

Aus dem Institut für Anatomie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Computertomographie-basierte Analyse der Sutura interincisiva beim Menschen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Julian Jakob Graef
aus Haan

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. P. Drees

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 17.03.2026

Nachnutzungslizenz: CC-BY-ND-4.0

Teile dieser Arbeit wurden zuvor veröffentlicht:

Graef, J.J., Staeber, M., Schmeisser, M.J., Schumann S. Age-dependent development of the interincisive suture: a CT-based study on prevalence and dimensions. *Anat Sci Int* (2025). <https://doi.org/10.1007/s12565-025-00901-x>

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung	1
1.1 Der harte Gaumen	1
1.1.1 Anatomie und Funktion.....	1
1.1.2 Knochen und Mukoperiost.....	1
1.1.3 Leitungsbahnen	2
1.2 Die Prämaxilla	3
1.2.1 Anatomie	3
1.2.2 Entwicklung	4
1.2.3 Geschichte.....	5
1.3 Allgemeine Anatomie der Suturen	5
1.4 Suturen des harten Gaumens	6
1.4.1 Sutura palatina mediana.....	6
1.4.2 Sutura incisiva	6
1.4.3 Sutura palatina transversa.....	7
1.4.4 Sutura interincisiva	7
1.5 Klinische Bedeutung der Suturen des Gaumens	8
1.6 Klinische Bedeutung der Sutura interincisiva.....	9
1.7 Studienziele.....	9
2 Material und Methoden	11
2.1 Daten.....	11
2.2 Messung.....	11
2.3 Datenanalyse	12
3 Ergebnisse	14
4 Diskussion.....	18

4.1	Altersabhängiger Suturenschluss	18
4.2	Geschlechtsspezifischer Suturenverschluss	18
4.3	Vergleich mit anderen Suturen des Mittelgesichts	19
4.4	Vergleichende Anatomie	20
4.5	Methodenkritik.....	21
4.6	Klinische Implikationen.....	23
4.7	Ausblick.....	24
5	Zusammenfassung.....	25
6	Literaturverzeichnis	27
7	Danksagung	33
8	Tabellarischer Lebenslauf	34

Abkürzungsverzeichnis

% – Prozent

ANSA3 – Annexin A3

ANS – Spina nasalis anterior

BMP – Bone morphogenetic protein

ca. – circa

CT – Computertomographie

DVT – Dentale Volumetomographie

et. al. – et alia

FGF – Fibroblast Growth Factor

GPC3 – Glypican 3

MRT – Magnetresonanztomographie

PNS – Spina nasalis posterior

RBP4 – Retinol binding protein 4

TGF β – Transforming Growth Factor beta

WIF1 – Wnt inhibitory factor 1

z.B. – zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Suturen des Gaumens, markiert an einem mazerierten Erwachsenen Schädel aus der anatomischen Sammlung Mainz. 3

Abbildung 2: Suturen des Gaumens, markiert an einem mazerierten Kinderschädel aus der anatomischen Sammlung Mainz. 4

Abbildung 3: Computertomographische Darstellung des Gaumens eines 3-jährigen Patienten (a) und eines 75-jährigen Patienten (b). 10

Abbildung 4: Relative Verteilung offener Suturen in verschiedenen Altersgruppen (a) und getrennt nach Geschlecht (b) 15

Abbildung 5: Mittlere Breite (a) und mittlere Länge (b) der (offenen) Sutura interincisiva in verschiedenen Altersgruppen. 17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der eingeschlossenen Patientinnen und Patienten	13
--	----

1 Einleitung

1.1 Der harte Gaumen

1.1.1 Anatomie und Funktion

Der harte Gaumen (Palatum durum) bildet die vorderen zwei Drittel des Gaumens. Er setzt sich aus der Prämaxilla (Os incisivum), der Maxilla und der Lamina horizontalis des Gaumenbeins (Os palatinum) zusammen. Die Knochen sind von einer unbeweglichen, mit dem Periost verwachsenen, mastikatorischen Schleimhaut überzogen. An den harten Gaumen schließt sich dorsal der weiche Gaumen (Palatum molle) an. Er wird aus der Uvula und dem Gaumensegel gebildet und ist mit auskleidender Mundschleimhaut überzogen. Als Abtrennung zwischen Mund- und Nasenhöhle bildet der harte Gaumen ein Widerlager für die Zunge beim Schlucken. Der weiche Gaumen sorgt beim Schlucken für einen Verschluss der oberen Atemwege, um eine Verlagerung von Nahrung in den Nasopharynx zu verhindern (Claassen *et al.* 2021).

1.1.2 Knochen und Mukoperiost

Die Knochen des harten Gaumens sind jeweils paarig angeordnet. Die jeweiligen Paare verbinden sich entlang der Medianebene (Helwany und Rathee 2025). Die Verbindung zwischen den beiden Gaumenfortsätzen der Maxilla, sowie den Laminae horizontales des Os palatinum wird als Sutura palatina mediana bezeichnet (Abb. 1 III). Zwischen den Ossa incisiva liegt die Sutura interincisiva (Abb. 1 I). Die Maxilla und das Os palatinum sind durch die Sutura palatina transversa verbunden (Abb. 1 V), während die Prämaxilla und die Maxilla durch die Sutura incisiva verbunden sind (Abb. 1 IV) (Skrzat *et al.* 2003).

Die orale Schleimhaut, die die Knochen überzieht, bildet sich aus verhorntem mehrschichtigem Plattenepithel. Über die Schleimhaut sind kleine Speicheldrüsen (Glandulae palatinae) verteilt. Im anterioren Gaumen bilden sich Gaumenfalten (Rugae palatinae). Die Schleimhaut ist mit dem Periost verwachsen und unbeweglich. Diese Verbindung wird auch als Mukoperiost bezeichnet (Robinson *et al.* 2018).

1.1.3 Leitungsbahnen

Der Gaumen weist je Gaumenhälfte drei Durchtrittsstellen für Nerven und Blutgefäße auf. Anterior, zwischen Prämaxilla und Maxilla, liegt das Foramen incisivum (Abb. 1 II). Es dient als Durchtrittsstelle für den Nervus nasopalatinus. Der Nervus nasopalatinus entspringt aus dem Nervus maxillaris, dem zweiten Ast des Nervus trigeminus, und innerviert die anteriore Schleimhaut des Gaumens sensibel. Teile des Nervus nasopalatinus, die nicht durch das Foramen incisivum ziehen, versorgen die Schleimhaut der Nasenscheidewand sensibel (Langford 1989).

Im posterioren Gaumen, medial der Dentes sapientes, treten durch das Foramen palatinum majus der Nervus palatinus major, sowie die Arteria palatina major. Der Nervus palatinus major, ebenfalls ein Ast des Nervus maxillaris, zieht nach anterior und innerviert die Gaumenschleimhaut bis zu den Eckzähnen. Die Arteria palatina major verläuft gemeinsam mit dem Nerv und versorgt dasselbe Gebiet (Rudert und Maune 1997, Dave *et al.* 2013).

Posterior des Foramen palatinum majus liegt das Foramen palatinum minus. Aus ihm treten die Nervi palatini minores aus, die ebenfalls aus dem Nervus maxillaris stammen. Sie innervieren das Palatum molle und die Tonsilla palatina sensibel. Die aus dem Foramen palatinum minus austretenden Arteriae palatinae minores verlaufen zusammen mit den Nerven und versorgen das Palatum molle und die Tonsilla palatina (Dave *et al.* 2013).

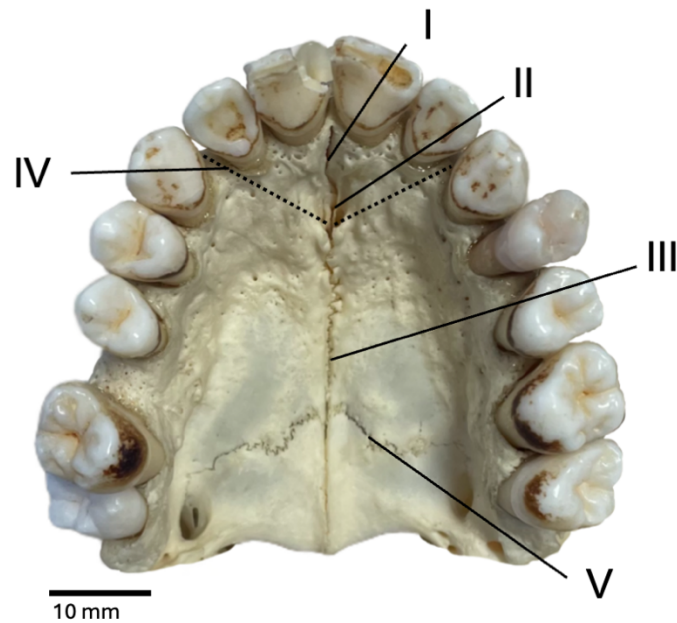


Abbildung 1: Suturen des Gaumens, markiert an einem mazerierten Erwachsenenschädel aus der anatomischen Sammlung Mainz.

I: Sutura interincisiva (= Sutura interpraemaxillaris). II: Foramen incisivum. III: Mittlere Gaumennaht (Sutura palatina mediana). IV: Sutura incisiva (= praemaxillary-maxillary suture; in diesem Präparat vollständig geschlossen). V: Sutura palatina transversa. Verändert nach: Graef et al. (2025).

1.2 Die Prämaxilla

1.2.1 Anatomie

Die Prämaxilla bildet den anterioren Teil des harten Gaumens. Sie trägt zur Formung des Nasenbodens und der Schnauze von Säugetieren bei und spielt eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung von Kiefer und Zahnreihe. Vom Corpus ausgehend lassen sich drei Fortsätze abgrenzen: der Processus alveolaris, der Processus nasalis und der Processus palatinus. Der Processus alveolaris trägt die Schneidezähne. Der Processus nasalis, verbindet sich bei vielen Säugetieren mit dem Os nasale. Sie bilden die Incisura nasoincisiva, die beim Menschen nicht ausgebildet ist. Der Processus palatinus bildet den vorderen Teil des harten Gaumens und grenzt an die Maxilla. Er ist auch an der Bildung des Foramen incisivum beteiligt. Beim Menschen ist die Prämaxilla evolutionär zurückgebildet und in den Oberkiefer integriert, behält aber ihre embryologische Eigenständigkeit (Delaire 1976, Barteczko und Jacob 2004).

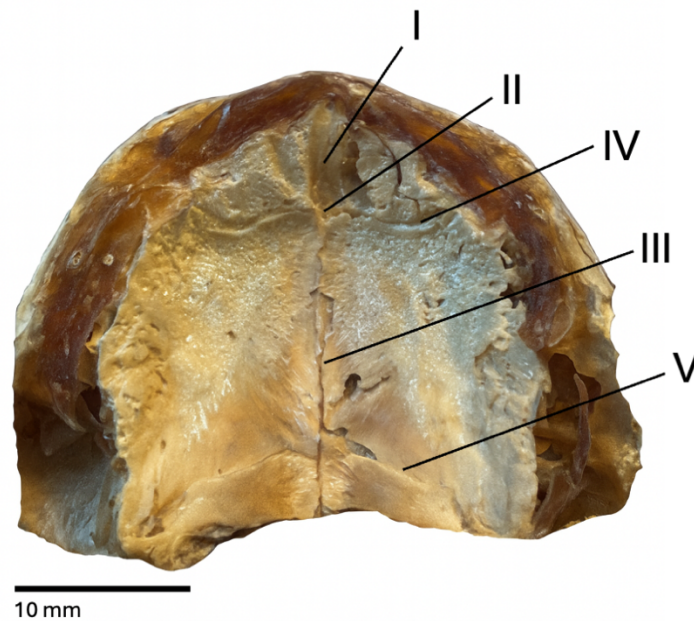


Abbildung 2: Suturen des Gaumens, markiert an einem mazerierten Kinderschädel aus der anatomischen Sammlung Mainz.

I: Sutura interincisiva (= Sutura interprämaxillaris). II: Foramen incisivum. III: Mittlere Gaumennaht (Sutura palatina mediana). IV: Sutura incisiva V: Sutura palatina transversa.

1.2.2 Entwicklung

Die Prämaxilla entwickelt sich aus Zellen der Neuralleiste. Diese beginnen in der vierten Woche der Embryonalentwicklung mit der Bildung des primären Gaumens, aus dem die Prämaxilla hervorgeht (Jiang *et al.* 2002, 2006). Zu diesem Zeitpunkt beginnen sich die paarigen medialen Nasenfortsätze und das Philtrum zu bilden. In der Mundhöhle beginnen sich paarige Vorsprünge zu bilden, die sich zum primären Gaumen verbinden (Hinrichsen und Beier 1993). Die Ossifikation dieser Knochensegmente zur Prämaxilla ist noch nicht vollständig verstanden. In der Literatur werden unterschiedliche Anzahlen von Ossifikationszentren angegeben, wobei die Angaben von einem bis zu sechs Zentren reichen (Felber 1917, Barteczko und Jacob 2004). Die Sutura interincisiva bildet die Verbindungsstelle der sich entwickelnden knöchernen Prämaxillahälften.

1.2.3 Geschichte

Die Eigenständigkeit der Prämaxilla ist ein viel diskutiertes Thema in der Anatomie und Anthropologie. Bereits Coiter (1573) und Goethe (1784) erkannten den Zwischenkiefer beim Menschen und beschrieben ihn als vergleichbar zum Os incisivum anderer Säugetiere. Ihre Beobachtungen widersprachen der bis dahin verbreiteten Ansicht, dass der Mensch keine separate Prämaxilla besitze, und trugen wesentlich zur modernen Auffassung der vergleichenden Anatomie bei, weshalb die Prämaxilla teilweise auch als Goethesknochen bezeichnet wird (Goethe 1784, Trevizan und Consolaro 2017). Weitere Untersuchungen, insbesondere der pränatalen Entwicklung deuten ebenfalls auf eine Eigenständigkeit der Prämaxilla hin (Barteczko und Jacob 2004). Vergleichend-anatomische Studien zeigen, dass die Prämaxilla bei fast allen Säugetieren, einschließlich nichtmenschlicher Primaten, eine eigenständige ossäre Struktur ist (Koyabu 2023). Die anhaltende Diskussion über die anatomische und funktionelle Unabhängigkeit der Prämaxilla verdeutlicht, dass ihre Suturen, insbesondere die Sutura interincisiva, bisher vergleichsweise wenig untersucht wurden.

1.3 Allgemeine Anatomie der Suturen

Im Allgemeinen sind Suturen bindegewebige Nahtstellen zwischen Knochen und gehören zu den unechten Gelenken (Synarthrosen). Als bindegewebige Verbindung gehören sie zu den *Juncturae fibrosae* und werden durch straffes faserreiches Bindegewebe gebildet (Di Ieva *et al.* 2013). Suturen können anhand ihrer morphologischen Unterschiede weiter unterteilt werden: die Sutura plana, serrata, squamosa und die Schindylesis. Bei der Sutura plana liegen die Knochen glatt aneinander. Bei der Sutura serrata kommt es zu einem reißverschlussartigen Ineingreifen der Knochen, was als Interdigitationen bezeichnet wird. Die Knochen der Sutura squamosa überlappen sich schräg. Bei einer Schindylesis greift ein Knochen in die spaltförmige Öffnung des anderen Knochens (Kontokollias 1965, Uygun *et al.* 2016).

Während der pränatalen Entwicklung kommt es ausgehend von den Ossifikationszentren zur Annäherung der Knochensegmente. Besonders am Kopf sind bei der Geburt die meisten Knochen durch Suturen getrennt. An den knöchernen

Rändern der Suturen befindet sich mesenchymales Bindegewebe. Diese enthalten multipotente Vorläuferzellen, die sich zu Osteoblasten differenzieren können. Nach der Differenzierung ermöglichen sie kontinuierliche Bildung von Knochen für die Anpassung an das Größenwachstum des Schädels. Suturen sind somit dynamische Wachstumszonen, die auf mechanische und biologische Reize reagieren und Form und Größe der Schädelknochen steuern (Opperman 2000). Die knöcherne Verbindung am Schluss des Wachstums einer Suture wird als Synostosierung bezeichnet. Sie geht von den, sich im mesenchymalen Bindegewebe differenzierten, Osteoblasten des Suturenspalts aus (Deng *et al.* 2025).

Das Wachstum und die Öffnung der Suturen wird über unterschiedliche Signalwege reguliert. Besonders wichtig dabei sind die FGF-, TGF β -, BMP- und Eph/ephrin-Signalwege. Dabei zeigen sich Gene wie *RBP4* und *GPC3* die in geöffneten Suturen stark exprimiert sind. Sich verschließende oder geschlossene Suturen exprimieren Gene wie *WIF1* und *ANXA3*. Die Veränderungen in diesen Signalwegen und der Genexpression sind mit Pathologien wie dem frühzeitigen Verschluss einzelner Schädelnähte (Craniosynostose) assoziiert (Rice 2008).

1.4 Suturen des harten Gaumens

1.4.1 Sutura palatina mediana

Die Sutura palatina mediana verläuft in der Medianebene vom Foramen incisivum zur Spina nasalis posterior. Sie ist ein zentraler Ort des prä- und postnatalen transversalen Wachstums des Oberkiefers. Im Verlauf des Wachstums zeigt sie zunehmende Interdigitationen, die die Stabilität des Gaumens erhöhen. Sie ist meist in der Kindheit geöffnet und verschließt sich erst in der Pubertät oder im jungen Erwachsenenalter. Zur Sutura palatina mediana und ihrer postnatalen Entwicklung gibt es zahlreiche Studien. Sie gilt deshalb als Referenzstruktur für kieferorthopädische Behandlungen (Angelieri *et al.* 2013, Katti *et al.* 2020).

1.4.2 Sutura incisiva

Die Sutura incisiva bildet die Verbindung zwischen der Prämaxilla und der Maxilla. Sie ist paarig angelegt und verläuft vom Foramen incisivum nach lateral, zur Grenze

zwischen den äußeren Schneidezähnen und Eckzähnen. Sie bildet embryologisch die Grenze zwischen primärem und sekundärem Gaumen, was ihre Bedeutung in der frühen Entwicklung des Gaumens unterstreicht (Delaire 1965). Sie ist in der frühen Kindheit meist geöffnet, was ein geringes Wachstum erlaubt. Sie verknöchert im weiteren Verlauf und ist meist bis zum zehnten Lebensjahr vollständig geschlossen (Nicol *et al.* 2020).

1.4.3 Sutura palatina transversa

Die Sutura palatina transversa ist die Verbindung des Processus palatinus der Maxilla und der Lamina horizontalis des Os palatinum. Sie ist postnatal meist noch geöffnet, um das Wachstum des Mittelgesichts zu unterstützen (Njio und Kjaer 1993). In der Kindheit zwischen dem fünften und zehnten Lebensjahr kommt es zur Ausbildung von Interdigitationen. Der vollständige Verschluss findet erst in der Pubertät statt und im hohen Erwachsenenalter ist sie meist makroskopisch nicht mehr zu erkennen (Vidić 1967).

1.4.4 Sutura interincisiva

Die im anterioren Gaumen gelegene Sutura interincisiva ist die Verbindung der linken und rechten Prämaxilla (Inouye 1912). Sie erstreckt sich von den oberen mittleren Schneidezähnen bis zum Foramen incisivum und geht kranial in die mediane Sutura des Vomer über (Delaire 1976). In der frühen postnatalen Phase ist diese Sutura als deutliche Verbindung zwischen den beiden Prämaxillae erkennbar, bevor sie im Verlauf der Entwicklung zunehmend obliteriert. Beim Erwachsenen ist die Prämaxilla meist vollständig mit der Maxilla fusioniert, sodass die ursprüngliche Sutura nur noch histologisch oder radiologisch erkennbar ist (Trevizan *et al.* 2018).

Dedizierte wissenschaftliche Veröffentlichungen zur postnatalen Entwicklung der Sutura interincisiva sind nur spärlich vorhanden. In den vorhandenen Veröffentlichungen wird meist ein früher Verschluss in der Kindheit angenommen und besonders die Rolle in der transversalen Entwicklung der Maxilla hervorgehoben. Der genaue Zeitpunkt und die Mechanismen dieses Verschlusses sind jedoch bislang unzureichend erforscht (Melsen 1975, Nicol *et al.* 2020).

1.5 Klinische Bedeutung der Suturen des Gaumens

Die Suturen des Oberkiefers besitzen eine hohe klinische Relevanz sowohl im Rahmen angeborener Fehlbildungen der pränatalen Entwicklung als auch bei postnatalen Kieferfehlstellungen und Wachstumsstörungen. In der Kieferorthopädie spielt die Beurteilung des suturalen Wachstums eine zentrale Rolle für die Diagnostik und Therapieplanung.

Die Sutura palatina mediana ist als Ort des transversalen Wachstums des Oberkiefers von besonderer Bedeutung. Ein vorzeitiger Verschluss dieser Suturen kann zu einer transversalen Wachstumshemmung und damit zu einem Schmaliefer führen. Wird die Wachstumsstörung frühzeitig erkannt, ist in der Regel eine konservative Therapie möglich, die darauf abzielt, das verbleibende Wachstumspotenzial durch mechanische Reize zu aktivieren. Dies erfolgt meist mittels zahngetragener Apparaturen, die einen kontrollierten transversalen Dehnungsreiz auf die Gaumennaht ausüben (Schmid *et al.* 2022).

Bei vollständig verknöchertem Gaumennaht, wie sie häufig im Erwachsenenalter vorliegt, kann eine chirurgisch assistierte Gaumennahterweiterung (SARPE) indiziert sein. Dabei wird die Maxilla im Bereich der Sutura palatina mediana chirurgisch getrennt und nach Beginn der Knochenheilung schrittweise expandiert (Cerritelli *et al.* 2022).

Die Sutura incisiva, die die Prämaxilla (Os incisivum) mit der Maxilla verbindet, besitzt eine besondere klinische Bedeutung (Trevizan *u. a.*, 2018). Sie markiert die Grenze zwischen primärem und sekundärem Gaumen und spielt eine zentrale Rolle in der Embryonalentwicklung. Bleibt die Verschmelzung in diesem Bereich aus, kommt es zur Ausbildung von Kieferspalt.

Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalten gehören mit einer Häufigkeit von etwa 1:500 Geburten zu den häufigsten angeborenen Entwicklungsstörungen. Eine Lippenpalte entsteht durch eine gestörte Fusion des medialen Nasenwulstes mit dem Oberkieferwulst. Bei einer Lippen-Kieferspalt ist zusätzlich die Prämaxilla betroffen. Dabei verläuft der Spalt entlang der Sutura incisiva. Kommt es darüber hinaus zu einem fehlenden Zusammenschluss des sekundären Gaumens, entsteht eine Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, die sich bis in die Gaumenregion fortsetzt. Neben ihrer ästhetischen Relevanz beeinflussen sie auch Sprachentwicklung, Nasenatmung und

Nahrungsaufnahme und erfordern in der Regel eine interdisziplinäre Therapie aus plastisch-chirurgischer, kieferorthopädischer und logopädischer Behandlung (Lauer *et al.* 2023).

Bei forensischen und anthropologischen Fragestellungen, wie der Altersbestimmung, sind die Schädelsturen von großer Relevanz (Upreti 2019). Dabei stehen seit längerem die Schädeldachsturen, wie die Sutura sagittalis, coronalis oder lambdoidea, im Vordergrund. Die Altersbestimmung ist bei diesen jedoch nur in Altersspannen möglich (z.B. Infans I, Infans II, Juvenis, Adultas, Maturitas und Senilis). Auch ist die Feststellung nicht über die ganze Lebenszeit des Menschen möglich (Parmar und Rathod 2012). Alternativ könnten die Sturen des Mittelgesichts, wie die Sutura palatina mediana, zur Ermittlung des Alters verwendet werden. Die Bestimmung des Alters ist jedoch auch hier nicht exakt möglich (Mann *et al.* 1991). Sturen des Gaumens erlauben eine Bestimmung des Alters mit einem Fehler von ca. 15 Jahren (Kobayashi *et al.* 2023). Die Genauigkeit ist jedoch stark von dem Alter des Probanden abhängig. Bei jüngeren Probanden ist die Feststellung des Alters durch die Sutura palatina mediana, im Vergleich zu den Schädeldachsturen, genauer möglich. (Hens und Godde 2020). Insgesamt ist die Bestimmung des Alters anhand von Sturen immer mit großen Unsicherheiten verbunden, weshalb weitere Merkmale, wie die Zahnentwicklung, bedacht werden sollten (Gutiérrez-Tiznado *et al.* 2023).

1.6 Klinische Bedeutung der Sutura interincisiva

Die Prämaxilla und ihre Sturen sind nicht nur entwicklungsgeschichtlich, sondern auch funktionell von zentraler Bedeutung. Während der frühen Wachstumsphase ermöglicht die offene Sutura interincisiva das symmetrische Wachstum des vorderen Gaumens und trägt zur korrekten Stellung der Schneidezähne und zur Form des Nasenbodens bei. Veränderungen in der Sturenentwicklung können daher zu dentalen und skelettalen Dysmorphien führen (Savoldi *et al.* 2018).

1.7 Studienziele

Das Ziel der Studie ist die Beschreibung der postnatalen Entwicklung der Sutura interincisiva. Dabei sollen die morphologischen Veränderungen über die menschliche

Lebenszeit dargestellt werden (Abb. 3). Dies soll über die Auswertung von radiologischen Bilddaten erfolgen. Die Bilder werden zunächst auf das Vorhandensein einer offenen Sutura interincisiva untersucht. Dafür werden die Patienten in Gruppen von je fünf Jahren eingeteilt. Anschließend werden die Suturen in Länge und Breite vermessen, um die Veränderung der Morphologie zu untersuchen.

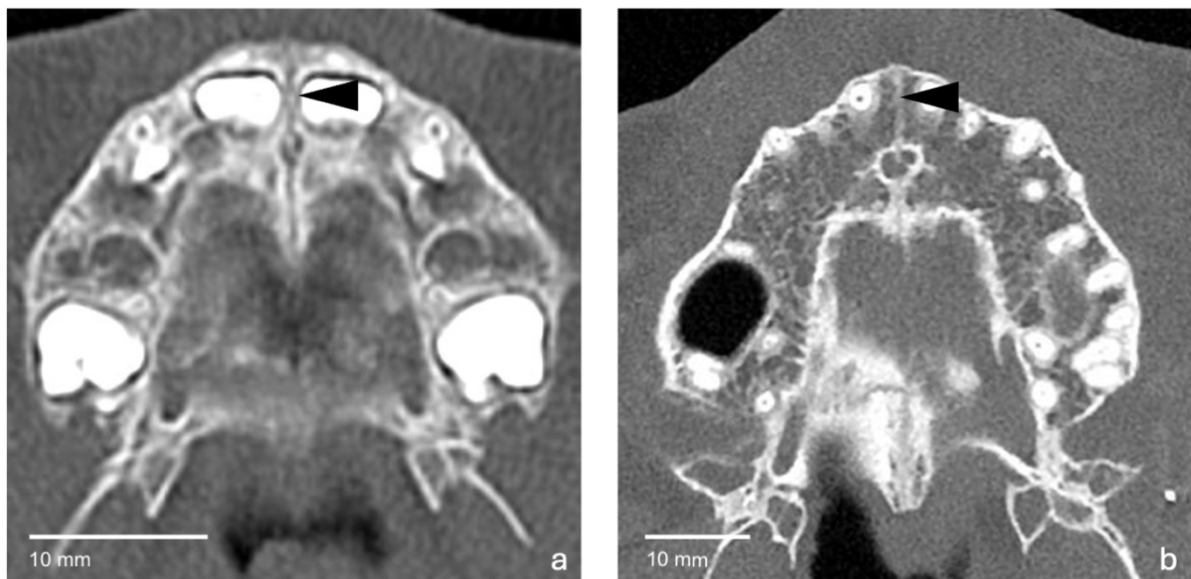


Abbildung 3: Computertomographische Darstellung des Gaumens eines 3-jährigen Patienten (a) und eines 75-jährigen Patienten (b).

Markiert sind eine offene Sutura interincisiva (Pfeilkopf in a) und eine vollständig geschlossene (synostosierte) Sutura interincisiva (Pfeilkopf in b).

2 Material und Methoden

2.1 Daten

Zur Untersuchung der Sutura interincisiva wurden craniale CT-Aufnahmen der Universitätsmedizin Mainz verwendet. Die retrospektive, anonymisierte Verwendung wurde durch das Ethikkomitee Rheinland-Pfalz genehmigt (2024-1747). Die Aufnahmen stammen von Patienten und Patientinnen zwischen 0 und 94 Jahren, die eine CT-Untersuchung aus medizinischen Gründen erhalten haben. Die Aufnahmen wurden vor den Messungen auf ihre Eignung hin geprüft. Dabei wurden Aufnahmen ausgeschlossen, bei denen der Gaumen nicht vollständig erkennbar war, sichtbare Pathologien vorlagen, oder die Aufnahmen eine zu hohe Schichtdicke aufwiesen. Klinische Daten wurden nicht erfasst.

Insgesamt wurden 384 Patienten in die Studie eingeschlossen. Das mittlere Alter betrug 42,9 Jahre bei Männern und 49,9 Jahre bei Frauen. Die Patienten wurden in Altersgruppen von je 5 Jahren eingeteilt. Die Verteilung der Patienten auf die verschiedenen Altersgruppen ist in Tabelle 1 dargestellt.

2.2 Messung

Die Messungen erfolgten mit der SECTRA Workstation (Linköping, Schweden). Die Ausrichtung der Bilder vor der Messung erfolgten in Anlehnung an Savoldi *et al.* (Savoldi *et al.* 2022). Die transversale Ebene wurde parallel zum harten Gaumen ausgerichtet. Die sagittale Ebene wurde orthogonal zur transversalen Ebene, durch die Spina nasalis anterior (ANS) und die Spina nasalis posterior (PNS) verlaufend, ausgerichtet. Die frontale Ebene wurde an den Wurzelspitzen der oberen mittleren Schneidezähne und orthogonal zur transversalen Ebene ausgerichtet. Dies sollte für eine Vergleichbarkeit der Breitemessungen der Suturen sorgen. Bei noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wurde die Mitte des Apex als Ausrichtungspunkt verwendet. Bei zahnlosen Kiefern wurde die wahrscheinlichste Position der Wurzelspitzen verwendet.

Die Messung der Häufigkeit erfolgte anhand der binären Kriterien „offen“ oder „geschlossen“. Als offen wurde eine Sutura definiert, wenn eine zusammenhängende hypodense Struktur zwischen der Spina nasalis anterior und dem Foramen incisivum

erkennbar war. Die hyperdensen lateralen Strukturen wurden als kortikaler Knochen der Prämaxilla identifiziert. Eine geschlossene Suture wurde als das Fehlen dieser hypodensen Struktur definiert, was die Synostose der Suture bedeutet.

Die Länge wurde ausgehend vom Foramen incisivum bis zur am weitesten frontal liegenden offenen Stelle der Suture interincisiva, an der Spina nasalis anterior gemessen. Bei teilweise offenen Suturen wurde das längste offene Segment zwischen Foramen incisivum und Spina nasalis anterior vermessen. Die Breite wurde in der axialen Ebene zwischen den Schneidezähnen auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenzen vermessen. Bei noch nicht durchgebrochenen oder fehlenden Schneidezähnen wurde die vermutete Position verwendet.

2.3 Datenanalyse

Die Analyse der Daten erfolgte mit jamovi (The Jamovi project 2025). Die Auswertung der Häufigkeitsdaten zum Vorhandensein der Suture erfolgte mit einer logistischen Regression. Die Analyse der Längen- und Breitendaten der Suturen erfolgte mit einer Spearman-Korrelation zur Feststellung eines möglichen monotonen Zusammenhanges zwischen Länge bzw. Breite und Alter.

Altersgruppen	Männer	Frauen	Insgesamt
0-4	17	14	31
5-9	11	4	15
10-14	12	11	23
15-19	10	7	17
20-24	18	3	21
25-29	11	8	19
30-34	17	7	24
35-39	9	8	17
40-44	11	6	17
45-49	10	12	22
50-54	4	8	12
55-59	14	10	24
60-64	14	7	21
65-69	15	10	25
70-74	12	8	20
75-79	9	11	20
80-84	11	8	19
85-89	6	13	19
90-94	6	12	18
Insgesamt	217	167	384

Tabelle 1: Übersicht der eingeschlossenen Patientinnen und Patienten

Aufteilung nach Geschlecht und ihre Verteilung auf die verschiedenen Altersgruppen.

3 Ergebnisse

Die Häufigkeit der Sutura interincisiva liegt bei 100 % in den Altersgruppen bis 14 Jahren (Abb. 4a). Anschließend nimmt die Häufigkeit stetig, bis zur Altersgruppe von 34 Jahren, auf ca. 54 % ab. Zwischen der Altersgruppe 30 bis 34 Jahre und der Gruppe 35 bis 39 Jahre kommt es zu einem starken Rückgang um ca. 37 %, von ca. 54 % in der Gruppe 30 bis 34 auf ca. 17 % in der Gruppe 35 bis 39 Jahre. In höheren Altersgruppen bleibt die Häufigkeit konstant und zeigt Höchstwerte von ca. 25 % in der Altersgruppe von 50 bis 54 Jahren und Minimalwerte von 0 % in der Gruppe von 75 bis 79 Jahren.

Beim Vergleich der Geschlechter (Abb. 4b) zeigen sich bis zum Alter von 14 Jahre keine Unterschiede. Bei männlichen Patienten kommt es zu einem graduellen Sinken der Häufigkeit auf ca. 47 % bis in die Altersgruppe 30 bis 34 Jahre. Anschließend kommt es zu einem starken Einbruch der Häufigkeit um ca. 36 % auf 11 % in der Altersgruppe 35 bis 39 Jahren. Die Häufigkeit bleibt in den nächsten Altersgruppen auf einem niedrigen Niveau, mit einem Höchstwert von 25 % in der Gruppe von 50 bis 54 Jahren und dem vollständigen Verschluss der Sutura bei allen Patienten in mehreren Altersgruppen.

In der weiblichen Kohorte kommt es, nach der Altersgruppe von 10 bis 14 Jahren, mit einer Häufigkeit von 100 %, zu einem starken Rückgang der offenen Suturen auf ca. 57 % in der Gruppe von 15 bis 19 Jahren. Die Häufigkeit in den weiteren Altersgruppen bleibt in einem ähnlichen Bereich, mit einem Höchstwert von 71 % in der Gruppe von 30 bis 34 Jahren. Die Häufigkeit sinkt auf 25 % in der Altersgruppe 35 bis 39 Jahre und schwankt zwischen diesem Wert und dem vollständigen Verschluss in den höheren Altersgruppen.

Das Modell der logistischen Regression war insgesamt statistisch signifikant ($\chi^2(3) = 206$, $p < 0.001$) und erklärte 39.9 % der Varianz in der Häufigkeit der Sutura interincisiva (McFadden $R^2 = 0.399$, ACU = 0.891). Beim Vergleich zwischen Alter und Auftreten der Sutura zeigt sich eine negative Korrelation mit einer Odds Ratio von 0.909 ($p < 0.001$). Es zeigte sich keine Korrelation zwischen der Häufigkeit einer offenen Sutura interincisiva und dem Geschlecht (OR = 0.304, $p = 0.054$). Die Interaktion zwischen Alter und Geschlecht und dem Auftreten der Sutura interincisiva zeigte eine signifikante Korrelation (OR = 1.041, $p = 0.007$).

Ergebnisse

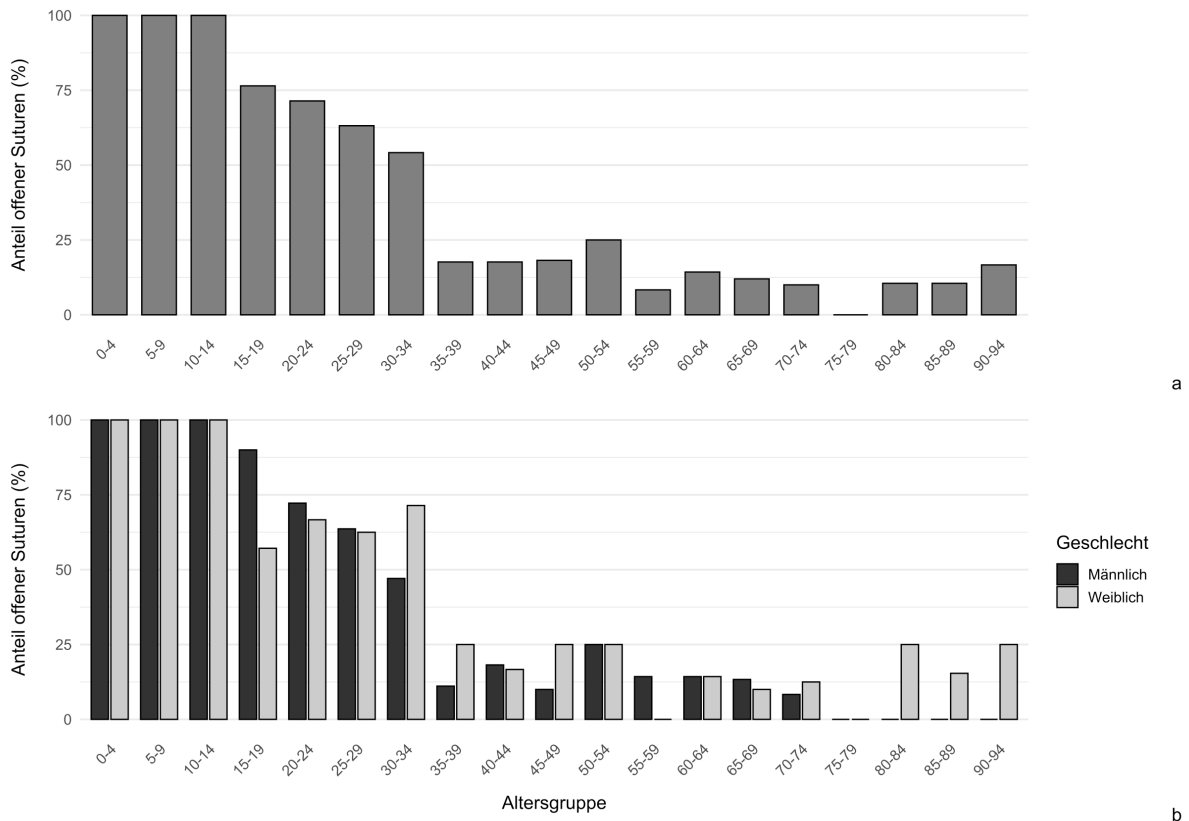


Abbildung 4: Relative Verteilung offener Suturen in verschiedenen Altersgruppen (a) und getrennt nach Geschlecht (b)

(a) Die Häufigkeit ist in den jüngeren Altersgruppen (0 bis 9 Jahre) am höchsten und nimmt mit zunehmendem Alter allmählich ab. In höheren Altersgruppen, insbesondere bei Personen im Alter von 90 bis 94 Jahren, ist ein leichter Anstieg des Vorkommens offener Suturen zu beobachten.

(b) Bei einer Aufschlüsselung nach Geschlecht zeigen sich für die meisten Altersgruppen ähnliche Verteilungen, jedoch treten zwischen den Altersgruppen von 15 bis 34 Jahren deutliche Geschlechtsunterschiede auf. Während bei Männern in dieser Phase ein kontinuierlicher Rückgang zu erkennen ist, zeigt sich bei Frauen kein vergleichbarer Trend. Zwischen 80 und 94 Jahren wurden offene Suturrae interincisivae ausschließlich bei Frauen beobachtet.

Verändert nach: Graef et al. (2025).

Die mittlere Breite der Sutura verringerte sich mit steigendem Alter (Abb. 5a). Bis zu einem Alter von 14 Jahren liegt die mittlere Breite der Sutura bei 1 mm, mit einer mittleren Abweichung von 0,25 mm. In den Altersgruppen über 14 bis 39 Jahren kommt es zu einer stetigen Abnahme der Breite, jedoch mit größeren Ungenauigkeiten bei einer mittleren Abweichung von 0,57 bis 0,77 mm. Die mittlere Breite erreicht in der

Altersgruppe von 40 bis 44 Jahren einen Wert von 0,02 mm und bewegt sich in den höheren Altersgruppen zwischen einem vollständigen Verschluss in den Altersgruppen 75 bis 84 Jahren und einer maximalen mittleren Breite von 0,19 mm in der Altersgruppe 85 bis 89 Jahren.

Es zeigt sich eine starke negative Korrelation zwischen Alter und der Suturenbreite ($r = -0,545$, $p < 0,001$). Wenn man die Breitenmessungen nach dem Geschlecht differenziert, zeigt sich eine starke negative Korrelation bei Männern ($r = -0.603$, $p < 0.001$), und eine moderate negative Korrelation bei Frauen ($r = -0.495$, $p < 0.001$).

Die mittlere Länge der Sutura interincisiva nimmt konstant mit zunehmendem Alter ab (Abb. 5b). Die mittlere Länge sinkt von 9,3 mm in der Altersgruppe 0 bis 4 Jahren langsam auf 8 mm in der Altersgruppe von 10 bis 14 Jahren, mit mittleren Abweichungen von bis zu 1,8 mm. Die mittlere Länge sinkt auf 0,3 mm in der Altersgruppe 40 bis 44 Jahren mit mittleren Abweichungen von bis zu 4,4 mm. In den höheren Altersgruppen schwankt sie zwischen einem vollständigen Verschluss in den Altersgruppen 75 bis 84 Jahren und einem Maximum von 1,6 mm in der Altersgruppe 50 bis 54 Jahren. Die mittleren Abweichungen schwanken zwischen 1,8 mm in der Altersgruppe 55 bis 59 Jahren und 3,7 mm in der Altersgruppe 50 bis 54 Jahren.

Es zeigt sich eine starke negative Korrelation zwischen Alter und Suturenlänge ($r = -0,530$, $p < 0,001$). Die Differenzierung der Längenmessungen nach dem Geschlecht zeigte eine starke negative Korrelation zwischen Alter und Suturenlänge bei Männern ($r = -0,582$, $p < 0,001$) und eine moderate Korrelation bei Frauen ($r = -0,483$, $p < 0,001$).

Ergebnisse

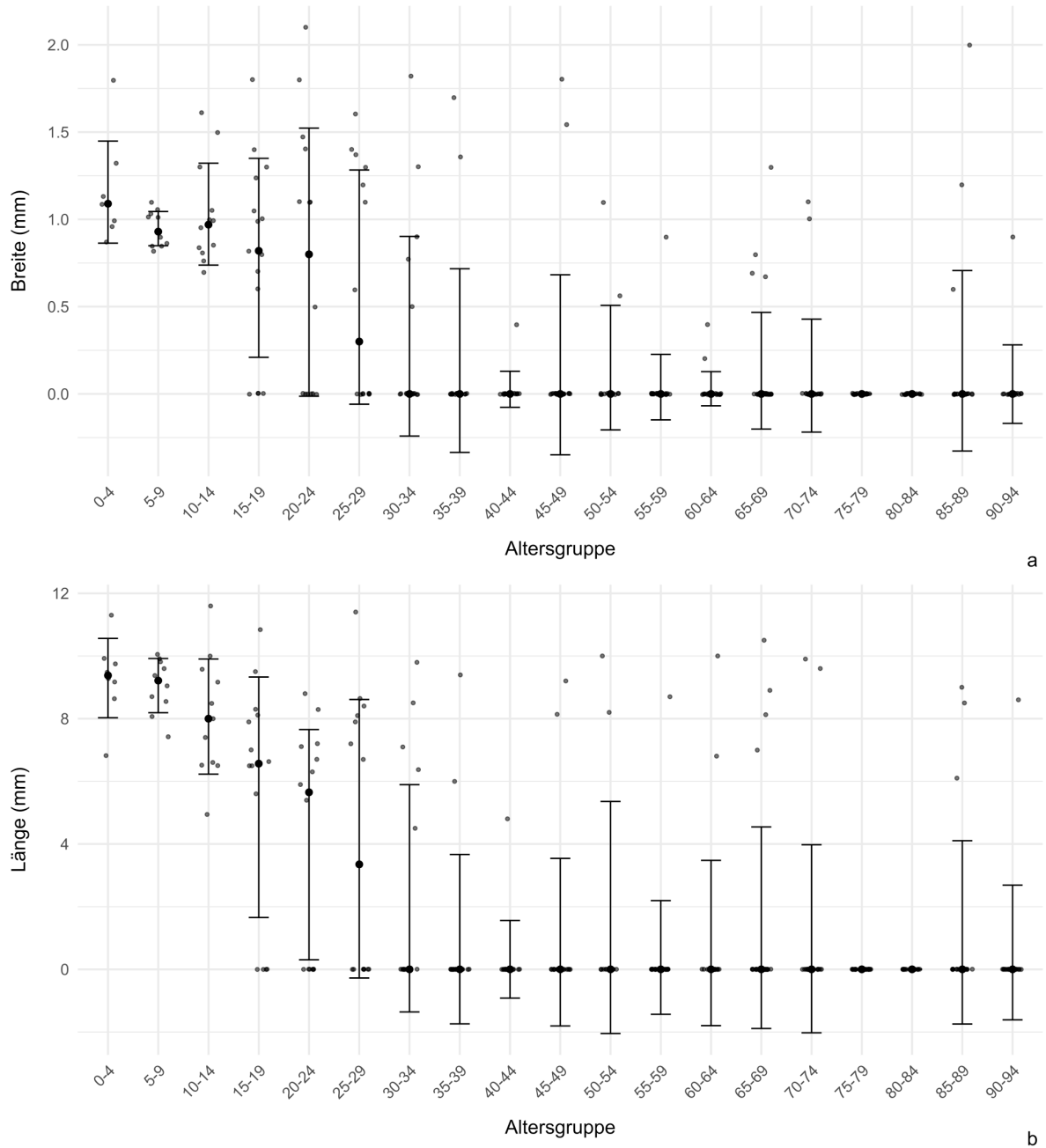


Abbildung 5: Mittlere Breite (a) und mittlere Länge (b) der (offenen) Sutura interincisiva in verschiedenen Altersgruppen.

Die mittlere Länge und Breite bleiben in den ersten drei Altersgruppen (0 bis 4, 5 bis 9 und 10 bis 14 Jahre) nahezu konstant und nehmen anschließend bis zur Altersgruppe 40 bis 44 ab. Darstellung von Mittelwert mit Standardabweichung. Verändert nach: Graef et al. (2025).

4 Diskussion

4.1 Altersabhängiger Suturenschluss

Ziel dieser Studie war es, die postnatale Entwicklung und den Verschluss der Sutura interincisiva mithilfe von CT-Messungen in einer großen Stichprobe (n = 384) zu untersuchen. Frühere Studien umfassten deutlich kleinere Stichproben von 28 bis 200 Patienten (Korbmacher *et al.* 2007, Katti *et al.* 2020). Unsere Ergebnisse zeigen einen klaren altersabhängigen Trend zur Obliteration der Sutura interincisiva. Bei Neugeborenen und Kleinkindern war die Sutura als deutlich sichtbarer, hypodenser Spalt, zwischen den beiden Prämaxillae erkennbar. Dieses Erscheinungsbild nahm im Jugend- und Erwachsenenalter schrittweise ab. Bei den meisten Personen über 35 Jahren war die Sutura weitgehend obliteriert. Diese Beobachtungen bestätigen, dass die Sutura interincisiva einen altersabhängigen Verschlussprozess durchläuft, der von einer vollständigen Offenheit im Kindesalter bis zu einem Verschluss bei etwa 80 % der Erwachsenen reicht.

Bei jüngeren Personen mit offener Sutura betrug der Spalt zwischen den Prämaxillae mehr als 1 mm in der Breite und erreichte Längen von bis zu 9,29 mm, ausgehend vom Foramen incisivum bis in den Bereich der mittleren Schneidezähne. Mit zunehmendem Alter wurde dieser Spalt kontinuierlich schmaler und kürzer. Bei den meisten Erwachsenen wies die Sutura weder messbare Länge noch Breite auf, was auf eine vollständige Fusion hinweist.

Die Darstellung der Einzelwerte zeigt, dass bei erwachsenen Personen mit einer weiterhin offenen Sutura ein leichter Rückgang der Länge im Vergleich zu den jüngeren Patienten nachzuweisen ist. Die Breite hingegen bleibt bei Patienten mit einer offenen Sutura interincisiva, im Vergleich zu den jüngeren Altersgruppen, konstant. Dies könnte darauf hindeuten, dass sich die Sutura interincisiva segmental verschließt, und nicht über ihre gesamte Länge hinweg kontinuierlich enger wird.

4.2 Geschlechtsspezifischer Suturenverschluss

Unsere Ergebnisse deuten auf geschlechtsspezifische Unterschiede im Alter der Obliteration der Sutura interincisiva hin. Zwar war das Geschlecht allein kein signifikanter Faktor für die Rate der Obliteration, jedoch zeigte die Interaktion zwischen

Geschlecht und Alter signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Während Jungen und Mädchen in der frühen Kindheit vergleichbare Raten offener Suturen aufwiesen, traten Unterschiede ab der Pubertät zunehmend deutlich, hervor. Weibliche Patienten zeigten in diesen Altersgruppen tendenziell eine frühere Obliteration als männliche. Im frühen Erwachsenenalter blieben die Raten offener Suturen bei Frauen weitgehend konstant, während Männer einen kontinuierlichen Rückgang über die folgenden Altersgruppen hinweg aufwiesen.

Biologische Faktoren wie Sexualhormone könnten eine Erklärung für diese Unterschiede liefern (Andrew *et al.* 2022). Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Ossifikation und Suturenobliteration wurden bereits früh beschrieben (Pryor 1928, Wu *et al.* 2022). Eines der wichtigsten Sexualhormone dabei könnte das Östrogen sein. Ihm wird eine entscheidende Rolle im Knochenstoffwechsel zugesprochen und er könnte damit auch Auswirkungen auf das Wachstum der Suturen des Schädels haben (James *et al.* 2009).

4.3 Vergleich mit anderen Suturen des Mittelgesichts

Beim Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Befunden zur postnatalen Entwicklung anderer Schädelnähte, insbesondere der Sutura palatina mediana, zeigen sich viele Parallelen. Die Sutura palatina mediana liegt posterior zur Sutura interincisiva und trägt gemeinsam mit dieser zum transversalen Wachstum des Gaumens bei (Haghanifar *et al.* 2017). Einige Autoren definierten die Sutura palatina mediana als durchgehende Naht, einschließlich der Sutura interincisiva, und verwendeten unterschiedliche Kategorien zur Beschreibung des Verschlusszustandes (Korbmacher *et al.* 2007, Angelieri *et al.* 2013, Haghanifar *et al.* 2017, Katti *et al.* 2020, Oliveira *et al.* 2021). Der Verschlussgrad wurde dabei von A bis E klassifiziert, wobei A bis C eine sichtbare Naht entlang der gesamten Maxilla einschließlich Prämaxilla bedeutete, D einen teilweisen Verschluss und E das völlige Verschwinden der Naht. Trotz dieser Definitionsunterschiede sehen wir diese Studien als geeignete Vergleichsgrundlage zu unseren Befunden.

Die genannten Studien zeigen, dass der Verschluss der Sutura palatina mediana typischerweise zwischen 11 und 20 Jahren beginnt (Angelier *et al.* 2013, Haghanifar *et al.* 2017, Katti *et al.* 2020). Einige Autoren berichteten über geschlechtsspezifische

Unterschiede, wobei Mädchen den Verschluss bereits zwischen 11 und 15 Jahren aufweisen (Angelier *et al.* 2013). Ein vollständiger Verschluss wird gewöhnlich im Alter von 40 bis 50 Jahren beobachtet. Nur sehr geringe Raten einer offenen Sutura palatina mediana wurden bei Personen über 60 Jahren gefunden, wobei die Aussagekraft durch begrenzte Stichprobengrößen eingeschränkt ist (Angelier *et al.* 2013, Haghanifar *et al.* 2017, Katti *et al.* 2020, Oliveira *et al.* 2021). Im Gegensatz dazu war bei älteren Patienten, in etwa 20 % der Fälle, eine offene Sutura interincisiva zu beobachten. Dies führt zu unserer Annahme der Eigenständigkeit der Sutura interincisiva gegenüber der Sutura palatina mediana, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich beide Suturen in ihrer Entwicklung gegenseitig beeinflussen.

4.4 Vergleichende Anatomie

Die Prämaxilla, als eigenständiger Knochen, ist bei vielen Tieren bereits seit längerem beschrieben. Die dargestellten Unterschiede in der Obliteration der Sutura palatina mediana und der Sutura interincisiva, könnten einen evolutionsbiologischen Hintergrund haben.

Menschenaffen, andere Affen und viele Säugetiere haben eine eigenständige Prämaxilla von der Maxilla. Bei ihnen ist oft eine deutlich sichtbare Sutura interincisiva zu erkennen (Koyabu 2023). Die Prämaxilla bildet zusammen mit der Nase die Schnauze, weshalb sie bei vielen Tieren eine prominentere Stellung im Mittelgesicht einnimmt als bei Menschen (Higashiyama *et al.* 2021). Diese unterschiedlichen Verhältnisse zeigen sich auch in der Entwicklung. Bei Primaten besteht meist bis in die postpubertären Entwicklungsstadien eine offene Sutura incisiva und interincisiva. Offene Suturen der Prämaxilla können auch bei ausgewachsenen Primaten in höheren Altern noch beobachtet werden. Auch die schwächer ausgeprägte Spina nasalis anterior bei Schimpansen könnte für eine, im Vergleich zum Menschen, verzögerte Obliteration der Sutura interincisiva sprechen (Mooney und Siegel 1991).

Auch funktionelle Unterschiede werden von Autoren als Grund der unterschiedlichen Obliterationsraten zwischen den verschiedenen Spezies beschrieben (Ashley-Montagu 1935). Bei Reptilien wird eine Form der echten kranialen Kinese beschrieben, die es den Tieren ermöglicht, durch die Bewegung von Schädelknochen Nahrung zu schlucken, die normalerweise zu groß für die Mundöffnung wäre (Arnold 1988). Dies

ist bei Säugetieren, und insbesondere Primaten, nicht beschrieben. Eine persistierende Sutura interincisiva erlaubt bei großen Kaukräften eine von der Maxilla unabhängige Bewegung. Besonders bei Nagetieren unterstützt die Prämaxilla das andauernde Wachsen der Schneidezähne und reduziert die Übertragung von mechanischem Stress beim Nagen auf die Maxilla und den Schädel (Krentzel 2019). Bei Schweinen könnte die erhöhte Mobilität der Schnauze ein schützender Faktor sein. (Rafferty *et al.* 2003). Die beim Wühlen im Boden auftretenden Kräfte könnten durch die Flexibilität reduziert werden.

Auch der Vergleich zu stammesgeschichtlichen Verwandten des Menschen, wie dem Neandertaler (*Homo neanderthalensis*), deutet auf später stattfindende Obliteration der Suturen der Prämaxilla hin (Maureille und Bar 1999). Neandertaler zeichnen sich durch ein robustes Mittelgesicht mit einer prominenten Nase aus (Rak 1986). Diese Merkmale könnten auf die, im Vergleich zum Menschen, spätere Obliteration der Suturen des Mittelgesichts zurückzuführen sein.

4.5 Methodenkritik

Bei der Beurteilung der Ergebnisse steht besonders die Methodik im Mittelpunkt. Dabei ist für die vorliegende Studie besonders die Auswahl der Patientengruppe, das Bildgebungsverfahren und das Messverfahren von großer Bedeutung.

Die Einteilung der Altersgruppen schließt wichtige Entwicklungszeitpunkte des Mittelgesichts und des Gebisses ein. In der ersten Altersgruppe von 0 bis 4 Jahren kommt es zur ersten Dentition. Die weiteren Altersgruppen sind durch die zweite Dentition und den Beginn der Pubertät gekennzeichnet (Yang und Kiyak 1998). Diese Entwicklungsphasen sind von großem Interesse bei der Beschreibung der Entwicklung der Sutura interincisiva, jedoch ist die Auswahl von Bilddaten in diesen Altersgruppen mit großen Schwierigkeiten verbunden. Untersuchungen mit Röntgenstrahlungen sind bei sehr jungen Patienten nur nach strenger Abwägung möglich. Es müssen die Risiken der in diesem Alter erhöhten Strahlenempfindlichkeit, mit dem Nutzen der Untersuchung abgewogen werden (Brody *et al.* 2007). Dies ist besonders relevant bei CT-Untersuchungen des Kopfes, die mit einer hohen Strahlenbelastung auf strahlensensible Organe, wie die Augen, Speicheldrüsen und das zentrale Nervensystem einhergehen (Basu und Bhaskar 2019). Eine Untersuchung findet nur

bei einer starken Indikation statt, wenn eine schnelle Bildgebung zum Ausschluss schwerer Erkrankungen oder Verletzungen nötig ist. Dies führt zu einer Vorselektion der Patienten. Aufnahmen, bei denen eine Verletzung des Gesichts oder umliegender Strukturen erkennbar war, wurden ausgeschlossen. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse können jedoch nicht genauer beschrieben werden und könnten einen Einfluss auf die Generalisierbarkeit haben. Auch in den höheren Altersgruppen führt die Verwendung von klinischen Daten zu ähnlichen Risiken. Aufnahmen mit offensichtlichen Pathologien wurden ebenfalls ausgeschlossen, doch zusammen mit der Anonymisierung der Daten besteht die Möglichkeit unbekannter Einflussfaktoren (z.B. metabolische Erkrankungen), die das Ergebnis verzerren können.

Weitere Einschränkungen ergeben sich aus der verwendeten Methode zur Beurteilung der Suture und Messung von Breite und Länge. Die CT-Untersuchungen unterscheiden sich in Auflösung, Schichtdicke und Artefakten durch Metall in prothetischen Zahnrestorationen (Baxter und Sorenson 1981). Weitere Ungenauigkeit ergibt sich aus der manuellen Messung, die durch die Verwendung anatomischer Landmarken zwar standardisiert wurde, jedoch weiterhin Interpretation durch den Untersucher benötigte.

Moderne CT-Scanner haben eine hohe Auflösung mit starkem Weichteilkontrast, die sie für anatomische Untersuchungen an lebenden Patienten optimal macht. Andere häufig verwendete Untersuchungen in der Zahnmedizin, wie die DVT-Untersuchung, wären alternative Quellen für Bilddaten gewesen. Die im Vergleich zu CT-Untersuchungen schlechtere Auflösung und der geringere Weichteilkontrast hätten die zuvor beschriebenen Ungenauigkeiten jedoch weiter verstärkt. (Lechuga und Weidlich 2016). MRT-Untersuchungen wären eine weitere Möglichkeit gewesen. Durch die ausbleibende Strahlenbelastung hätten mehr Patienten in den jüngeren Altersgruppen eingeschlossen werden können. Die Weichgewebstdarstellung bei MRT-Aufnahmen wäre der CT überlegen. Die schlechte Darstellung von Knochengewebe, aufgrund des niedrigen Wassergehalts macht die Beurteilung von Suturen und deren Vermessung in MRT-Untersuchungen im Vergleich zu CT-Untersuchungen jedoch deutlich schwieriger und ungenauer. (Heye *et al.* 2012). Die höhere Verfügbarkeit der CT im klinischen Alltag bedeutet auch eine größere Datengrundlage bei der Auswahl von Patienten. Insgesamt stellt somit die CT zurzeit das geeignetste Verfahren zur retrospektiven Untersuchung der Suturen dar.

Das retrospektive Design der Studie könnte ebenfalls die Aussagekräftigkeit der Studie beeinflussen. Die Beobachtungen über die verschiedenen Altersgruppen stammen von unterschiedlichen Individuen. Daten über die Suturenentwicklung bei einzelnen Individuen über die Lebenszeit oder wichtige Lebensabschnitte hinweg, könnten das Verständnis über Veränderungen des Mittelgesichts, der Prämaxilla und insbesondere der Sutura interincisiva verbessern. Grundlage für diese Daten könnten Untersuchungen im Rahmen von kieferorthopädischen Behandlungen oder bei regulären Zahnarztbesuchen sein. Die dabei erhobenen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen sind jedoch aufgrund der oben beschriebenen Einschränkungen, im Vergleich zur CT, in ihrer Aussagekraft nicht gleichwertig. Eine prospektive Untersuchung mit der CT ist aufgrund der hohen Strahlenbelastung ausgeschlossen.

Die Aufteilung in Fünf-Jahres-Altersgruppen sorgte für eine deutliche Darstellung der Veränderungen zwischen den Entwicklungsabschnitten, hatte jedoch starke Unterschiede in den Fallzahlen zwischen den Altersgruppen zur Folge. Dies zwingt zu einer vorsichtigen Interpretation von Unterschieden zwischen einzelnen Gruppen. Eine Aussage über mehrere Altersgruppen hinweg ist jedoch möglich und zeigt sich auch in den Daten als ein Trend zum Verschluss der Sutura interincisiva mit zunehmendem Alter. Der Kompromiss zwischen anatomischer Eingruppierung nach Entwicklungsabschnitten und der reduzierten Auflösung bei Veränderung innerhalb einer Altersgruppe ist eine Limitation dieser Studie, die jedoch zur Darstellung der größeren Zusammenhänge bei der Entwicklung der Sutura interincisiva hingenommen wurde.

4.6 Klinische Implikationen

Während der frühen Entwicklung ermöglicht die offene Sutura interincisiva sowohl ein transversales als auch ein longitudinales Wachstum der Prämaxilla. Ein weiterhin bestehendes Wachstumspotenzial der Sutura interincisiva könnte die Stellung der Schneidezähne beeinflussen und den Erfolg kieferorthopädischer Behandlungen mitbestimmen. Der Verschluss der Sutura am Ende der Pubertät begrenzt die Möglichkeiten kieferorthopädischer Therapien (Trevizan und Consolaro 2017). Chirurgische Gaumennahtweiterungen der Sutura palatina mediana werden zurzeit verwendet, um fehlendem Wachstumspotenzial des Oberkiefers entgegenzuwirken.

Das Wissen um die Zeitpunkte des Verschlusses der Sutura interincisiva könnte Klinikern bei der Entscheidung über den Zeitpunkt der chirurgischen Intervention, unterstützen. Umgekehrt kann ein früherer Verschluss der Sutura interincisiva eine mögliche Ursache bei einem Therapieversagen sein. (Kraut 1984).

Auch für die rekonstruktive und implantologische Chirurgie ist die Kenntnis des Verlaufs und Verschlusses der Sutura interincisiva von Bedeutung. Eine persistierende Naht könnte die Stabilität knöcherner Augmentationen oder Implantatbettpräparationen beeinflussen, während eine vollständige Obliteration auf eine feste knöcherne Verbindung hinweist.

4.7 Ausblick

Die vorliegende Studie könnte ein Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zur Sutura interincisiva und der Entwicklung des Mittelgesichts sein.

In der Kieferorthopädie steht zwar die Sutura palatina mediana im Fokus. Die Sutura interincisiva könnte jedoch auch Einfluss auf das anteriore Gaumenwachstum, die Form der Zahnbögen und die Entwicklung des interdentalen Bereichs zwischen den zentralen Schneidezähnen nehmen.

Radiologisch ist die Sutura interincisiva in der Regel nur bei jüngeren Patienten oder in speziellen Projektionen sichtbar. Mit der Verfügbarkeit moderner hochauflösender Bildgebung (z. B. CT und DVT) lassen sich jedoch selbst feinste Strukturen dieser Sutura nachvollziehen. Dies eröffnet neue Möglichkeiten zur Beurteilung von Wachstumsprozessen, zur Diagnostik bei Dysgnathien und zur präoperativen Planung bei Eingriffen im anterioren Gaumenbereich.

Schließlich könnte die Sutura interincisiva auch in der Anthropologie und forensischen Medizin eine Rolle spielen. Das Muster und der Zeitpunkt ihrer Obliteration könnten Aufschluss über das biologische Alter geben und zur Altersbestimmung in bildgebenden oder osteologischen Untersuchungen beitragen.

Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern wurden hier bereits beschrieben, jedoch war die Studie auf die Untersuchung der genauen Faktoren dieser Unterschiede nicht ausgelegt. Genetische und molekulare Faktoren, die das Wachstum beeinflussen, könnten ein weiterer Punkt zukünftiger Studien sein.

Auch weitere vergleichende anatomische Untersuchungen könnten nähere Erkenntnisse über die Funktion und Entwicklung der Prämaxilla und ihrer Suturen bringen. Besonders der Vergleich zu anderen Primaten könnte hier ein guter Ansatzpunkt sein. Dabei könnten sich auch weitere Nachweise für die immer noch diskutierte Eigenständigkeit der Sutura interincisiva ergeben.

5 Zusammenfassung

Die Sutura interincisiva verbindet die Prämaxilla beider Körperhälften und erstreckt sich von der Spina nasalis anterior bis zum Foramen incisivum. Nach kranial setzt sie sich in die Naht des Vomer fort.

Die Eigenständigkeit der Prämaxilla war lange Zeit umstritten und ist es teilweise bis heute. Zu den Erstbeschreibern gehörten Coiter (1573) und Goethe (1784), die sie, als dem Zwischenkiefer anderer Säugetiere vergleichbar, beschrieben. Ergebnisse aus der vergleichenden Anatomie und Embryologie stützen ebenfalls die Annahme einer eigenständigen Entwicklung der Prämaxilla. Aufgrund der langwierigen Debatte um ihre Eigenständigkeit wurde die Erforschung der Sutura interincisiva im Vergleich zu anderen Suturen des Mittelgesichts bislang vernachlässigt.

Ziel dieser Studie war es, die Entwicklung der Sutura interincisiva über die Lebensspanne des Menschen zu beschreiben, insbesondere in Bezug auf die Häufigkeit offener Suturen in unterschiedlichen Altersgruppen, sowie die Veränderungen ihrer Länge und Breite. Hierzu wurden anonymisierte craniale CT-Daten von Patientinnen und Patienten der Universitätsmedizin Mainz verwendet, bei denen keine Pathologien des Mittelgesichts beobachtet wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Verschluss der Sutura in der Altersgruppe der 15- bis 19-Jährigen beginnt und bis zur Altersgruppe der 35- bis 39-Jährigen andauert. In höheren Altersgruppen blieben Raten von bis zu 25 % offener Suturen bestehen. Zudem zeigten sich in verschiedenen Altersgruppen geschlechtsspezifische Unterschiede mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Verschlusses. In höheren Altersgruppen wiesen Frauen insgesamt höhere Raten offener Suturen auf. Länge und Breite der Sutura interincisiva nahmen mit zunehmendem Alter kontinuierlich ab.

Die beobachteten Geschlechterunterschiede könnten auf hormonelle Einflüsse hinweisen. Ein möglicher Faktor wäre Östrogen, dem eine regulierende Wirkung auf den Knochenstoffwechsel und die Suturenentwicklung zugeschrieben wird. Der Vergleich mit anderen Gaumennähten, insbesondere der *Sutura palatina mediana*, zeigt sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. Während letztere in höheren Altersgruppen nahezu vollständig obliteriert, blieb die *Sutura interincisiva* bei etwa 20 % der untersuchten Personen erhalten.

Methodisch bestätigt sich, dass die CT-Bildgebung trotz gewisser Limitationen, wie Strahlenexposition und möglichen Artefakten, derzeit die verlässlichste Methode zur retrospektiven Analyse kranialer Suturen darstellt. Die gewonnenen Erkenntnisse besitzen klinische Relevanz, da sie Rückschlüsse auf das Wachstumspotenzial der *Sutura interincisiva* erlauben. Dies ist insbesondere für kieferorthopädische und chirurgische Behandlungsplanungen von Bedeutung. Zukünftige Studien sollten genetische, hormonelle und funktionelle Einflussfaktoren des Suturenverschlusses detaillierter untersuchen und vergleichend-anatomische Analysen einbeziehen, um die evolutionäre und klinische Bedeutung der *Sutura interincisiva* weiter aufzuklären.

6 Literaturverzeichnis

Andrew, T.W. et al. (2022) „Sexually dimorphic estrogen sensing in skeletal stem cells controls skeletal regeneration“, *Nature Communications*, 13(1), S. 6491. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34063-5>.

Angelieri, F. et al. (2013) „Midpalatal suture maturation: Classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion“, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(5), S. 759–769. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.022>.

Arnold, E.N. (1988) „Cranial Kinesis in Lizards“, in M.K. Hecht, R.J. Macintyre, und M.T. Clegg (Hrsg.) *Evolutionary Biology*. Boston, MA: Springer US, S. 323–357. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1751-5_9.

Ashley-Montagu, M.F. (1935) „The premaxilla in the primates“, *The Quarterly Review of Biology*, 10(1), S. 32–59.

Barteczko, K. und Jacob, M. (2004) „A re-evaluation of the premaxillary bone in humans“, *Anatomy and Embryology*, 207(6), S. 417–437. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00429-003-0366-x>.

Basu, T. und Bhaskar, N. (2019) „Overview of Important “Organs at Risk” (OAR) in Modern Radiotherapy for Head and Neck Cancer (HNC)“, in D. Afroze (Hrsg.) *Cancer Survivorship*. IntechOpen. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.5772/intechopen.80606>.

Baxter, B.S. und Sorenson, J.A. (1981) „Factors Affecting the Measurement of Size and CT Number in Computed Tomography“, *Investigative Radiology*, 16(4). Verfügbar unter: https://journals.lww.com/investigativeradiology/fulltext/1981/07000/factors_affecting_the_measurement_of_size_and_ct.17.aspx.

Brody, A.S. et al. (2007) „Radiation Risk to Children From Computed Tomography“, *Pediatrics*, 120(3), S. 677–682. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1542/peds.2007-1910>.

Cerritelli, L. et al. (2022) „Rapid Maxillary Expansion (RME): An Otolaryngologic Perspective“, *Journal of Clinical Medicine*, 11(17), S. 5243. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/jcm11175243>.

Claassen, H. et al. (2021) „Lippen, Mundhöhle und Pharynx – Anatomie, physiologische Grundlagen und Diagnostik“, in M. Reiß (Hrsg.) *Facharztwissen HNO-Heilkunde*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 577–597. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58178-0_29.

Dave, M.R., Yagain, V.K. und Anadkat, S. (2013) „A study of the anatomical variations in the position of the greater palatine foramen in adult human skulls and its clinical significance“, *Int J Morphol*, 31(2), S. 578–583.

Delaire, J. (1965) „Die seitlichen Grenzen des Os incisivum: Untersuchung einiger angeborener Mißbildungen“, *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 26(4), S. 391–395. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/BF02168480>.

Delaire, J. (1976) „Betrachtungen über die Wachstumszunahme der Prämaxilla beim Menschen“, *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 37(2), S. 167–183. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/BF02169479>.

Deng, M. et al. (2025) „Synostosis of joints caused by mutant FBN2 is linked to the abnormalities and misdifferentiation of articular surface cells“, *Genetics in Medicine*, 27(10), S. 101537. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.gim.2025.101537>.

Di Ieva, A. et al. (2013) „Cranial sutures: a multidisciplinary review“, *Child's Nervous System*, 29(6), S. 893–905. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00381-013-2061-4>.

Felber, P. (1917) *Anlage-und Entwicklung des maxillare und praemaxillare beim Menschen...*

Goethe, V. (1784) „Über den Zwischenkiefer des Menschen und der Tiere“, *Handschriftlich: mit Tafeln* [Preprint].

Gutiérrez-Tiznado, P., López-Lázaro, S. und Fonseca, G.M. (2023) „Age estimation by evaluation of obliteration of the palatine sutures: a scoping review“, *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 20(2), S. 716–723. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s12024-023-00645-y>.

Haghanifar, S. et al. (2017) „Assessment of midpalatal suture ossification using cone-beam computed tomography“, *Electronic Physician*, 9(3), S. 4035–4041. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.19082/4035>.

Helwany, M. und Rathee, M. (2025) *Anatomy, Head and Neck, Palate*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL). Verfügbar unter: <http://europepmc.org/abstract/MED/32491749>.

Hens, S.M. und Godde, K. (2020) „New Approaches to Age Estimation Using Palatal Suture Fusion“, *Journal of Forensic Sciences*, 65(5), S. 1406–1415. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14485>.

Heye, T. et al. (2012) „Detection and size of pulmonary lesions: how accurate is MRI? A prospective comparison of CT and MRI“, *Acta Radiologica*, 53(2), S. 153–160. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1258/ar.2011.110445>.

Higashiyama, H. et al. (2021) „Mammalian face as an evolutionary novelty“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(44), S. e2111876118. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1073/pnas.2111876118>.

Hinrichsen, K. und Beier, H.M. (1993) *Humanembryologie: Lehrbuch und Atlas der vorgeburtlichen Entwicklung des Menschen*.

Inouye, M. (1912) „Der Zwischenkiefer, Seine Entstehung und der Verlauf der Hasenscharten Kieferspalte und der Schrägen Gesichtsspalte“, *Anatomische Hefte*, 45(2), S. 471–610.

James, A.W. et al. (2009) „Estrogen/Estrogen Receptor Alpha Signaling in Mouse Posterofrontal Cranial Suture Fusion“, *PLoS ONE*. Herausgegeben von V. Laudet, 4(9), S. e7120. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007120>.

- The jamovi project (2025). *jamovi* (Version 2.6) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>
- Jiang, R., Bush, J.O. und Lidral, A.C. (2006) „Development of the upper lip: Morphogenetic and molecular mechanisms“, *Developmental Dynamics*, 235(5), S. 1152–1166. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/dvdy.20646>.
- Jiang, X. et al. (2002) „Tissue Origins and Interactions in the Mammalian Skull Vault“, *Developmental Biology*, 241(1), S. 106–116. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1006/dbio.2001.0487>.
- Katti, G. et al. (2020) „Evaluation of Midpalatal Suture Ossification Using Cone-Beam Computed Tomography: A Digital Radiographic Study“, *Acta Medica (Hradec Kralove, Czech Republic)*, 63(4), S. 188–193. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.14712/18059694.2020.62>.
- Kobayashi, S. et al. (2023) „Age estimation by evaluating median palatine suture closure using postmortem CT“, *International Journal of Legal Medicine*, 137(4), S. 1097–1107. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00414-023-02994-3>.
- Kontokollias, J. (1965) „Die Entwicklungskinetik der Schädelnähte“, *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 57(1), S. 29–40.
- Korbmacher, H. et al. (2007) „Age-dependent Three-dimensional Microcomputed Tomography Analysis of the Human Midpalatal Suture“, *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*, 68(5), S. 364–376. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00056-007-0729-7>.
- Koyabu, D. (2023) „Evolution, conservatism and overlooked homologies of the mammalian skull“, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1880), S. 20220081. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0081>.
- Kraut, R.A. (1984) „Surgically assisted rapid maxillary expansion by opening the midpalatal suture“, *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(10), S. 651–655. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/0278-2391\(84\)90207-6](https://doi.org/10.1016/0278-2391(84)90207-6).
- Krentzel, D. (2019) „The Evolutionary Anatomy, Biomechanics, and Diversification Dynamics of Repeatedly Evolved Masseter Muscles in Rodents“. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.6082/UCHICAGO.1878>.
- Langford, R.J. (1989) „The contribution of the nasopalatine nerve to sensation of the hard palate“, *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 27(5), S. 379–386. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/0266-4356\(89\)90077-6](https://doi.org/10.1016/0266-4356(89)90077-6).
- Lauer, G., Pradel, W. und Birdir, C. (2023) „Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte: Eine der häufigsten angeborenen Fehlbildungen“, *HNO*, 71(4), S. 276–284. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00106-023-01291-0>.
- Lechuga, L. und Weidlich, G.A. (2016) „Cone Beam CT vs. Fan Beam CT: A Comparison of Image Quality and Dose Delivered Between Two Differing CT Imaging Modalities“, *Cureus* [Preprint]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.7759/cureus.778>.

- Mann, R. et al. (1991) „Maxillary Suture Obliteration: A Visual Method for Estimating Skeletal Age“, *Journal of Forensic Sciences*, 36(3), S. 781–791. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1520/JFS13088J>.
- Maureille, B. und Bar, D. (1999) „The premaxilla in Neandertal and early modern children: ontogeny and morphology“, *Journal of Human Evolution*, 37(2), S. 137–152. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1006/jhev.1999.0312>.
- Melsen, B. (1975) „Palatal growth studied on human autopsy material“, *American Journal of Orthodontics*, 68(1), S. 42–54. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90158-X](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90158-X).
- Mooney, M.P. und Siegel, M.I. (1991) „Premaxillary-maxillary suture fusion and anterior nasal tubercle morphology in the chimpanzee“, *American Journal of Physical Anthropology*, 85(4), S. 451–456. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330850408>.
- Nicol, P. et al. (2020) „Incidence and morphology of the incisive suture in CT scanning of young children and human fetuses“, *Surgical and Radiologic Anatomy*, 42(9), S. 1057–1062. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00276-020-02521-8>.
- Njio, B.J. und Kjaer, I. (1993) „The development and morphology of the incisive fissure and the transverse palatine suture in the human fetal palate“, *Journal of Craniofacial Genetics and Developmental Biology*, 13(1), S. 24–34.
- Oliveira, R.D.S. et al. (2021) „Maturation stages of the sutures in the median palatine evaluated with cone-beam computed tomography“, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 160(4), S. 567–572. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.05.026>.
- Opperman, L.A. (2000) „Cranial sutures as intramembranous bone growth sites“, *Developmental Dynamics*, 219(4), S. 472–485. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1002/1097-0177\(2000\)9999:9999%253C::AID-DVDY1073%253E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1097-0177(2000)9999:9999%253C::AID-DVDY1073%253E3.0.CO;2-F).
- Parmar, P. und Rathod, G. (2012) „DETERMINATION OF AGE BY STUDY OF SKULL SUTURES“, *International journal of current research and review*, 4, S. 127–133.
- Pryor, J.W. (1928) „Difference in the Ossification of the Male and Female Skeleton“, *Journal of Anatomy*, 62(Pt 4), S. 499–506.
- Rafferty, K.L., Herring, S.W. und Marshall, C.D. (2003) „Biomechanics of the rostrum and the role of facial sutures“, *Journal of Morphology*, 257(1), S. 33–44. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/jmor.10104>.
- Rak, Y. (1986) „The Neanderthal: A new look at an old face“, *Journal of Human Evolution*, 15(3), S. 151–164. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(86\)80042-2](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(86)80042-2).
- Rice, D.P. (Hrsg.) (2008) *Craniofacial Sutures: Development, Disease and Treatment*. S. Karger AG (Frontiers of Oral Biology). Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1159/isbn.978-3-8055-8152-3>.

- Robinson, M. et al. (2018) „Diseases of the oral mucosa“, in Robinson, M. et al., *Soames' & Southam's Oral Pathology*. 5. Aufl. Oxford University Press Oxford, S. 11–58. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199697786.003.0007>.
- Rudert, H. und Maune, S. (1997) „Die endonasale Koagulation der Arteria sphenopalatina bei schwerer posteriorer Epistaxis“, *Laryngo-Rhino-Otologie*, 76(02), S. 77–82. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1055/s-2007-997391>.
- Savoldi, F. et al. (2018) „Anatomical and mechanical properties of swine midpalatal suture in the premaxillary, maxillary, and palatine region“, *Scientific Reports*, 8(1), S. 7073. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25402-y>.
- Savoldi, F. et al. (2022) „Midpalatal suture maturation staging using cone beam computed tomography in patients aged between 9 to 21 years“, *Scientific Reports*, 12(1), S. 4318. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08293-y>.
- Schmid, J.Q. et al. (2022) „Non-Surgical Transversal Dentoalveolar Compensation with Completely Customized Lingual Appliances versus Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion in Adults-The Amount of Posterior Crossbite Correction“, *Journal of Personalized Medicine*, 12(11), S. 1893. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/jpm12111893>.
- Skrzat, J., Holiat, D. und Walocha, J. (2003) „A morphometrical study of the human palatine sutures“, *Folia Morphologica*, 62(2), S. 123–127.
- Trevizan, M. et al. (2018) „Premaxilla: up to which age it remains separated from the maxilla by a suture, how often it occurs in children and adults, and possible clinical and therapeutic implications: Study of 1,138 human skulls“, *Dental Press Journal of Orthodontics*, 23(6), S. 16–29. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.23.6.016-029.oin>.
- Trevizan, M. und Consolaro, A. (2017) „Premaxilla: an independent bone that can base therapeutics for middle third growth!“, *Dental Press Journal of Orthodontics*, 22(2), S. 21–26. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.22.2.021-026.oin>.
- Upreti, Dr.A. (2019) „Determination of age from fusion of skull vault sutures“, *International Journal of Forensic Medicine*, 1(1), S. 04–06. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.33545/27074447.2019.v1.i1a.2>.
- Uygun, S. et al. (2016) „Descriptive Analysis of Sphenovomerine Suture and Its Importance in Neurosurgery“, *Journal of Craniofacial Surgery*, 27(7), S. 1858–1861. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002945>.
- Vidić, B. (1967) „Morphologic Variations of the Transverse Palatine Suture in Yugoslav Skulls“, *Journal of Dental Research*, 46(6), S. 1473–1473. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1177/00220345670460065701>.
- Wu, W.-L. et al. (2022) „Sex-specific differences in ossification patterns of the atlas and axis: a computed tomography study“, *World Journal of Pediatrics*, 18(4), S. 263–270. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s12519-022-00523-7>.

Yang, E.Y. und Kiyak, H.A. (1998) „Orthodontic treatment timing: A survey of orthodontists“, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 113(1), S. 96–103. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70281-1](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70281-1).

7 Danksagung

8 Tabellarischer Lebenslauf