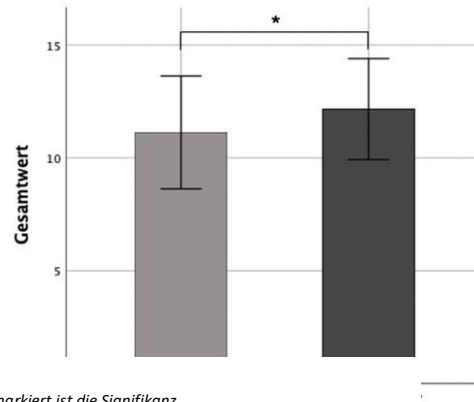
	t	df	p	Cohens d
S präoperativ – S postoperativ	-2,06	30	0,048	-0,37
D präoperativ – D postoperativ	-2,22	30	0,034	-0,4

	t	df	p	Cohens d
I präoperativ – I postoperativ	-2,19	30	0,037	-0,39
SDI präoperativ – SDI postoperativ	-3,32	30	0,002	-0,6

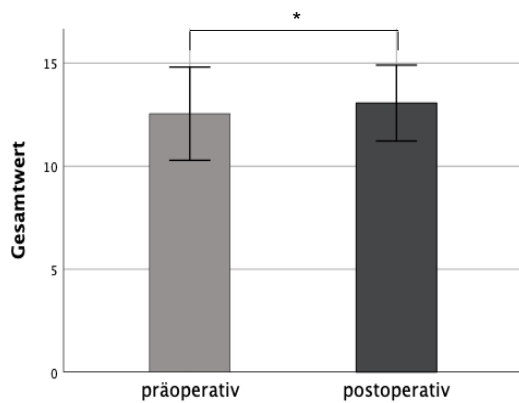
Tabelle 4: Ergebnisse t- Test für abhängige Stichproben



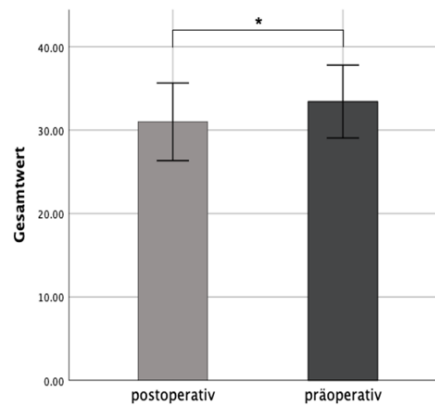
A: Riechschwellentest



B: Diskriminationstest



C: Identifikationstest



D: SDI- Wert

Abbildung 16: Ergebnisse der olfaktorischen Leistungstestung

dargestellt sind die Mittelwerte, Fehlerbalken: +/- 1 SD, mit * markiert ist die Signifikanz

A) Ergebnisse Riechschwellentest $p=0,048$

B) Ergebnisse Diskriminationstest $p=0,034$

C) Ergebnisse Identifikationstest $p=0,037$

D) SDI- Gesamtwert $p=0,002$

4.2.1 Interpretation der Ergebnisse für den Subtest Riechschwelle

Die Ergebnisse der Riechschwellentestung im Vergleich vor der operativen Intervention S präoperativ ($M = 7,31$; $SD = 2,32$) und nach der operativen Intervention S postoperativ ($M = 8,21$; $SD = 2,24$) lassen erkennen, dass der Unterschied statistisch signifikant war, $t(30) = -2,06$, $p = 0,048$, $d = 0,37$, **95% Konfidenzintervall $[-1,78, -0,01]$.**

Die Effektstärke nach Cohen (1992) zur Beurteilung der Größe des Effektes liegt bei $d < 0,5$ dies entspricht einem kleinen Effekt oder einem kleinen Unterschied zwischen den Untersuchungszeitpunkten (Cohen, 1992). Der p-Wert von 0,048 liegt unter dem festgelegten Signifikanzniveau von 0,05, somit zeigt das Ergebnis des durchgeführten t-Test, dass die vorliegenden Daten signifikant sind. Der Punktwert für die Sensitivität für PEA bei der Riechschwellenuntersuchung konnte postoperativ bei 19 Patienten (Mittelwert 6,4 vs. 8,4 Punkte) als erhöht angegeben werden und bei 12 Patienten (Mittelwert 8,7 vs. 7,4 Punkte) als geringgradig verringert. Auf individueller Ebene konnte bei 7 Patienten eine Steigerung des Wertes für die Riechschwelle um 2,5 Punkte verzeichnet werden, dies bedeutet eine individuelle Verbesserung der Riechleistung. Bei 2 Patienten konnte eine individuelle Verschlechterung befundet werden aufgrund einer Reduktion des Wertes um 2,5 Punkte.

4.2.2 Interpretation der Ergebnisse für den Subtest Diskrimination

Zum Zeitpunkt der Voruntersuchung waren die Werte niedriger ($M = 11,13$, $SD = 2,5$) als zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ($M = 12,16$, $SD = 2,24$). Bei 5 Patienten (19,4%)

konnte postoperativ ein geringerer Punktwert ermittelt werden (Mittelwert 12,2 vs. 9,2 Punkte), bei 7 Patienten (22,5%) ist dieser Punktwert in der Nachuntersuchung gleichgeblieben und bei 19 Patienten (61,3%) führte die chirurgische Intervention zu einer Steigerung des Punktwertes der Geruchsdiskrimination (Mittelwert 10,2 vs. 12,7 Punkte).

Der durchgeführte t-Test für abhängige Stichproben zeigte, dass der Unterschied statistisch signifikant war, $t(30) = -2,22$ $p = 0,034$, $d = 0,4$, **95% Konfidenzintervall [-1,98, -0,08]**. Die berechnete Effektstärke nach Cohen (1992) entspricht einem kleinen Effekt. (Cohen, 1992). Es ergibt sich ein p-Wert von 0,034 der damit unter dem festgelegten Signifikanzniveau von 0,05 liegt. Das t-Test Ergebnis ist daher für die vorliegenden Daten signifikant jedoch mit einem kleinen Effekt im Unterschiedsvergleich.

Die Auswertung der Ergebnisse lässt schlussfolgern, dass durch den chirurgischen Eingriff es zu einer Verbesserung der Werte im Vergleich kommt. Auf individueller Ebene betrachtet bedeutet dies, dass bei 5 Patienten eine Steigerung des Wertes für die Diskrimination um 3 Punkte verzeichnet werden und bei 4 Patienten eine Reduktion des Wertes um 3 Punkte, dies bedeutet eine individuelle Verbesserung der Riechleistung bzw. eine individuelle Verschlechterung.

4.2.3 Interpretation der Ergebnisse für den Subtest Identifikation

Betrachtet man die Ergebnisse des Identifikationstests so waren diese postoperativ bei 11 Patienten (35,5%) unverändert, bei 4 Patienten (12,9%) minimal schlechter (Mittelwert 14,5 vs. 13,5 Punkte) und bei 16 Patienten (51,6%) trat eine geringe Verbesserung (Mittelwert 12,3 vs. 13,4 Punkte) auf. Die statistischen Werte in der präoperativen Untersuchung waren niedriger ($M = 12,55$, $SD = 2,26$) als in der postoperativen Nachuntersuchung ($M = 13,06$, $SD = 1,84$). Die statistische Auswertung zeigte, dass dieser Unterschied statistisch signifikant war, $t(30) = -2,19$ $p = 0,037$, **95% Konfidenzintervall [-1, -0,03]**. Bei der vorliegenden Mittelwertdifferenz von 0,51 erreichten die Patienten in der Nachuntersuchung einen signifikant besseren Wert als zur präoperativen Voruntersuchung. Die ermittelte Effektstärke nach Cohen ($d = 0,39$) entspricht einem kleinen Effekt. Eine individuelle Verbesserung konnte jedoch nur bei 2 Patienten (Wertsteigerung um 3 Punkte) festgestellt werden.

4.2.4 Interpretation der Ergebnisse für den SDI-Gesamtwert

Um zwischen einer Normosmie und Hyposmie zu unterscheiden wird die 10. Perzentile der jeweiligen Altersklasse als Grenze zwischen normosmisch und hyposmisch festgelegt (siehe Kapitel 3.4.4). Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt auf Grundlage, der von

Hummel et al. (2007) veröffentlichen altersabhängigen normativen Daten (siehe dazu Tabellen 1&2). Zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung konnten bei 10 Patienten (32,26%) eine quantitative Riechstörung (Hyposmie oder funktionelle Anosmie) und bei 21 Patienten (67,4%) eine Normosmie festgestellt werden. Von den 10 Patienten (32,26%) mit eingeschränktem Riechvermögen wurden bei 9 Patienten (29,03%) eine Hypsomie und bei einem Patienten (3,23%) eine Anosmie festgestellt werden. In der Nachuntersuchung wurde bei 4 Patienten (12,90%) eine verringerte Riechwahrnehmung im Sinne einer Hyposmie diagnostiziert. 23 Patienten (74,2%) erzielten in der olfaktorischen Testung postoperativ insgesamt bessere Werte als präoperativ (Mittelwert 30,9 vs. 34,7 Punkte), bei 8 Patienten (25,8%) konnte eine Verringerung des SDI-Scores festgestellt werden (Mittelwert 32,1 vs. 29,8 Punkte). Betrachtet man auch hier die Veränderung auf individueller Ebene, so kommt es zu einer Verbesserung der Riechwahrnehmung bei 5 Patienten (Wertsteigerung um 5,5 Punkten) und bei 1 Patienten zu einer Verringerung (Wertminderung um 5,5 Punkten). Ein Anstieg des SDI- Gesamtwertes um 5,5 Punkte spiegelt bei den Patienten eine Verbesserung der Geruchsfunktion wider (Gudziol et al., 2006).

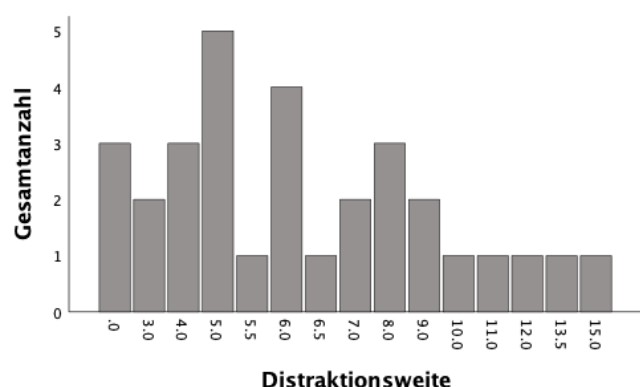
Die Werte des SDI präoperativ wiesen niedrigere Werte auf ($M = 31$, $SD = 4,65$) als die Werte des SDI-Scores postoperativ ($M = 33,43$, $SD = 4,37$).

Die durchgeführte statistische Auswertung zeigte, dass dieser Unterschied statistisch signifikant war, $t(30) = -3,32$, $p = 0,002$, $d = 0,6$, **95% Konfidenzintervall [-3,92, -0,93]** und das die Patienten im Vergleich postoperativ eine Verbesserung des Riechvermögens aufweisen.

Die Effektstärke nach Cohen (1992) ist bei einem Wert von $d = 0,6$ größer als 0,5 und entspricht damit einem mittleren Effekt. Das Ergebnis ist daher für die vorliegenden Daten signifikant und die Nullhypothese wird somit abgelehnt.

4.3 Distraktionsweite

n = 31	Distraktion (mm)
Mittelwert	6,34
Median	6
Standardabweichung	3,59
Minimum	0
Maximum	15



Die Werte für die *Distraktionsweite* gemessen an das *Diastema mediale* zwischen dem beiden *Inzisivi 11* und *21* wurden aus den klinischen *Patientenakten* retrospektiv entnommen. Bei drei *Patienten* wie im *Kapitel 3.6* beschrieben erfolgte eine *Oberkieferverlagerung* ohne *Distraction* der *Oberkieferhälften*, womit keine *Distraction* erfolgte. Bei 28 *Patienten* rangierte die *Distraktionsweite* von 3mm bis 15mm.

4.5 Zusammenhänge der Ergebnisse

Mit der *Korrelationsanalyse* nach *Pearson* wurde untersucht, welchen Einfluss die operative *Intervention* auf die *olfaktorische Funktion* hat. Hierzu wurde bei den vorhandenen *Daten* die *Differenz präoperativ / postoperativ* berechnet. Die *Daten* wurden zuvor in *SPSS* transformiert und anschließend untersucht, wie die *Variablen* miteinander in *Zusammenhang* stehen. Mit diesen *Differenzwerten* wurde der *Korrelationskoeffizient* nach *Pearson* bestimmt.

4.5.1 Korrelation zwischen dem SDI- Wert und der *Distraktionsweite*

Um den *Zusammenhang* zwischen der *anterioren Distraktionsweite* und dem *Riechvermögen* zu untersuchen, wurden die transformierten *Werte des SDI-Gesamtscore* mit der *Distraktionsweite* verglichen. Die *Mittelwerte* und *Standartabweichungen* wurden in *Tabelle 6* dargestellt.

n = 31	SDI transformiert	Distraction
Mittelwert	2,43	6,34

n = 31	SDI transformiert	Distraktion
Standardabweichung	4,07	3,59
Minimum	-6	0
Maximum	13,5	15

Tabelle 6: Statistische Werte nach erfolgter Transformation der SDI- Werte präoperativ/postoperativ und statistisch ermittelte Werte Distraktion

Es konnte gezeigt werden, dass zwischen der Distraktionsweite und dem Ergebnis der Riechtestung ein geringe, negative Korrelation vorliegt, $r(29) = -0.12$, $p = 0.508$. Es besteht somit kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Distraktionsweite und dem Ergebnis der olfaktorischen Leistungstestung.

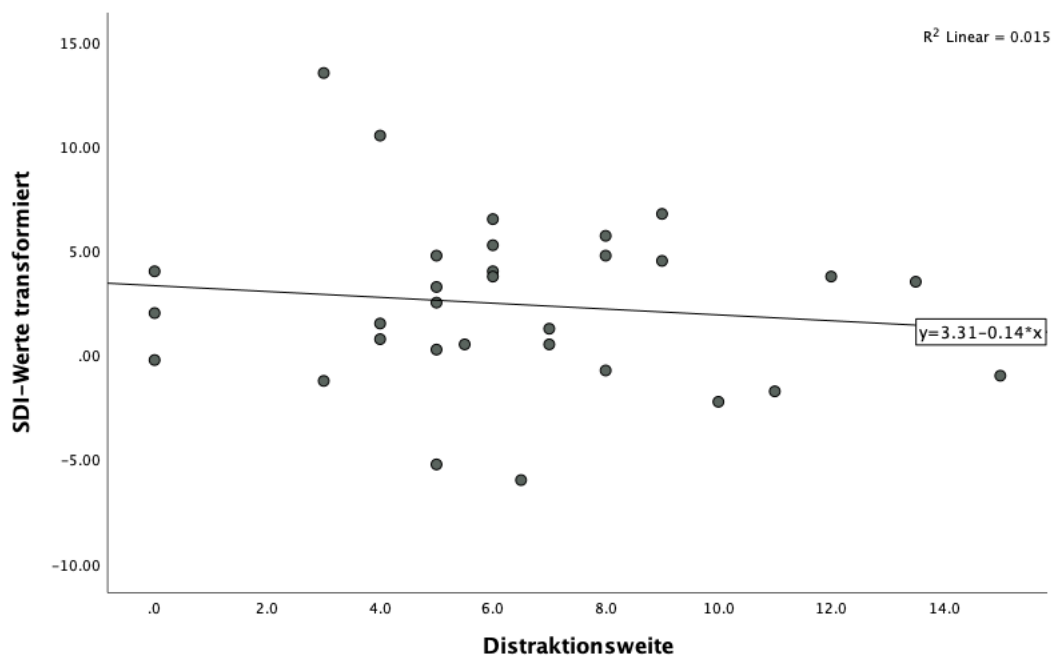


Abbildung 17: Streudiagramm mit Darstellung der Korrelation und Regressionsgeraden zwischen SDI- Wert und Distraktionsweite

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

- 74,2% der Patienten, die sich einem orthognathen chirurgischen Eingriff unterzogen haben, profitieren mit einer verbesserten Riechleistung gemessen am SDI-Wert.
- 10 Patienten wiesen präoperativ eine quantitative Riechstörung auf. Postoperativ waren es lediglich 4 bei denen eine verringerte Riechwahrnehmung diagnostiziert werden konnte.
- Die Sensitivität für PEA bei der Riechschwellenuntersuchung konnte postoperativ als verbessert angegeben werden.
- Bei den überschwelligen Tests Diskrimination und Identifikation führte die chirurgische Intervention ebenfalls zu einer moderaten Verbesserung der gemessenen Werte.
- Bei allen drei Subtests ist die Verbesserung der Werte statistisch signifikant, jedoch ist diese mit einer kleinen Effektstärke anzugeben.
- Zwischen der Distraktionsweite und der Riechleistung besteht kein signifikanter Zusammenhang.

5. Diskussion

5.1 Überblick und Relationen

Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung als therapeutisches Mittel bei der Behandlung des transversalen maxillären Defizites, bei skelettal ausgewachsenen Patienten hat sich als sichere Behandlungsmethode bewährt. Im Verlauf der Jahre erfolgte auf dem Gebiet der orthognathen Chirurgie eine rege Diskussion über die unterschiedlichen Herangehensweisen unter Berücksichtigung, welche ossären Strukturen eine Osteotomie oder Schwächung erfahren sollten. Über das primäre Ziel einer suffizienten transversalen skelettalen Weitung der Oberkieferhälften mit einer möglichst geringen dentalen Bewegung besteht eine klare Einigkeit der Forschenden zu diesem Thema. 2008 haben Suri und Taneja in einem Literatur-Review zur SARME die unterschiedlichen Studien und Behandlungsprotokolle untersucht und haben eine große Diversität in der operativen Herangehensweisen festgestellt (Suri & Taneja, 2008).

Aufgrund des fehlenden Konsenses im Bereich der wissenschaftlichen Publikationen zur SARME, obliegt es dem klinisch tätigen Kollegen eine operative Methode zu wählen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie zum Beispiel die Komplexität des Eingriffs, mögliche Risikofaktoren für den Patienten, die Auswirkungen auf das Hart- und Weichgewebe, die Auswirkungen auf die Atmung und weitere. Welche möglichen Effekte die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung auf die umliegenden Strukturen bedingt, ist Bestandteil von regem Interesse in den wissenschaftlichen Publikationen. Die Vielzahl der entsprechenden Veröffentlichungen zu den operativen Verfahren und den Auswirkungen auf die umliegenden Strukturen, müssen jedoch kritisch betrachtet werden aufgrund der Uneinigkeit bei den Untersuchungsmethoden und die zum Teil betrachteten geringen Fallzahlen.

Es ist bekannt, dass durch die transversale Distraction des Oberkiefers eine Verbesserung der Nasenatmung zu erwarten ist. Dies ist begründet in dem Sachverhalt, dass die Gaumennahterweiterung einen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse der nasalen Atemwege ausübt, indem potentielle Obstruktionen der Nasenwege verringert werden (da Silva Filho et al., 1995; Doruk et al., 2004a; Hartgerink et al., 1987; Seeberger, Kater, Schulte-Geers, et al., 2010; Timms, 1984; Wriedt et al., 2001b).

Doch wie verhält es sich mit der olfaktorischen Funktion? Studien zur Auswirkung der Gaumennahterweiterung auf die Nasenatmung sind vielfach getätigt worden mit unterschiedlichen Methodiken und in unterschiedlicher Qualität (Babacan et al., 2006; Basciftci et al., 2002; Doruk et al., 2004a, 2007; Hartgerink et al., 1987; Hershey et al., 1976; Neeley et al., 2007; Warren et al., 1987).

Könnte die verbesserte Nasenatmung, die durch die SARME entsteht, auch eine Verbesserung der Riechfunktion bedeuten?

In dieser prospektiven klinischen Studie verwendeten wir ein validiertes und reproduzierbares psychophysisches Testverfahren, die „Sniffin´ Sticks“, um ein besseres Verständnis zu erlangen welche postoperative Auswirkung diese chirurgische Intervention auf die olfaktorische Funktion einnimmt. Bis zum jetzigen Zeitpunkt ist dies die einzige Studie die, die olfaktorische Funktion unter Verwendung der Riechstifte „Sniffin´ Sticks“ nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung bei skelettal adulten Patienten evaluiert. Die weltweit in Studien und in der klinischen Praxis eingesetzten „Sniffin´ Sticks“ sind ein validiertes Verfahren zur umfassenden Beurteilung des Geruchssinnes (Hummel, Kobal, et al., 2007; Kobal et al., 1996, 2000). Durch zugrundeliegende Daten großer Patienten- und Probandengruppen ist es möglich das Riechvermögen zu kategorisieren in Normosmie, Hyposmie und Anosmie. Zusätzlich ist durch die Veröffentlichung von normativen Daten eine altersspezifische Auswertung der Ergebnisse möglich. Dies ist insbesondere wichtig, da sich das Riechvermögen mit steigendem Lebensalter verschlechtert (Hummel et al., 2009; Hummel, Kobal, et al., 2007; Kobal et al., 2000; Oleszkiewicz et al., 2019b). Vorteile des Testverfahrens sind die Erfassung verschiedener Riechfunktionen, die einfache Durchführbarkeit, die einfache standardisierte Testauswertung und die wiederholte Anwendbarkeit. Die Test-Retest-Reliabilität (für eine gesunde Gruppe) wurde für den Schwellentest mit $r=0.61$, den Diskriminationstest mit $r=0.54$ und den Identifikationstest mit $r=0.73$ angegeben (*Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen- Ohren-Heilkunde*, 2023).

Die bis dato vorliegenden Studien mit dem gleichen oder ähnlichen wissenschaftlichen Grundtenor untersuchten den Zusammenhang zwischen der *forcierten* Gaumennahterweiterung (RME) und der olfaktorischen Funktion bei Kindern und Jugendlichen (Ottaviano et al., 2014, 2018; Yıldırım et al., 2022).

Bei der Studie von Yıldırım et al. (2022) wurde die Veränderung der olfaktorische Funktion nach RME evaluiert. Untersucht wurden 40 Patienten mit einer Altersverteilung von 11 bis 16 Jahren. Es erfolgte die Erhebung der Riechschwelle für n-Butanol und die Untersuchung der Geruchsidentifikation (CCCRC Test) nach forcierter Gaumennahterweiterung. Die Ergebnisse aus der durchgeführten Studie beschreiben eine signifikante ($p<0,001$) Verbesserung der olfaktorischen Funktion sechs Monate nach erfolgter maxillärer Expansion (Yıldırım et al., 2022).

Ottaviano et al. (2014) untersuchten zunächst in ihrer Pilotstudie die Riechschwelle für n-Butanol (Sniffin´Sticks Test) und die nasale Durchgängigkeit vor und nach RME bei Kindern von 6 bis 12 Jahren (n=12). 2018 erfolgte dann eine randomisierte kontrollierte prospektive Studie mit der fast gleichen Fragestellung und Altersverteilung, hier wurde jedoch auf eine Kontrollgruppe geachtet (n=22). In beiden Studien (2014 & 2018) wurde eine signifikante Verbesserung der olfaktorische Funktion angegeben, gemessen an den Schwellenwert für n-Butanol (Ottaviano et al., 2014, 2018).

Die Arbeit von Oka et al. (2020) betrachtet einen Zusammenhang zwischen dem Riechvermögen und der maxillofazialen Morphologie bei Kindern mit einer Malokklusion (Oka et al., 2020). Sie beschreiben einen klaren Zusammenhang zwischen einer maxillären Hyperplasie bei Kindern und eine reduzierten Riechleistung.

5.2 Zusammenhänge und Limitationen in der durchgeführten Studie

Die Anzahl der Patienten die abschließend in dieser Pilotstudie teilnahmen sollte aufgrund der nicht alltäglich stattfindenden chirurgischen Intervention zunächst als ausreichend gewertet werden können, jedoch für eine eindeutige Bewertung ist die Fallzahl als kritisch zu betrachten.

Ein größeres Untersuchungskollektiv ist für die Darstellung von klinisch relevanten Unterschieden und für statistische Datenanalysen grundsätzlich erwünscht. Höhere Fallzahlen bedingen auch eine höhere statistische Power. Im Gegensatz zu den Studien von Ottaviano et al. (2014, 2018) und Yildirim (2022) wurden nur Patienten eingeschlossen, die das skelettale Wachstum abgeschlossen haben und die aufgrund einer maxillären Unterentwicklung sich der SARME unterzogen haben. Für die Studie konnte eine homogene Gruppe von 31 Patienten gebildet werden in einer Altersspanne von 18 bis 53 Jahren. Die Geschlechterverteilung mit 61% männlichen und 39% weiblichen Patienten ist als rein zufällig anzusehen. Ein geschlechtsspezifischer Zusammenhang zur Indikation für eine operative Intervention ist in epidemiologischen Studien nicht erwähnt. Ein geschlechtsspezifischer Einfluss besteht in der psychophysischen Testung der Riechleistung. Frauen schneiden bei Riechtestung besser ab als Männer aufgrund hormoneller Pathomechanismen, kognitiver Fähigkeiten, semantischem Gedächtnis und ausgeprägterer Verbalisierung (Doty & Cameron, 2009; Oleszkiewicz et al., 2019b; Sorokowski et al., 2019). In einer durchgeführten Meta-Analyse von Sorokowski et al. (2019) zu den geschlechtsspezifischen Unterschieden in der olfaktorischen Leistung konnte ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden, jedoch mit einer geringen Effektstärke (Sorokowski et al., 2019). Aufgrund des eher marginalen Einflusses des Geschlechts auf

das Riechvermögen wurde in dieser Studie dieser Vergleich nicht untersucht. Anzumerken ist, dass auf eine Kontrollgruppe verzichtet wurde, dies kann als Schwachpunkt im Studiendesign gewertet werden.

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass die chirurgische Gaumennahterweiterung ein positives Ergebnis für den größeren Anteil der Patienten darstellt hinsichtlich der Riechfunktion. Gemessen am SDI-Wert konnte eine postoperative Verbesserung der olfaktorischen Riechleistung bei 74,2% (Mittelwert 32,1 vs. 29,8 Punkten; $p=0,02$) der Patienten evaluiert werden. Bei 61,3% der Patienten konnte eine Verbesserung bei der Schwellentestung (Mittelwert 6,4 vs. 8,4 Punkte; $p=0,048$) und bei 51,3% der Studienteilnehmer eine Verbesserung bei der überschwelligem Testung Duftdiskrimination (Mittelwert 10,2 vs. 12,7 Punkte; $p=0,034$) und bei 51,6% beim Subtest Identifikation (Mittelwert 12,3 vs. 13,4 Punkte; $p=0,037$) festgestellt werden. Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass die positiven Veränderungen mehr die Riechschwelle betreffen als die Geruchsidentifikation und Geruchsdiskrimination. Ein möglicher Zusammenhang kann darin begründet sein, dass die verbesserten Werte der Riechschwelle für einen positiven Einfluss auf die periphere olfaktorische Funktion hinweisen was für eine bessere Durchflutung mit Duftmolekülen hindeuten könnte.

Erläuternd ist zu nennen, dass mit den „Sniffin´Sticks“ unterschiedliche Bereiche der Riechfunktion untersucht werden. Die überschwelligem Subteste Identifikation und Diskrimination spiegeln die zentrale olfaktorische Verarbeitung wider. Die Identifikation und Diskrimination von Gerüchen ist abhängig von v.a. höheren, komplexeren Hirnfunktionen (Speth et al., 2022). Die überschwelligem Teste sind stärker von der Kognition anhängig im Vergleich zu der Schwellentestung. Die Schwellentestung repräsentiert die periphere olfaktorische Funktion somit die periphere Aktivierung des olfaktorischen Epithels (Damm et al., 2003). Eine klare Trennung der peripheren und zentral-nervösen olfaktorischen Funktion ist jedoch nicht direkt möglich, da bestimmte Bereiche überlappend sind. Somit wird empfohlen die Schwellentestung und die überschwelligem Teste zur Anwendung zu bringen um eine höhere diagnostische Sicherheit in der psychophysischen Testung zu erzielen (Hummel & Podlesek, 2021).

In unserer Studie konnten bei allen drei Subtesten (Riechschwelle, Identifikation und Diskrimination) eine signifikante Veränderung jedoch mit einer kleinen Effektstärke festgestellt werden (S: $p=0,048$ $d=0,37$; D: $p=0,034$ $d=0,4$; I: $p=0,037$ $d=0,39$). Bei der Betrachtung des SDI- Wertes imponierte eine deutliche Signifikanz im Vergleich vor dem operativen Eingriff und nach dem operativen Eingriff mit einer mittleren Effektstärke nach Cohen (SDI: $p=0,002$ $d=0,6$).

Der Zusammenhang zwischen intranasalem Volumen, nasalem Luftstrom und der

olfaktorischen Funktion wurde von einigen Arbeitsgruppen untersucht (Damm et al., 2002b; Keyhani et al., 1997; Leopold, 1988; Zhao, 2004). Es sollten intranasale Bereiche/Segmente identifiziert werden, die eine Relation zur Geruchsfunktion aufweisen. Zur Darstellung der nasalen Geometrie, der Luftströmung und die Diffusion der Duftmoleküle bediente man sich dreidimensionalen Modellen generiert aus MRT- und CT-Daten und designt mit kommerzieller Software. Wie schon einleitend erläutert befindet sich das olfaktorische Epithel unterhalb der Lamina cribrosa, im oberen Bereich des nasalen Septums, im dorsalen Anteil der oberen Nasenmuschel und in Bereichen der mittleren Nasenmuschel. Ca. 15% des inspiratorischen Luftstroms tritt in Kontakt mit dem olfaktorischen Epithel, 50% des Luftstromes passieren den unteren und mittleren Nasengang wobei die geringste Geschwindigkeit sich im Bereich der Riechplatte manifestiert und eine relativ hohe Geschwindigkeit im unteren und mittleren Nasenganges (Zhao & Frye, 2015).

In der Studie von Damm et al. (2002) wird ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem intranasalen Volumen und der Schwellentestung für die Regionen des anterioren unteren und anterioren oberen Nasenganges beschrieben. Zusammenfassend wird postuliert, dass das intranasale Volumen den Bereichen unterhalb der Lamina cribrosa und der vordere, untere Nasengang als bestimmend für die olfaktorische Funktion gelten (Damm et al., 2002b). Laut Zhao (2004) trägt der Bereich um die Nasenklappe eine Schlüsselrolle für die Regulation des zentralen und lokalen nasalen Luftstroms, der die olfaktorische Region passiert. Unterschiede in den anterioren Anteile der Nasenhöhle haben eine große Bedeutung für die sensorische Funktion der Nase insbesondere der Geruchswahrnehmung (Zhao, 2004).

Obwohl in vielen Studien suggeriert wird, dass zum Beispiel bei rhinochirurgischen Interventionen eine Verbesserung des Geruchsinnes zu erwarten ist, sind die Erfolgsaussichten jedoch sehr unsicher. Es ist schwer, zu vorherzusagen welcher Patient eine Verbesserung oder gar Verschlechterung der olfaktorischen Funktion nach chirurgischer Intervention verzeichnen würde.

Gudziol et al. (2006) konnten einen klaren Zusammenhang zwischen der subjektiv wahrgenommenen verbesserten Geruchsfunktion mit der quantitativen Verbesserung des SDI- Wertes feststellen (Gudziol et al., 2006). Es konnte somit gezeigt werden, wie stark die Testergebnisse auf individueller Ebene ansteigen müssen, damit die Patienten auch eine Verbesserung wahrnehmen konnten. Ein Anstieg des SDI- Wertes um 5,5 Punkte, des Schwellenwertes um 2,5 Punkte und der Werte bei der Diskrimination und Identifikation um 3 Punkte reflektiert bei der Mehrheit der Patienten eine wahrgenommene Verbesserung der olfaktorischen Funktion (Gudziol et al., 2006).

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse können wir die Ergebnisse aus unserer Studie

auf individueller Ebene interpretieren und einen Anstieg des SDI- Wertes um 5,5 Punkte als Maß für die Verbesserung der olfaktorischen Funktion angeben. Eine Verbesserung des SDI-Wertes um 5,5 Punkte konnte bei 5 Patienten und eine Verschlechterung um 5,5 Punkte bei einem Patienten verzeichnet werden. Dies kann als eine Verbesserung bzw. als eine Verschlechterung der Geruchsfunktion gewertet werden. Ein Anstieg bei der Geruchsschwelle um 2,5 Punkte konnte bei 7 Patienten und eine Reduktion bei 2 Patienten festgestellt werden. Die Veränderungen spiegeln somit auf individueller Ebene einer Verbesserung bzw. einer Verschlechterung der Geruchsempfindlichkeit wider. Bei der Geruchsdiskrimination entsprachen die Veränderungen eine Steigerung um 3 Punkte bei 5 Patienten und eine Reduktion bei 4 Patienten. Beim Subtest Geruchsidentifikation konnte nur bei zwei Patienten eine Erhöhung des Wertes um 3 Punkte diagnostiziert werden. Ergänzend sollte erneut erwähnt werden, dass die Studienteilnehmer präoperativ und postoperativ zu keiner Zeit über eine Beeinträchtigung des Riechvermögens berichtet haben. Über eine bewusste subjektive Verbesserung des Geruchssinnes wurde jedoch auch nicht explizit berichtet, da die Patienten diesem Sachverhalt im Alltag keine hohe Wertigkeit zugemessen haben. Dies entspricht der Erkenntnis, dass der Geruchssinn im Alltag oft wenig beachtet wird. Zusätzlich ist die subjektive Einschätzung des Riechvermögens von der aktuellen Stimmung, der Motivation und den Beweggründe des Patienten abhängig (Gudziol et al., 2006).

Betrachtet man die Ergebnisse in der von uns durchgeführten Studie auch aus rein mathematischen Gesichtspunkten so könnte interpretiert werden, dass nicht alle Patienten von der chirurgischen Intervention profitiert haben.

Bei 38,7% der Studienteilnehmer kam es postoperativ zu einer Verringerung der Werte bei der Schwellentestung (Mittelwert 8,7 vs. 7,4 Punkte). Bei den überschwelliger Untersuchungen konnten Verringerung der gemessenen Werten bei der Diskrimination bei 16,1% (Mittelwert 12,2 vs. 9,2 Punkte) und bei der Identifikation bei 12,9% (Mittelwert 14,5 vs. 15,5 Punkte) der Teilnehmer festgestellt werden.

Bei 22,6 % der Studienteilnehmer konnte bei der Diskrimination keine Veränderung der Ergebnisse festgestellt werden und bei der Identifikation bei 35,5% konnten postoperativ ebenfalls keine Unterschiede diagnostiziert werden.

Den SDI- Wert betrachtend kam es bei 25,8% (Mittelwert 32,4 vs. 30,4 Punkte) der Studienteilnehmer zu einer Reduktion der gemessenen Werte.

Mögliche Ursachen können die chirurgische Intervention an sich betreffen, oder gar unterschiedliche Schwellungszustände der nasalen Schleimhaut und die damit einhergehende Einengung des Nasenlumens. Diverse Obstruktionen bedingt durch den physiologischen Nasenzyklus und die damit verbundene Beeinträchtigung der intranasalen Luftströmung sollten auch berücksichtigt werden.

Eccles et al. (1989) konnten keinen Einfluss des Nasenwegswiderstandes auf die olfaktorische Funktion im Sinne der olfaktorischen Schwellentestung für Vanillin feststellen. Die Ergebnisse aus ihrer Studie durchgeführt an gesunden Probanden zeigten, dass der Schwellenwert für einen Geruch nicht durch den Nasenwiderstand beeinflusst wird. Zusätzlich wurde beschrieben, dass trotz einer vorhandenen Nasenwiderstand ein angemessener Luftstrom erreicht werden kann, indem der Atemaufwand erhöht wurde (Eccles et al., 1989).

Die Fähigkeit, Gerüche zu erkennen und zu unterscheiden, hängt somit nicht nur von der Konzentration der Geruchsmoleküle in der Umgebung ab, sondern auch von der Effizienz des Luftstroms durch die Nasenwege.

Nach Auswertung der Ergebnisse auf Grundlage der veröffentlichten altersabhängigen normativen Daten wurde anfänglich bei 10 Patienten (32,3%) eine quantitative Riechstörung diagnostiziert. Davon wies ein Patient eine Anosmie auf und 9 Patienten eine Hyposmie. Nach Speth et al. (2022) wird die funktionelle Anosmie als quantitativ reduzierter Riechsinn beschrieben, wobei der Patient keine brauchbare Funktion im täglichen Leben erreicht (Speth et al., 2022). Postoperativ konnten wir nur bei 4 Patienten (12,9%) eine verringerte Riechwahrnehmung im Sinne einer Hyposmie diagnostizieren. Es lässt sich aus den dargestellten Ergebnissen schlussfolgern, dass der chirurgische Eingriff der Gaumennahterweiterung einen positiven Nebeneffekt im Sinne der verbesserten Riechleistung mit sich bringt.

5.3 Wissenschaftliche Betrachtung und Zusammenhänge zu weiteren Studien

5.3.2 Gaumennahterweiterung und olfaktorische Funktion

Yildirim et al. (2022) untersuchten den Effekt der forcierten Gaumennahterweiterung (RME) auf die olfaktorische Funktion im Sinne einer Veränderung der Riechschwelle bei heranwachsenden (11-16 Jahre). Es wird über den Zusammenhang zwischen einer maxillären Hypoplasie und der Mundatmung mit einem inadäquaten nasalen Luftfluss bei Kindern berichtet. Ein Wechsel von der Mundatmung zur Nasenatmung nach RME assoziiert auch einen verbesserten nasalen Luftfluss und somit eine verbesserte Riechleistung. Die verwendete psychophysische Riechtestung in der beschriebenen Studie beinhaltete die Schwellentestung für n-Butanol und einen Identifikationstest (CCCRC Test). Zusätzlich wurde rhinologisch die akustische Rhinometrie angewandt. Die Untersuchungen fanden vor Intervention und sechs Monaten nach Intervention statt. Bei allen Patienten wurde über eine signifikante Verbesserung der untersuchten Parameter berichtet ($p < 0.001$). Weiterhin wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Verbesserung der

Ergebnisse der Riechtestung auf einen möglichen „Lerneffekt“ bei Kindern zurückzuführen sein könnte (Yıldırım et al., 2022).

Zusätzlich sollte auf den angewandten psychophysischen Test (CCCRC) hingewiesen werden. Ein deutlicher Nachteil des Tests ist die schlechte Validierung und die niedrige Test-Retest Zuverlässigkeit ($r=0.36$) für die n-Butanol Schwellenbestimmung. Die Aussagekraft eines signifikanten Unterschiedes zwischen zwei Untersuchungen bei der Bestimmung der Schwelle für n-Butanol, wird als gering eingeschätzt (*Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen- Ohren-Heilkunde, 2023*).

Ottaviano et al. (2014) untersuchten in einer Pilotstudie bei 12 Kindern die Riechschwelle für n-Butanol vor und nach forcierter Gaumennahterweiterung (RME). Die Altersspanne der untersuchten Kinder war zwischen 6 und 12 Jahren. Zur Anwendung kamen die „Sniffin´Sticks“ zur Bestimmung der Riechschwelle für n-Butanol und der Nez du Vin Test als Identifikation- Screenigtest für sechs Düfte (Zitrone, Minze, Erdbeere, Kiefer, Vanille, Rauch) nach McMahon and Scadding (1996) (McMAHON & Scadding, 1996). In der Studie wurde über eine signifikante Veränderung der Werte für die Riechschwelle für n-Butanol vor und sechs Monate nach der forcierten GNE berichtet ($p=0,038$). Allgemein wurde geschlussfolgert, dass dieses Ergebnis in Beziehung steht mit dem besseren nasalen Luftfluss und somit führend zu einer besseren Durchflutung des olfaktorischen Epithel was mit einer geringeren olfaktorischen Schwelle einhergeht (Ottaviano et al., 2014).

2018 erweiterten Ottaviano et al. ihre Pilotstudie von 2014 und berücksichtigten eine Kontrollgruppe im Studiendesign berücksichtigt. Es erfolgte erneut die Betrachtung der olfaktorischen Funktion vor und nach forcierter Gaumennahterweiterung bei Kindern in der Altersspanne von 6 bis 11 Jahren. In der Studie von 2018 waren 11 Patienten in der Interventionsgruppe und 11 in der Kontrollgruppe. Die Ergebnisse der Schwellentestung zeigen wie auch 2014 eine signifikante Veränderung der Werte ($p=0,0003$). Eine Signifikanz konnte in der Kontrollgruppe nicht festgestellt werden. Die Autoren beschreiben dies als einen wichtigen Hinweis, dass die Gaumennahterweiterung Veränderungen determiniert und die Variation der Ergebnisse nicht auf einen möglichen „Lerneffekt“ oder gar das Wachstum der Kinder zurückzuführen sind (Ottaviano et al., 2018). Aufgrund der geringen Fallzahlen in den Studien von 2014 und 2018 müssen die Ergebnisse kritisch betrachtet werden.

Sanger (1993) beschäftigte sich in seiner Dissertation an der University of Connecticut mit der Evaluation der olfaktorischen und gustatorischen Funktion nach orthognather Chirurgie (Sanger, 1993). Untersucht wurden mögliche Veränderungen des Riech- und Schmeckvermögens bei Patienten (18 bis 36 Jahren) vor und nach monognathen oder bignathen Eingriffen im Sinne einer Le-Fort- I Osteotomie, einer BSSRO (bilateral sagittal

split ramus osteotomy) oder einer bimaxillären Umstellungsosteotomie. Zur olfaktorischen Leistungstestung erfolgte die Verwendung des CCCRC Test (Geruchsschwelle für n-Butanol und Geruchsidentifikation) nach Cain (Cain et al., 1988). Bei den Ergebnissen von Sanger konnte kein signifikanter Unterschied der olfaktorischen Funktion sechs Monaten postoperativ festgestellt werden. Auch die Auswertung der lateralisierten Testung ergab keine signifikanten Unterschiede. Die geringe Fallzahl von 5 Patienten ist natürlich als kritisch zu werten, um eine generalisierte Aussage zu treffen. In unsere Studiengruppe konnten wir bei den zwei Patienten, die eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie erhielten, eine Verbesserung des SDI-Wertes postoperativ feststellen. Dies ist jedoch nicht repräsentativ und sollte gegebenenfalls bei einer größeren Fallzahl erneut überprüft werden.

5.3.2 Gaumennahterweiterung und Nasenatmung

Die anatomischen Veränderungen, die durch die transversale Oberkieferdistraction verursacht werden, wurden einleitend erläutert. Primäre Veränderungen beziehen sich nicht nur auf dentoalveoläre und maxillär-basale Strukturen, sondern betreffen auch nasale Strukturen des Gesichtsschädels. In der Studie von Wriedt et al. (2001) zu SARME konnte eindeutig festgestellt werden, dass die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung zu einer Vergrößerung des Nasenvolumens und der Nasenklappe führt, was mit einer Verbesserung der Nasenatmung einhergeht (Wriedt et al., 2001a). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Kunkel et al. (1999) die beschreiben, dass neben der Weitung des Zahnbogens die GNE eine Voraussetzung schafft für die Verbesserung der Nasenatmung durch Vergrößerung des Nasenklappenquerschnitts. Doruk et al. (2004,2007) machen das transversale maxilläre Defizit für eine Einengung der Nasenklappe verantwortlich und gehen davon aus dass man durch die Weitung des Oberkiefers dieses Defizit beheben könnte (Doruk et al., 2004a, 2007).

Tausche et al. (2009) und Deeb et al. (2010) untersuchten in computertomografisch gestützten Untersuchungen die Auswirkung der SARME auf das Nasenvolumen. Beide kamen zu dem Ergebnis, dass die Nasenvolumenzunahme sich insbesondere im Bereich der vorderen unteren Nasenhöhle, im Bereich der Nasenklappe konzentrierte (Deeb et al., 2010; Tausche et al., 2009). Seeberger et al. (2010) kommen zu dem gleichen Ergebnis und beschreiben den Bereich der vorderen unteren Nasenhöhle als die Region mit dem höchsten Atemwegswiderstand (Seeberger, Kater, Schulte-Geers, et al., 2010).

Einige Autoren verwendeten für ihre Studien die akustischen Rhinometrie als Methode zur Untersuchung der Auswirkung der Gaumennahterweiterung auf die nasale Geometrie. Mit der akustischen Rhinometrie als Messverfahren, das von Hilberg (1989) erstmalig

vorgestellt wurde, lassen sich Querschnittsprofile der Nasenwege errechnen (Grymer et al., 1989; Hilberg et al., 1989; Shemen & Hamburg, 1997). Viele der Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Weitung des Oberkiefers eine unmittelbare skelettale Auswirkung auf die Nasenhöhle aufweist mit einer Volumenzunahme von 17 bis 21% (Babacan et al., 2006; Kunkel et al., 1999; Wriedt et al., 2001a). Enoki et al. (2006) konnten in Ihren Untersuchungen zur Auswirkung der forcierten Gaumennahterweiterung mit akustischer Rhinometrie keine signifikante Änderung im Bereich der Nasenklappe und der unteren Nasenmuschel feststellen. Sie vermuten, dass die Divergenz der Ergebnisse auf die Schwellung der Nasenschleimhaut zurückzuführen ist, da keine abschwellenden Nasentropfen verwendet wurden und dies zu einer Verzerrung der Werte der akustischen Rhinometrie führte (Enoki et al., 2006). Durch die unterschiedlichen Schwellungszustände der Nasenschleimhaut ergeben sich Unsicherheiten bei der akustischen Rhinometrie (Tausche et al., 2009).

In einer prospektiven longitudinalen Studie untersuchten Magnusson et al. (2011) den Effekt der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung auf das nasale Volumen und dem Atemwegwiderstand präoperativ, 3 Monate und 18 Monate postoperativ. Die rhinologische Untersuchung beinhaltete u.a. die akustische Rhinometrie und die anteriore Rhinomanometrie. Drei Monate nach Intervention berichteten die Autoren über eine Zunahme der minimalen Nasenquerschnittsflächen sowohl im vorderen als auch im hinteren Bereich und über eine Abnahme des Atemwegwiderstands. Achtzehn Monate nach erfolgter Gaumennahterweiterung konnte festgestellt werden, dass die zuvor beschriebenen Effekte nicht langfristig nachweisbar waren. Nur die Erweiterung bzw. die Veränderung im hinteren minimalen Querschnittsflächen waren anhaltend, welche den Bereich der unteren Nasenmuschel und der oberen Nasenklappe darstellt (Magnusson et al., 2011).

Wie schon einleitend erläutert können Störungen oder Verengungen im Bereich der Nasenklappe Auswirkungen auf die Nasenatmung und somit auch auf die olfaktorische Funktion einer Person haben.

Auch in unserer Pilotstudie erfolgte zusätzlich die Anwendung der akustischen Rhinometrie. Diese wurde nur bei einem Teil der Patienten durchgeführt. Aus technischen Gründen konnten die rhinometrischen Daten von nur 5 Patienten ausgewertet werden. Eine Fallzahl von fünf Patienten verbietet uns eine ausführliche statistische Auswertung. Die Betrachtung der Ergebnisse soll hier lediglich als Übersicht dienen und erlauben uns keine Schlussfolgerungen zu ziehen. Es erfolgte die Auswertung der minimalen Querschnittsflächen (MCA) der gesamten Nasengänge und des Nasenvolumens vor und nach chirurgischer Intervention und die Ergebnisse in Korrelation zu den SDI-Werten

gebracht. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Gesamtquerschnittsflächen MCA (SDI/MCA links $p = 0,958$; SDI/MCA rechts $p = 0,58$) und dem SDI-Wert und zwischen den Gesamtvolumina und dem SDI-Wert festgestellt werden (SDI/Volumen links $p = 0,57$; SDI/Volumen rechts $p = 0,49$).

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die akustische Rhinometrie eine geometrische Vermessung des Naseninneren ermöglicht und somit Lokalisation und Ausmaß von Engstellen geometrisch bestimmt werden können. Es können jedoch keine strömungsmechanischen Aussagen über die Größe einer potenziellen Obstruktion getroffen werden. Dies ist durch die Rhinoresistometrie möglich. Um eine Verbesserung der Diagnostik von nasalen Obstruktionen zu ermöglichen, wird eine Kombination von Rhinoresistometrie und akustischer Rhinometrie empfohlen um das Ausmaß und die Ursache der Obstruktion objektiv zu bestimmen (Mlynski & Pirsig, 2018). Es sollten für zukünftige Studien die einen Zusammenhang zwischen den nasalen Atemwegen und der orthognathen Chirurgie des Oberkiefers untersuchen, beide Messverfahren in Betracht gezogen werden, um geometrische und strömungsmechanische Aussagen treffen zu können. Weiterhin ist eine computertomographische Bildgebung zur Vermessung möglich, jedoch aufgrund der Strahlenbelastung mit Vorsicht anzuwenden. Doruk et al. (2007) verglichen die Nasenhöhlengeometrie mit der akustischen Rhinometrie und der Computertomographie und fanden keine signifikanten Unterschiede bei den ermittelten Ergebnisse (Doruk et al., 2007). Somit sollte der akustischen Rhinometrie in Studien Vorrang gegeben werden, um eine Strahlenbelastung zu vermeiden.

Radiographische Untersuchungen im Rahmen unserer Studie wurden aus ethischen Gründen nicht durchgeführt. Aufgrund der schon im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie häufig durchgeführte Bildgebung wäre im Rahmen der Studie eine erneute Strahlenexposition nicht vertretbar. Computertomografie (CT) kann aufgrund der hohen Strahlenbelastung nicht routinemäßig zur Evaluation angewandt werden. Die Magnetresonanztomographie (MRT) kommt aufgrund der angebrachten festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen bei den Probanden nur bedingt als Möglichkeit in Frage. Das Magnetfeld beim MRT kann einen erheblichen Einfluss auf die magnetisierbaren Werkstoffe haben. Eine Alternative jedoch stellt die digitale Volumentomografie (DVT) dar, diese Bildgebung könnte künftig zu Studienzwecken aufgrund der geringeren Strahlenbelastung herangezogen werden. Mit daraus generierten dreidimensionalen Datensätzen ist es möglich, mit computergestützten numerischen Methoden Modelle herzustellen, die eine Darstellung und Analyse von komplexen Geometrien ermöglichen. Mit CFD (Computational Fluid Dynamics) Modellierungstechniken kann man anatomieabhängige Veränderungen quantifizieren.

Perspektivisch ist es denkbar, dass CFD-Modelle als eine effektive Methode anerkannt werden, um den Einfluss der Nasenwegsanatomie und des nasalen Luftstroms auf den Geruchssinn vorherzusagen (Li et al., 2018).

5.4 Operationsmethoden

Die Patienten aus unserem Studienkollektiv, die sich einer Gaumennahterweiterung unterzogen haben (n =28) wurden in der beschriebenen Methodik nach Glassman operiert (Glassman et al., 1984). Die angegebenen Vorteile dieser Technik sind unter anderem das Vermeiden der palatinalen Osteotomie und der chirurgischen Manipulation im pterygomaxillären Bereich. Damit wird das mögliche Blutungsrisiko gesenkt und Schäden des Canalis incisivus vermieden. Diese eher konservative Technik mit Schwächung des zygomaticomaxillären Stützpfiler wird seitens Lehmann (1984), Feller (1998) und Schimming (2000) als ausreichend und suffizient beschrieben um den Expansionswiderstand zu reduzieren (Feller et al., 1998b; Lehman et al., 1984; Schimming et al., 2000). Jedoch können verschiedene Modifikationen in Betracht gezogen werden, wenn im höheren Lebensalter der Patienten eine zusätzliche Schwächung weiterer Strukturen erfolgen soll um mögliche Komplikationen, die u.a. im Bereich der Schädelbasis entstehen könnten zu minimieren. Die transversalen Kräfte, die bei der Gaumennahterweiterung auftreten werden über die pterygomaxilläre Verbindung auf das Os sphenoidale übertragen. Es kommt zu einer Spannungsentwicklung im Bereich des Sphenoids durch die Verbiegungen der Pterygoidfortsätze (Chaconas & Caputo, 1982; Holberg et al., 2007; Jafari et al., 2003). Eine Trennung der Maxilla vom Pterygoid im Erwachsenenalter wird von einigen Autoren propagandiert um Komplikationen im Bereich der Schädelbasis zu vermeiden (Holberg et al., 2007; Jafari et al., 2003; Lanigan & Mintz, 2002; Matteini & Mommaerts, 2001). Lanigan und Mintz (2002) konnten in einer Fallstudie berichten über einer Fraktur im Os sphenoidale nach chirurgischer Gaumennahterweiterung ohne Trennung der pterygomaxillären Verbindung mit Schädigung des N. oculomotorius (Lanigan & Mintz, 2002). Konträr dazu ist zu erwähnen, dass ein Vorteil der unvollständigen Schwächung die bessere Durchblutung der Gewebe ermöglicht wird und, dass Risiken wie das Auftreten von unkontrollierten Blutungen und mögliche Asymmetrien bei der Bewegung der Segmente vermieden werden können. Bei 23 Patienten erfolgte im Rahmen der operativen Therapie die zusätzliche Schwächung der Sutura pterygomaxillaris aufgrund von geringer Mobilisation und großen Spannungsspitzen im operativen „setting“. Die operative Therapie bei 3 Patienten beinhaltete die Le-Fort-I Osteotomie mit „down fracture“. Die Operationsmethoden wurden stets individuell so gewählt, dass alle relevanten Widerstandszonen ausreichend geschwächt werden und es zu einer zufriedenstellenden Mobilisation der knöchernen Kiefersegmente kommt, um eine

suffiziente Erweiterung nicht zu behindern. Einige Chirurgen versuchen jedoch ihre Techniken so zu modifizieren, um das Ausmaß der Intervention zu reduzieren damit eine besondere Schonung der Patienten ermöglicht werden kann. Rohner et al. (2001) beschreiben die Möglichkeit einer minimalinvasiven endoskopisch gestützten Le-Fort-I Osteotomie bei der Therapie des Unterentwickelten Oberkiefers, diese operative Herangehensweise unterstützen die Arbeitsgruppen von Wiltfang & Kessler (2002) und Taylor et al. (2009) (Rohner et al., 2001; Taylor et al., 2009; Wiltfang & Kessler, 2002). Ob sich dieses Verfahren in der orthognathen Chirurgie etabliert, ist noch Bestandteil klinischer Forschung. Die sogenannten „operator bias“ - systematische Fehler bei der operativen Durchführung sollen selbstverständlich auch Erwähnung finden. Der Vorteil in dieser monozentrischen Studie ist, dass alle operativen Therapien durch Chirurgen der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikum Dresden durchgeführt worden sind. Diese Gegebenheit minimiert das Risiko eines systematischen Fehlers „operator bias“ was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen könnte. Eine prominente sichtbare Veränderung auf dentaler und skelettaler Ebene ist das Diastema mediale. Es repräsentiert den skelettalen Effekt auf die Maxilla (Bishara & Staley, 1987). Die Breite des Diastema mediale sollte jedoch nicht als Indikator für die Gesamtweite der Sutura palatina mediana genutzt werden (Wertz, 1970). Eine hervorragende Darstellung der Weitung der Oberkiefersegmente von anterior nach posterior kann jedoch radiographisch ermittelt werden. Die Studie von Tausche et al. (2009) gibt an, dass mit einer Ratio von 2:1 die Öffnung des Nasenbodens im Bereich der Apertura piriformis im Vergleich mit der Öffnung im Bereich der Choanen stattfindet (Tausche et al., 2009). Das Diastema mediale wurde nur nebenbefundlich in unserer Studie betrachtet. Eine Analyse der Suturaöffnung war nicht Bestandteil unserer Untersuchungen. Es konnte festgestellt werden, dass kein Zusammenhang zwischen der Distraktionsweite gemessen am Diastema mediale und der olfaktorischen Leistung besteht ($r = -0.12$; $p = 0.51$). Die alleinige Betrachtung des Diastema mediale ist natürlich nicht ausreichend, um einen aussagekräftigen Zusammenhang darzustellen. Eine digitale Erfassung, eine digitale Modellherstellung und Analyse kann dreidimensional nach erfolgter digitaler Volumentomografie unproblematisch erfolgen. Dies sollte gegebenenfalls in zukünftigen Studien in Betracht gezogen werden, denn mit lediglich einer Untersuchungsmethode in einem vollständigem digitalem „workflow“ können skelettale und dentale Veränderung vermessen und analysiert werden.

5.5 Zusammenfassung und klinisches Fazit

Zusammenfassend kann man schlussfolgern, dass obwohl die chirurgische Gaumennahterweiterung keine unmittelbare Manipulation im Bereich des olfaktorischen Epithels darstellt, dieser Eingriff einen geringen signifikanten Effekt auf die olfaktorische Funktion aufweist. Bei der Betrachtung der Ergebnisse können wir annehmen, dass der Eingriff einen positiven Zugewinn für den größeren Anteil der Patienten darstellt im Sinne der verbesserten Riechleistung. Es könnte auch in diesem Zusammenhang angenommen werden, dass eine latente olfaktorische Beeinträchtigung ursächlich im transversalen Defizit des Oberkiefers begründet sein kann. Die sollte jedoch an einem größeren Patientenkollektiv und am besten in einer multizentrischen Studie untersucht werden. Bei der therapeutischen Planung von transversalen entwicklungsbedingten Störungen des Oberkiefers mit der orthognathen Chirurgie sollte an ein interdisziplinäres Vorgehen zwischen Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie zu denken.

6. Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel:

Die chirurgische Gaumennahterweiterung ist ein unverzichtbares chirurgisch-kieferorthopädisches Verfahren bei transversaler Mikrognathie des Oberkiefers mit dem Ziel der Expansion mittels Distraktionsosteogenese. Dessen Effekt auf das Riechvermögen wurde bis dato spärlich untersucht. Ziel dieser Studie war es zu beurteilen, inwieweit durch die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung eine psychophysisch messbare Änderung der olfaktorischen Funktion bei den betreffenden Patienten auftritt.

Methodik:

Es wurden 31 Patienten, die einen orthognathem Eingriff erhalten sollten in dieser Studie aufgenommen. 28 Patienten erhielten eine chirurgische Gaumennahterweiterung, 2 Patienten eine bignathe Umstellungsosteotomie und 1 Patient eine Oberkiefervorverlagerung. Wir untersuchten das Riechvermögen der Studienteilnehmer mithilfe der „Sniffin´Sticks“. Dieser psychophysische Riechtest liefert reproduzierbare, klinisch brauchbare Werte und ermöglicht die Prüfung der Identifikation und der Diskrimination von Gerüchen sowie die Erfassung der Riechschwelle für Phenylethylalkohol. Zusätzlich wurde die akustische Rhinometrie durchgeführt. Wir führten die Untersuchungen vor und nach erfolgtem operativem Eingriff mit Abstand von 6 Monaten durch.

Ergebnisse:

Gemessen an dem SDI-Wert konnte eine postoperative Verbesserung der olfaktorischen Riechleistung bei 74,2% der Patienten evaluiert werden ($p=0,02$). Bei 61,3% der Patienten konnte eine Verbesserung bei der Schwellentestung ($p=0,048$) und bei 61,3% der Studienteilnehmer eine Verbesserung bei der überschwelligen Testung Duftdiskrimination ($p=0,034$) und 51,6% bei der Identifikation ($p=0,037$) festgestellt werden. Präoperativ wurde bei 10 Patienten eine quantitative Riechstörung diagnostiziert. Postoperativ waren es nur noch 4 Patienten. Aus den dargestellten Ergebnissen können wir schlussfolgern, dass der chirurgische Eingriff der chirurgischen Gaumennahterweiterung einen positiven Effekt im Sinne der verbesserten Riechleistung mit sich bringt.

Fazit:

Die chirurgische Gaumennahterweiterung führt postoperativ zu einer verbesserten Riechleistung zumindest für den größeren Anteil der Patienten.

Bei der therapeutischen Planung sollte an ein interdisziplinäres Vorgehen zwischen Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie gedacht werden da die Ursache von Obstruktionen der nasalen Atemwege in einem transversalen Defizit des Oberkiefers begründet sein kann was eine verminderte Riechleistung bedeuten könnte.

7. Summary

Background:

Surgical maxillary expansion is an essential surgical orthodontic procedure for treating transverse micrognathia of the upper jaw with the aim of expansion through distraction osteogenesis. Its effect on olfactory function has been sparsely examined to date. The objective of this study was to assess the extent to which surgically assisted maxillary expansion results in a psychophysically measurable change in olfactory function in the respective patients.

Methodology:

This study included 31 patients who were to undergo orthognathic surgery. Of these, 28 patients received surgical maxillary expansion, 2 patients underwent a bimaxillary osteotomy, and 1 patient had maxillary advancement. We evaluated the olfactory function of the study participants using "Sniffin' Sticks." This psychophysical olfactory test provides reproducible, clinically useful values and allows for the examination of odor identification and discrimination, as well as the determination of the olfactory threshold for phenylethyl alcohol. Additionally, acoustic rhinometry was performed. We conducted the assessments before and after the surgical procedure with a 6-month interval.

Results:

Based on the SDI score, a postoperative improvement in olfactory smell performance was observed in 74.2% of patients ($p=0.02$). A 61.3% improvement was noted in threshold testing ($p=0.048$), and 61.3% of study participants exhibited improved performance in suprathreshold odor discrimination ($p=0.034$) and 51.6% at the identification ($p=0.037$). Preoperatively, 10 patients were diagnosed with a quantitative olfactory disorder, which decreased to only 4 patients postoperatively. From these findings, we can conclude that the surgical maxillary expansion procedure has a positive effect in terms of improved olfactory performance.

Conclusion:

Surgical maxillary expansion leads to postoperative improvement in olfactory performance, at least for the majority of patients. In therapeutic planning, it is important to consider an interdisciplinary approach between otolaryngology and oral and maxillofacial surgery, as nasal airway obstruction may be related to a transverse deficit of the upper jaw, which could result in decreased olfactory performance.

8. Literaturverzeichnis

- Alpern, M. C., & Yurosko, J. J. (1987). Rapid Palatal Expansion In Adults: With and Without Surgery. *The Angle Orthodontist*, 57(3), 245–263. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1987\)057<0245:RPEIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1987)057<0245:RPEIA>2.0.CO;2)
- ANGELL, E. (1860). Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dent Cosmos*, 1, 540–544.
- Aumüller, G. (Hrsg.). (2007). *Anatomie: 208 Tabellen ; [mit CD-ROM zum Präp-Kurs]*. Thieme.
- Axhausen, G. (1934). Zur Behandlung veralteter disloziert geheilter Oberkieferbrüche. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilk*, 1, 334.
- Babacan, H., Sokucu, O., Doruk, C., & Ay, S. (2006). Rapid Maxillary Expansion and Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion Effects on Nasal Volume. *The Angle Orthodontist*, 76(1), 66–71. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2006\)076\[0066:RMEASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2006)076[0066:RMEASA]2.0.CO;2)
- Basciftci, F. A., Mutlu, N., Karaman, A. I., Malkoc, S., & Küçükkolbasi, H. (2002). Does the Timing and Method of Rapid Maxillary Expansion Have an Effect on the Changes in Nasal Dimensions? *The Angle Orthodontist*, 72(2), 118–123. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2002\)072<0118:DTTAMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2002)072<0118:DTTAMO>2.0.CO;2)
- Bays, R. A., & Greco, J. M. (1992). Surgically assisted rapid palatal expansion: An outpatient technique with long-term stability. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 50(2), 110–113. [https://doi.org/10.1016/0278-2391\(92\)90352-Z](https://doi.org/10.1016/0278-2391(92)90352-Z)
- Beauchamp, J., Scheibe, M., Hummel, T., & Buettner, A. (2014). Intranasal Odorant Concentrations in Relation to Sniff Behavior. *Chemistry & Biodiversity*, 11(4), 619–638. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201300320>
- Behrends, J. C., Bischofberger, J., Deutzmann, R., Ehmke, H., Frings, S., & Grissmer, S. (2021). *Physiologie* (4., unveränderte Auflage). Thieme.
- Bell. (1982). A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *American Journal of Orthodontics*, 81(1), 32–37. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90285-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90285-8)
- Bell, W. H. (1975). Le Forte I osteotomy for correction of maxillary deformities. *Journal of Oral Surgery (American Dental Association)*, 33(6), 412–426.

- Bell, W. H., & Epker, B. N. (1976). Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *American Journal of Orthodontics*, 70(5), 517–528. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(76\)90276-1](https://doi.org/10.1016/0002-9416(76)90276-1)
- Biederman, W. (1968). A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO: The Journal of Practical Orthodontics*, 2(2), 67–70.
- Biederman, W. (1973). Rapid correction of Class III malocclusion by midpalatal expansion. *American Journal of Orthodontics*, 63(1), 47–55. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(73\)90109-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(73)90109-7)
- Bishara, S. E., & Staley, R. N. (1987). Maxillary expansion: Clinical implications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 91(1), 3–14. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90202-2](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90202-2)
- Braun, S., Bottrel, J. A., Lee, K.-G., Lunazzi, J. J., & Legan, H. L. (2000). The biomechanics of rapid maxillary sutural expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 118(3), 257–261. <https://doi.org/10.1067/mod.2000.108254>
- Brown, G. (1938). The surgery of oral and facial diseases and malformation. 1938. London; Kimpton, 507.
- Cain, W. S., Goodspeed, R. B., Gent, J. F., & Leonard, G. (1988). Evaluation of olfactory dysfunction in the connecticut chemosensory clinical research center. *The Laryngoscope*, 98(1), 83–88. <https://doi.org/10.1288/00005537-198801000-00017>
- Ceylan, Í., Oktay, H., & Demirci, M. (1996). The effect of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *The Angle Orthodontist*, 66(4), 301–308. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1996\)066<0301:TEORME>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1996)066<0301:TEORME>2.3.CO;2)
- Chaconas, S. J., & Caputo, A. A. (1982). Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics*, 82(6), 492–501. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90318-9](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90318-9)
- Chen, B., Pfister, A., Nahrath, P., & Hummel, T. (2020). Odor perception depends on airflow, odor solubility and intranasal application site. *Rhinology Journal*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.4193/Rhin20.393>
- Codivilla, A. (1905). ON THE MEANS OF LENGTHENING, IN THE LOWER LIMBS, THE MUSCLES AND TISSUES WHICH ARE SHORTENED THROUGH DEFORMITY. *JBJS, s2-2(4)*, 353.
- Cohen, J. (1992). Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98–101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>
- Croy, I., Bojanowski, V., & Hummel, T. (2013). Men without a sense of smell exhibit a strongly reduced number of sexual relationships, women exhibit reduced

- partnership security – A reanalysis of previously published data. *Biological Psychology*, 92(2), 292–294. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.11.008>
- Croy, I., Nordin, S., & Hummel, T. (2014). Olfactory Disorders and Quality of Life—An Updated Review. *Chemical Senses*, 39(3), 185–194. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjt072>
- da Silva Filho, O. G., do Prado Montes, L. A., & Torelly, L. F. (1995). Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 107(3), 268–275. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(95\)70142-7](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(95)70142-7)
- Dabir, A., & Vahanwala, J. (2021). Orthognathic Surgery for the Maxilla-LeFort I and Anterior Maxillary Osteotomy. In K. Bonanthaya, E. Panneerselvam, S. Manuel, V. V. Kumar, & A. Rai (Hrsg.), *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician* (S. 1513–1548). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1346-6_69
- Dal Pont, G. (1961). Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. *Journal of Oral Surgery, Anesthesia, and Hospital Dental Service*, 19, 42–47.
- Damm, M., Jungehülsing, M., Eckel, H. E., & Hummel, T. (2003). Olfactory Changes at Threshold and Suprathreshold Levels following Septoplasty with Partial Inferior Turbinectomy. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 112(1), 91–97. <https://doi.org/10.1177/000348940311200117>
- Damm, M., Schmitl, L., Müller, C. A., Welge-Lüssen, A., & Hummel, T. (2019). Diagnostik und Therapie von Riechstörungen. *HNO*, 67(4), 274–281. <https://doi.org/10.1007/s00106-019-0614-x>
- Damm, M., Vent, J., Schmidt, M., Theissen, P., Eckel, H. E., Lötsch, J., & Hummel, T. (2002a). Intranasal Volume and Olfactory Function. *Chemical Senses*, 27(9), 831–839. <https://doi.org/10.1093/chemse/27.9.831>
- Damm, M., Vent, J., Schmidt, M., Theissen, P., Eckel, H. E., Lötsch, J., & Hummel, T. (2002b). Intranasal Volume and Olfactory Function. *Chemical Senses*, 27(9), 831–839. <https://doi.org/10.1093/chemse/27.9.831>
- de Gabory, L., Reville, N., Baux, Y., Boisson, N., & Bordenave, L. (2018). Numerical simulation of two consecutive nasal respiratory cycles: Toward a better understanding of nasal physiology. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 8(6), 676–685. <https://doi.org/10.1002/alr.22086>
- Deeb, W., Hansen, L., Hotan, T., Hietschold, V., Harzer, W., & Tausche, E. (2010). Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(6), 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.042>

- Derichsweiler, H. (1953). Die Gaumennahtsprengung. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 14(1), 5–23. <https://doi.org/10.1007/BF02178726>
- Derichsweiler, H. (1954). Die Umstellung der Mundatmung zur Nasenatmung durch die Gaumennahterweiterung. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 15(3), 234–243. <https://doi.org/10.1007/BF02169952>
- Doruk, C., Sökücü, O., Biçakçı, A. A., Yilmaz, U., & Taş, F. (2007). Comparison of nasal volume changes during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry and computed tomography. *European Journal of Orthodontics*, 29(3), 251–255. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjl069>
- Doruk, C., Sökücü, O., Sezer, H., & Canbay, E. I. (2004a). Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. *European Journal of Orthodontics*, 26(4), 397–401. <https://doi.org/10.1093/ejo/26.4.397>
- Doruk, C., Sökücü, O., Sezer, H., & Canbay, E. I. (2004b). Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. *European Journal of Orthodontics*, 26(4), 397–401. <https://doi.org/10.1093/ejo/26.4.397>
- Doty, R. L., & Cameron, E. L. (2009). Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception. *Physiology & Behavior*, 97(2), 213–228. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.032>
- Doty, R. L., Shaman, P., & Dann, M. (1984). Development of the university of pennsylvania smell identification test: A standardized microencapsulated test of olfactory function. *Physiology & Behavior*, 32(3), 489–502. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(84\)90269-5](https://doi.org/10.1016/0031-9384(84)90269-5)
- Eccles, R., Jawad, M. S. M., & Morris, S. (1989). Olfactory and Trigeminal Thresholds and Nasal Resistance to Airflow. *Acta Oto-Laryngologica*, 108(3–4), 268–273. <https://doi.org/10.3109/00016488909125527>
- Enoki, C., Valera, F. C. P., Lessa, F. C. R., Elias, A. M., Matsumoto, M. A. N., & Anselmo-Lima, W. T. (2006). Effect of rapid maxillary expansion on the dimension of the nasal cavity and on nasal air resistance. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 70(7), 1225–1230. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2005.12.019>
- Epker, B. N. (1984). Vascular considerations in orthognathic surgery: II. Maxillary osteotomies. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 57(5), 473–478. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(84\)90302-5](https://doi.org/10.1016/0030-4220(84)90302-5)
- Esser, E., & Petersen, L. M. (1991). Untersuchungen nach Wassmund-Osteotomie in der modifizierten Down-fracture-Technik. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 52(1), 44–50. <https://doi.org/10.1007/BF02168158>
- Eufinger, H., Kübler, A., & Schliephake, H. (Hrsg.). (2021). *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: Operationslehre und -atlas* (5. Auflage). Springer.

- Feller, K.-U., Herzmann, K., Schimming, R., & Eckelt, U. (1998a). Gaumennahtsprengung nach Glassman. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 2(1), 26–29. <https://doi.org/10.1007/s100060050023>
- Feller, K.-U., Herzmann, K., Schimming, R., & Eckelt, U. (1998b). Gaumennahtsprengung nach Glassman. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 2(1), 26–29. <https://doi.org/10.1007/s100060050023>
- Fitzek, M., Patel, P. K., Solomon, P. D., Lin, B., Hummel, T., Schwob, J. E., & Holbrook, E. H. (2022). Integrated age-related immunohistological changes occur in human olfactory epithelium and olfactory bulb. *Journal of Comparative Neurology*, 530(12), 2154–2175. <https://doi.org/10.1002/cne.25325>
- Fort, R. L., & Tessier, D. P. (1972). EXPERIMENTAL STUDY OF FRACTURES OF THE UPPER JAW. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 50(5), 497.
- Frasnelli, J., van Ruth, S., Kriukova, I., & Hummel, T. (2005). Intranasal Concentrations of Orally Administered Flavors. *Chemical Senses*, 30(7), 575–582. <https://doi.org/10.1093/chemse/bji051>
- Garrett, B. J., Caruso, J. M., Rungcharassaeng, K., Farrage, J. R., Kim, J. S., & Taylor, G. D. (2008). Editor's Summary, Q & A, Reviewer's Critique: Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(1), 8–9. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.06.004>
- Gerlach, K. L., & Zahl, C. (2005). Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion Using a New Distraction Device: Report of a Case With an Epimucosal Fixation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 63(5), 711–713. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2004.12.017>
- Glassman, A. S., Nahigian, S. J., Medway, J. M., & Aronowitz, H. I. (1984). Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: Sixteen cases. *American Journal of Orthodontics*, 86(3), 207–213. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(84\)90372-5](https://doi.org/10.1016/0002-9416(84)90372-5)
- Goldenberg, D. C., Alonso, N., Goldenberg, F. C., Gebrin, E. S., Amaral, T. S., Scanavini, M. A., & Ferreira, M. C. (2007). Using Computed Tomography to Evaluate Maxillary Changes After Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion. *Journal of Craniofacial Surgery*, 18(2), 302. <https://doi.org/10.1097/scs.0b013e3180336012>
- Grymer, L. F., Pedersen, O. F., Hilberg, O., & Elbrønd, O. (1989). Acoustic rhinometry: Evaluation of the nasal cavity with septal deviations, before and after septoplasty. *The Laryngoscope*, 99(11), 1180–1187. <https://doi.org/10.1288/00005537-198911000-00015>

- Gudziol, V., Lötsch, J., Hähner, A., Zahnert, T., & Hummel, T. (2006). Clinical Significance of Results from Olfactory Testing. *The Laryngoscope*, 116(10), 1858–1863. <https://doi.org/10.1097/01.mlg.0000234915.51189.cb>
- Haas, A. J. (1961). Rapid Expansion Of The Maxillary Dental Arch And Nasal Cavity By Opening The Midpalatal Suture. *The Angle Orthodontist*, 31(2), 73–90. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1961\)031<0073:REOTMD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1961)031<0073:REOTMD>2.0.CO;2)
- Haas, A. J. (1965). The Treatment Of Maxillary Deficiency By Opening The Midpalatal Suture. *The Angle Orthodontist*, 35(3), 200–217. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1965\)035<0200:TTOMDB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1965)035<0200:TTOMDB>2.0.CO;2)
- Hahn, I., Scherer, P. W., & Mozell, M. M. (1994). A Mass Transport Model of Olfaction. *Journal of Theoretical Biology*, 167(2), 115–128. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1994.1057>
- Hansen, L., Tausche, E., Hietschold, V., Hotan, T., Lagravère, M., & Harzer, W. (2007). Skeletally-anchored Rapid Maxillary Expansion using the Dresden Distractor. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte Der Kieferorthopädie*, 68(2), 148–158. <https://doi.org/10.1007/s00056-007-0643-z>
- Hartgerink, D. V., Vig, P. S., Orth, D., & Abbott, D. W. (1987). The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 92(5), 381–389. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90258-7](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90258-7)
- Harzer, W., Reußner, L., Hansen, L., Richter, R., Nagel, T., & Tausche, E. (2010). Minimally invasive rapid palatal expansion with an implant-supported hyrax screw / Minimalinvasive forcierte Gaumennahterweiterung mit einer implantatgetragenen Hyraxschraube. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*, 55(1), 39–45. <https://doi.org/10.1515/bmt.2010.002>
- Hausamen, J.-E. (Hrsg.). (2012). *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: Operationslehre und -atlas* (4., vollständig überarb. Aufl). Springer.
- Hausamen, J.-E., & Brachvogel, P. (1991). Die Oberkieferosteotomie in der Le-Fort-I-Ebene—Ein weites Indikations-spektrum zur Korrektur verschiedener skelettaler Dysgnathien. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 52(1), 8–14. <https://doi.org/10.1007/BF02168152>
- Heimes, D., & Witt, M. (2020). Morphologie des Riechsystems. *Forum*.
- Hershey, H. G., Stewart, B. L., & Warren, D. W. (1976). Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics*, 69(3), 274–284. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(76\)90076-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(76)90076-2)

- Hilberg, O., Jackson, A. C., Swift, D. L., & Pedersen, O. F. (1989). Acoustic rhinometry: Evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflection. *Journal of Applied Physiology*, 66(1), 295–303. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.1.295>
- Holberg, C., Steinhäuser, S., & Rudzki-Janson, I. (2007). Rapid maxillary expansion in adults: Cranial stress reduction depending on the extent of surgery. *European Journal of Orthodontics*, 29(1), 31–36. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjl067>
- Hornung, D. E. (2006). Nasal Anatomy and the Sense of Smell. In T. Hummel & A. Welge-Lüssen (Hrsg.), *Advances in Oto-Rhino-Laryngology* (Bd. 63, S. 1–22). KARGER. <https://doi.org/10.1159/000093747>
- Hummel, T., Hähner, A., Witt, M., & Landis, B. N. (2007). Die Untersuchung des Riechvermögens. *HNO*, 55(10), 827–838. <https://doi.org/10.1007/s00106-007-1593-x>
- Hummel, T., Kobal, G., Gudziol, H., & Mackay-Sim, A. (2007). Normative data for the “Sniffin’ Sticks” including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: An upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 264(3), 237–243. <https://doi.org/10.1007/s00405-006-0173-0>
- Hummel, T., & Podlesek, D. (2021). Clinical assessment of olfactory function. *Chemical Senses*, 46, bjab053. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjab053>
- Hummel, T., Power Guerra, N., Gunder, N., Hähner, A., & Menzel, S. (2023). Riechen und Riechstörungen. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 102(S 01), S67–S92. <https://doi.org/10.1055/a-1957-3267>
- Hummel, T., Rosenheim, K., Konnerth, C.-G., & Kobal, G. (2001). Screening of Olfactory Function with a Four-Minute Odor Identification Test: Reliability, Normative Data, and Investigations in Patients with Olfactory Loss. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 110(10), 976–981. <https://doi.org/10.1177/000348940111001015>
- Hummel, T., Sekinger, B., Wolf, S. R., Pauli, E., & Kobal, G. (1997). ‘Sniffin’ Sticks’: Olfactory Performance Assessed by the Combined Testing of Odor Identification, Odor Discrimination and Olfactory Threshold. *Chemical Senses*, 22(1), 39–52. <https://doi.org/10.1093/chemse/22.1.39>
- Hummel, T., & Welge-Lüssen, A. (Hrsg.). (2006). *Taste and smell: An update*. Karger.
- Hummel, T., Welge-Lüssen, A., & Czesnik, D. (Hrsg.). (2009). *Riech- und Schmeckstörungen: Physiologie, Pathophysiologie und therapeutische Ansätze ; 14 Tabellen*. Thieme.
- Imola, M. J., Hamlar, D. D., Thatcher, G., & Chowdhury, K. (2002). The Versatility of Distraction Osteogenesis in Craniofacial Surgery. *Archives of Facial Plastic Surgery*, 4(1), 8–19. <https://doi.org/10.1001/archfaci.4.1.8>

- Isaacson, R. J., & Ingram, A. H. (1964). Forces Produced By Rapid Maxillary Expansion: II. Forces Present During Treatment. *The Angle Orthodontist*, 34(4), 261–270. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1964\)034<0261:FPBRME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1964)034<0261:FPBRME>2.0.CO;2)
- Jafari, A., Shetty, K. S., & Kumar, M. (2003). Study of Stress Distribution and Displacement of Various Craniofacial Structures Following Application of Transverse Orthopedic Forces—A Three-dimensional FEM Study. *The Angle Orthodontist*, 73(1), 12–20. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2003\)073<0012:SOSDAD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0012:SOSDAD>2.0.CO;2)
- Kelly, J. T., Prasad, A. K., & Wexler, A. S. (2000). Detailed flow patterns in the nasal cavity. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 323–337. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.323>
- Keyhani, K., Scherer, P. W., & Mozell, M. M. (1997). A Numerical Model of Nasal Odorant Transport for the Analysis of Human Olfaction. *Journal of Theoretical Biology*, 186(3), 279–301. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1996.0347>
- Kilic, N., Kiki, A., Oktay, H., & Selimoglu, E. (2008). Effects of Rapid Maxillary Expansion on Conductive Hearing Loss. *The Angle Orthodontist*, 78(3), 409–414. <https://doi.org/10.2319/050407-217.1>
- Kobal, G., Hummel, T., Sekinger, B., Barz, S., Roscher, S., & Wolf, S. (1996). „Sniffin’ sticks“: Screening of olfactory performance. *Rhinology*, 34(4), 222–226.
- Kobal, G., Klimek, L., Wolfensberger, M., Gudziol, H., Temmel, A., Owen, C. M., Seeber, H., Pauli, E., & Hummel, T. (2000). Multicenter investigation of 1,036 subjects using a standardized method for the assessment of olfactory function combining tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 257(4), 205–211. <https://doi.org/10.1007/s004050050223>
- Korn, E. L., & Baumrind, S. (1990). Transverse Development of the Human Jaws Between the Ages of 8.5 and 15.5 Years, Studied Longitudinally With Use of Implants. *Journal of Dental Research*, 69(6), 1298–1306. <https://doi.org/10.1177/00220345900690061501>
- Koudstaal, M. J., van der Wal, K. G. H., Wolvius, E. B., & Schulten, A. J. M. (2006). The Rotterdam Palatal Distractor: Introduction of the new bone-borne device and report of the pilot study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 35(1), 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2005.07.002>
- Kraut, R. A. (1984). Surgically assisted rapid maxillary expansion by opening the midpalatal suture. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(10), 651–655. [https://doi.org/10.1016/0278-2391\(84\)90207-6](https://doi.org/10.1016/0278-2391(84)90207-6)

- Kunkel, M., Ekert, O., & Wagner, W. (1999). Veränderungen des nasalen Atemwegs durch transversale Distraction des Oberkiefers. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, 3(1), 12–16. <https://doi.org/10.1007/s100060050085>
- Landis, B. N., Hummel, T., Hugentobler, M., Giger, R., & Lacroix, J. S. (2003). Ratings of Overall Olfactory Function. *Chemical Senses*, 28(8), 691–694. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjg061>
- Landis, B. N., Hummel, T., & Lacroix, J.-S. (2005). Basic and Clinical Aspects of Olfaction. In J. D. Pickard, N. Akalan, C. Di Rocco, V. V. Dolenc, R. Fahlbusch, J. Lobo Antunes, M. Sindou, N. de Tribolet, & C. A. F. Tulleken (Hrsg.), *Advances and Technical Standards in Neurosurgery* (Bd. 30, S. 69–105). Springer Vienna. https://doi.org/10.1007/3-211-27208-9_3
- Lanigan, D. T., & Mintz, S. M. (2002). Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: Review of the literature and report of a case. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(1), 104–110. <https://doi.org/10.1053/joms.2002.29087>
- Lehman, J. A., Haas, A. J., & Haas, D. G. (1984). Surgical orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: A simplified approach. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 73(1), 62–68. <https://doi.org/10.1097/00006534-198401000-00013>
- Lenarz, T., & Boenninghaus, H.-G. (2012). *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde* (14., überarbeitete Auflage). Springer.
- Leopold, D. A. (1988). The relationship between nasal anatomy and human olfaction. *The Laryngoscope*, 98(11), 1232–1238. <https://doi.org/10.1288/00005537-198811000-00015>
- Leopold, D. A., Hummel, T., Schwob, J. E., Hong, S. C., Knecht, M., & Kobal, G. (2000). Anterior Distribution of Human Olfactory Epithelium. *The Laryngoscope*, 110(3), 417–421. <https://doi.org/10.1097/00005537-200003000-00016>
- Li, C., Jiang, J., Kim, K., Otto, B. A., Farag, A. A., Cowart, B. J., Pribitkin, E. A., Dalton, P., & Zhao, K. (2018). Nasal Structural and Aerodynamic Features That May Benefit Normal Olfactory Sensitivity. *Chemical Senses*, 43(4), 229–237. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjy013>
- Lines, P. A. (1975). Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *American Journal of Orthodontics*, 67(1), 44–56. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90128-1](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90128-1)
- Magnusson, A., Bjerklin, K., Nilsson, P., Jönsson, F., & Marcusson, A. (2011). Nasal cavity size, airway resistance, and subjective sensation after surgically assisted rapid maxillary expansion: A prospective longitudinal study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(5), 641–651. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.11.024>

- Matteini, C., & Mommaerts, M. Y. (2001). Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: A short-term model study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 120(5), 498–502. <https://doi.org/10.1067/mod.2001.118401>
- McMAHON, C., & Scadding, G. K. (1996). Le Nez du Vin—A quick test of olfaction. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, 21(3), 278–280. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2273.1996.tb01741.x>
- Mlynski, G., & Pirsig, W. (Hrsg.). (2018). *Funktionell-ästhetische Rhinochirurgie: Unter besonderer Berücksichtigung physiologischer Aspekte*.
- Mommaerts, M. Y. (1999). Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 37(4), 268–272. <https://doi.org/10.1054/bjom.1999.0127>
- Müller, A., Landis, B. N., Zahnert, T., Reichmann, H., & Hummel, T. (2005). Riechen: Normale Funktion und Störungen. *Aktuelle Neurologie*, 32(1), 15–27. <https://doi.org/10.1055/s-2004-834578>
- Neeley, W. W., Edgin, W. A., & Gonzales, D. A. (2007). A Review of the Effects of Expansion of the Nasal Base on Nasal Airflow and Resistance. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 65(6), 1174–1179. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2006.06.295>
- Obwegeser, H. (1965). [SURGERY OF THE MAXILLA FOR THE CORRECTION OF PROGNATHISM]. *Schweizerische Monatsschrift Fur Zahnheilkunde = Revue Mensuelle Suisse D'odonto-Stomatologie*, 75, 365–374.
- Ogunyemi, B. (2017). Surgical innovation in the cold war era: Gavriil Ilizarov and his apparatus as a device for external fixation and limb lengthening. *UBCMJ. 2017: 8.2 (29-30)*, 8(2). <https://med-fom-ubcmj.sites.olt.ubc.ca/files/2017/03/Ogunyemi-surgical-innovation-UPDATED.pdf>
- Oka, S., Kawanabe, H., Yamanobe, S., Fukui, K., Baba, Y., & Deguchi, T. (2020). Relationship between olfaction and maxillofacial morphology in children with malocclusion. *Clinical and Experimental Dental Research*, 7(1), 33–39. <https://doi.org/10.1002/cre2.329>
- Oleszkiewicz, A., Schriever, V. A., Croy, I., Hähner, A., & Hummel, T. (2019a). Updated Sniffin' Sticks normative data based on an extended sample of 9139 subjects. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 276(3), 719–728. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-5248-1>
- Oleszkiewicz, A., Schriever, V. A., Croy, I., Hähner, A., & Hummel, T. (2019b). Updated Sniffin' Sticks normative data based on an extended sample of 9139 subjects. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 276(3), 719–728. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-5248-1>

- Ottaviano, G., Frasson, G., Favero, V., Boato, M., Schembri, E., Marchese-Ragona, R., Mucignat-Caretta, C., Stellini, E., Staffieri, A., & Favero, L. (2014). N-butanol olfactory threshold and nasal patency before and after palatal expansion in children. A preliminary study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *78*(10), 1618–1623. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.07.006>
- Ottaviano, G., Maculan, P., Borghetto, G., Favero, V., Galletti, B., Savietto, E., Scarpa, B., Martini, A., Stellini, E., De Filippis, C., & Favero, L. (2018). Nasal function before and after rapid maxillary expansion in children: A randomized, prospective, controlled study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *115*, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.09.029>
- Patel, R. M., & Pinto, J. M. (2014). Olfaction: Anatomy, physiology, and disease: Anatomy, Physiology, and Disease. *Clinical Anatomy*, *27*(1), 54–60. <https://doi.org/10.1002/ca.22338>
- Persson, M., & Thilander, B. (1977). Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *American Journal of Orthodontics*, *72*(1), 42–52. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(77\)90123-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(77)90123-3)
- Pinto, P. X., Mommaerts, M. Y., Wreakes, G., & Jacobs, W. V. G. J. A. (2001). Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *59*(9), 994–1000. <https://doi.org/10.1053/joms.2001.25823>
- Rohen, J. W. (2001). *Funktionelle Neuroanatomie: Lehrbuch und Atlas* (6., neu bearb. und erw. Aufl). Schattauer.
- Rohner, D., Yeow, V., & Hammer, B. (2001). Endoscopically assisted Le Fort I osteotomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *29*(6), 360–365. <https://doi.org/10.1054/jcms.2001.0248>
- Roser, M., Cornelius, C. P., Gehrke, G., Ehrenfeld, M., & Mast, G. (2011). Osteotomien im Gesichtsskelett – Basis der orthognathen Chirurgie: Befunderhebung, präoperative Planung und individuelle Realisation bei Korrekturoperationen von Kiefer- und Gesichtsdeformitäten. *OP-Journal*, *27*(3), 200–221. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1280410>
- S2k-Leitlinie Riech- und Schmeckstörungen, Version 5.0.* (2023, Mai 1). <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/017-050>. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/017-050>
- Salazar, I., Sanchez-Quinteiro, P., Barrios, A. W., López Amado, M., & Vega, J. A. (2019). Anatomy of the olfactory mucosa. In *Handbook of Clinical Neurology* (Bd. 164, S. 47–65). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63855-7.00004-6>

- Sander, F. G. (2011). *Kieferorthopädie: 46 Tabellen* (M. O. Ahlers, N. Schwenzer, M. Ehrenfeld, H.-P. Bantleon, A. Crismani, J. Dibbets, R. Fuhrmann, H. A. Jakstat, C. Landes, B. P. Müller, I. Janson, R. A. Sader, C. Sander, C. Schleussner-Samuel, & S. Steinhäuser-Andresen, Hrsg.; 2., neu erstellte u. erw. Aufl). Thieme.
- Sandikçiolu, M., & Hazar, S. (1997). Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 111(3), 321–327. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(97\)70191-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)70191-4)
- Sanger, D. C. (1993). *Evaluation of Olfactory and Gustatory Function Following Orthognathic Surgery*.
- Schimming, R., Feller, K.-U., Herzmann, K., & Eckelt, U. (2000). Surgical and orthodontic rapid palatal expansion in adults using Glassman's technique: Retrospective study. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 38(1), 66–69. <https://doi.org/10.1054/bjom.1999.0274>
- Schopf, P. (2008). *Curriculum Kieferorthopädie. 1: Schädel- und Gebißentwicklung, Prophylaxe, kieferorthopädische Diagnostik, herausnehmbare Behandlungsgeräte / Peter Schopf* (4., überarb. und erw. Aufl). Quintessenz.
- Schwarz, A., & Watzke, I. (2009). Kieferorthopädische Gaumennahterweiterung (RPE) versus chirurgisch unterstützte Gaumennaht-erweiterung (SARPE) – eine Gegenüberstellung. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie*, 41(4), 253–258. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224751>
- Schwenzer, N., & Ehrenfeld, M. (Hrsg.). (2011). *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie: 48 Tabellen* (4., vollst. überarb. u. erw. Aufl). Thieme.
- Seeberger, R., Kater, W., Davids, R., & Thiele, O. C. (2010). Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 38(3), 175–178. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2009.07.003>
- Seeberger, R., Kater, W., Schulte-Geers, M., Thiele, O. C., Davids, R., Hofele, C. H., & Freier, K. (2010). Chirurgisch unterstützte transversale Oberkieferdistraktion. *HNO*, 58(8), 806–811. <https://doi.org/10.1007/s00106-010-2152-4>
- Shemen, L., & Hamburg, R. (1997). Preoperative and Postoperative Nasal Septal Surgery Assessment with Acoustic Rhinometry. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 117(4), 338–342. [https://doi.org/10.1016/S0194-5998\(97\)70123-2](https://doi.org/10.1016/S0194-5998(97)70123-2)
- Sorokowski, P., Karwowski, M., Misiak, M., Marczak, M. K., Dziekan, M., Hummel, T., & Sorokowska, A. (2019). Sex Differences in Human Olfaction: A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 10, 242. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00242>

- Speth, M. M., Speth, U. S., Sedaghat, A. R., & Hummel, T. (2022). Riech- und Schmeckstörungen. *Hno*, 70(2), 157–166. <https://doi.org/10.1007/s00106-021-01132-y>
- Suri, L., & Taneja, P. (2008). Surgically assisted rapid palatal expansion: A literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(2), 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.01.021>
- Tausche, E., Deeb, W., Hansen, L., Hietschold, V., Harzer, W., & Schneider, M. (2009). CT Analysis of Nasal Volume Changes after Surgically-assisted Rapid Maxillary Expansion. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte Der Kieferorthopädie*, 70(4), 306–317. <https://doi.org/10.1007/s00056-009-9910-5>
- Tausche, E., Hansen, L., Hietschold, V., Lagravère, M. O., & Harzer, W. (2007). Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: A pilot study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131(4, Supplement), S92–S99. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.07.021>
- Taylor, J. A., Maercks, R. A., Jones, D. C., & Gordon, C. B. (2009). Endoscopically Assisted Le Fort I Osteotomy Using an Ultrasonic Scalpel: A Feasibility Study in Cadavers. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67(7), 1420–1424. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2008.12.058>
- Timms, D. J. (1984). The reduction of nasal airway resistance by rapid maxillary expansion and its effect on respiratory disease. *The Journal of Laryngology & Otology*, 98(4), 357–362. <https://doi.org/10.1017/S0022215100146730>
- Timms, D. J. (2000). Die Anfänge der forcierten Gaumennahterweiterung. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie*, 32(2), 187–192. <https://doi.org/10.1055/s-2000-4450>
- Trauner, R., & Obwegeser, H. (1957). The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty: Part I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 10(7), 677–689. [https://doi.org/10.1016/S0030-4220\(57\)80063-2](https://doi.org/10.1016/S0030-4220(57)80063-2)
- Trnka, F., Schmirlerová, H., Májovský, M., Netuka, D., & Schmirler, M. (2022). Preparation of a Real Model of Nasal Cavities from Computed Tomography for Numerical Simulation. *MATEC Web of Conferences*, 369, 01005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202236901005>
- Walliczek-Dworschak, U., & Hummel, T. (2017). The Human Sense of Olfaction. *Facial Plastic Surgery: FPS*, 33(4), 396–404. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1603828>

- Warren, D. W., Hershey, G., Turvey, T. A., Hinton, V. A., & Hairfield, W. M. (1987). The nasal airway following maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 91(2), 111–116. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90467-7](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90467-7)
- Wassmund, M. (1935). Lehrbuch der praktischen Chirurgie des Mundes und der Kiefer. (No Title).
- Wertz, R. A. (1970). Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American Journal of Orthodontics*, 58(1), 41–66. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(70\)90127-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(70)90127-2)
- Wiltfang, J., & Kessler, P. (2002). Endoscopically assisted Le Fort I osteotomy to correct transverse and sagittal discrepancies of the maxilla. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(10), 1142–1145. <https://doi.org/10.1053/joms.2002.34987>
- Wolfensberger, M., & Schnieper, I. (1999). Sniffin'Sticks®: Ein neues Instrument zur Geruchsprüfung im klinischen Alltag. *HNO*, 47(7), 629–636. <https://doi.org/10.1007/s001060050436>
- Wriedt, S., Kunkel, M., Zentner, A., & Wahlmann, Ulrich.-W. (2001a). Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion An Acoustic Rhinometric, Morphometric and Sonographic Investigation. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte Der Kieferorthopädie*, 62(2), 107–115. <https://doi.org/10.1007/PL00001921>
- Wriedt, S., Kunkel, M., Zentner, A., & Wahlmann, U.-W. (2001b). Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung. *J Orofac Orthop*, 2, 9.
- Yıldırım, M., Erdur, E. A., Erdur, Ö., & Metli, Ş. N. (2022). Evaluation of olfactory threshold changes in patients treated with rapid maxillary expansion. *International Dental Research*, 12(Suppl. 1), Article Suppl. 1. <https://doi.org/10.5577/intdentres.435>
- Zhao, K. (2004). Effect of Anatomy on Human Nasal Air Flow and Odorant Transport Patterns: Implications for Olfaction. *Chemical Senses*, 29(5), 365–379. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh033>
- Zhao, K., & Frye, R. E. (2015). Nasal Patency and the Aerodynamics of Nasal Airflow in Relation to Olfactory Function. In *Handbook of Olfaction and Gustation* (S. 353–374). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118971758.ch16>