

Aus der Klinik für Kieferorthopädie,
Universitätsklinikum des Saarlandes und Medizinische Fakultät der Universität des
Saarlandes
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Jörg Lisson, M. Sc.

**DVT-Analyse zur Untersuchung der Korrelation zwischen dem
Reifestadium der Sutura palatina mediana, dem chronologischen
Alter und der Knochendichte zur Erfolgsprognose einer
Gaumennahterweiterung**

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2023

vorgelegt von: Daniel Hoffmann

geb. am: 28.07.1989 in Daun

Tag der Promotion: 19.03.2024

Dekan: Prof. Dr. M. D. Menger

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Björn Ludwig

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Stefan Landgraeber

Widmung

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	6
1.1	Deutsche Zusammenfassung.....	6
1.2	Abstract.....	6
2	Einleitung und Literatur	8
2.1	Historischer Hintergrund.....	8
2.2	Anatomie des Gaumens und der angrenzenden Strukturen.....	9
2.2.1	Sutura palatina mediana.....	9
2.2.2	Ossifikation der Sutura palatina mediana.....	9
2.2.3	Os zygomaticum.....	10
2.2.4	Processus pterygoideus.....	10
2.3	Die Gaumennahterweiterung.....	10
2.3.1	Zahngetragene (konventionelle) Gaumennahterweiterung.....	10
2.3.2	Knochengetragene Gaumennahterweiterung.....	11
2.3.3	Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion.....	12
2.3.4	Operationstechniken.....	13
2.4	Bildgebende Diagnostik zur allgemeinen Reifebestimmung.....	13
2.4.1	Zweidimensionale Bildgebung.....	13
2.4.2	Vertebral-Maturation-Methode.....	14
2.4.3	Handröntgen.....	14
2.5	Bildgebende Diagnostik zur Vorhersage der Reife zirkumaxillärer Suturen.....	14
2.5.1	Zweidimensionale Bildgebung.....	14
2.5.2	Dreidimensionale Bildgebung.....	14
2.6	Zusammenfassung der Einleitung.....	16
2.7	Ziel der Arbeit / Fragestellung.....	17
3	Material und Methoden	18
3.1	Ein- und Ausschlusskriterien.....	18
3.2	Patientenkollektiv.....	18
3.3	Datenerhebung, Software und Befundung.....	19
3.3.1	Bestimmung des Verknöcherungsgrades.....	19

3.3.2	Bestimmung der Grauwerte	23
4	Ergebnisse	25
4.1	Zusammenhang zwischen Verknöcherungsgrad und Alter	25
4.2	Zusammenhang zwischen Grauwerten und Alter	30
4.3	Zusammenhang zwischen Grauwerten, Alter und Geschlecht	33
4.4	Zusammenhang zwischen Verknöcherungsgrad und Grauwerten	37
5	Diskussion	45
5.1	Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung	45
5.1.1	Sutura palatina mediana	45
5.1.2	Patientenkollektiv	45
5.1.3	Befundung	45
5.2	Statistische Auswertung	46
5.3	Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur	46
5.3.1	Suture-Maturation-Stage.....	46
5.3.2	Befundung der Sutura palatina mediana	49
5.3.3	Os zygomaticum, Processus pterygoideus	50
5.3.4	Bestimmung der Grauwerte	50
5.4	Schlussfolgerung / Konklusion	52
6	Verzeichnis	54
6.1	Literaturverzeichnis.....	54
6.2	Bild - und Tabellenverzeichnis	61
6.3	Abkürzungsverzeichnis.....	63
7	Dank	64
8	Lebenslauf	65

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Einleitung: Um den Oberkiefer knöchern zu erweitern, ist eine Gaumennahterweiterung erforderlich. Falls die Sutura palatina mediana und die umliegenden Suturen bereits vollständig verknöchert sind, ist eine chirurgische Unterstützung notwendig. Neuere Studien empfehlen eine röntgenologische Beurteilung und Klassifizierung des Verknöcherungsgrades der Sutura palatina mediana in die Stadien A-E, wobei bei den Stadien A bis C keine chirurgische Unterstützung empfohlen wird. Da die visuelle Beurteilung mittels digitaler Volumetomografie sehr subjektiv ist, könnte eine Messung der Knochendichte und deren Korrelation mit den Verknöcherungsstadien diesen Fehler beheben.

Ziel der Studie: In dieser Studie wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter, dem Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana und den Grauwerten in dieser Struktur (welche Rückschlüsse auf die Knochendichte ermöglichen) gibt. Es wurde auch geprüft, ob es geschlechtsspezifische Unterschiede gibt.

Material und Methoden: Digitale Volumetomografieaufnahmen von 170 Patienten und Patientinnen im Alter von 7 bis 54 Jahren (97 weibliche und 73 männliche) wurden analysiert. Zur Beurteilung der Gaumennaht wurde der DICOM Viewer OsiriX Lite (Version 11.0) verwendet und die Aufnahmen wurden dynamisch in allen Ebenen betrachtet. Anschließend wurden die Verknöcherungsstadien (A-E) der Sutura palatina mediana bestimmt und die Grauwerte an drei Messpunkten berechnet.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Korrelation zwischen dem mittleren Alter und dem Verknöcherungsstadium ($\rho = 0,616$, $p < 0,001$), wobei das Alter in den jeweiligen Stadien eine erhebliche Standardabweichung zeigt. Darüber hinaus wurde eine signifikante Beziehung zwischen den Verknöcherungsstadien und den Grauwerten in der Sutura palatina mediana ($\rho = 0,253$, $p < 0,001$) und der Region seitlich der Sutura ($\rho = 0,271$, $p < 0,001$) beobachtet. Das Geschlecht spielt keine Rolle bei der Verknöcherung der Sutura palatina mediana oder der Knochendichte.

Schlussfolgerung: Obwohl es eine Korrelation zwischen den Altersmittelwerten und den Verknöcherungsstadien sowie Grauwerten der Sutura palatina mediana gibt, kann das Alter aufgrund der beträchtlichen Standardabweichungen nicht als zuverlässiger Prädiktor für das jeweilige Verknöcherungsstadium betrachtet werden.

1.2 Abstract

Introduction: To expand the maxilla, it is necessary to distract the midpalatal suture through a palatal expansion device. If the midpalatal suture and the surrounding sutures are already fully ossified, surgical support is necessary. Recent studies recommend a radiological

assessment and classification of the ossification stage of the midpalatal suture into stages A-E, with no surgical support recommended for stages A to C. As visual assessment through CBCTs is subjective, measuring bone density and correlating it with ossification stages could correct this error.

Study aim: This study aimed to investigate whether there is a correlation between chronological age, the ossification stage of the midpalatal suture, and gray values (which allow conclusions to be drawn about bone density). Gender differences were also examined.

Material and Methods: Digital volume tomography images of 170 patients aged between 7 and 54 years (97 females and 73 males) were analyzed. The OsiriX Lite DICOM Viewer (version 11.0) was used to evaluate the midpalatal suture, and the images were dynamically viewed in all planes. The ossification stages (A-E) of the midpalatal suture were then determined, and gray values were calculated at three measurement points.

Results: The results showed a significant correlation between the mean age and the ossification stage ($\rho = 0.616$, $p < 0.001$), with age showing significant standard deviation in the respective stages. In addition, a significant relationship was observed between ossification stage and bone density in the midpalatal suture ($\rho = 0.253$, $p < 0.001$) and the region lateral to the suture ($\rho = 0.271$, $p < 0.001$). Gender did not play a role in the ossification of the midpalatal suture or bone density.

Conclusion: Although there is a correlation between age mean values and the ossification stages and gray values of the midpalatal suture, age cannot be considered a reliable predictor of the respective ossification stage due to significant standard deviations.

2 Einleitung und Literatur

2.1 Historischer Hintergrund

Die Gaumennahterweiterung (GNE) ist eine kieferorthopädische Behandlungsstrategie, die darauf abzielt, transversale knöcherne Diskrepanzen im Oberkiefer durch eine primär skelettale Erweiterung mittels suturaler Distraction zu korrigieren [64].

Die Indikationen für eine Gaumennahterweiterung sind vielfältig und umfassend in der Literatur beschrieben. Dazu gehören hauptsächlich transversale skelettale Diskrepanzen, bei denen der Oberkiefer im Vergleich zum Unterkiefer zu schmal ist [59]. Es gibt jedoch auch sagittale Indikationen im Falle einer Klasse III-Fehlstellung, und es wird auch über Einflüsse auf die Nasenatmung diskutiert [54], [33], [55]. Charakteristisch für einen zu kleinen Oberkiefer sind eine reduzierte transversale Breite, schmale Zahnbögen sowie möglicherweise ein zusätzlicher frontaler Engstand oder ein hoher Gaumen. Diese Merkmale stehen immer in Relation zum Unterkiefer [64].

Die erste Anwendung und Beschreibung der GNE erfolgte im Jahr 1860 durch den US-amerikanischen Zahnarzt Emerson Colon Angell [74]. Mit Hilfe von Goldmanschetten, die an den Oberkiefer-Prämolaren befestigt wurden, und einer röhrenförmigen drehbaren Gewindestange mit zwei gegenläufigen Schrauben, die die Prämolaren des ersten und zweiten Quadranten verbanden, konnte innerhalb von zwei Wochen eine erfolgreiche Gaumendistraction von etwa 6 mm erreicht werden [4]. Aufgrund fehlender röntgenologischer Beweise konnte sich Angells Methodik nicht durchsetzen. Darüber hinaus wurde sein veröffentlichter Artikel im Jahr 1860 in der Fachzeitschrift "Dental Cosmos" aufgrund starker Kritik amerikanischer Zahnärzte abgewertet und das Ergebnis wurde als "extrem unwahrscheinlich" beschrieben [74]. Auch der von Landsberger im Jahr 1908 erbrachte röntgenologische Beweis führte zunächst nicht zur Anerkennung der GNE [53]. Die Methode erfuhr erst Mitte des 20. Jahrhunderts durch Derichsweiler, Haas und Biedermann eine Renaissance, die die forcierte Gaumennahterweiterung befürworteten [19], [29], [9]. Eine der bekanntesten apparativen Designvarianten wurde schließlich im Jahr 1961 von A.J. Haas vorgestellt: die Kunststoffkappenschiene. Diese Innovation gilt bis heute als bedeutender Meilenstein in der Kieferorthopädie [20].

2.2 Anatomie des Gaumens und der angrenzenden Strukturen

2.2.1 Sutura palatina mediana

Suturen haben die Funktion, mechanischen Belastungen entgegenzuwirken und geringe Bewegungen zuzulassen. Auch gelten sie in der knöchernen Entwicklung als Wachstumszentrum [36], [37].

Anatomisch beschrieben wird die Sutura palatina mediana als eine End-zu-End-Naht bzw. -Sutur, die sich im Laufe des Lebens morphologisch mit dem Wachstum verändert [15]. Sie verläuft in antero-posteriorer Richtung in okklusaler Ansicht durch die Sutura intermaxillaris, den Processus alveolaris, beide Ossa maxillae und die Ossa palatina. Die dorsale Begrenzung ist die Spina nasalis posterior [69]. Bei Neugeborenen ist die Sutur eher breit und leicht kurvig an ihren Rändern. Im Frontalschnitt mit Vomer und Processi palatini ist sie im anterioren Bereich Y-förmig (Abbildung 1 a) [15], [72]. Im jugendlichen Alter wird die Sutur deutlich länger in vertikaler Richtung (Abbildung 1 b). Im Erwachsenenalter ist sie kurvig und die beiden Gaumenhälften sind wechselseitig verzahnt (Abbildung 1 c) [51], [72]. Diese Verzahnung nimmt mit dem Alter zu [55].

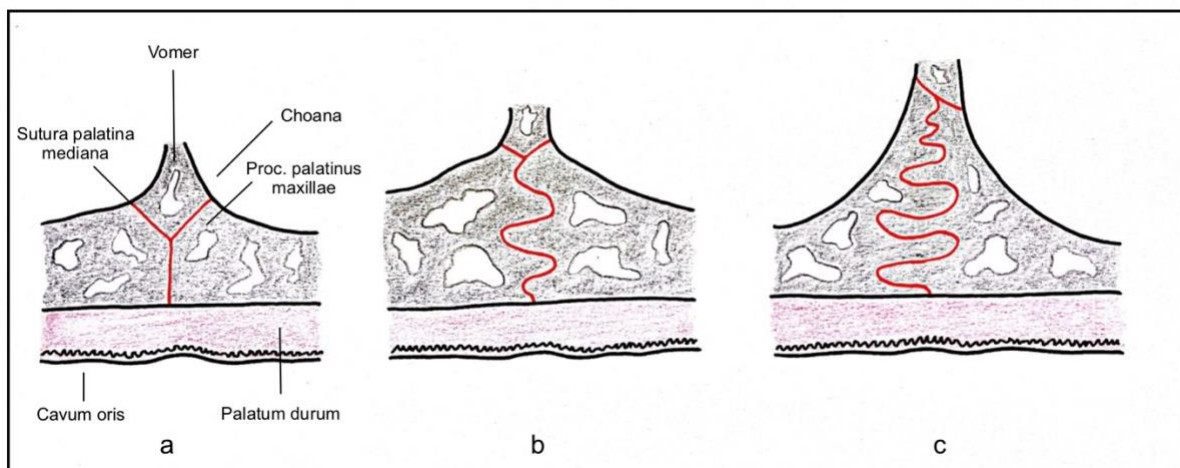


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Sutura palatina mediana im Kindes-, Jugendlichen- und Erwachsenenalter.

2.2.2 Ossifikation der Sutura palatina mediana

Die Ossifikation beginnt zunächst mit dichtem azellulärem und kalzifiziertem Gewebe mittig der Suturspalte. An den Suturrändern bilden sich zeitgleich knochenartige Nadeln [15]. Diese Komplexe bilden sich an mehreren Stellen der Sutur. Die Anzahl der Knochenadeln steigt mit dem Reifegrad der Verknöcherung [50]. Es formen sich bogenförmige Gebilde. Stellenweise liegen Unterbrechungen vor, die mit Bindegewebe verbunden sind [79].

Die Ossifikation findet von posterior nach anterior statt. Dabei wird zunehmend kortikaler Knochen an den suturalen Enden durch Spongiosa ersetzt [55], [42].

Im Vergleich zu den anderen Schädelsturen, die von den Suturrändern ab Obliterationsbeginn kontinuierlich ablaufen, nimmt die Sutura palatina mediana eine Sonderstellung ein [15]. Zudem unterliegt die Determination des Sturenverschlusses der mittleren Gaumennaht dem nasalen Knorpel [1] und nicht, wie bei allen anderen Schädelsturen, Zellen der Dura mater. [10]

Faszinierenderweise und klinisch relevant diskutiert die Literatur häufig, dass das Os zygomaticum und der Processus pterygoideus des Os sphenoidale einen signifikant größeren Widerstand bei der Gaumennahterweiterung leisten als die Sutura palatina mediana [42], [55], [10], [79].

2.2.3 Os zygomaticum

Das Os zygomaticum bildet die laterale Begrenzung der Orbita [66]. Es ist über den Processus maxillaris nach anterior mit der Maxilla verbunden. Nach kranial artikuliert es über den Processus frontalis mit dem Os frontale [66]. Nach dorsal sind das Os zygomaticum und das Os temporale über den Arcus zygomaticus verbunden [65].

2.2.4 Processus pterygoideus

Der Processus pterygoideus, auch Pterygoid genannt, setzt sich aus der Lamina medialis und der Lamina lateralis zusammen [68]. Im anterioren Bereich fusionieren sie im oberen Areal miteinander und bilden die hintere Wand der Fossa pterygopalatina [67]. Über die anterioren Ränder der Fissura pterygoidea artikuliert der Processus pterygoideus mit dem Processus pyramidalis des Os palatinum [68].

2.3 Die Gaumennahterweiterung

2.3.1 Zahngetragene (konventionelle) Gaumennahterweiterung

Bei einer konventionellen GNE wird mithilfe von zahngetragenen abnehmbaren oder festsitzenden Apparaturen eine Distraction der Sutura palatina mediana herbeigeführt [21]. Dies kann zu einer signifikanten Erweiterung des Oberkieferkomplexes führen. Durch diese Veränderung in Geometrie und Volumen beeinflusst es auch die angrenzenden nasalen Strukturen und kann somit eine Verbesserung der Nasenatmung bewirken [64]. Die Widerstandszentren, die einer apparativen GNE entgegenwirken, sind die Sutura palatina mediana, das Os zygomaticum und der Processus pterygoideus. Im Laufe des Lebens verknöchern diese Strukturen zunehmend, was Nebenwirkungen wie Bukkalkippung der Verankerungszähne, Schmerzen bei der Aktivierung der GNE-Apparatur, Gingivarezession, Wurzelresorption, Knochenfenestration oder eine Fraktur des Alveolarfortsatzes zur Folge haben kann [26], [30].

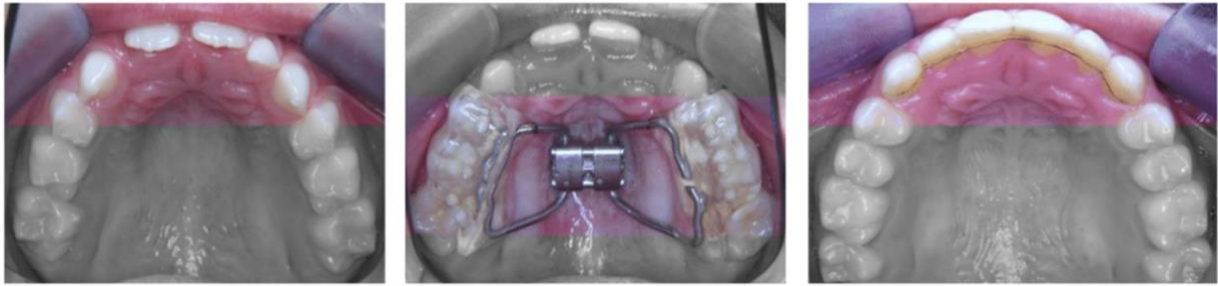


Abbildung 2 Zahngetragene Gaumennahterweiterung.

2.3.2 Knochengetragene Gaumennahterweiterung

Die knochengetragene Gaumennahterweiterung, die mit kieferorthopädischen Minischrauben oder Miniimplantaten (international auch als Temporary Anchorage Devices (TADs) bezeichnet) durchgeführt wird, bietet eine zusätzliche apparative Variante für die transversale Distraction des Oberkiefers. Die Hauptzielsetzung besteht darin, die oben beschriebenen dentalen Nebenwirkungen zu vermeiden oder zu reduzieren. Dies wird durch die Applikation der Kräfte über die knöchernen Verankerung anstelle von Zähnen ermöglicht. Dadurch ist diese Methode auch bei einer reduzierten Anzahl von Ankerzähnen oder bei Vorliegen von Parodontalschäden geeignet [46]. Gemäß dem dritten Newtonschen Axiom "actio = reactio" (Isaac Newton, 1687) folgt auf jede auf einen Körper einwirkende Kraft simultan eine gleichgroße Gegenkraft [59]. Daraus folgt, dass wenn eine Gaumennahterweiterungsapparatur dental verankert wird, die Kräfte nicht nur auf die zirkummaxillären Strukturen wirken, sondern gemäß dem dritten Newtonschen Axiom auch auf die Verankerungszähne. Im Jahr 1996 stellten Wehrbein et al. in einer klinischen Studie ein Implantat-System zur knöchernen Verankerung von kieferorthopädischen Apparaturen vor [77]. Im Gegensatz zur ursprünglichen Idee von Angell ist diese Methode nicht zahngetragen, sondern skelettal verankert mittels TADs wie Gaumenimplantaten, Minischrauben oder Miniimplantaten [60]. Der anteriore paramediane Gaumen hat sich als idealer Insertionsort für diese TADs etabliert [78]. Mit der knochengetragenen Gaumennahterweiterung können unerwünschte Nebenwirkungen wie Knochendehiszenzen oder Zahnkippen reduziert werden [33], [28].



Abbildung 3 Knochentragene Gaumennahterweiterung.

2.3.3 Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion

Die Gaumennahterweiterung ist im Kindes- bis Jugendalter in der Regel zuverlässig und führt meist erfolgreich zu einer Verbreiterung des Oberkiefers. Dieser Erfolg wird durch das Entstehen eines Diastema mediale offensichtlich. Mit zunehmender Verknöcherung der zirkummaxillären Suturen wird eine rein durch ein kieferorthopädisches Gerät induzierte Distraction unwahrscheinlicher. Daher kommt im Erwachsenenalter häufig die chirurgische Variante zum Einsatz, die als chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung oder auch SARPE (Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion) bezeichnet wird [59], [70]. Die Notwendigkeit eines chirurgischen Vorgehens ergibt sich aus einem erhöhten Grad der Verknöcherung der maxillären und zirkumaxillären Suturen. Dazu gehören unter anderem die Sutura palatina mediana sowie die Suturen zygomaticofrontalis, zygomaticomaxillaris und zygomaticotemporalis, die den Hauptwiderstand darstellen [2], [42].

Studien zur suturalen Reife untersuchten die morphologische Veränderung mit dem Alter und dienten auch der Altersbestimmung zu forensischen Zwecken [36], [17], [71], [14], [34], [63], [43]. Melsen B. et al. stellten fest, dass die Sutura palatina mediana scheinbar nach dem 15. Lebensjahr verschlossen ist [50].

Laut einer Studie von Persson und Thilander ist eine chirurgische Gaumennahterweiterung indiziert, wenn eine mindestens fünfprozentige Verknöcherung der Sutura palatina mediana vorliegt und somit der Erfolg einer konservativen maxillären Distraction eingeschränkt ist [55]. Interessanterweise ergaben die Studien von Wehrbein et al., bei denen Oberkieferaufbissaufnahmen betrachtet wurden, dass die Fusion der Sutura palatina mediana selten bei Personen unter 25 Jahren zu erwarten ist [79]. Hingegen zeigte die Studie von Angelieri et al., dass der Verschluss bereits im Alter von 11 bis 14 Jahren auftritt [2]. Diese

Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Zeitpunkt des Suturenverschlusses individuell variieren kann. Eine gründliche radiologische Diagnostik vor einer chirurgischen Intervention ist unerlässlich, da es erhebliche individuelle Unterschiede im Grad der Verknöcherung der Suturen gibt [39].

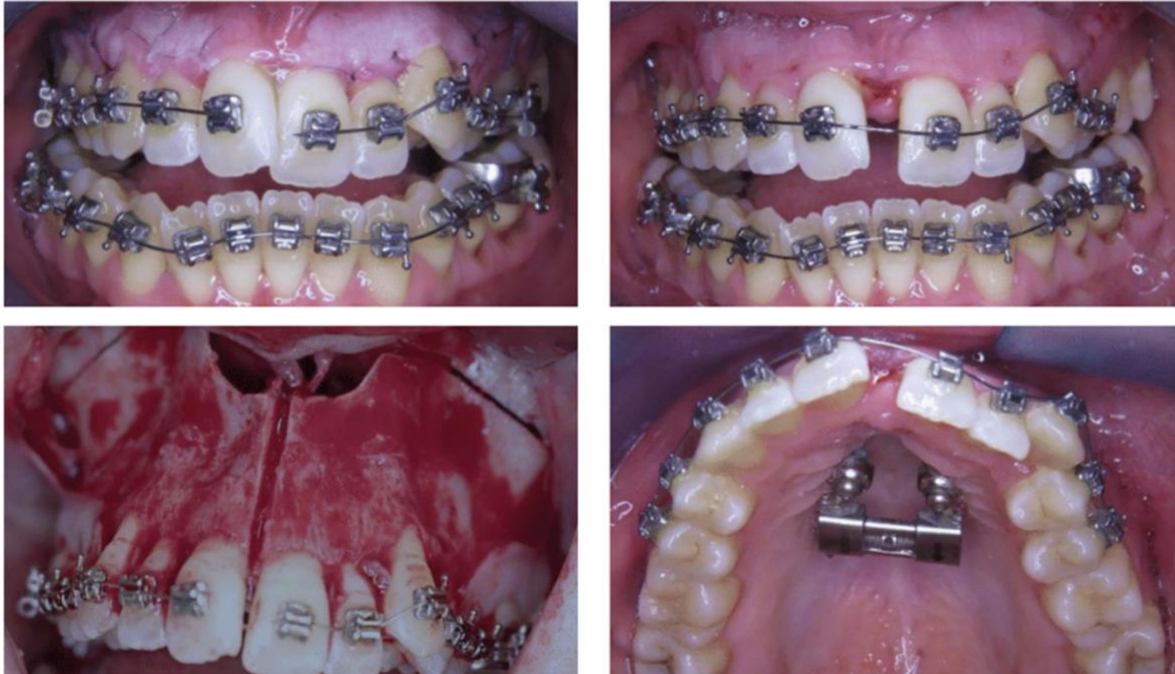


Abbildung 4 Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE).

2.3.4 Operationstechniken

Die chirurgisch unterstützte GNE (SARPE) wurde von Brown im Jahr 1938 vorgestellt [11]. Historisch gesehen gab es viele Überlegungen, wo (Art und Lokalisation der Osteotomie) und wie (Instrumentarium) die GNE bei erwachsenen Patienten und Patientinnen chirurgisch durchgeführt werden kann [61]. Die gängigsten Operationstechniken sind sicherlich diejenigen nach Lines, Bell und Epker oder Glassmann [73], [61]. Einige dieser Operationstechniken können unter lokaler Anästhesie durchgeführt werden, jedoch werden sie häufiger unter Verwendung einer nasalen Intubationsnarkose angewendet.

2.4 Bildgebende Diagnostik zur allgemeinen Reifebestimmung

2.4.1 Zweidimensionale Bildgebung

Zur präzisen Bestimmung der skelettalen Reife können verschiedene bildgebende Verfahren herangezogen werden, da oft eine Diskrepanz zwischen dem chronologischen und dem skelettalen Alter besteht. Zur allgemeinen Beurteilung der skelettalen Reife können die Röntgenaufnahme des Handgelenks [23] oder ein Fernröntgenseitenbild der Halswirbelsäule [6] verwendet werden. Bereits im Jahr 1972 stellte Lamparski einen Zusammenhang zwischen der Form der Halswirbelsäule und dem skelettalen Alter fest [48]. Fishman konnte 1979

Zusammenhänge zwischen dem Verknöcherungsgrad der Hand und dem Wachstumsstadium des Unterkiefers nachweisen [23, 22]. In einer Studie von Hassel und Farman im Jahr 1995 wurde ein enger Zusammenhang zwischen der skelettalen Reifung der Hand und der Halswirbelsäule festgestellt [35].

2.4.2 Vertebral-Maturation-Methode

Im Jahr 2000 erkannten Franchi und Baccetti bei der Analyse von kephalometrischen Aufnahmen, dass es eine anatomische Veränderung der Halswirbel gibt, die mit einem spezifischen Wachstumsmuster des Unterkiefers bei Jugendlichen einhergeht. Auf dieser Grundlage entwickelten sie einen Index, der zur Vorhersage des Zeitpunkts des größten Wachstumsschubs, einschließlich des Unterkiefers, verwendet werden kann. Diese Methode wurde als Cervical-Vertebral-Maturation-Methode (CVM) bekannt [24], [7].

2.4.3 Handröntgen

Die Anfertigung einer Röntgenaufnahme der linken Hand kann auch zur Bestimmung der allgemeinen Skelettreife genutzt werden. Dabei werden Form und Größe der Handwurzelknochen, Wachstumsfugen und das Reifestadium der Epiphysen der Phalangen (Fingerglieder) betrachtet. Der Reifezustand wird mit Hilfe von Referenzbildern und Werten aus Normtabellen verglichen, um das Knochenalter zu bestimmen. Dadurch können nicht nur ungefähre Vorhersagen über das zu erwartende Längenwachstum und die Körpergröße des Patienten oder der Patientin getroffen werden, sondern es kann auch der Zeitpunkt kieferorthopädischer Behandlungen geplant werden [18].

2.5 Bildgebende Diagnostik zur Vorhersage der Reife zirkumaxillärer Suturen

2.5.1 Zweidimensionale Bildgebung

Korbmacher et al. führten einen Vergleich zwischen Handröntgenaufnahmen und der CVM-Methode in Bezug auf die Verknöcherung im Oberkiefer durch und stellten fest, dass die CVM-Methode eine stärkere Korrelation mit der Oberkieferverknöcherung aufweist [8], [44]. Wehrbein und Yildizhan bewerteten die suturale Obliteration anhand von Oberkieferaufbissaufnahmen und kamen zu dem Ergebnis, dass diese Methode nicht ausreichend ist, um eine Therapieentscheidung zwischen konservativer Behandlung und SARPE zu treffen [79].

2.5.2 Dreidimensionale Bildgebung

Die dreidimensionale digitale Volumentomografie (DVT) wird immer häufiger als diagnostische Methode zur prognostischen Planung einer GNE eingesetzt [16].

2.5.2.1 Suturales Staging als prognostisches Kriterium für den Erfolg einer GNE

Angelieri et al. haben den Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana anhand von DVT-Aufnahmen in fünf Stadien (A-E) eingeteilt. Dabei wurde festgestellt, dass die Stadien A und B vor allem bis zum 13. Lebensjahr auftreten, während das Stadium C hauptsächlich zwischen dem 11. und 17. Lebensjahr auftritt [2]. Basierend darauf orientiert sich die vorliegende Studie:

- Für die Stadien A, B und C erwarten Angelieri et al. einen geringen skelettalen Widerstand und empfehlen eine konventionelle GNE.
- Bei den Stadien D und E halten sie eine chirurgisch unterstützte Gaumenverbreiterung (SARPE) für notwendig [3].

Tonello et al. führten eine DVT-Studie zum Verschluss der mittleren Gaumennaht bei Kindern zwischen 11 und 15 Jahren durch und verwendeten dabei die Einteilung in die Stadien A-E nach Angelieri et al. Das Ergebnis zeigte eine deutliche Häufung des Stadiums C. Tonello et al. empfehlen bei Personen über 15 Jahren eine konventionelle GNE, wenn das Stadium C diagnostiziert wurde [75]. Reis et al. untersuchten DVT-Aufnahmen von 487 Personen im Alter von 15 bis 40 Jahren und teilten diese ebenfalls in die Stadien A-E ein. Das Ergebnis zeigte, dass Stadium E mit 48,25 % am häufigsten auftrat. Stadium A wurde nicht diagnostiziert, während Stadium B mit 1,03 % und Stadium C mit 34,09 % vorkamen. Bei 64,88 % aller untersuchten Personen waren die Suturen zumindest teilweise verknöchert [58]. Eine weitere Studie von Ladewig et al., die die Einteilung in die Stadien A-E anhand von DVT-Aufnahmen untersuchte, ergab bei 112 Patienten und Patientinnen im Alter von 16 bis 20 Jahren eine Häufigkeit der Stadien C, D und E von 91,9 %. Das Stadium C trat bei männlichen Personen mit 52,3 % und bei weiblichen Personen mit 39,7 % auf [47].

Die Studie von Jimenez-Valdivia et al. untersuchte die DVT-Aufnahmen und die Einteilung in die Stadien A-E nach Angelieri et al. Es wurde eine Korrelation zwischen Geschlecht und Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana festgestellt. Männliche Personen zwischen 16 und 25 Jahren wiesen häufiger eine offene Sutura auf als weibliche Personen. Zudem wurde festgestellt, dass eine offene Sutura im jungen und höheren Erwachsenenalter häufiger vorkommt als erwartet [40]. Eine weitere DVT-Untersuchung der Sutura palatina mediana wurde von Petrick et al. durchgeführt. Sie untersuchten Patienten und Patientinnen vor und nach einer chirurgisch unterstützten GNE mit dem Dresden Distraktor. Dabei wurde festgestellt, dass im posterioren Teil der Sutura ein hoher Verknöcherungsgrad vorliegt, der durch die Behandlung nur geringfügig reduziert werden konnte [56].

2.5.2.2 Knochendichte als prognostisches Kriterium für den Erfolg einer GNE

Grünheid et al. führten eine Untersuchung zur DVT-basierten Bestimmung der Knochendichte in der regio Sutura palatina mediana und an zwei weiteren Gaumenregionen durch. Die Ergebnisse zeigten, dass diese Methode eine Vorhersage für den Erfolg einer GNE ermöglicht [28]. Chae et al. und Han et al. stellten in einer DVT-Studie zur Evaluierung der Knochendichte

im Bereich der Sutura palatina mediana fest, dass weibliche Personen eine höhere Knochendichte aufweisen als männliche Personen [13] [32].

2.5.2.3 Chronologisches Alter als prognostisches Kriterium für den Erfolg einer GNE

In einer dreidimensionalen Mikro-CT-Studie von Korbmacher et al. zur suturalen Morphologie wurde kein fortschreitender Suturenverschluss mit dem Alter beobachtet. Die Intensität der Interdigitationen zeigte keine Altersabhängigkeit [45]. González Moreno et al. verglichen die Ergebnisse mehrerer DVT-Studien zum suturalen Verschluss der Gaumennaht. Der Vergleich zeigte, dass eine Verknöcherung der Sutura palatina mediana erst ab einem Alter von 14 Jahren zu erwarten ist. Eine DVT-Aufnahme zur Planung kieferorthopädischer Behandlungen bei Personen unter 14 Jahren wurde als Kontraindikation angesehen [27]. Auch Lee et al. empfahlen keine DVT-Aufnahme zur Untersuchung der Sutura palatina mediana bei weiblichen Personen unter 14 Jahren [49].

2.5.2.4 Mögliche Zusatznutzen einer DVT-Aufnahme

Obwohl immer die ALARA-Prinzipien (As Low As Reasonably Achievable) eingehalten werden müssen, kann eine DVT-Aufnahme zusätzlichen Nutzen bieten. Die Effekte einer GNE konnten in der Vergangenheit nur durch die Analyse von Abformungen, Gipsmodellen und zweidimensionalen Röntgenbildern beurteilt werden [64]. Durch die Verwendung von dreidimensionalen Aufnahmen mittels DVT ist es nun möglich, den Effekt auf die beteiligten anatomischen Strukturen und deren Stabilität besser zu beurteilen [62], [31], [41]. Darüber hinaus ermöglicht die DVT-Bildgebung eine präzisere Planung von Behandlungen, insbesondere bei der knochengestützten Gaumennahterweiterung, beispielsweise durch die Verwendung von TADs [12], [76].

2.6 Zusammenfassung der Einleitung

Die Gaumennahterweiterung ist eine etablierte Behandlungsmethode für den Oberkiefer. Die Morphologie und der Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana, des Os zygomaticum und des Processus pterygoideus des Os sphenoidale haben einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg einer GNE [42], [55], [10], [79]. Ein zu hoher Widerstand der zirkumaxillären Suturen kann zu einem Misserfolg führen und damit kann eine Vielzahl unerwünschter Nebenwirkungen einhergehen [26], [30]. Die Literatur beschreibt neue Ansätze, um die Prognose durch bildgebende Maßnahmen zu verbessern, da das Staging der Sutura palatina mediana und die Messung der Knochendichte eine bessere Prognose ermöglichen können als allein das chronologische Alter.

2.7 Ziel der Arbeit / Fragestellung

Ziel der Studie ist es, anhand der Befundung von DVT-Aufnahmen eine Korrelation zwischen Alter, Geschlecht und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana sowie den Stages der Sutura palatina mediana nach Angelieri et al. zu untersuchen. Die Grauwerte ermöglichen es, Rückschlüsse auf die Knochendichte zu ziehen [57]. Durch die Untersuchung soll eine individuelle Aussage über den Verknöcherungszustand der Sutura palatina mediana bei den Patienten und Patientinnen getroffen werden können.

Die Studie untersucht folgende Hypothesen:

- Mit zunehmendem Alter steigt der Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana.
- Ältere Patienten und Patientinnen weisen höhere Grauwerte auf.
- Es besteht eine Korrelation zwischen dem chronologischen Alter, dem Geschlecht und den Grauwerten.
- Es besteht eine Korrelation zwischen dem Verknöcherungsgrad und den Grauwerten.

Die Hypothesen sollen überprüft werden, um neue Erkenntnisse über die Beziehung zwischen Alter, Geschlecht, Grauwerten und Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana zu gewinnen.

3 Material und Methoden

Für diese Studie wurden DVT-Aufnahmen aus der kieferorthopädischen Facharztpraxis von Priv.-Doz. Dr. med. dent. Björn Ludwig und Dr. med. dent. Bettina Glasl in Traben-Trarbach ausgewertet.

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

- Keine kieferorthopädische oder chirurgische Vorbehandlung
- Frühes bis spätes Wechselgebiss und permanentes Gebiss
- Sutura palatina mediana vollständig röntgenologisch erkennbar
- Patienten und Patientinnen kaukasischer Abstammung

Ausschlusskriterien:

- Nicht ausreichend scharfe Darstellung oder Fehlen der interessierenden Region
- Anomalien oder Fehlbildungen im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich

3.2 Patientenkollektiv

Die Aufnahmen von 200 Patienten und Patientinnen im Alter von 7 Jahren (jüngste Patientin *19.01.2010) bis 54 Jahren (älteste Patientin *11.06.1962) wurden anonymisiert als DICOM-Datensätze (Digital Imaging and Communications in Medicine) exportiert. Dreißig Aufnahmen mussten aufgrund von nicht ausreichend scharfer Darstellung durch Verwackeln oder Fehlen der interessierenden Region in der Bildgebung aussortiert werden.

Das Patientenkollektiv bezieht sich somit auf insgesamt 170 Patienten bzw. Patientinnen. Neben der Berücksichtigung des Geschlechtes erfolgte eine Einteilung in vier Altersgruppen. Bei der Auswahl wurde auf eine möglichst gleichmäßige Geschlechterverteilung geachtet. Für die Bestimmung des Stagings und der Grauwerte wurden 97 weibliche (57,1 %) und 73 männliche (42,9 %) Personen ausgewählt.

Tabelle 1 Demografische Verteilung der Patienten und Patientinnen in Alter und Geschlecht.

Geschlecht	5 bis < 11 Jahre	11 bis < 14 Jahre	14 bis 18 Jahre	> 18 Jahre	Total
weiblich	11	31	28	27	97
männlich	12	28	15	18	73
Total	23	59	43	45	170

3.3 Datenerhebung, Software und Befundung

Angefertigt wurden die DVT-Aufnahmen mit dem 2D/3D-Hybrid-Gerät Orthophos SL (Typ D 3632) der Firma Dentsply Sirona unter Verwendung der Software Sidexis 4. Alle Aufnahmen wurden in stehender Position angefertigt. Dabei wurde der Kopf mit einer Kinnstütze und zusätzlichen Schläfenstützen nach der Frankfurter Horizontale (gedachte Verbindungslinie zwischen Infraorbitalrand und oberem Rand des Porus acusticus externus) mittels eines Laserrasters ausgerichtet. Die Röhrenspannung betrug 69 kV, die Röhrenstromstärke 12 mA, die Umlaufzeit 14,1 Sekunden.

Die Befundung der DICOM-Datensätze erfolgte mittels DICOM-Viewer OsiriX Lite (Version 11.0) des Entwicklers Pixmeo SARL, Bern, Schweiz. Das Programm wurde über ein Apple MacBook Air (13“, Baujahr 2015) verwendet. Die Betrachtung der Aufnahmen geschah unter konstanten Lichtverhältnissen ohne reflektierendes Licht oder Sonneneinstrahlung und mit gleichbleibender Bildschirmeinstellung.

3.3.1 Bestimmung des Verknöcherungsgrades

Bei der Befundung der Sutura palatina mediana wurde die Betrachtung der Aufnahme zeitgleich in axialer, sagittaler und koronarer Ansicht vorgenommen und nicht nur statisch, sondern auch dynamisch bewertet, um den Verlauf der Sutura eindeutig zu erkennen. Der in vertikaler Richtung verlaufende Positionsanzeiger (Cursor) wurde dabei in der axialen und koronaren Ansicht so ausgerichtet, dass die Sagittalebene möglichst gerade durch die Sutura palatina mediana (in axialer Schicht) und durch die Schädelmitte (in koronarer Schicht) verläuft.

In der sagittalen Ansicht wurde darauf geachtet, dass der Cursor möglichst gerade durch das Os palatum verläuft. Dadurch konnten Abweichungen der korrekten Positionierung des Patienten bzw. der Patientin im DVT-Gerät ausgeglichen werden.

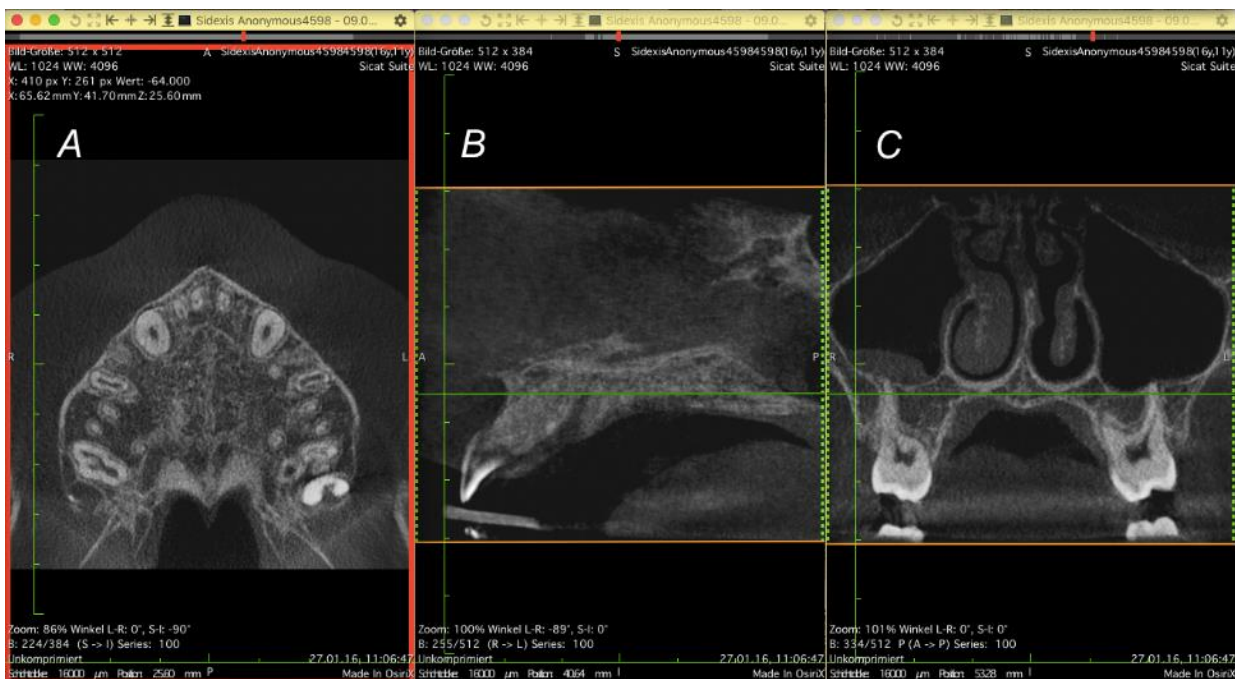


Abbildung 5 Ausrichtung der Kopfposition in der A, axialen; B, sagittalen; C, koronaren Ansicht.

Der Verknöcherungsgrad wurde, wie in der Einleitung angedeutet, in fünf Stages A-E unterteilt, die sich an der Studie von Angeliari et al. orientieren.

Stage A wird demnach definiert als eine hochdichte, gerade Gaumennaht ohne Verzahnungen. Stage B ist ebenfalls durch eine hochdichte Linie charakterisiert, zeigt aber einen irreguläreren Verlauf der Sutura palatina mediana. Zudem laufen teilweise in kleinen Bereichen zwei Linien parallel, die sich in deren Mitte durch einen hypodensen Bereich beschreiben lassen. Stage C definiert sich durch zwei durchgehende, nebeneinander laufende Linien. Sie können geradlinig oder unregelmäßig sein. Teilweise sind sie durch kleine

geringdichte Bereiche getrennt. Stage D zeigt eine Fusion der Sutura palatina mediana im Os palatum. Die Gaumennaht ist in diesem Bereich nicht mehr erkennbar. Im Bereich der Maxilla sind immer noch zwei parallele hochdichte Linien mit geringdichten intermittierenden Bereichen sichtbar. Die Fusion hat die Maxilla noch nicht erreicht. Stage E lässt keine Sutura palatina mediana erkennen. Die Knochendichte scheint parasutural in der Maxilla und im Palatum gleich. Die Fusion hat die Maxilla erreicht.

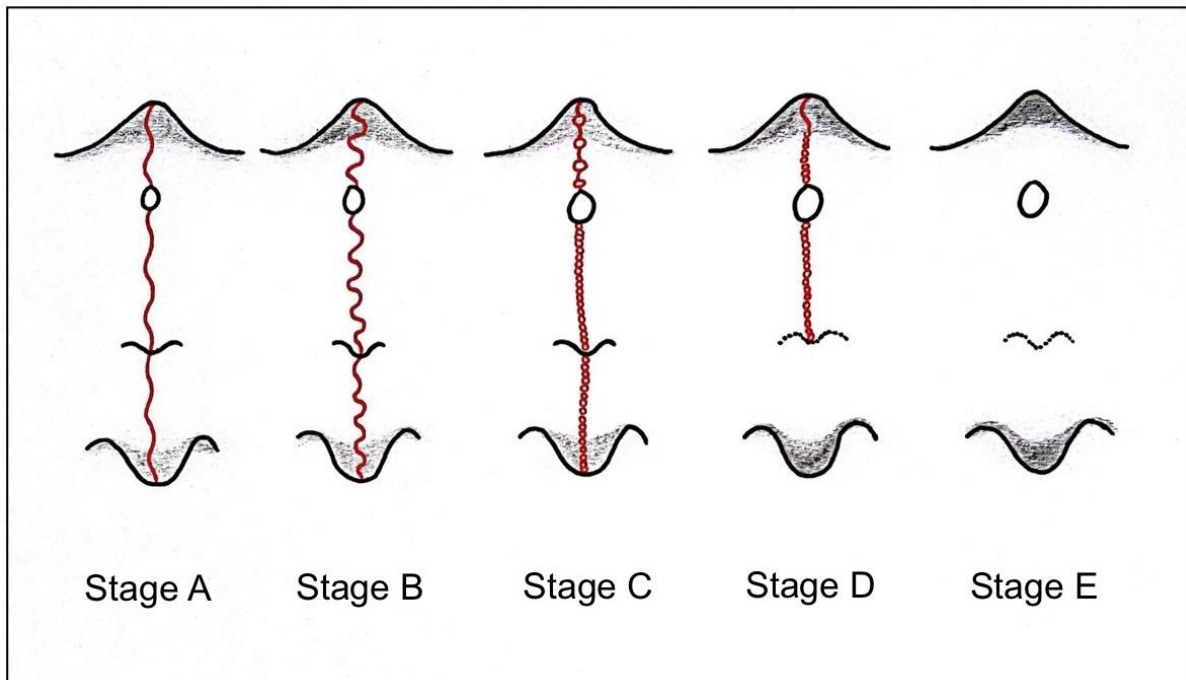


Abbildung 6 Vereinfachte schematische Darstellung des Verknöcherungsgrades.



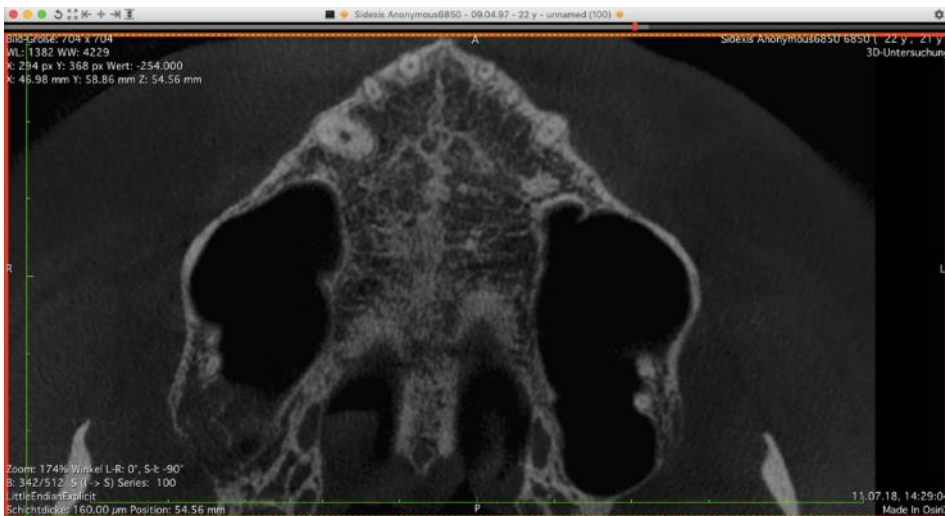
Stage A



Stage B



Stage C



Stage D



Stage E

Abbildung 7 Screenshots befundeter Stages A-E.

3.3.2 Bestimmung der Grauwerte

Die Grauwerte wurden an drei Stellen durch das Programm OsiriX Lite berechnet: in der regio Sutura palatina mediana (Messpunkt 1, grün), lateral der Sutura palatina mediana (Messpunkt 2, blau) und in der regio Palatum molle (Messpunkt 3, rot). Hierfür wurde die axiale Ansicht ausgewählt. Es wurde die gleiche Schicht betrachtet, in der zuvor das Staging vorgenommen wurde.

OsiriX Lite bietet eine Anwendungsmöglichkeit im 2D-Viewer Modus mit denen sich Kreise, Linien, Rechtecke und Polygone zeichnen lassen. Die gezeichnete Region wird als Region of Interest (ROI) bezeichnet. In dieser Studie wurden Rechtecke zum Definieren der ROI verwendet. Die Maße des Rechtecks lassen sich individuell anpassen [38]. Es liegt ein Volumendatensatz vor, der aus würfelförmigen Volumenelementen besteht. Die Volumenelemente werden als Voxel bezeichnet. Jedes dieser Voxel steht für einen errechneten Grauwert [25]. Das Programm errechnet in der gewählten Region Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung und die Summe der Grauwerte [38]. Verglichen wurde das arithmetische Mittel der Grauwerte.

Maximum, Mittelwert, Standardabweichung und die Summe der Grauwerte beziehen sich auf die Helligkeit der Pixel in der gewählten Region. Der Grauwert wird nicht durch die Veränderung des Kontrastes oder der Bildschirmhelligkeit beeinflusst. Die Rohdaten bleiben unverändert [38].

Zur Grauwertbestimmung an Messpunkt 1 wurde ein Rechteck mit 6 mm Breite aufgestellt, das den Verlauf der Sutura erfasst. Der zu messende Bereich verläuft in antero-posteriorer Richtung vom distalen Rand des Foramen incisivum bis zur distalen Kronenbegrenzung des ersten Oberkiefermolaren.

Der Bereich lateral der Sutura palatina mediana (Messpunkt 2) wurde durch ein 4 x 4 mm großes Quadrat begrenzt. In der regio Palatum molle (Messpunkt 3) wurde ebenfalls das Quadrat auf die Größe 4 x 4 mm eingestellt.

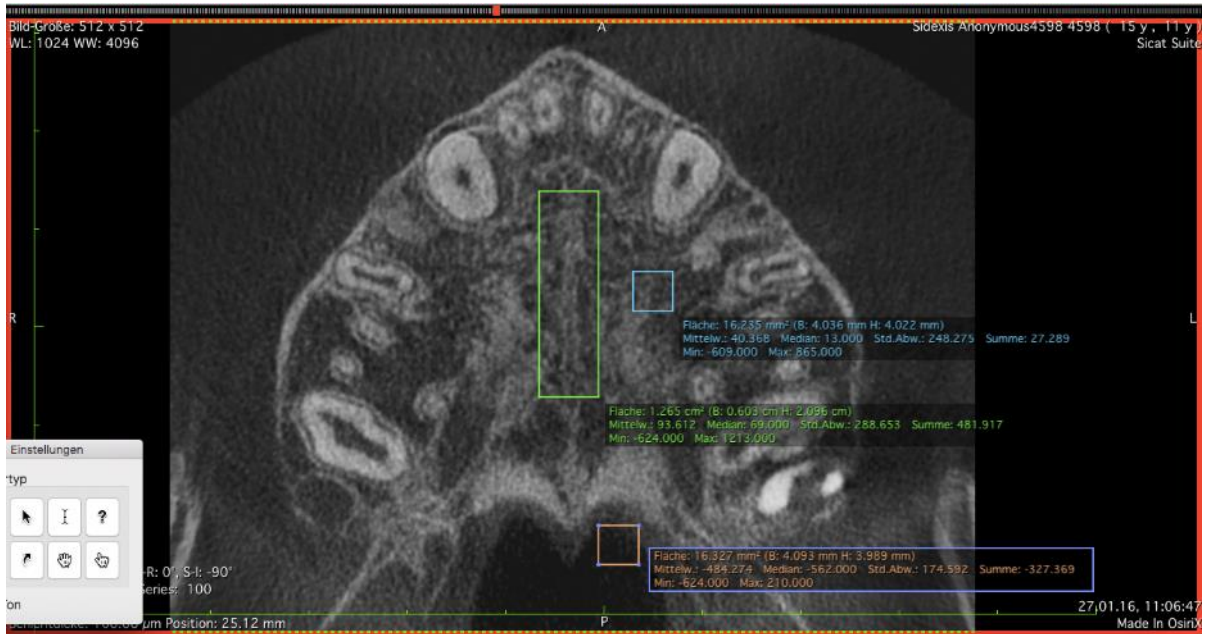


Abbildung 8 Ausgewählte Regionen zur Bestimmung der Grauwerte.

4 Ergebnisse

Von ursprünglich 200 Patienten und Patientinnen konnten 170 DVT-Aufnahmen ausgewertet werden. Das Gesamtkollektiv setzt sich aus 97 weiblichen und 73 männlichen Personen zusammen, was einer Verteilung von 57,1 % zu 42,9 % entspricht (Tabelle 3).

Die jüngste Patientin stellt mit 7 Jahren das Minimum und die älteste Patientin mit 54 Jahren das Maximum dar. Das Durchschnittsalter dieser Studie liegt bei 17,32 Jahren (Tabelle 4).

4.1 Zusammenhang zwischen Verknöcherungsgrad und Alter

Der erste Ergebnisteil umfasst die Verteilung der Stages A-E auf die unterschiedlichen Altersgruppen.

Tabelle 2 Verteilung der Stages der Sutura palatina mediana in Alter und Geschlecht.

Stage	5-< 11 Jahre		11-< 14 Jahre		14-18 Jahre		> 18 Jahre		Total
	weiblich	männlich	weiblich	männlich	weiblich	männlich	weiblich	männlich	
A	4	2	2	2	-	-	-	-	10
B	3	6	11	14	3	2	2	-	41
C	4	4	11	9	19	8	7	7	69
D	-	-	6	2	6	5	13	11	43
E	-	-	1	1	-	-	5	-	7
Total	11	12	31	28	28	15	27	18	170

Tabelle 3 Prozentuale Verteilung des Geschlechts und der Stages A-E.

		Anzahl	Gültige N als Spalten (%)
Geschlecht	weiblich	97	57,06%
	männlich	73	42,94%
Stage	A	10	5,88%
	B	41	24,12%
	C	69	40,59%
	D	43	25,29%
	E	7	4,12%

Tabelle 4 Durchschnittsalter und Standardabweichung (SD) der Patienten und Patientinnen im Mittel für die Stages A-E.

Stage	Anzahl Total	Mittelwert Total	SD Total	Anzahl weiblich	Mittelwert weiblich	SD weiblich	Anzahl männlich	Mittelwert männlich	SD männlich
A	10	10,1	1,60	6	9,5	1,52	4	11	1,41
B	41	12,17	2,59	19	12,84	3,37	22	11,59	1,50
C	69	16,33	7,96	41	16,17	7,94	28	16,57	8,14
D	43	23,49	11,93	25	22,88	11,97	18	24,33	12,18
E	7	29,71	15,46	6	32,5	14,88	1	13	-
Total	170	17,32	9,85	97	17,84	10,31	73	16,63	9,23

Stage A:

Die Befundung der Sutura palatina mediana und Einteilung in die Stages A-E zeigen, dass Stage A nur im Alter von 5 bis < 14 Jahren mit einer Häufigkeit von 5,88 % auftritt. Das Durchschnittsalter für die Patienten und Patientinnen in Stage A beträgt 10,10 Jahre. Die Standardabweichung liegt bei 1,60 Jahren.

Stage B:

Stage B lässt sich mit einer Häufigkeit von 24,12 % und einem Altersdurchschnitt von 12,17 Jahren in allen Altersklassen nachweisen. Im Alter zwischen 11 und < 14 Jahren kommt Stage B mit 14,71 % am häufigsten vor. Die Standardabweichung liegt bei 2,59 Jahren.

Stage C:

Stage C ist mit einer Häufigkeit von 40,59 % ebenfalls in allen Altersklassen vertreten, findet sich jedoch mit 27,65 % in den Altersgruppen der 11 bis 18-Jährigen am stärksten wieder. Das Durchschnittsalter für die Patienten und Patientinnen in Stage C beträgt 16,33 Jahre mit einer Standardabweichung von 7,96 Jahren.

Stage D:

Stage D tritt hauptsächlich bei über 18-jährigen Personen mit einer Häufigkeit von 14,12 % auf. In der Altersklasse von 5 bis 11 Jahren wurde Stage D nicht ermittelt. In allen anderen Altersklassen findet sich Stage D mit einer Gesamthäufigkeit von 25,29 % und einem Altersdurchschnitt von 23,49 Jahren wieder. Die Standardabweichung beträgt 11,93 Jahre. In der Altersgruppe von 11 bis 14 Jahren wurden 8 Patienten und Patientinnen identifiziert, was einem Anteil von 4,7% an der Gesamtpopulation entspricht.

Stage E:

Stage E wurde insgesamt mit einer Häufigkeit von 4,12 % am wenigsten diagnostiziert. Im Alter von über 18 Jahren ließ sich Stage E mit 2,94 % am häufigsten nachweisen. Der Altersdurchschnitt bei Stage E beträgt 29,71 Jahre bei einer Standardabweichung von 15,46 Jahren. In den Altersklassen 5 bis < 11 Jahren und 14 bis 18 Jahren tritt Stage E nicht auf. Eine Ausnahme stellen eine Patientin und ein Patient in der Altersgruppe von 11 bis < 14 Jahren dar.

Es ist zu beobachten, dass sowohl der Altersdurchschnitt als auch die Standardabweichung mit steigenden Stages von A nach E ansteigen. Die Gesamtstandardabweichung beträgt 9,85 Jahre. Während die Stages A und B nur bei jungen Patienten und Patientinnen beobachtet wurden, ist die am häufigsten diagnostizierte Stage C in allen Altersgruppen vorhanden, erreicht jedoch ihren Höhepunkt zwischen 11 und 18 Jahren. Die Stages D und E wurden hauptsächlich bei älteren Personen beobachtet und traten nicht bei Patienten und Patientinnen im Alter von 5 bis unter 11 Jahren auf. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 2, 3 und 4 dargestellt.

Die erste Hypothese besagt, dass der Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana mit zunehmendem Alter des Patienten oder der Patientin steigt. Zur statistischen Auswertung wurde der spearmansche Rangkorrelationskoeffizient berechnet, wie in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient für Alter und Stage.

			Alter	Stage
Spearman-Rho	Alter	Korrelationskoeffizient	1,000	,616**
		Sig. (2-seitig)	.	<,001
		N	170	170
	Stage	Korrelationskoeffizient	,616**	1,000
		Sig. (2-seitig)	<,001	.
		N	170	170

** : Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und Stage ($\rho = 0,616$, $p < 0,001$). Damit besteht eine stark positive Korrelation (Tabelle 5).

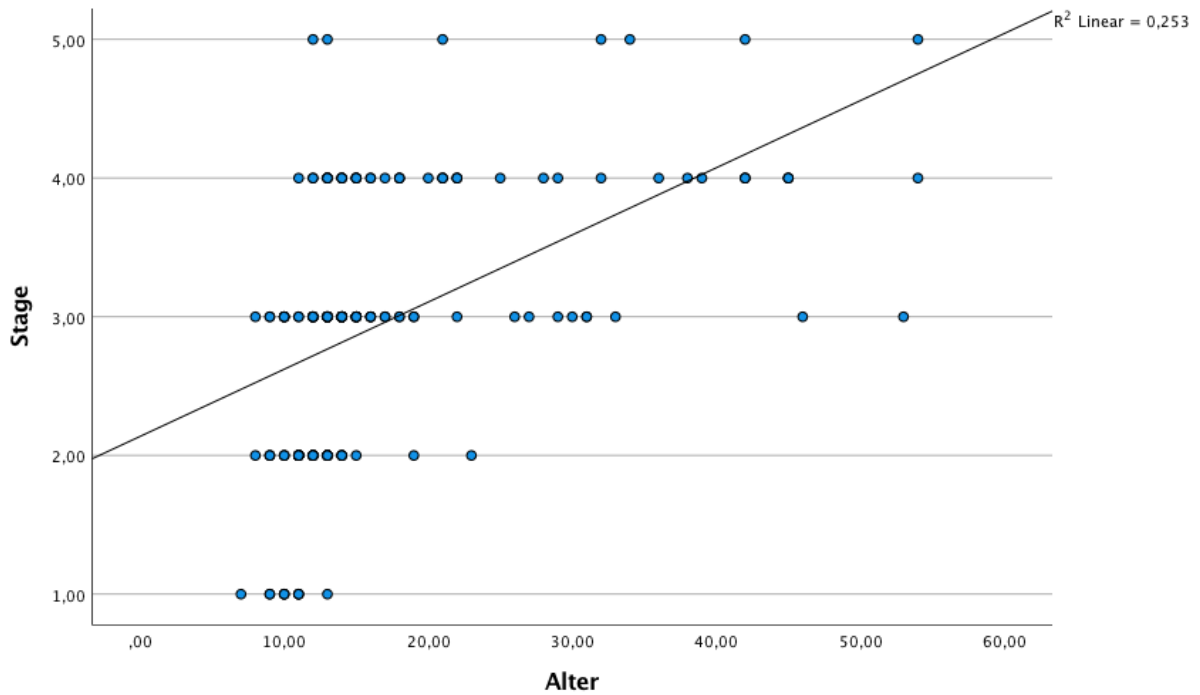


Diagramm 1 Häufigkeitsverteilung der Stages bezogen auf das Alter der Patienten und Patientinnen.

Das Streudiagramm zeigt auf der X-Achse das Alter der Patienten und Patientinnen in Jahren und auf der Y-Achse die Einteilung in die Stages 1,00-5,00, die A-E entsprechen. Die blauen Punkte stehen für die Häufigkeitsverteilung. Die Interpolationslinie illustriert einen positiv linearen Verlauf (Diagramm 1).

Des Weiteren wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Hiermit wurde geprüft, ob innerhalb der Stages A, B, C, D und E ein Unterschied bezüglich des Alters vorliegt (Tabelle 6).

Tabelle 6 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests bei unabhängigen Stichproben.

Gesamtzahl	170
Teststatistik	65,183 ^a
Freiheitsgrad	4
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	<,001

a: Die Teststatistik wird für Bindungen angepasst.

Mit einer Signifikanz $p < 0,001$ liegt ein Unterschied zwischen den Stages vor. Zur weiteren Prüfung, wo diese Unterschiede innerhalb der Stages liegen, wurden Paarweise Vergleiche durchgeführt (Tabelle 7).

Tabelle 7 Paarweise Vergleiche der Stages bezüglich des Alters.

Sample 1- Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardtest- statistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
A-B	-28,835	17,285	-1,668	,095	,953
A-C	-66,322	16,583	-3,999	<,001	,001
A-D	-98,971	17,206	-5,752	<,001	,000
A-E	-105,464	24,152	-4,367	<,001	,000
B-C	-37,487	9,664	-3,879	<,001	,001
B-D	-70,136	10,698	-6,556	<,001	,000
B-E	-76,629	20,042	-3,823	<,001	,001
C-D	-32,648	9,522	-3,429	<,001	,006
C-E	-39,142	19,440	-2,013	,044	,441
D-E	-6,493	19,974	-,325	,745	1,000

a: Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst. Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

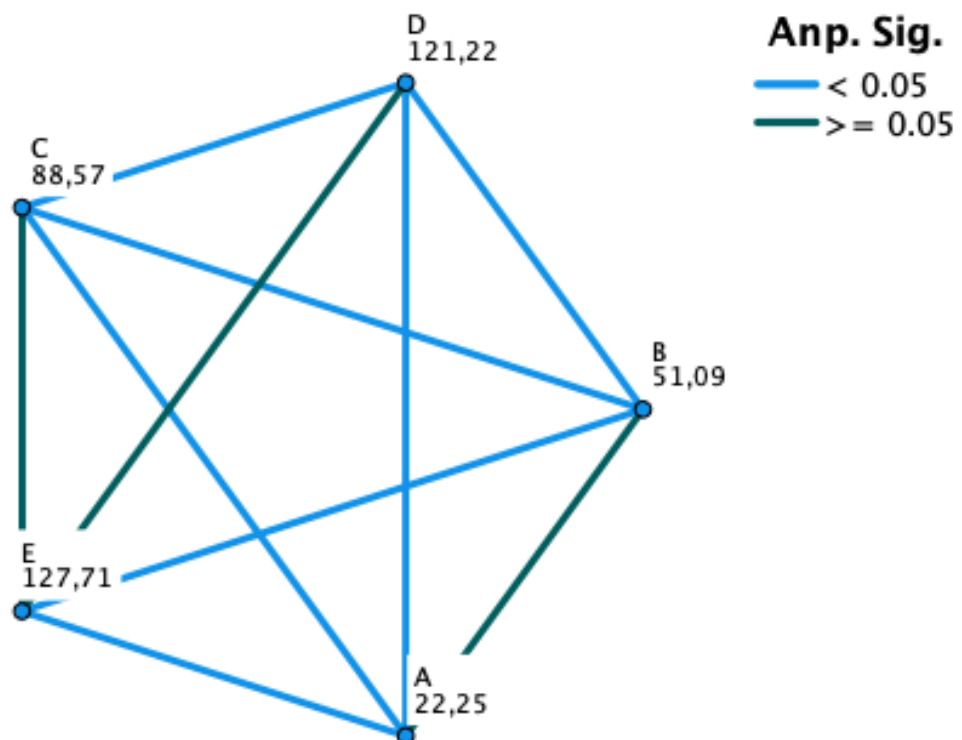


Abbildung 9 Paarweise Vergleiche der Stages bezüglich des Alters.

Zu erkennen ist, dass sich Stage A und B, sowie C und E und Stage D und E nicht signifikant unterscheiden. Alle anderen Stages unterscheiden sich untereinander (Abbildung 9).

4.2 Zusammenhang zwischen Grauwerten und Alter

Im zweiten Ergebnisteil gilt es, Hypothese 2 zu beweisen. Diese besagt: Je älter der Patient oder die Patientin, desto höher die Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana, lateral der Sutura palatina mediana und in der regio Palatum molle. Hierzu wurde zur Prüfung eines linearen Zusammenhangs der Korrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt (Tabelle 9).

Tabelle 8 Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Grauwerte.

	N Statistik	Minimum Statistik	Maximum Statistik	Mittelwert Statistik	Std.- Abweichung Statistik	Schiefe Statistik	Std.-Fehler	Kurtosis Statistik	Std.-Fehler
Alter	170	7,00	54,00	17,3235	9,85252	2,034	,186	3,600	,370
Regio sutura palatina mediana	170	-240,00	1107,00	318,5471	227,22030	,691	,186	,619	,370
Regio lateral sutura palatina mediana	170	-419,00	1386,00	373,5647	306,56875	,409	,186	,201	,370
Regio pallatum molle	170	-624,00	716,00	-315,5412	303,05732	,846	,186	-,183	,370
Gültige Werte (Listenweise)	170								

Tabelle 8 zeigt die ermittelten Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana, in der regio lateral der Sutura palatina mediana und in der regio Palatum molle.

Tabelle 9 Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient für Alter und Grauwerte in regio Sutura palatina mediana, lateral Sutura palatina mediana und Palatum molle.

		Alter	Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
Alter	Korrelationskoeffizient	1,000	,376**	,458**	-,065
	Sig. (2-seitig)	.	<,001	<,001	,399
	N	170	170	170	170
Regio Sutura palatina mediana	Korrelationskoeffizient	,376**	1,000	,622**	-,015
	Sig. (2-seitig)	<,001	.	<,001	,841
	N	170	170	170	170
Regio lateral Sutura palatina mediana	Korrelationskoeffizient	,458**	,622**	1,000	-,152*
	Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	.	,048

	N	170	170	170	170
Regio Palatum molle	Korrelationskoeffizient	-,065	-,015	-,152*	1,000
	Sig. (2-seitig)	,399	,841	,048	.
	N	170	170	170	170

** : Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig). * : Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana ($\rho = 0,376$, $p < 0,001$). Auch zwischen dem Alter und den Grauwerten lateral der Sutura palatina mediana ist ein linearer Zusammenhang erkennbar ($\rho = 0,458$, $p < 0,001$). In der regio Palatum molle gibt es keinen signifikanten Zusammenhang ($\rho = -0,065$, $p > 0,05$). Alter und Grauwerte in dieser Region weisen keine lineare Korrelation auf. Somit gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana und lateral der Sutura palatina mediana. Es besteht ein positiv linearer Zusammenhang. In der regio Palatum molle ist kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und den Grauwerten vorhanden (Tabelle 9).

Die drei folgenden Streudiagramme zeigen auf der X-Achse das Alter der Patienten und Patientinnen in Jahren und auf der Y-Achse die Grauwerte (Diagramm 2, 3, 4).

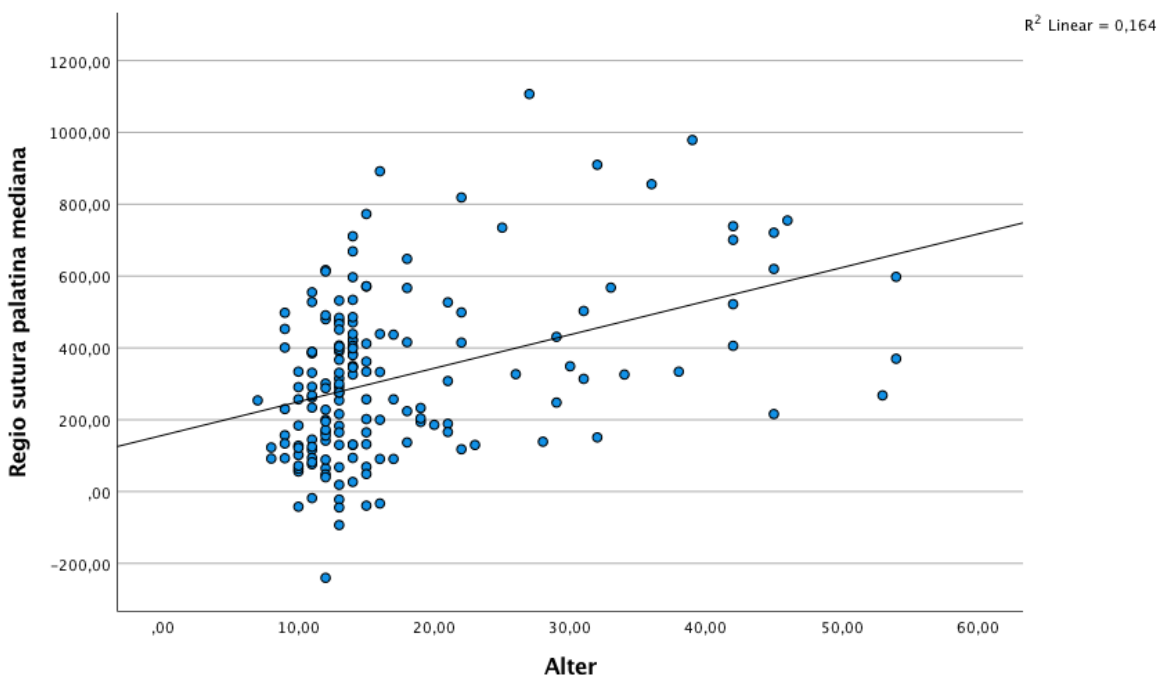


Diagramm 2 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten/Patientinnen.

Das Streudiagramm demonstriert einen positiv linearen Zusammenhang zwischen dem Alter und der gemessenen Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana (Diagramm 2).

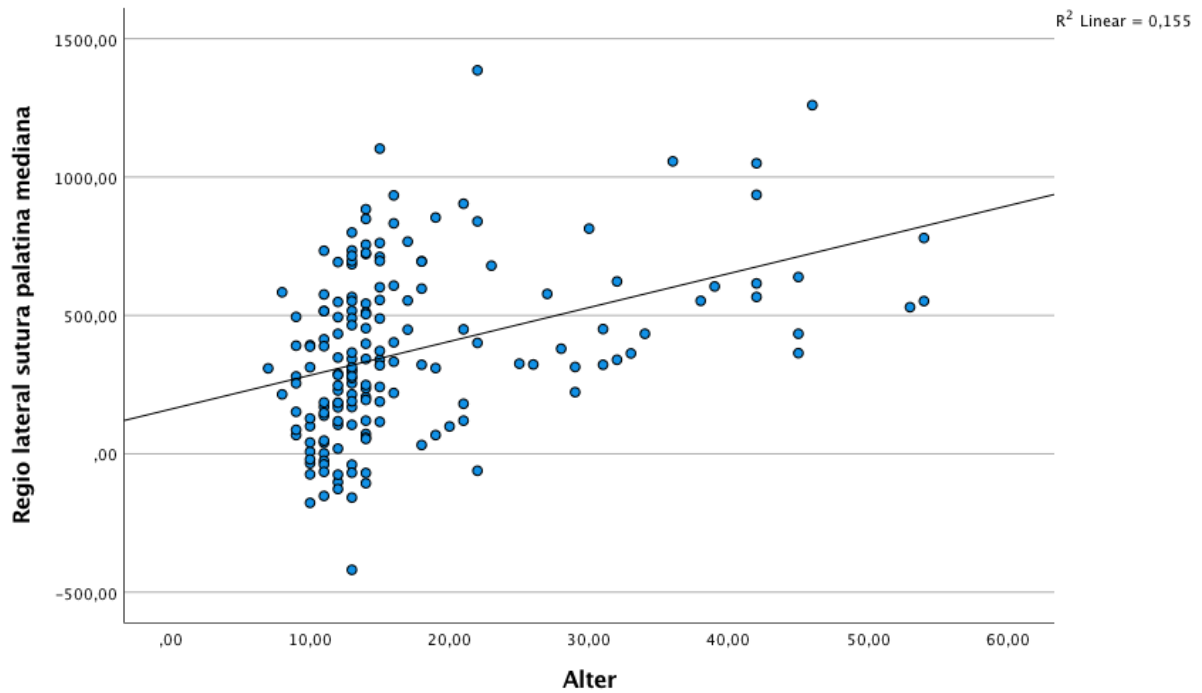


Diagramm 3 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte lateral der Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten/Patientinnen.

Dem Streudiagramm ist ein positiver linearer Zusammenhang zwischen dem Alter und der gemessenen Grauwerte in der regio lateral der Sutura palatina mediana zu entnehmen (Diagramm 3).

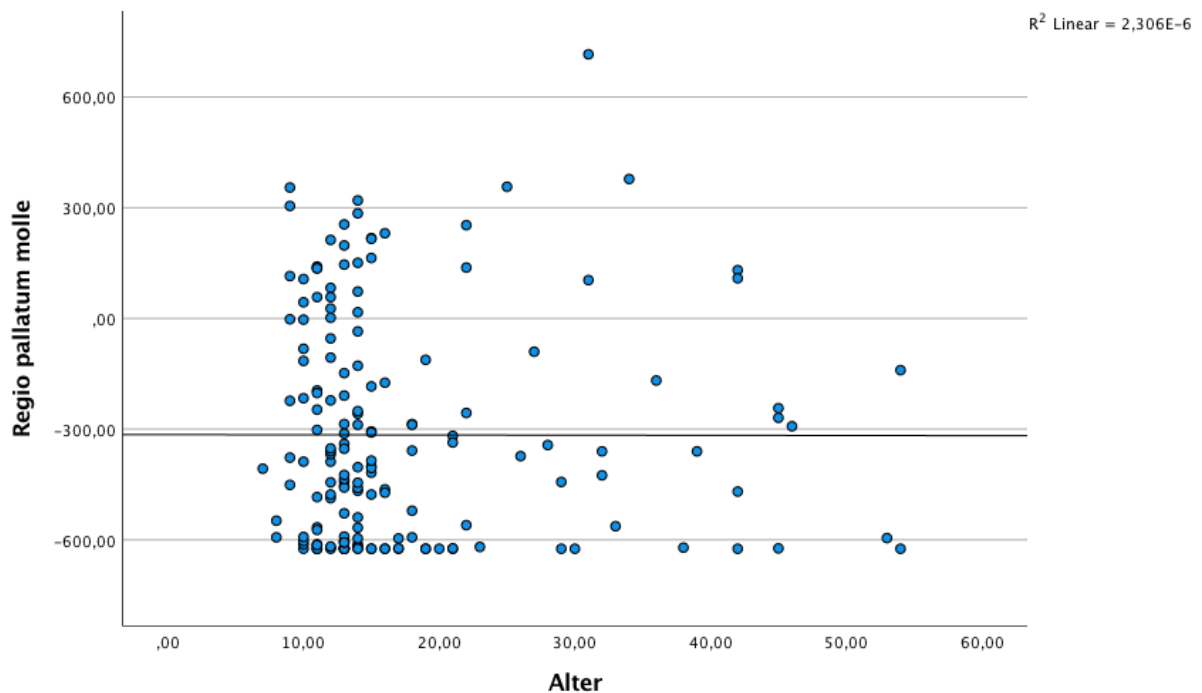


Diagramm 4 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio Palatum molle bezogen auf das Alter der Patienten/Patientinnen.

Dieses Streudiagramm offenbart keinen linearen Zusammenhang zwischen dem Alter und der gemessenen Grauwerte in der regio Palatum molle (Diagramm 4).

4.3 Zusammenhang zwischen Grauwerten, Alter und Geschlecht

Der dritte Ergebnisteil gilt der Beweisführung zur Hypothese 3: Es soll eine Aussagefähigkeit getroffen werden, ob das chronologische Alter und das Geschlecht mit den Grauwerten korrelieren. Hierzu wurden jeweils drei Regressionsanalysen an den drei Messpunkten zur Bestimmung der Grauwerte durchgeführt (Tabelle 10, 11, 12).

Tabelle 10 Regressionsanalyse 1.

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler	Beta		
1	(Konstante)	175,230	35,925		4,878	<,001
	Alter	9,220	1,628	,400	5,664	<,001
	Geschlecht	-38,226	32,309	-,084	-1,183	,238

a. Abhängige Variable: Regio sutura palatina mediana

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,413 ^a	,171	,161	208,12880

a. Einflußvariablen : (Konstante), Geschlecht, Alter

In der regio Sutura palatina mediana korreliert das Alter ($p < 0,001$) im Gegensatz zum Geschlecht ($p = 0,238$) mit den gemessenen Grauwerten ($p = 0,413$).

Die Grauwerte steigen bei den untersuchten Patienten und Patientinnen durchschnittlich um einen Wert von 9,220 von jung nach alt. Bei Männern liegt der Wert um 38,226 niedriger als bei Frauen (Tabelle 10).

Tabelle 11 Regressionsanalyse 2.

Koeffizienten^a

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler	Beta		
1	(Konstante)	174,282	48,877		3,566	<,001
	Alter	12,170	2,215	,391	5,494	<,001
	Geschlecht	-26,870	43,958	-,044	-,611	,542

a. Abhängige Variable: Regio lateral sutura palatina mediana

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,396 ^a	,157	,147	283,16605

a. Einflußvariablen : (Konstante), Geschlecht, Alter

Die gleiche Aussage lässt sich in der regio lateral der Sutura palatina mediana für das Alter ($p < 0,001$) und das Geschlecht ($p = 0,542$) im Hinblick auf die Grauwerte ($p = 0,396$) treffen. Hier steigen die Grauwerte der untersuchten Personen durchschnittlich von jung nach alt um 12,170. Bei Männern ist der Wert um 26,870 geringer als bei Frauen (Tabelle 11).

Tabelle 12 Regressionsanalyse 3.

Koeffizienten^a

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler	Beta		
1	(Konstante)	-338,902	52,446		-6,462	<,001
	Alter	,108	2,377	,004	,045	,964
	Geschlecht	50,056	47,167	,082	1,061	,290

a. Abhängige Variable: Regio pallatum molle

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,082 ^a	,007	-,005	303,84348

a. Einflußvariablen : (Konstante), Geschlecht, Alter

Gemäß der dritten Regressionsanalyse sind die Faktoren für das Alter ($p = 0,964$) und das Geschlecht ($p = 0,290$) im Hinblick auf die Grauwerte ($\rho = 0,082$) nicht signifikant. Die gemessene Region zeigt abweichende Messdaten (Tabelle 12). Es kann keine signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und den Grauwerten an allen Messpunkten gefunden werden (Tabelle 10, 11, 12).

Die beiden folgenden Streudiagramme führen auf der X-Achse das Alter in Jahren und auf der Y-Achse die Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana und lateral der Sutura palatina mediana zusammen. Im Diagramm sind Patientinnen und Patienten getrennt dargestellt (Diagramm 5, 6).

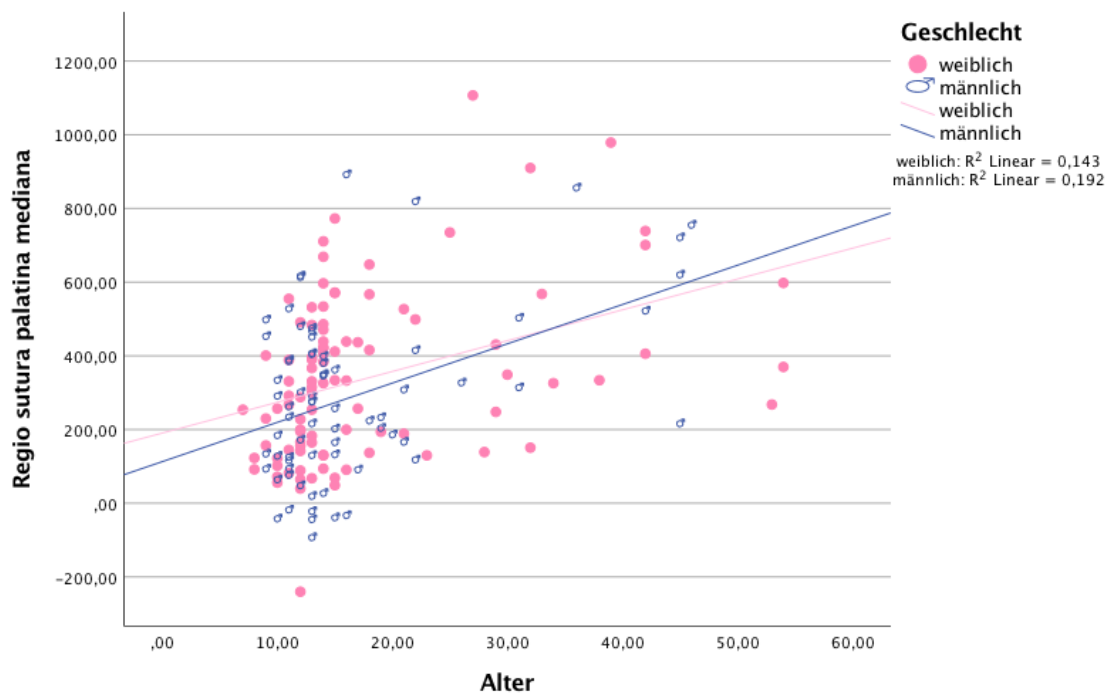


Diagramm 5 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten und Patientinnen in Unterteilung nach weiblich und männlich.

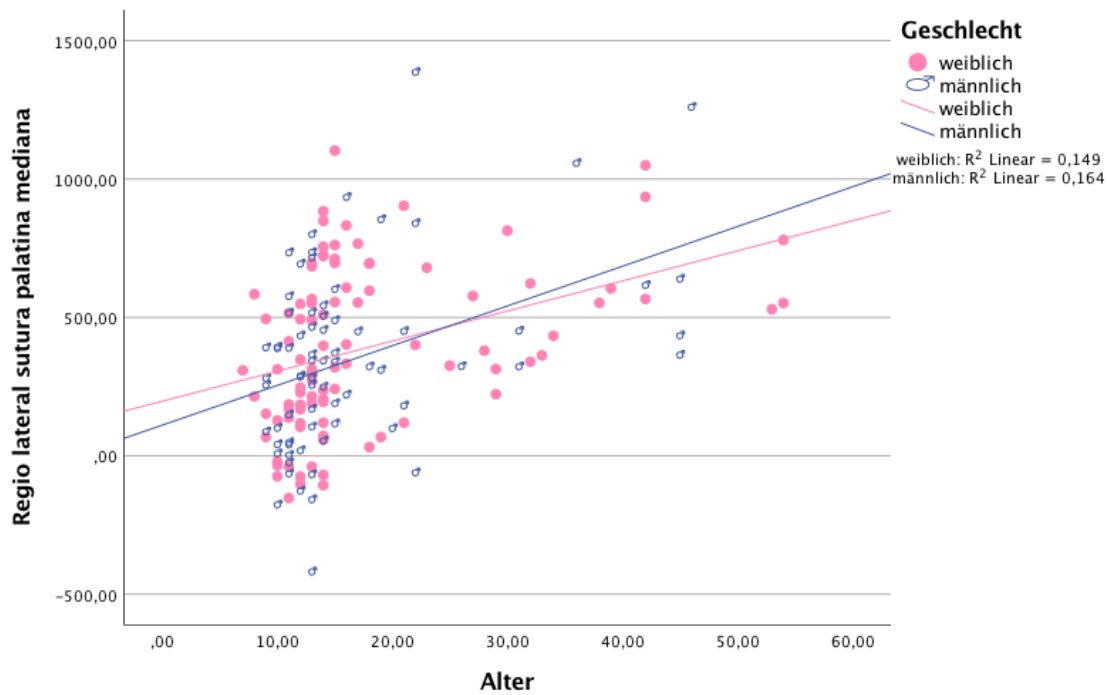


Diagramm 6 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio lateral der Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten und Patientinnen bei Unterteilung in weiblich und männlich.

Erkennbar ist auch, dass Frauen im Vergleich zu Männern schon in jungen Jahren einen hohen Grauwert aufweisen. Männer zeigen zunächst niedrigere Werte, die dann aber steigen und schließlich höher sind als die der Frauen (Diagramm 5, 6).

4.4 Zusammenhang zwischen Verknöcherungsgrad und Grauwerten

Im vierten Ergebnisteil gilt es, Hypothese 4 zu beweisen. Diese besagt: Es gibt eine Korrelation zwischen Verknöcherungsgrad und Grauwerten. Zunächst wurden die Mittelwerte, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum der Grauwerte für die Regionen Sutura palatina mediana, lateral der Sutura palatina mediana und Palatum molle bestimmt. Die Berechnung wurde in die Stages A-E unterteilt (Tabelle 13-17).

Tabelle 13 Deskriptive Statistik für Stage A und Grauwerte.

		Alter	Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
N	Gültig	10	10	10	10
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		10,1000	304,9000	245,0000	-318,1000
Median		10,0000	290,5000	282,0000	-429,0000
Std.-Abweichung		1,59513	123,53627	195,81227	308,99567
Minimum		7,00	128,00	-38,00	-624,00
Maximum		13,00	555,00	576,00	115,00
Perzentile	25	9,0000	229,7500	53,0000	-585,7500
	50	10,0000	290,5000	282,0000	-429,0000
	75	11,0000	389,0000	398,2500	70,2500

Tabelle 14 Deskriptive Statistik für Stage B und Grauwerte.

		Alter	Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
N	Gültig	41	41	41	41
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		12,1707	249,0732	299,5610	-364,4634
Median		12,0000	230,0000	280,0000	-453,0000
Std.-Abweichung		2,58749	201,01286	271,84840	283,75342
Minimum		8,00	-240,00	-158,00	-624,00
Maximum		23,00	669,00	800,00	355,00
Perzentile	25	11,0000	105,0000	70,0000	-618,5000
	50	12,0000	230,0000	280,0000	-453,0000
	75	13,0000	389,5000	529,5000	-198,5000

Tabelle 15 Deskriptive Statistik für Stage C und Grauwerte.

		Alter	Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
N	Gültig	69	69	69	69
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		16,3333	282,1159	344,2319	-312,1449
Median		14,0000	248,0000	314,0000	-388,0000
Std.-Abweichung		7,96438	218,43976	320,02418	302,68073
Minimum		8,00	-44,00	-419,00	-624,00
Maximum		53,00	1107,00	1260,00	716,00
Perzentile	25	12,5000	122,5000	117,0000	-592,5000
	50	14,0000	248,0000	314,0000	-388,0000
	75	16,0000	418,0000	555,0000	-109,0000

Tabelle 16 Deskriptive Statistik für Stage D und Grauwerte.

		Alter	Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
N	Gültig	43	43	43	43
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		23,4884	429,1163	492,2326	-272,3488
Median		18,0000	404,0000	450,0000	-352,0000
Std.-Abweichung		11,93309	226,39054	289,64221	310,86147
Minimum		11,00	40,00	-61,00	-624,00
Maximum		54,00	979,00	1386,00	357,00
Perzentile	25	14,0000	257,0000	322,0000	-593,0000
	50	18,0000	404,0000	450,0000	-352,0000
	75	32,0000	598,0000	605,0000	73,0000

Tabelle 17 Deskriptive Statistik für Stage E und Grauwerte.

		Alter	Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
N	Gültig	7	7	7	7
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		29,7143	424,8571	550,8571	-324,1429
Median		32,0000	370,0000	623,0000	-477,0000
Std.-Abweichung		15,45654	336,22286	369,62252	402,78051
Minimum		12,00	-93,00	-68,00	-624,00
Maximum		54,00	910,00	936,00	378,00
Perzentile	25	13,0000	195,0000	247,0000	-623,0000
	50	32,0000	370,0000	623,0000	-477,0000
	75	42,0000	739,0000	904,0000	109,0000

Eine Prüfung auf Normalverteilung wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt (Tabelle 18).

Tabelle 18 Kolmogorov-Smirnov-Test für regio Sutura palatina mediana, lateral sutura palatina mediana und Palatum molle.

		Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle
N		170	170	170
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	318,5471	373,5647	-315,5412
	Std.-Abweichung	227,22030	306,56875	303,05732
Extremste Differenzen	Absolut	,064	,051	,154
	Positiv	,064	,051	,119
	Negativ	-,052	-,031	-,154
Teststatistik		,064	,051	,154
Asymp. Sig. (2-seitig) ^c		,091	,200 ^e	<,001
Monte-Carlo-Sig.		,098	,332	,000
Signifikanz (2-seitig) ^d	99%	U-Grenze	,091	,320
	Konfidenzintervall	O-Grenze	,106	,344

a: Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung, b: Aus den Daten berechnet, c: Signifikanzkorrektur nach Lilliefors, d: Lilliefors-Methode auf der Basis von 10000 Monte-Carlo-Stichproben mit Startwert 1502173562, e: Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

Für die regio Sutura palatina mediana und die regio lateral der Sutura palatina mediana liegt eine Normalverteilung vor. In der regio Palatum molle liegt keine Normalverteilung vor (Tabelle 18).

Es liegen drei unabhängige Stichproben vor, darunter zwei normalverteilte und eine nicht normalverteilte. Zum Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben wurden Kruskal-Wallis-Tests durchgeführt (Tabelle 19, 21, 23).

Tabelle 19 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests in der regio Sutura palatina mediana.

Gesamtzahl	170
Teststatistik	16,712 ^a
Freiheitsgrad	4
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,002

a: Die Teststatistik wird für Bindungen angepasst.

Es liegt eine Signifikanz zwischen den Stages und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana ($p = 0,002$) vor (Tabelle 19).

Des Weiteren wurden Paarweise Vergleiche durchgeführt. Der erste Test vergleicht paarweise die Stages mit den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana (Tabelle 20).

Tabelle 20 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana.

Sample 1- Sample 2	Teststatistik	Std.-Fehler	Standardtest- statistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
B-C	-4,461	9,705	-,460	,646	1,000
B-A	14,176	17,359	,817	,414	1,000
B-E	-32,333	20,128	-1,606	,108	1,000
B-D	-37,557	10,743	-3,496	<,001	,005
C-A	9,714	16,654	,583	,560	1,000
C-E	-27,872	19,524	-1,428	,153	1,000
C-D	-33,096	9,563	-3,461	<,001	,005
A-E	-18,157	24,255	-,749	,454	1,000
A-D	-23,381	17,279	-1,353	,176	1,000
E-D	5,224	20,060	,260	,795	1,000

a: Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst. Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

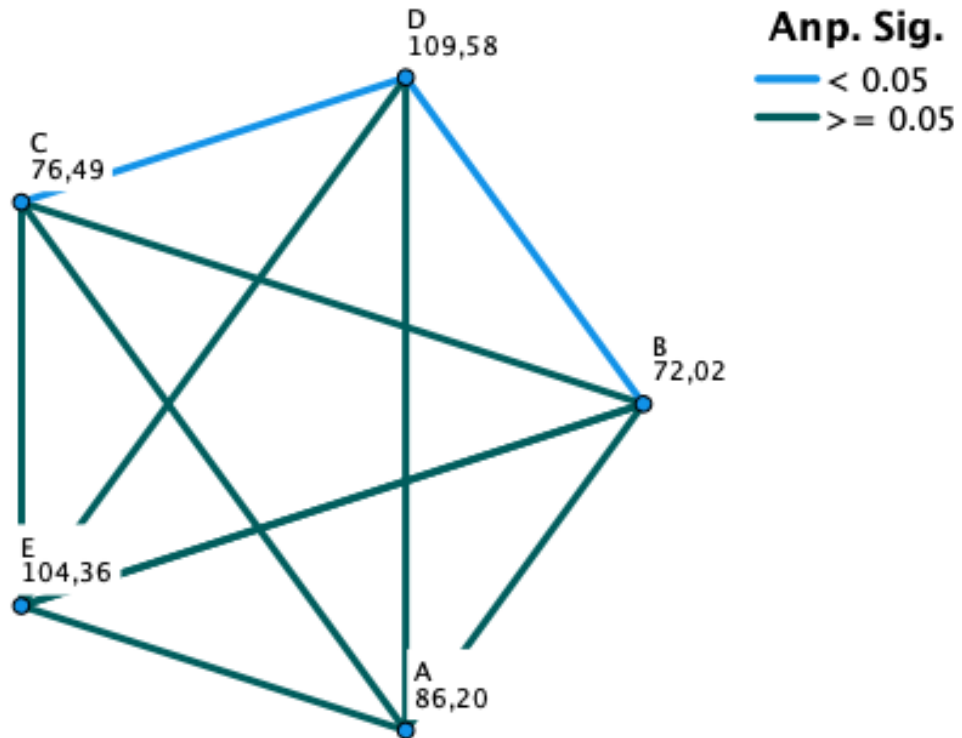


Abbildung 10 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana.

Die Paarweisen Vergleiche der Stages in der regio Sutura palatina mediana zeigen, dass sich Stage C und D, sowie B und D signifikant unterscheiden. Alle anderen Stages unterscheiden sich nicht signifikant (Abbildung 10).

Tabelle 21 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests lateral der Sutura palatina mediana.

Gesamtzahl	170
Teststatistik	13,480 ^a
Freiheitsgrad	4
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,009

a: Die Teststatistik wird für Bindungen angepasst.

Der zweite Kruskal-Wallis-Test zeigt eine Signifikanz zwischen den Stages und den Grauwerten lateral der Sutura palatina mediana ($p = 0,009$) (Tabelle 21).

Der folgende Test vergleicht paarweise die Stages untereinander mit den Grauwerten in der regio lateral der Sutura palatina mediana (Tabelle 22).

Tabelle 22 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten lateral der Sutura palatina mediana.

Sample 1- Sample 2	Teststatistik	Std.- Fehler	Standardtest- statistik	Sig.	Anp. Sig. ^a
A-B	-8,972	17,359	-,517	,605	1,000
A-C	-16,241	16,654	-,975	,329	1,000
A-D	-39,827	17,279	-2,305	,021	,212
A-E	-49,064	24,255	-2,023	,043	,431
B-C	-7,269	9,705	-,749	,454	1,000
B-D	-30,855	10,743	-2,872	,004	,041
B-E	-40,092	20,128	-1,992	,046	,464
C-D	-23,585	9,563	-2,466	,014	,136
C-E	-32,823	19,524	-1,681	,093	,927
D-E	-9,238	20,060	-,460	,645	1,000

a: Signifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst. Jede Zeile prüft die Nullhypothese, dass die Verteilungen in Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (zweiseitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,050.

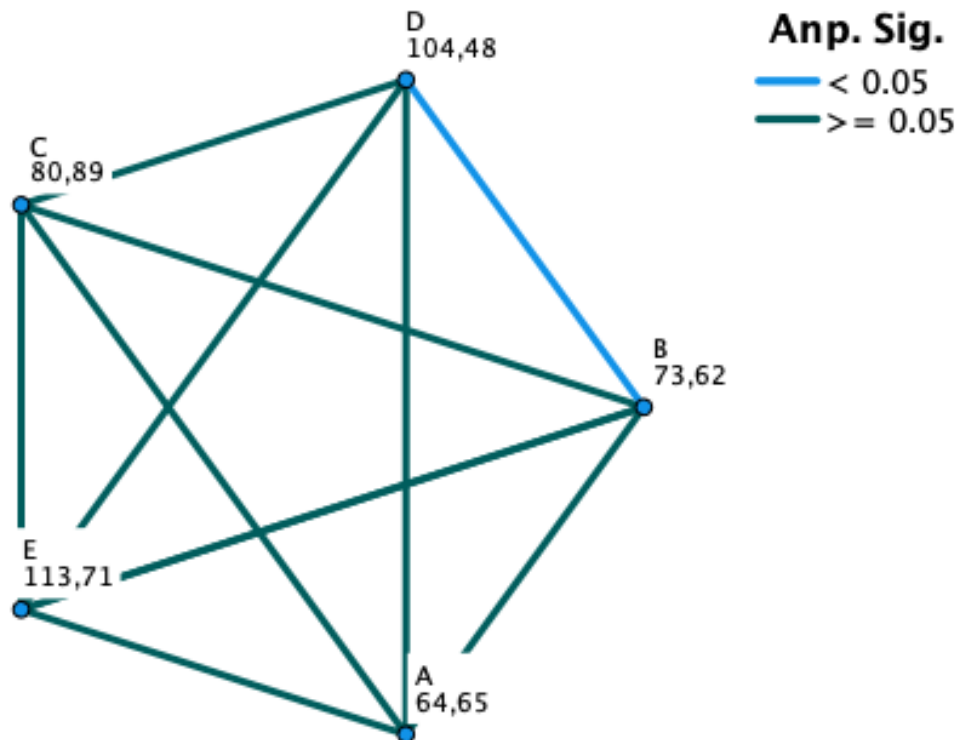


Abbildung 11 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten lateral der Sutura palatina mediana.

Lateral der Sutura palatina mediana ist zu erkennen, dass sich Stages B und D unterscheiden (Abbildung 11).

Der letzte Kruskal-Wallis-Test in der regio Palatum molle war nicht signifikant ($p = 0,636$). Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den Stages und Grauwerten in der regio Palatum molle. Daher wurde auf Paarweise Vergleiche verzichtet (Tabelle 23).

Tabelle 23 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests in der regio Palatum molle.

Gesamtzahl	170
Teststatistik	2,546 ^{a,b}
Freiheitsgrad	4
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,636

a: Die Teststatistik wird für Bindungen angepasst. b: Mehrfachvergleiche wurden nicht durchgeführt, weil der Gesamtttest keine signifikanten Unterschiede zwischen Stichproben aufweist.

Es liegt eine Signifikanz zwischen den Stages und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana ($p = 0,002$) und lateral der Sutura palatina mediana ($p = 0,009$) vor. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den Stages und Grauwerten in der regio Palatum molle (Tabelle 20, 22, 23).

Zur Prüfung eines linearen Zusammenhangs der Stages und Grauwerte wurde ein spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient errechnet (Tabelle 24).

Tabelle 24 Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient für Stages und Grauwerte in regio Sutura palatina mediana, lateral Sutura palatina mediana und Palatum molle.

		Regio Sutura palatina mediana	Regio lateral Sutura palatina mediana	Regio Palatum molle	Stage
Regio Sutura palatina mediana	Korrelationskoeffizient	1,000	,622**	-,015	,253**
	Sig. (2-seitig)	.	<,001	,841	<,001
	N	170	170	170	170
Regio lateral Sutura palatina mediana	Korrelationskoeffizient	,622**	1,000	-,152*	,271**
	Sig. (2-seitig)	<,001	.	,048	<,001
	N	170	170	170	170
Regio Palatum molle	Korrelationskoeffizient	-,015	-,152*	1,000	,089
	Sig. (2-seitig)	,841	,048	.	,250
	N	170	170	170	170
Stage	Korrelationskoeffizient	,253**	,271**	,089	1,000
	Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	,250	.
	N	170	170	170	170

** : Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig). * : Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Es liegt eine Korrelation mittlerer Effektstärke in der regio Sutura palatina mediana ($p = 0,253$, $p < 0,001$) und lateral der Sutura palatina mediana ($p = 0,271$, $p < 0,001$) vor. In der regio Palatum molle ($p = 0,089$, $p = 0,250$) liegt eine Korrelation kleinerer Effektstärke vor (Tabelle 24).

5 Diskussion

5.1 Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung

5.1.1 Sutura palatina mediana

DVT-Aufnahmen bieten die Möglichkeit, den Reifegrad der Sutura palatina mediana vor einer Gaumennahterweiterung zu bestimmen und somit eine präzisere Einschätzung der Erfolgsprognose zu ermöglichen. Die in dieser Studie untersuchten DVT-Aufnahmen wurden im Rahmen kieferorthopädischer Behandlungen angefertigt und dienten so nicht dem primären Zweck der wissenschaftlichen Untersuchung. In dieser Studie lag der Fokus, ähnlich wie in der Literatur beschrieben, auf der Sutura palatina mediana, um ihren Verknöcherungsgrad als Prädiktor für den Erfolg einer Gaumennahterweiterung zu untersuchen.

5.1.2 Patientenkollektiv

Die vorliegende Studie weist eine ungleichmäßige Geschlechterverteilung auf, mit 97 weiblichen und 73 männlichen Teilnehmern. Zudem wurden mehr Jugendliche als Erwachsene untersucht. Um noch aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wäre es wünschenswert, eine Studie mit einer exakt gleichen Verteilung von Alter und Geschlecht anzustreben. Es ist wichtig anzumerken, dass die Teilnehmer dieser Studie kaukasischer Abstammung waren. Es könnte interessant sein, in zukünftigen Studienmodelle verschiedene ethnische Gruppen einzubeziehen, um festzustellen, ob sich die gemessenen Ergebnisse ähneln. Zudem bleibt die Frage offen, ob das Interesse an kieferorthopädischen Behandlungen bei jungen Menschen im Allgemeinen höher ist als bei Erwachsenen.

5.1.3 Befundung

Die DVT-Aufnahmen wurden kontinuierlich durch "Scrollen" untersucht, um möglichst viele Schichten zu betrachten. Dennoch können Fehler in der Diagnose der Stages nicht ausgeschlossen werden, bedingt durch Ungenauigkeiten in der Bildgebung oder Bewegungsartefakte.

Die ermittelten Grauwerte können nur mit der Verwendung des DICOM-Viewers OsiriX Lite (Pixmeo SARL, Bern, Schweiz) reproduziert werden. Dadurch wird ein direkter Vergleich mit anderen Studien erschwert. Um aus den DVT-Aufnahmen eine Knochendichte abzuleiten, wäre die Berechnung und Berücksichtigung eines gerätespezifischen Korrekturfaktors erforderlich gewesen.

5.2 Statistische Auswertung

Zum Zusammenhang zwischen Verknöcherungsgrad und Alter: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Verknöcherungsgrad. Diese Hypothese wird bestätigt.

Zum Zusammenhang zwischen Grauwerten und Alter: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana und lateral der Sutura palatina mediana. Es besteht ein positiver linearer Zusammenhang. In der regio Palatum molle gibt es keine signifikante Kausalität zwischen dem Alter und den Grauwerten. Diese Hypothese kann nur teilweise bestätigt werden.

Zum Zusammenhang zwischen Grauwerten, Alter und Geschlecht: Das chronologische Alter korreliert mit den Grauwerten für die Regionen Sutura palatina mediana und lateral der Sutura palatina mediana. Es kann an keinem Messpunkt eine signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und den Grauwerten gefunden werden. Zu vermerken ist, dass Frauen schon im jungen Alter einen hohen Grauwert aufweisen. Bei Männern sind die Werte im jungen Alter geringer, im hohen Alter aber höher als die der Frauen. In der regio Palatum molle besteht kein signifikanter Zusammenhang. Auch diese Hypothese kann nur teilweise bestätigt werden.

Zum Zusammenhang zwischen Verknöcherungsgrad und Grauwerten: In der regio Sutura palatina mediana und der regio lateral der Sutura palatina mediana liegt eine Korrelation mittlerer Effektstärke vor. In der regio Palatum molle liegt eine Korrelation kleinerer Effektstärke vor. Diese Hypothese wird somit bestätigt.

5.3 Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur

5.3.1 Suture-Maturation-Stage

Das Ergebnis der Einteilung der Stages A-E der 170 untersuchten DVT-Aufnahmen zeigt, dass die Stages A und B nur bei jungen Patienten bzw. Patientinnen bis < 14 Jahren auftreten. Die am häufigsten diagnostizierte Stage C kommt zwar in allen Altersklassen vor, tritt aber kumuliert zwischen 11-18 Jahren auf. Stage D und E werden hauptsächlich bei älteren Personen beobachtet. Im Alter von 5 bis 18 Jahren wurden die Stages nicht diagnostiziert. Eine Ausnahme stellen eine Patientin und ein Patient in der Altersgruppe von 11 bis < 14 Jahren dar, die der Stage E zugeordnet wurden. Nach Errechnung des spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten lässt sich verzeichnen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und Verknöcherungsgrad ($\rho = 0,616$, $p < 0,001$) gibt. Auch wenn eine Signifikanz besteht, muss deutlich hervorgehoben werden, dass in Stage B, C, D und E eine große Standardabweichung zum Durchschnittsalter vorliegt. Diese liegt bei der am häufigsten diagnostizierten Stage C bei 7,59 Jahren. Die Gesamtstandardabweichung liegt bei 9,85 Jahren. Die starke Streuung lässt sich auch in Diagramm 1 erkennen. Die

Interpolationslinie illustriert zwar einen positiv linearen Verlauf, dennoch liegen viele Punkte als Ausreißer weit von ihr entfernt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Stages zwar im Mittelwert mit dem chronologischen Alter korrelieren, aber auf Grund der hohen Standardabweichung eine eingeschränkte Aussagekraft haben. Durch eine Prüfung mittels Kruskal-Wallis-Test wurde untersucht, ob innerhalb der Stages A, B, C, D und E ein Unterschied bezüglich des Alters vorliegt. Die Paarweisen Vergleiche der Stages zeigen, dass sich Stage A und B, sowie C und E und Stage D und E nicht signifikant unterscheiden. Alle anderen Stages unterscheiden sich untereinander. Das könnte daran liegen, dass Stage A mit 10 Personen und Stage E mit 7 Personen ein geringes Patientenaufkommen vorweisen und sich Signifikanzen somit nicht feststellen lassen.

Aus der Literatur lässt sich entnehmen, dass in der Vergangenheit häufig anhand des chronologischen Alters entschieden wurde, ob eine konventionelle GNE oder SARPE als Therapie durchgeführt wurde [50], [79], [7], [70].

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lässt sich ableiten, dass die dreidimensionale DVT-Analyse ab einem bestimmten kritischen Alter, in dem die Stadien D und E vermehrt auftreten, eingesetzt werden sollte. Dabei ist es wichtig, die ALARA-Regeln zu beachten, um eine sichere und effektive Analyse durchzuführen.

Melsen B. et al. kamen zu der Erkenntnis, dass die Sutura palatina mediana nach dem 15. Lebensjahr verschlossen ist [50]. Durch die hier vorliegende Studie wird aufgezeigt, dass auch bei Patienten und Patientinnen über 18 Jahren Stage B und C diagnostiziert wurden. Die Ergebnisse sind konträr. Wehrbein et al. stellten fest, dass der Suturenverschluss selten unter 25 Jahren stattfand [79]. Das lässt sich in der hier vorliegenden Studie nicht bestätigen. Stage D und E traten in der Gruppe der unter 18-Jährigen mit einer Häufigkeit von 12,35 % auf. Darunter befand sich ein 12-jähriges Mädchen und ein 13-jähriger Junge, die mit Stage E diagnostiziert wurden.

Es ist sicherlich möglich, diese Ergebnisse als Ausreißer zu betrachten. Um die Risiken einer DVT-Untersuchung zu vermeiden, könnte man in dieser jungen Altersgruppe, die nur eine geringe Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Verknöcherung aufweist, allgemein auf eine knochengerichtete Gaumennahterweiterung setzen. Sollte es dennoch zu keiner Distraction der mittleren Gaumennaht kommen, wären die Nebenwirkungen durch eine knochengetragenen GNE geringer als bei einer zahngetragenen Gaumennahterweiterungsapparatur.

Angelieri et al. untersuchten 140 DVT-Aufnahmen. Dabei ähnelten die Ergebnisse denen der hier vorliegenden Studie [2]. Hier wurden die Stages A und B bis zum 13. Lebensjahr beobachtet. Stage C trat am häufigsten bei Personen zwischen 11-17 Jahren auf, aber auch in allen sonstigen Altersklassen. Die Stages D und E wurden erst bei über 11-jährigen

Patientinnen diagnostiziert. Die Aussage, dass der Suturenverschluss bereits bei Patienten und Patientinnen im Alter von 11 bis < 14 Jahre auftritt, kann in dieser Studie bekräftigt werden. Anzumerken ist, dass Stage E in der Studie von Angeliari et al. insgesamt deutlich häufiger auftrat. Mit 86 Frauen zu 54 Männern entspricht die Verteilung von 61,4 % zu 38,6 % ungefähr der hier untersuchten Verteilung von 57,1 % zu 42,9 % [2].

Kritisch zu betrachten ist, dass sowohl in der Studie von Angeliari et al. als auch in der hier vorliegenden Arbeit die Anzahl der untersuchten Patientinnen höher liegt. Zudem wurden mehr Personen im jugendlichen Alter untersucht als Erwachsene. Des Weiteren wurden in der Studie von Angeliari et al. die Standardabweichungen nicht betrachtet. Durch die hier vorliegende Studie werden in diesem Kontext eindeutigere Ergebnisse geliefert.

Die Ergebnisse beider Studien ähneln sich. Das lässt sich auf eine gleiche Herangehensweise bei der Untersuchung der DVT-Aufnahmen zurückführen.

In anderen Studien wird belegt, dass auch im Erwachsenenalter keine Fusion der Sutura palatina mediana stattgefunden hat [55], [42], [44]. Das lässt sich auch in der hier vorliegenden Untersuchung beobachten. Stage B und C wurden mit einer Häufigkeit von 9,41 % bei über 18-Jährigen diagnostiziert. Darunter eine Patientin mit 53 Jahren und ein Patient mit 46 Jahren, die eine Stage C aufweisen. Daraus geht hervor, dass das chronologische Alter keine verlässliche Aussagekraft bezüglich des Verknöcherungsgrades hat. Eine individuelle Betrachtung von DVT-Aufnahmen ist präziser.

Verglichen mit der Studie von Tonello et al., die eine DVT-Studie zum suturalen Verschluss der mittleren Gaumennaht bei Kindern zwischen 11 und 15 Jahren zum Gegenstand hatte, zeigt sich eine Übereinstimmung in der Häufigkeit der diagnostizierten Stage C [75].

Reis et al. diagnostizierten in ihrer Studie Stage E mit einer Häufigkeit von 48,25 % [58]. In der hier vorliegenden Arbeit hingegen wurde Stage E mit 4,12 % deutlich seltener diagnostiziert. Zu erwähnen ist hier jedoch die deutlich höhere Patientenanzahl der Studie von Reis et al. [58]. Im Hinblick auf den Anteil der diagnostizierten Stage A lässt sich zwischen beiden Studien jedoch eine Gemeinsamkeit feststellen. Zudem konnte in beiden Studien der Verknöcherungsgrad A nur bei Personen bis zum Alter von 15 Jahren nachgewiesen werden. Ladewig et al. diagnostizierten in ihrer DVT-Studie bei 112 Patienten und Patientinnen zwischen 16 und 20 Jahren Stage C mit einer Häufigkeit von 46 % [47]. Die Häufigkeit der untersuchten Stage C ist mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Studie (40,59%) vergleichbar. Anzumerken sind das kleinere Patientenkollektiv und die geringere Altersspanne in der Untersuchung von Ladewig et al. [47].

Jimenez-Valdivia et al. untersuchten 200 DVT-Aufnahmen von Patienten und Patientinnen zwischen 10-25 Jahren [40]. Auch hier wurde ein Staging nach Angeliari et al. durchgeführt. Mit 95 Frauen zu 105 Männern liegt eine ausgewogenere Geschlechterverteilung als in der hier vorliegenden Studie vor. Stage A und B traten in der Untersuchung von Jimenez-Valdivia

et al. kumuliert bis zum 15. Lebensjahr auf. Das Ergebnis ähnelt dem der hier vorliegenden Arbeit. Stage C trat in allen Altersklassen gleichmäßig verteilt auf. Stage D und E wurde am häufigsten bei Patienten und Patientinnen über 21 Jahren diagnostiziert. Zu vermerken ist, dass Stage E mit 79 Personen die meist diagnostizierteste Stage ist [40]. Die Verteilung der Stages D und E in den älteren Altersgruppen lässt sich auch in der hier vorliegenden Studie wiederfinden. Stage E tritt allgemein deutlich seltener auf als in der Studie von Jimenez-Valdivia et al. Kritisch zu betrachten ist auch hier die geringe Altersspanne im Patientenkollektiv. Jimenez-Valdivia et al. konnten darüber hinaus eine Korrelation zwischen Geschlecht und Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana feststellen. Beobachtet wurde, dass männliche Personen zwischen 16 und 25 Jahren häufiger eine offene Sutur zeigten als weibliche Personen [40].

5.3.2 Befundung der Sutura palatina mediana

In einer Studie von Petrick et al. wurde ebenfalls die Sutura palatina mediana anhand von DVT-Aufnahmen bei Patienten und Patientinnen untersucht, die sieben Monate vor und nach einer chirurgisch unterstützten GNE mit dem Dresden Distraktor durchgeführt wurde. Die Ergebnisse dieser Studie stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein. Die Forscher stellten fest, dass vor allem im hinteren Teil der Sutur ein hoher Verknöcherungsgrad vorlag, der durch die Behandlung nur geringfügig verringert werden konnte [56]. Die Beobachtung eines hohen Verknöcherungsgrades im hinteren Teil der mittleren Gaumennaht wurde auch in dieser Studie gemacht. Dass die Verknöcherung von hinten nach vorne erfolgt, wird auch in der aktuellen Literatur diskutiert [55], [42]. Korbmacher et al. untersuchten in einer dreidimensionalen Mikro-CT-Studie die suturale Morphologie. Dabei wurde kein altersbedingter Verschluss der Suturen beobachtet. Die Ergebnisse zeigen eine altersunabhängige Intensität der Interdigitationen [45]. Im Gegensatz dazu weisen die Ergebnisse der vorliegenden Studie auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und Verknöcherungsgrad hin. González Moreno et al. und Lee et al. äußern in diesem Zusammenhang eine Kontraindikation für eine DVT-Aufnahme bei Patienten und Patientinnen unter 14 Jahren, da sie der Ansicht sind, dass eine Verknöcherung der Sutura palatina mediana vor diesem Alter nicht zu erwarten ist [27], [49]. Die Erkenntnisse dieser Studie zeigen jedoch, dass aufgrund der hohen Standardabweichung eine rechtfertigende Indikation für eine DVT-Diagnostik im individuellen Fall gegeben sein kann.

Eine weitere Beurteilung der suturalen Morphologie wurde von Wehrbein und Yildizhan anhand von Oberkieferaufbissaufnahmen durchgeführt. Sie stufen das Ergebnis als nicht ausreichend ein, um eine Therapieentscheidung konservativ versus SARPE treffen zu können

[79]. Anzumerken ist, dass hier nur der frontale Gaumen betrachtet wurde und nicht der posteriore Anteil.

Anhand von histologischen Untersuchungen an Gaumenpräparaten bei Patienten und Patientinnen zwischen 15-35 Jahren stellten Persson und Thilander durch die Anwendung eines Obliteration-Indexes heraus, dass eine konventionelle GNE bis zu einem Verknöcherungsgrad von 5 % möglich ist [55]. Hier zeigte sich ebenfalls, dass der Verknöcherungsprozess der Gaumennaht zunächst im posterioren Bereich des Gaumens stattfand. Außerdem lagen innerhalb der Suture unterschiedliche Verknöcherungsprozesse vor, die auch bei der Bestimmung der Stages im DVT zu beobachten sind.

Histologische und Mikro-CT-Studien kamen unter anderem zu dem Schluss, dass die Fusion der Gaumennaht nicht allein für die Prognose des Erfolgs entscheidend ist, sondern vielmehr der Prozentanteil einzelner Segmente [55], [42], [51], [45].

Demnach könnten in Folgestudien gezielt Personen untersucht werden, die zwar Fusionen der Gaumennaht aufweisen, jedoch in unterschiedlichen Bereichen der Suture. Anschließend wäre herauszuarbeiten, welche Auswirkung dies auf den Erfolg der Behandlung hat.

Da es aufgrund der Anatomie des Gaumens schwierig ist, alle Segmente der Sutura palatina mediana in einer Schicht darzustellen, sollte die Diagnostik stets dynamisch durch "Scrollen" stattfinden und nicht anhand statischer Bilder. Das betrifft besonders Patienten oder Patientinnen, die ein stark gewölbtes Gaumendach haben. Dabei sollte die Substantia spongiosa des Gaumens und nicht die Substantia corticalis betrachtet werden [2]. Somit kann lokalisiert werden, welche Bereiche der Gaumennaht eine erhöhte Verknöcherung oder welche Areale bereits eine Fusion aufweisen. Es kann individuell entschieden werden, welche Therapie die beste für den Patienten oder die Patientin ist.

5.3.3 Os zygomaticum, Processus pterygoideus

Den einzigen Widerstand gegen eine GNE stellt jedoch nicht nur die Sutura palatina mediana dar [42], [55], [10], [79]. In der kieferorthopädischen Planung sollten zusätzlich die Suturen zygomaticofrontalis, zygomaticomaxillaris und zygomaticotemporalis betrachtet werden [42]. Angelieri et al. kamen am Ende ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass auch diese zirkummaxillären Suturen durch ein Staging bestimmt werden können [2].

5.3.4 Bestimmung der Grauwerte

Der zweite Teil der Studie ist der Verteilung der Grauwerte an drei Messpunkten gewidmet. Dabei wurden die Regionen Sutura palatina mediana, lateral der Sutura palatina mediana und Palatum molle als Messpunkte verwendet. Die Bestimmung der Grauwerte an diesen Messpunkten orientiert sich an der Studie von Grünheid et al. [28].

In dieser Studie wurde eine Methodik zur Ermittlung des Knochendichtegrades der Sutura palatina mediana anhand von DVT-Aufnahmen zur Vorhersage der Resistenz gegenüber einer GNE entwickelt. Dabei wurden DVT-Aufnahmen von 30 Patienten und Patientinnen im Alter zwischen 7 und 16 Jahren betrachtet. Die Geschlechterverteilung ähnelt mit 17 weiblichen und 13 männlichen Personen (56,7 % zu 43,3 %) der in der hier vorliegenden Studie. Das Ergebnis erlaubt eine Vorhersehbarkeit für den Erfolg einer GNE. Kritisch zu betrachten ist die geringe Größe der Versuchsgruppe in der von Grünheid et al. durchgeführten Studie.

Das Modell dieser Studie wurde in der hier vorliegenden Arbeit angewandt, um einen Zusammenhang zwischen Alter und Grauwerten an den drei gemessenen anatomischen Punkten zu finden. Im weiteren Verlauf wurde die Messung der Grauwerte dafür genutzt, eine Aussagefähigkeit zwischen Alter und Geschlecht treffen zu können.

Grünheid et al. kamen zu dem Ergebnis, dass der ermittelte Knochendichtegrad der Sutura palatina mediana ein potenzieller klinischer Prädiktor für eine GNE ist [28]. Die hier vorliegende Studie zeigt bei der Betrachtung des Alters und der Grauwerte ähnliche Ergebnisse. Das lässt sich darauf zurückführen, dass die Messung an denselben anatomischen Regionen stattfand. Alter und Grauwerte weisen einen signifikanten Zusammenhang in der regio Sutura palatina mediana und lateral der Sutura palatina mediana auf. An keinem Messpunkt kann eine signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und den Grauwerten vermerkt werden.

In der regio Palatum molle weist die Messung der Grauwerte keinen positiven Zusammenhang auf. Messungen in dieser Region sind auf Grund des vorhandenen Weichgewebes nicht erstrebenswert.

Die Prüfung eines Zusammenhangs zwischen Verknöcherungsgrad und Grauwerten mittels Kruskal-Wallis- Test ergab eine Signifikanz zwischen den Stages und den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana ($p = 0,002$) und lateral Sutura palatina mediana ($p = 0,009$). Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den Stages und Grauwerten in der regio Palatum molle. Eine weitere Prüfung mittels spearmanischen Rangkorrelationskoeffizienten zeigt eine Korrelation mittlerer Effektstärke in der regio Sutura palatina mediana ($\rho = 0,253$, $p < 0,001$) und lateral der Sutura palatina mediana ($\rho = 0,271$, $p < 0,001$). In der regio Palatum molle ($\rho = 0,089$, $p = 0,250$) liegt eine Korrelation kleinerer Effektstärke vor.

Chae et al. und Han et al. fanden heraus, dass im Bereich der Sutura palatina mediana bei weiblichen Personen eine höhere Knochendichte nachweisbar ist [13], [32].

Aus dieser Studie geht hervor, dass Patientinnen im Vergleich zu Patienten schon in jungen Jahren einen hohen Grauwert aufweisen. Letztere zeigen zunächst niedrigere Werte, die dann aber steigen und letztendlich höher werden als die der Patientinnen. Es konnte keine Signifikanz gefunden werden.

Azeredo et al. fertigten DVT-Aufnahmen von sechs Materialien an: Luft, Wasser, Wachs, Acryl, Gips und Guttapercha. Anschließend wurden die Grauwerte der Materialien in fünf DICOM-

Softwareprogrammen berechnet und miteinander verglichen. Das Ziel bestand darin, eine Aussage treffen zu können, ob sich die Ergebnisse unterscheiden. Unter den Programmen befand sich auch das in der hier vorliegenden Studie verwendete Programm OsiriX. Das Ergebnis der Studie besagt, dass es keine Unterschiede bei der Bestimmung der Grauwerte in den verschiedenen Softwareprogrammen gab [5]. Daraus lässt sich schließen, dass die Bestimmung der Grauwerte in DICOM-Viewern eine hohe Aussagekraft hat, jedoch von dem benutzten DVT-Gerät abhängt.

Mohan et al. führten eine DVT-Studie zur Bewertung der Aussagekraft von Grauwerten durch. Dabei wurde der Verknöcherungszustand der Sutura palatina mediana betrachtet. Sie stellten heraus, dass eine Signifikanz zwischen Verknöcherungsgrad der Sutura palatina mediana nach Angeli et al. und den Grauwerten in dieser Region besteht. Die Grauwertbestimmung kann als zusätzliche Diagnostik genutzt werden, um den Zustand der mittleren Gaumennaht zu bestimmen [52]. Auch in der vorliegenden Studie lässt sich eine Signifikanz zwischen Verknöcherungsgrad und Grauwerten feststellen. Die Aussagekraft ist jedoch auf Grund der geringen Effektstärke nicht ausreichend valide.

Razi et al. führten eine Studie durch, die dem Vergleich von Grauwerten in DVT-Aufnahmen und der Knochendichte in Hounsfield in Computertomografie-Aufnahmen (CT-Aufnahmen) gewidmet war. Das Ergebnis zeigt eine hohe Korrelation zwischen Grauwerten und Hounsfield-Einheiten. Die Studie verdeutlicht, dass eine DVT-Aufnahme einer CT-Aufnahme, die mit einer höheren Strahlenbelastung und höheren Kosten einhergeht, vorzuziehen ist [57]. Für Folgestudien könnte der digitale Fortschritt nützlich sein. Eine Software in Form eines Computerprogramms könnte entwickelt werden, das Verknöcherungsgrade und Knochendichten in DVT-Aufnahmen analysiert und Prognosen für den Erfolg kieferorthopädischer Behandlungen erstellt. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass, trotz technologischen Fortschritts, die klinische Untersuchung eine hohe Relevanz hat.

5.4 Schlussfolgerung / Konklusion

Es ist von Bedeutung, diagnostische und prognostische Parameter zur Vorhersage des Erfolgs einer Gaumennahterweiterung ohne chirurgische Unterstützung zu berücksichtigen, da der Widerstand der maxillären und zirkumaxillären Suturen im Laufe des Lebens zunimmt und dies den Behandlungserfolg beeinflussen kann.

Allerdings ist das chronologische Alter allein kein zuverlässiger Indikator für den Reifegrad der Suturen. Obwohl eine gewisse Korrelation zwischen dem Durchschnittsalter und dem Verknöcherungsstadium der Sutura palatina mediana sowie den Grauwerten besteht, kann das Alter aufgrund großer Streuungen nicht als verlässlicher Prädiktor für das spezifische Verknöcherungsstadium betrachtet werden.

In Anbetracht dessen ist es vor dem 11. Lebensjahr nicht empfehlenswert, dreidimensionale DVT-Aufnahmen durchzuführen, da in dieser Altersgruppe keine Fälle mit den kritischen Stadien D und E beobachtet wurden, die eine chirurgische Unterstützung erfordern würden. Unter den 11-14-Jährigen waren lediglich 10 Patienten und Patientinnen betroffen, was einem Anteil von 5,8% der Gesamtpopulation entspricht. Daher empfiehlt es sich gemäß den ALARA-Regeln, in dieser Altersgruppe eher eine knochengetragene Gaumennahterweiterung durchzuführen, um mögliche Nebenwirkungen zu vermeiden. Ab einem Alter von 15 Jahren kann eine diagnostische DVT-Aufnahme zur Beurteilung der suturalen Reife vor einer Gaumennahterweiterung einen prognostischen Nutzen haben.

6 Verzeichnis

6.1 Literaturverzeichnis

1. Adab, K., et al., Nasal capsular cartilage is required for rat transpalatal suture morphogenesis. *Differentiation*, 2003. 71(8): p. 496-505.
2. Angelieri, F., et al., Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013. 144(5): p. 759-69.
3. Angelieri F, Franchi L, Cevidanes LH, Bueno-Silva B, McNamara JA Jr. Prediction of rapid maxillary expansion by assessing the maturation of the midpalatal suture on cone beam CT. *Dental Press J Orthod*. 2016 Nov-Dec;21(6):115-125.
4. Angell E. Treatment of irregularities of the permanent teeth or adult teeth. *Dent Cosmos*, 1860;1:540-4.
5. Azeredo F, de Menezes LM, Enciso R, Weissheimer A, de Oliveira RB. Computed gray levels in multislice and cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013 Jul;144(1):147-55. doi: 10.1016/j.ajodo.2013.03.013. PMID: 23810056.
6. Baccetti, T., et al., Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*, 2001. 71(5): p. 343-50.
7. Baccetti, T., L. Franchi, and J.A. McNamara, Jr., An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod*, 2002. 72(4): p. 316-23.
8. Ballrick J, Fields H, Vlg KWL, Beck Fm, Germak J, Baccetti T, Franchi L Reliability and validity of cervical Vertebral maturation and hand-wrist radiographs. *The Angle Orthodontist* 2001;71,5;343-50.
9. Biedermann W. A hygienic appliance for rapid maxillary expansion. *J Pract Orthod*, 1968;2:67-70.
10. Bradley, J.P., et al., Studies in cranial suture biology: regional dura mater determines in vitro cranial suture fusion. *Plast Reconstr Surg*, 1997. 100(5): p. 1091-9; discussion; 1100-2.

11. Brown GVI. The surgery of oral and facial diseases and malformations. 4th edn. London: Kimpton; 1938: 507
12. Cevidanes, L.H., M.A. Styner, and W.R. Proffit, Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. 129(5): p. 611-8.
13. Chae, J.-M., et al., A CBCT evaluation of midpalatal bone density in various skeletal patterns. Sensors, 2021. 21(23): p. 7812.
14. Christensen J B, Lachman E, Brues A M 1960 A study of the roentgen appearance of cranial vault sutures: correlations with their anatomy. American Journal of Roentgenology 83: 615-627
15. Cohen, M.M., Jr., Sutural biology and the correlates of craniosynostosis. Am J Med Genet, 1993. 47(5): p. 581-616.
16. da Silva Filho, O.G., et al., Evaluation of the midpalatal suture during rapid palatal expansion in children: a CT study. J Clin Pediatr Dent, 2005. 29(3): p. 231-8.
17. Davida E 1926 Untersuchungen über die Obliteration der Schädelnähte und Synchronosen. Zeitschrift für anatomische Entwicklung 81: 465-529
18. D.E. Heupel und E. Steinhilber Lehrbuch der radiologischen Einstelltechnik: Springer - Verlag GmbH Deutschland, 7. Auflage S. 460.
19. Derichsweiler H. Gaumennahterweiterung. Methode, Indikation und klinische Bedeutung. München: Carl Hanser Verlag, 1956
20. Diedrich P. Kieferorthopädie II. München: Urban & Fischer; 2000: 272-279
21. Diedrich P. Kieferorthopädie III. München: Urban & Fischer; 2002
22. Fishman, L.S., Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. Angle Orthod, 1979. 49(3): p. 181-9.

23. Fishman, L.S., Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod*, 1982. 52(2): p. 88-112.
24. Franchi, L., T. Baccetti, and J.A. McNamara, Jr., Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2000. 118(3): p. 335-40.
25. Fuhrmann, A., Thieme, *Zahnärztliche Radiologie*, 2013, S. 124, 125
26. Gerlach, K.L. and C. Zahl, Surgically assisted rapid palatal expansion using a new distraction device: report of a case with an epimucosal fixation. *J Oral Maxillofac Surg*, 2005. 63(5): p. 711-3.
27. G.M., AM., et al., Cone Beam Computed Tomography evaluation of midpalatal suture maturation according to age and sex: A systematic review. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 2022. 23(1): p. 44-50.
28. Grunheid, T., C.E. Larson, and B.E. Larson, Midpalatal suture density ratio: A novel predictor of skeletal response to rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2017. 151(2): p. 267-276.
29. Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1961;57:219-255.
30. Haas AJ. Long-term post-treatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod* 1980; 50: 189-217.
31. Habersack, K., et al., High-resolution multislice computerized tomography with multiplanar and 3-dimensional reformation imaging in rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007. 131(6): p. 776-81.
32. Han, S., et al., Evaluation of palatal bone density in adults and adolescents for application of skeletal anchorage devices. *The Angle Orthodontist*, 2012. 82(4): p. 625-631.
33. Hansen, L., et al., Skeletally-anchored Rapid Maxillary Expansion using the Dresden Distractor. *J Orofac Orthop*, 2007. 68(2): p. 148-158.

34. Hansman C F 1966 Growth of interorbital distance and skull thickness as observed in roentgenographic measurements. *Radiology* 86: 87-96
35. Hassel, B. and A.G. Farman, Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1995. 107(1): p. 58-66.
36. Herring, S.W., Sutures a tool in functional cranial analysis. *Acta Anat (Basel)*, 1972. 83(2): p. 222-47.
37. Herring, S.W. and S. Teng, Strain in the braincase and its sutures during function. *Am J Phys Anthropol*, 2000. 112(4): p. 575-93.
38. Heuberger, J., Rosset, A., *OsiriX User Manual, The Complete Reference by Pixmeo*, 2017, S. 145-155
39. Jacobs, J.D., et al., Control of the transverse dimension with surgery and orthodontics. *Am J Orthod*, 1980. 77(3): p. 284-306.
40. Jimenez-Valdivia, L.M., et al., Midpalatal suture maturation stage assessment in adolescents and young adults using cone-beam computed tomography. *Progress in orthodontics*, 2019. 20(1): p. 1-7.
41. Kau, C.H., et al., Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *J Orthod*, 2005. 32(4): p. 282-93.
42. Knaup, B., F. Yildizhan, and H. Wehrbein, Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop*, 2004. 65(6): p. 467-74.
43. Kokich V G 1976 Age changes in the human fronto-zygomatic suture from 20 to 95 years. *American Journal of Orthodontics* 69: 411-430
44. Korbmacher, H., et al., Age-dependent Three-dimensional Microcomputed Tomography Analysis of the Human Midpalatal Suture*. *J Orofac Orthop*, 2007. 68(5): p. 364-376.
45. Korbmacher, H., et al., Dreidimensionale mikro-computertomographische Analyse der humanen Sutura palatina mediana in Abhängigkeit vom Alter. *J Orofac Orthop*, 2007. 68(5): p. 364-376.

46. Koudstaal, M.J., et al., Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2009. 38(4): p. 308-15.
47. Ladewig VM, Capelozza-Filho L, Almeida-Pedrin RR, Guedes FP, de Almeida Cardoso M, de Castro Ferreira Conti AC. Tomographic evaluation of the maturation stage of the midpalatal suture in postadolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Jun;153(6):818-824.
48. Lamparski D. Skeletal Age assessment Utilizing Cervical Vertebrae. Pittsburgh; University of Pittsburgh: 1972
49. Lee, Y. and Y. Mah, Evaluation of midpalatal suture maturation using cone-beam computed tomography in children and adolescents. *Journal of the Korean Academy of Pediatric Dentistry*, 2019. 46(2): p. 139-146.
50. Melsen, B., A histological study of the influence of sutural morphology and skeletal maturation on rapid palatal expansion in children. *Trans Eur Orthod Soc*, 1972: p. 499-507.
51. Melsen, B., Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod*, 1975. 68(1): p. 42-54.
52. Mohan, Akshay, et al. "Bone Density Assessment of Midpalatal Suture Using Grayscale Values-A Cbct Study." *European Journal of Molecular & Clinical Medicine* 8.03: 2021.
53. Möller F. *Geschichte der Kieferorthopädie*. 3. überarbeitete Ausgabe, Weimar, 2002.
54. Pangrazio-Kulbersh, V., et al., CBCT assessment of alveolar buccal bone level after RME. *Angle Orthod*, 2013. 83(1): p. 110-6.
55. Persson, M. and B. Thilander, Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod*, 1977. 72(1): p. 42-52.
56. Petrick, S., et al., Bone density of the midpalatal suture 7 months after surgically assisted rapid palatal expansion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2011. 139(4): p. S109-S116.

57. Razi, Tahmineh, Mahdi Niknami, and Fakhri Alavi Ghazani. "Relationship between Hounsfield unit in CT scan and gray scale in CBCT." *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects* 8.2 (2014): 107.
58. Reis LG, Ribeiro RA, Vitral RWF, Reis HN, Devito KL. Classification of the midpalatal suture maturation in individuals older than 15 years: a cone beam computed tomographic study. *Surg Radiol Anat.* 2020 Sep;42(9):1043-1049.
59. Sander, F. G., Schwenger, N., Thieme, Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie, 2011, 2. Auflage S. 197, 348
60. Sander, F. G., Schwenger, N., Thieme, Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie 2011, 2. Auflage S. 350
61. Sander, F. G., Schwenger, N., Thieme, Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie: 2011, 2. Auflage S. 204, 205
62. Scarfe, W.C., A.G. Farman, and P. Sukovic, Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*, 2006. 72(1): p. 75-80.
63. Schmitt H P, Tamaska L 1970 Beiträge zur forensischen Osteologie. IV. Untersuchungen über die Verknöcherung der Schädelnähte unter besonderer Berücksichtigung der Frage der Altersbestimmung. *Zeitschrift für Rechtsmedizin* 67: 230-248
64. Schopf P. Kieferorthopädie Band II. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH; 2000
65. Schünke, M. et al, Thieme, PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie, 2009, 2. Auflage S. 21
66. Schünke, M. et al, Thieme, PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie, 2009, 2. Auflage S. 24
67. Schünke, M. et al, Thieme, PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie, 2009, 2. Auflage S. 27
68. Schünke, M. et al, Thieme, PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie, 2009, 2. Auflage S. 34, 35

69. Schünke, M. et al, Thieme, PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie, 2009, 2. Auflage S. 39
70. Schwarz A, Watzke I. Kieferorthopädische Gaumennahterweiterung (RPE) versus chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (SARPE) - eine Gegenüberstellung, Orthod Kieferorthop 2009; 41: 253-258
71. Singer R 1953 Estimation of age from cranial suture closure. A report on its unreliability. Journal of Forensic Medicine 1: 52-59
72. Sun, Z., E. Lee, and S.W. Herring, Cranial sutures and bones: growth and fusion in relation to masticatory strain. Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol, 2004. 276(2): p. 150-61.
73. Suri, L. and P. Taneja, Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008. 133(2): p. 290-302.
74. Timms, D.J., The dawn of rapid maxillary expansion. Angle Orthod, 1999. 69(3): p. 247-50
75. Tonello DL, Ladewig VM, Guedes FP, Ferreira Conti ACC, Almeida-Pedrin RR Capelozza-Filho L. Midpalatal suture maturation in 11- to 15-year-olds: A cone-beam computed tomographic study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2017 Jul;152(1):42-48.
76. Tosun, T., A. Keles, and N. Erverdi, Method for the placement of palatal implants. Int J Oral Maxillofac Implants, 2002. 17(1): p. 95-100.
77. Wehrbein, H., et al., The Orthosystem--a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. J Orofac Orthop, 1996. 57(3): p. 142-53.
78. Wehrbein, H., B.R. Merz, and P. Diedrich, Palatal bone support for orthodontic implant anchorage--a clinical and radiological study. Eur J Orthod, 1999. 21(1): p. 65-70.
79. Wehrbein, H. and F. Yildizhan, The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. Eur J Orthod, 2001. 23(2): p. 105-14.

6.2 Bild - und Tabellenverzeichnis

Abbildungen:

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Sutura palatina mediana im Kindes-, Jugendlichen- und Erwachsenenalter.	9
Abbildung 2 Zahngetragene Gaumennahterweiterung.	11
Abbildung 3 Knochengetragene Gaumennahterweiterung.	12
Abbildung 4 Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE).	13
Abbildung 5 Ausrichtung der Kopfposition in der A, axialen; B, sagittalen; C, koronaren Ansicht.	20
Abbildung 6 Vereinfachte schematische Darstellung des Verknöcherungsgrades.	21
Abbildung 7 Screenshots befundeter Stages A-E.	23
Abbildung 8 Ausgewählte Regionen zur Bestimmung der Grauwerte.	24
Abbildung 9 Paarweise Vergleiche der Stages bezüglich des Alters.	29
Abbildung 10 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana.	41
Abbildung 11 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten lateral der Sutura palatina mediana.	42

Tabellen:

Tabelle 1 Demografische Verteilung der Patienten und Patientinnen in Alter und Geschlecht.	18
Tabelle 2 Verteilung der Stages der Sutura palatina mediana in Alter und Geschlecht.	25
Tabelle 3 Prozentuale Verteilung des Geschlechts und der Stages A-E.	25
Tabelle 4 Durchschnittsalter und Standardabweichung (SD) der Patienten und Patientinnen im Mittel für die Stages A-E.	26
Tabelle 5 Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient für Alter und Stage.	27
Tabelle 6 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests bei unabhängigen Stichproben.	28
Tabelle 7 Paarweise Vergleiche der Stages bezüglich des Alters.	29
Tabelle 8 Minima, Maxima, Mittelwerte und Standardabweichungen der Grauwerte.	30
Tabelle 9 Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient für Alter und Grauwerte in regio Sutura palatina mediana, lateral Sutura palatina mediana und Palatum molle.	30
Tabelle 10 Regressionsanalyse 1.	33
Tabelle 11 Regressionsanalyse 2.	34
Tabelle 12 Regressionsanalyse 3.	34
Tabelle 13 Deskriptive Statistik für Stage A und Grauwerte.	37
Tabelle 14 Deskriptive Statistik für Stage B und Grauwerte.	37
Tabelle 15 Deskriptive Statistik für Stage C und Grauwerte.	38

Tabelle 16 Deskriptive Statistik für Stage D und Grauwerte.....	38
Tabelle 17 Deskriptive Statistik für Stage E und Grauwerte.....	39
Tabelle 18 Kolmogorov-Smirnov-Test für regio Sutura palatina mediana, lateral sutura palatina mediana und Palatum molle.	39
Tabelle 19 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests in der regio Sutura palatina mediana.	40
Tabelle 20 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten in der regio Sutura palatina mediana.....	40
Tabelle 21 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests lateral der Sutura palatina mediana.	41
Tabelle 22 Paarweise Vergleiche der Stages mit den Grauwerten lateral der Sutura palatina mediana.....	42
Tabelle 23 Zusammenfassung des Kruskal-Wallis-Tests in der regio Palatum molle.....	43
Tabelle 24 Spearmanscher Rangkorrelationskoeffizient für Stages und Grauwerte in regio Sutura palatina mediana, lateral Sutura palatina mediana und Palatum molle.	44

Diagramme:

Diagramm 1 Häufigkeitsverteilung der Stages bezogen auf das Alter der Patienten und Patientinnen.....	28
Diagramm 2 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten/Patientinnen.	31
Diagramm 3 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte lateral der Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten/Patientinnen.	32
Diagramm 4 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio Palatum molle bezogen auf das Alter der Patienten/Patientinnen.	32
Diagramm 5 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten und Patientinnen in Unterteilung nach weiblich und männlich.	35
Diagramm 6 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte in der regio lateral der Sutura palatina mediana bezogen auf das Alter der Patienten und Patientinnen bei Unterteilung in weiblich und männlich.	36

6.3 Abkürzungsverzeichnis

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
CT	Computertomografie
CVM	Cervical-Vertebral-Maturation-Methode
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DVT	Digitale Volumetomografie
GNE	Gaumennahterweiterung
ROI	Region of Interest
SARPE	Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion
SD	Standardabweichung
TADs	Temporary Anchorage Devices

7 Dank

Mein besonderer Dank gilt Priv.-Doz. Dr. med. dent. Björn Ludwig für die Unterstützung und Betreuung dieser Arbeit. Außerdem möchte ich mich bei Dr. med. dent. Sachin Chhatwani und Dr. med. dent. Vanessa Knode bedanken, die mich mit produktiven Anregungen gefördert haben. Dank gilt auch Isabell Ludwig und Denise Meeth, die mich mit Ihrem Sprach- und Textverständnis beraten konnten.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, meiner Schwester Elena sowie meiner Freundin Nicola bedanken, die mich in all meinen Entscheidungsfindungen unterstützt haben.

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.