

Aus dem Institut MESANTIS 3D DENTAL-RADIOLOGIE Berlin

DISSERTATION

Korrelation zwischen Gesichtsschädelaufbau und posteriorem Atemwegsvolumen auf der Basis von dentaler Volumentomographie und Fernröntgen-Analyse

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Annika Czaika

aus Osterburg

Datum der Promotion: 26.02.2016

Meinen Großvätern Ewald Schulz und Horst Czaika

Inhaltsverzeichnis

ABSTRAKT	5
ABSTRACT	6
1. EINLEITUNG	8
1.1 OBSTRUKTIVES SCHLAFAPNOE SYNDROM (OSAS)	8
1.1.1. BEGRIFFSERKLÄRUNG	8
1.1.2. EPIDEMIOLOGIE	8
1.1.3. DIAGNOSTIK	9
1.2. GESICHTSSCHÄDELAUFBAU/ -WACHSTUM	10
1.3. DIGITALE VOLUMENTOMOGRAPHIE (DVT)	11
1.4. AKTUELLER STAND DER 3D-DIAGNOSTIK DER POSTERIOREN ATEMWEGE	15
2. FRAGESTELLUNG	21
3. MATERIAL UND METHODEN	23
3.1. ALLGEMEINE METHODEN UND MATERIAL	23
3.1.1. PATIENTENGUT	23
3.1.2. DVT-AUFNAHMEN UND -TECHNIK	24
3.1.3. AUSWERTUNGSSOFTWARE UND AUSWERTUNGSMONITOR	25
3.1.4. FRS-ANALYSE ZUR BESTIMMUNG DES GESICHTSSCHÄDELAUFBAUS	26
3.1.5. VOLUMENBESTIMMUNG DER POSTERIOREN ATEMWEGE	28
3.1.6. STATISTISCHE AUSWERTUNG	29
3.2. SPEZIELLE METHODEN	32
3.2.1. INTRAINDIVIDUELLE REPRODUZIERBARKEIT DER VOLUMENBESTIMMUNG	32
3.2.2. KORRELATION ZWISCHEN GESICHTSSCHÄDELTYPEN UND VOLUMEN	33
3.2.3. KORRELATION ZWISCHEN GESCHLECHT UND VOLUMEN	33
3.2.4. KORRELATION ZWISCHEN ALTER UND VOLUMEN	34
4. ERGEBNISSE	35
4.1. INTRAINDIVIDUELLE REPRODUZIERBARKEIT DER VOLUMENBESTIMMUNG	35
4.2. KORRELATION ZWISCHEN GESICHTSSCHÄDELTYPEN UND VOLUMEN	37
4.3. KORRELATION ZWISCHEN GESCHLECHT UND VOLUMEN	39
4.4. KORRELATION ZWISCHEN ALTER UND VOLUMEN	43

5. DISKUSSION	46
5.1. DISKUSSION DER METHODEN	46
5.2. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	49
5.2.1. INTRAINDIVIDUELLE REPRODUZIERBARKEIT DER VOLUMENBESTIMMUNG	49
5.2.2. KORRELATION ZWISCHEN GESICHTSSCHÄDELTYPEN UND VOLUMEN	50
5.2.3. KORRELATION ZWISCHEN GESCHLECHT UND VOLUMEN	51
5.2.4. KORRELATION ZWISCHEN ALTER UND VOLUMEN	52
5.3. SCHLUSSFOLGERUNGEN	53
6. LITERATURVERZEICHNIS	56
7. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	65
8. LEBENSLAUF	67
9. DANKSAGUNG	68
10. ANHANG	69
10.1. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	69
10.2. TABELLENVERZEICHNIS	71
10.3. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	71
10.4. VERWENDETE FORMELZEICHEN	72
10.5. LISTE DER VERWENDETEN MATERIALIEN	73

Abstrakt

Einleitung: Das obstruktive Schlafapnoe Syndrom (OSAS) weist eine hohe Prävalenz auf und führt zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei allen Betroffenen. Um rechtzeitig therapeutisch eingreifen zu können, besteht ein Bedarf an Methoden der Früherkennung. Da häufig anatomische Gegebenheiten fördernd für eine Einengung der Atemwege sind, geht diese Arbeit der Frage nach, ob die Gesichtsschädelwachstumstypen Einfluss auf das posteriore Atemwegsvolumen haben und damit Rückschlüsse auf ein Erkrankungsrisiko für OSAS zulassen.

Material und Methoden: Die Untersuchung erfolgte retrospektiv anhand von 212 (85 männlich, 127 weiblich) zufällig ausgewählten anonymisierten DVT-Datensätzen. Diese wurden mit den Softwares InVivo Version 5 (Anatome Inc., San Jose, USA) und fr-win (Computer Konkret) ausgewertet. Die Probanden wiesen eine Altersspanne von sieben bis 67 Jahren auf. Für die Bestimmung des Gesichtsschädeltyps wurde die FRS-Analyse herangezogen. Es wurde dabei auf vier Winkel (ML-NSL, NSGn, ML-NL, ArGoMe) und eine Ratio (Gesichtshöhenverhältnis) Bezug genommen. Wiesen drei Werte auf einen Wachstumstyp hin, so wurde der Proband diesem zugeordnet. Probanden, die keinem Wachstumstyp zugeordnet werden konnten, wurden in der Analyse nicht berücksichtigt. Die Bestimmung des posterioren Atemwegsvolumens erfolgte im Programm „Volume Render“. Als Begrenzungen wurden die Verlängerung der Spina nasalis posterior und die Spitze der Epiglottis gewählt. Mit Hilfe des T-Tests für unabhängige Stichproben, der einfaktoriellen Varianzanalyse, der Korrelation nach Bravais-Pearson und dem Methodenfehler nach Mueller und Martorell wurden die erhobenen Daten statistisch ausgewertet.

Ergebnisse: Von den 212 Probanden ließen sich 36 keinem Gesichtsschädeltyp zuordnen. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Gesichtsschädeltypen und dem posterioren Atemwegsvolumen nachgewiesen werden ($p = 0,671$). Unterschiede zwischen Männern und Frauen bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege konnten ebenfalls nicht bestätigt werden ($p = 0,57$). Ein positiver Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Volumen der posterioren Atemwege konnte mit $p = 0,000$ aufgezeigt werden. Der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson betrug $r = 0,316$. Es besteht

demnach ein moderater Zusammenhang zwischen dem Alter und dem posterioren Atemwegsvolumen. Die Reproduzierbarkeit der Volumenmessungen wurde mit $\delta_{MM} = 0,49 \text{ cm}^3$ bestätigt.

Schlussfolgerung: Die DVT bietet in der dreidimensionalen Darstellung der posterioren Atemwege eine suffiziente und effektive Möglichkeit, bei Patienten ein erhöhtes Risiko für OSAS diagnostizieren zu können. Ein Zusammenhang zwischen den Gesichtsschädeltypen und dem posterioren Atemwegsvolumen konnte nicht nachgewiesen werden. Weiterführende Studien, bei denen gesunde und OSAS – Probanden, sowie Kinder, Jugendliche und Erwachsene differenziert betrachtet werden, sind zu empfehlen.

Abstract

Introduction: Obstructive sleep apnea (OSA) has a high prevalence and causes health problems for all patients concerned. To be able to start an effective treatment in time, there is a need for methods which allow the early detection of OSA. Anatomical conditions often cause narrowing the airways. The aim of this study, therefore, was to examine if there was an impact of craniofacial growth types on the posterior airway volume, and how a risk for OSA could be determined.

Methods: Cone-beam computed tomography (CBCT) scans from 212 randomly selected anonymous patients (85 men, 127 women) were analyzed retrospectively. All scans were loaded into the InVivo Version 5 (Anatomage Inc., San Jose, USA) and fr-win (Computer Konkret) program. The patients` age ranges from seven to 67 years. The craniofacial type was determined on the basis of the lateral cephalometric analysis. Four angles (ML-NSL, NSGn, ML-NL, ArGoMe) as well as a ratio (face-height-ratio) were measured. In case that three factors indicated a growth type, the patient was assigned to that one. Patients who could not be assigned to a growth type, were not considered in the analysis. The measurement of the posterior airway volume was used in a "volume rendering" program. To determine the posterior airway volume, the projection of the posterior nasal spine and the top of the epiglottis were elected. For the statistical analysis the t-test for independent samples, ANOVA and the Bravais-Pearson correlation were used, whereas for investigating the reproducibility the methods error of Mueller and Martorell were used.

Results: 36 of 212 patients could not be assigned to a craniofacial type. Furthermore, a significant relationship between the craniofacial types and the posterior airway volume could not be demonstrated ($p = 0.671$). Gender differences with regard to the volume of the posterior airway could also not be confirmed ($p = 0.57$). The volume of the posterior airway increased significantly with age ($p = 0.000$). The Bravais-Pearson's correlation coefficient was $r = 0.316$ which shows a moderate relationship between age and posterior airway volume. The reproducibility of volume measurements was confirmed with a method error of $\delta_{MM} = 0.49 \text{ cm}^3$.

Conclusions: The CBCT with three-dimensional representation of the posterior airway offers a sufficient and effective way to diagnose patients with an increased risk of OSA. A relationship between craniofacial types and posterior airway volume could not be detected. Further studies, in which first, healthy and OSA patients, and second, children, adolescents and adults are considered separately, are recommended.

1. Einleitung

1.1 Obstruktives Schlafapnoe Syndrom (OSAS)

1.1.1. Begriffserklärung

Das obstruktive Schlafapnoe Syndrom (OSAS) ist eine schlafbezogene Atemstörung (SBAS), die durch rezidivierende komplette (obstruktive Apnoen) oder inkomplette (obstruktive Hypopnoen) Obstruktionen der oberen Atemwege während des Schlafes charakterisiert ist. Das OSAS stellt die häufigste Form der SBAS dar. Im Gegensatz zu den nicht obstruktiven Formen der SBAS wird die Tätigkeit der Atemmuskulatur dabei normal fortgesetzt. Bei den Apnoen kommt es zum Sistieren des Atemstromes von mindestens 10 Sekunden. Hypopnoen gehen mit einer Reduktion des Atemstromes von mindestens 50 % einher. Des Weiteren kommt es während des Schlafes zu gehäuftem Auftreten des Abfalls der arteriellen Sauerstoffsättigung und zum Ansteigen des Blutdruckes. Der Schweregrad der SBAS kann mit dem Apopnoe-Hypopnoe-Index (AHI) erfasst werden. Er gibt die Anzahl der Apopnoen und Hypopnoen pro Stunde Schlaf wieder. Zu den Leitsymptomen zählen neben dem Schnarchen die Tagesmüdigkeit, Konzentrationsstörungen und damit verminderte Leistungsfähigkeit und bei Kindern außerdem Hyperaktivität und Entwicklungsstörungen (Boenninghaus und Lenarz 2004, Konietzko et al. 1998, Wiater et al. 2002).

1.1.2. Epidemiologie

Die Prävalenz des OSAS wird in der Literatur mit großen Spannen angegeben. Die Ursache darin liegt in den unterschiedlichen Kriterien für das Vorliegen von OSAS und im Studiendesign. Aussagekräftige Studien belegen, dass das OSAS mit Tagesmüdigkeit zwischen zwei und fünf Prozent bei Frauen und drei und sieben Prozent bei Männern auftritt (Punjabi 2008, Strohl und Redline 1996, Young et al.1993). Bei Kindern sind beide Geschlechter gleichermaßen betroffen und man geht von einer Prävalenz von 0,7 bis zwei Prozent aus (Wiater et al. 2002).

Die Inzidenz der OSAS ist abhängig von Körpergewicht beziehungsweise Body-Maß-Index, Alter und Geschlecht (Tishler et al. 2003). Mit zunehmendem Body-

Maß-Index steigt das Risiko für OSAS (Shigeta et al. 2008a, Punjabi 2008). Weiterhin steigt mit zunehmendem Alter die Prävalenz für OSAS und erreicht ein Plateau nach dem 60. Lebensjahr (Young et al. 2002). Männer sind dabei abhängig von der Studie zwei bis acht Mal häufiger betroffen als Frauen (Strohl und Redline 1996, Bixler et al. 2001). Kraniofaziale Gegebenheiten wie mandibuläre und maxilläre Retroposition, verkleinertes posteriores Atemwegsvolumen, niedrig positioniertes Zungenbein und vor allem bei Kindern vergrößerte Rachen- und Gaumenmandeln zählen zu den prädisponierenden Faktoren für ein OSAS (Cistulli 1996, Bixler et al. 2009). Weiterhin stellen Rauchen, Alkohol, genetische Disposition und Schwangerschaft ein mögliches Risiko dar (Stradling und Crosby 1991, Redline und Tishler 2000). Unbehandelte OSAS führt zu einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, plötzlichem Tod während des Schlafes und Entwicklungsstörungen bei Kindern (Punjabi 2008, Wiater et al. 2002).

1.1.3. Diagnostik

Die Abklärung eines klinischen Verdachts auf eine SBAS erfolgt in einem Stufendiagnostikverfahren nach § 3, welches in der Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses zu Untersuchungs- und Behandlungsmethoden der vertragsärztlichen Versorgung (Stand: Dezember 2014) festgelegt ist. Die nachfolgende Tabelle eins zeigt den vorgegebenen Ablauf.

Tab. 1: Stufendiagnostikverfahren nach § 3 Richtlinie Methoden vertragsärztliche Versorgung (N.N. 2014)

<p>Stufe 1:</p> <p>Anamnese und ggf. Fremdanamnese des Schlaf-/Wachverhaltens sowie differenzierte anamnestische Abklärung einer möglichen Dyssomnie unter Einbeziehung standardisierter Fragebögen zur Tagesschläfrigkeit (z. B. Epworth Sleepiness Scale) und ggf. weiterer Testverfahren.</p>
<p>Stufe 2:</p> <p>Klinische Untersuchung, insbesondere im Hinblick auf endokrinologische, Stoffwechsel-, oder Herz-Kreislaufkrankungen, Ventilationsstörungen, sowie neurologische und psychiatrische Krankheiten.</p>

Stufe 3:

Ergeben die diagnostischen Maßnahmen nach Stufe 1 und Stufe 2 die typischen anamnestischen und klinischen Symptome und Befunde einer schlafbezogenen Atmungsstörung, so soll die weitere differentialdiagnostische Abklärung durch eine kardiorespiratorische **Polygraphie** (notwendige Ableitungsparameter siehe § 7 Abs. 1 dieser Richtlinie) während einer mindestens 6-stündigen Schlafphase erfolgen.

Stufe 4:

Eine kardiorespiratorische **Polysomnographie** kann nur dann als ergänzende Diagnostik durchgeführt werden, wenn trotz sorgfältiger klinisch-anamnestischer Abklärung einschließlich Durchführung geeigneter Testverfahren und der nach Stufe 3 durchgeführten Polygraphie keine Entscheidung möglich ist, ob eine Therapie mittels CPAP (kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck) oder anderer Verfahren notwendig ist.

Die kardiorespiratorische Polygraphie wird ambulant durchgeführt und beinhaltet dabei die simultane Registrierung von Atmung (Atemfluss, Schnarchgeräusche), Oxymetrie (Sättigung des oxygenierbaren Hämoglobins), Aufzeichnung der Herzfrequenz (z.B. mittels EKG oder pulsoxymetrischer Pulsmessung), Aufzeichnung der Körperlage, Messung der abdominalen und thorakalen Atembewegungen und die Maskendruckmessung (bei Einsatz eines CPAP-Gerätes). Die Aufzeichnung sollte über eine mindestens sechsstündige Schlafphase erfolgen. Bei der kardiorespiratorischen Polysomnographie mit gleicher Aufnahmezeit, werden die folgenden Parameter simultan in einem Schlaflabor registriert: Atmung, Oxymetrie, EKG, Aufzeichnung der Körperlage, Messung der abdominalen und thorakalen Atembewegungen, Atemfluss oder Maskendruckbeatmung, EOG zwei Ableitungen, EEG mindestens zwei Ableitungen, EMG drei Ableitungen, optische und akustische Aufzeichnung des Schlafverhaltens. Sie ist kostenintensiv und in Deutschland mit langen Wartezeiten von bis zu mehreren Monaten verbunden (N.N. 2014, Baulig et al. 2006).

1.2. Gesichtsschädelaufbau/ -wachstum

Beim Gesichtsschädelaufbau bzw. Wachstumstyp werden drei verschiedene Formen - der normale, der horizontale bzw. brachizephale und der vertikale bzw.

dolichofaziale Gesichtsschädelaufbau unterschieden. Der Wachstumstyp ist abhängig vom kondylären und sutural-alveolären Wachstumsverhältnis im Gesichtsschädelbereich. Beim neutralen Gesichtsschädeltyp sind die Wachstumsraten zwischen kondylären und sutural-alveolären Bereichen ausgeglichen. Dagegen überwiegt beim horizontalen Wachstumstyp das kondyläre Wachstum, sodass es zu einer horizontalen Schwenkung des Unterkiefers kommt, was auch als anteriore Rotation oder „Counter Clockwise“ Wachstum bezeichnet wird. Beim vertikalen Wachstumstyp überwiegt das sutural-alveoläre Wachstum. Das Unterkieferwachstum ist nach dorso-kaudal gerichtet, was auch als posteriore Rotation oder „Clockwise“ Wachstum bezeichnet wird (Kahl-Nieke 2001). Anhand der Analyse von Fernröntgenseitenbildern können die Richtung und das Ausmaß des Gesichtsschädelwachstums bestimmt werden. Seit Einführung der standardisierten Röntgentechnik sind heute weit über 100 Analyseverfahren bekannt, die sich hinsichtlich ihres Umfangs, der Referenzpunkte und der eigentlichen Konzeption betreffend, voneinander unterscheiden (Rakosi 1988). In der vorliegenden Arbeit wird auf das Prognoseschema nach Franz Günter Sander Bezug genommen, das im Kapitel 3.1.4. näher erläutert wird (Sander et al. 2011).

1.3. Digitale Volumentomographie (DVT)

Die digitale Volumentomographie ist ein dreidimensionales bildgebendes Verfahren. Sie basiert auf einer konus- oder pyramidenförmigen Strahlenformation und wird daher auch als „Cone-beam computed tomography“ (CBCT) bezeichnet (Scarfe und Farman 2008). Das erste DVT-Gerät war der New-Tom 9000 (Quantitative Radiology, Verona, Italien). Er wurde 1998 in die Zahnheilkunde eingeführt und gilt als Vorläufer der nachfolgenden DVT-Geräte (Hirsch et al. 2008). Das DVT liefert im Vergleich zum CT adäquate Darstellungsmöglichkeiten, bis hin zu besseren Bildqualitäten bei Untersuchungen von Hartgewebe (Soumalainen et al. 2009, Hashimoto et al. 2007). Jedoch kann die Wirkung von Metallartefakten im Gegensatz zum CT ausgeprägter sein (Zhang et al. 2007). Auch die geringere Kontrastauflösung von Weichteilen stellt einen Nachteil der DVT dar (Sami et al. 2008). Die DVT weist jedoch eine hohe Messgenauigkeit auf. Stratemann et al. bestätigten dies 2008 mit dem Vergleich von linearen

Messungen von zwei DVT-Geräten (New Tom QR DVT 9000 und Hitachi MercuRay) in Bezug zum Goldstandard an einem menschlichen Schädel. Der relative Messfehler belief sich auf unter einem Prozent (Stratemann et al. 2008). Des Weiteren untersuchten Liang et al. 2010 die geometrische Genauigkeit, in dem sie fünf DVT-Geräte (Newe Tom 3G, Accuitomo 3D, i-Cat, Galileos, Scanora 3 D) mit einem Mehrschicht CT (Somatom Sensation 16) verglichen. Die DVT-Geräte schnitten in Bezug zum Goldstandard geringfügig schlechter ab als das CT (Standardabweichung: DVT: 0,165-0,386 mm; CT: 0,137 mm). Die DVT ist dennoch zuverlässig in der klinischen Anwendung für kraniofaziale Analysen (Liang et al. 2010a, Liang et al. 2010b, Periago et al. 2008). Außerdem besteht eine deutlich geringere Gefahr der räumlichen Verzerrung durch Bewegung des Patienten beim DVT im Vergleich zum CT, da die Bewegung beim DVT zu einer schlechteren Auflösung führt, wohingegen sie beim CT die räumliche Zuordnung der einzelnen Schichten zueinander und damit auch die geometrische Genauigkeit beeinflusst (Meissen et al. 2004).

Die DVT hat sich in vielen Fachbereichen der Zahnmedizin etabliert und wird heute auch vermehrt zur Diagnostik in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde eingesetzt (Arnheiter et al. 2006, Peltonen et al. 2009). Haak et al. zeigten 2006 in ihrer Studie zur Diagnostik approximaler Kavitäten, dass die DVT eine Sensitivität von 80 % bei einer Spezifität von 96 % erreicht, währenddessen bei Bissflügelaufnahmen nur 29 % der Läsionen mit Kavitation richtig festgestellt wurden (Haak et al. 2006). Weiterhin kann auch bei okklusalen Läsionen mit Dentinbeteiligung ein Vorteil der DVT gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen bestätigt werden (Scherer et al. 2008). Gleichermaßen wird der DVT in der Parodontologie zunehmende Bedeutung zugesprochen. In einer Studie von Vandenberghe et al. 2008 wurden an zwei menschlichen Schädeln mit multiplen parodontalen Defekten die Knocheneinbrüche und Furkationsbeteiligungen mit Hilfe intraoraler – und DVT-Aufnahmen röntgenologisch untersucht. Dabei zeigten die intraoralen Aufnahmen nur 29 % der knöchernen Einbrüche und 44 % der Furkationsbeteiligungen, während beim DVT die knöchernen Einbrüche und die Furkationsbeteiligungen zu 100 % festgestellt wurden (Vandenberghe et al. 2008). In der zahnärztlichen Chirurgie wird das DVT vielfach zur Entfernung verlagelter oder retinierter Zähne, zur

Diagnose von Alveolar- und Wurzelfrakturen oder Lokalisation von Wurzelresorptionen genutzt (Voßhans et al. 2005, Cohenca et al. 2007). Die Implantologie stellt einen weiteren wichtigen Einsatzbereich des DVT dar. Hier wird die DVT vorwiegend zur Diagnostik, zur Planung und zur Patientenaufklärung herangezogen. Suomalainen et al. bestätigten 2008 der DVT eine hohe Zuverlässigkeit in der Messgenauigkeit für die präoperative Implantatplanung im Vergleich zur CT (Suomalainen et al. 2008). In der Kieferorthopädie werden vor allem Panoramaschichtaufnahmen, Fernröntgenseitenbilder und Zahnfilmaufnahmen zur Routinediagnostik herangezogen. Da mit der DVT Mehrinformationen bereitstehen, kann schon aus strahlenhygienischer Sicht auf die genannten Routineverfahren verzichtet werden. Denn nach Kamp et al. summiert sich die Strahlenbelastung bei Anfertigung einer Panoramaschichtaufnahme, eines Fernröntgenseitenbildes und Zahnfilmen (Kamp et al. 2007). Ebenso können die für die Kieferorthopädie relevanten Röntgenbildarten mit einem einzigen Gerät und in weniger als einer Minute angefertigt werden, was die Vielseitigkeit der DVT unterstreicht (Kau et al. 2005). Honey et al. schrieben 2007 überdies der DVT eine viel genauere Darstellung des Kiefergelenks als der Panoramaschichtaufnahme zu, wodurch die Befundung kranio-mandibulärer Dysfunktionen erleichtert wird (Honey et al. 2007). In Bezug zur konventionellen FRS-Aufnahme sehen Holberg und Rudzki-Janson einen geringeren systematischen Fehler bei der DVT, da kaum Projektions- und Überlagerungseffekte auftreten (Holberg und Rudzki-Janson 2007).

Der wohl wichtigste Aspekt der DVT ist die Strahlenbelastung. Sie wird beeinflusst von der Röhrenspannung und Stromstärke, dem Field of View (FOV), der effektiven Expositionszeit und der Streustrahlung. Zahlreiche Studien haben sich dieser Thematik gewidmet, jedoch variieren die Ergebnisse der verschiedenen untersuchten DVT-Geräte mit ihren unterschiedlichen Parametern beträchtlich (Ludlow und Ivanovic 2008, De Vos et al. 2009). Bumann et al. wiesen 2008 nach, dass vergleichbare Angaben zur Strahlenbelastung nur mit minimalen wissenschaftlichen Standards eingehalten werden. Desweiteren sollten die Werte für die Strahlenbelastung der effektiven Dosis entsprechen. Die Kalkulation dieser wiederum sollte auf den Richtlinien der International Commission of Radiological

Protection (ICRP 2007) basieren. Außerdem sollten identische FOVs miteinander verglichen werden (Bumann et al. 2008).

Bumann zeigte zudem 2009 die effektive Dosis bei verschiedenen DVT-Geräten sowie bei zwei Computertomografie-Geräten auf. Die Abbildung eins stellt die effektiven Dosen der DVT-Geräte (grün, gelb) und Computertomographen (rot) nach IRCP 2007 dar. ILUMA, Promax 3D und PreXion 3D weisen ähnliche effektive Dosen auf wie CTs, wobei das Somatom 64 CD mit Abstand die höchste effektive Dosis zeigt. iCat und 3D eXam stellen mit effektiven Dosen unter 100 μSv die geringste Strahlenbelastung dar (Bumann 2009).

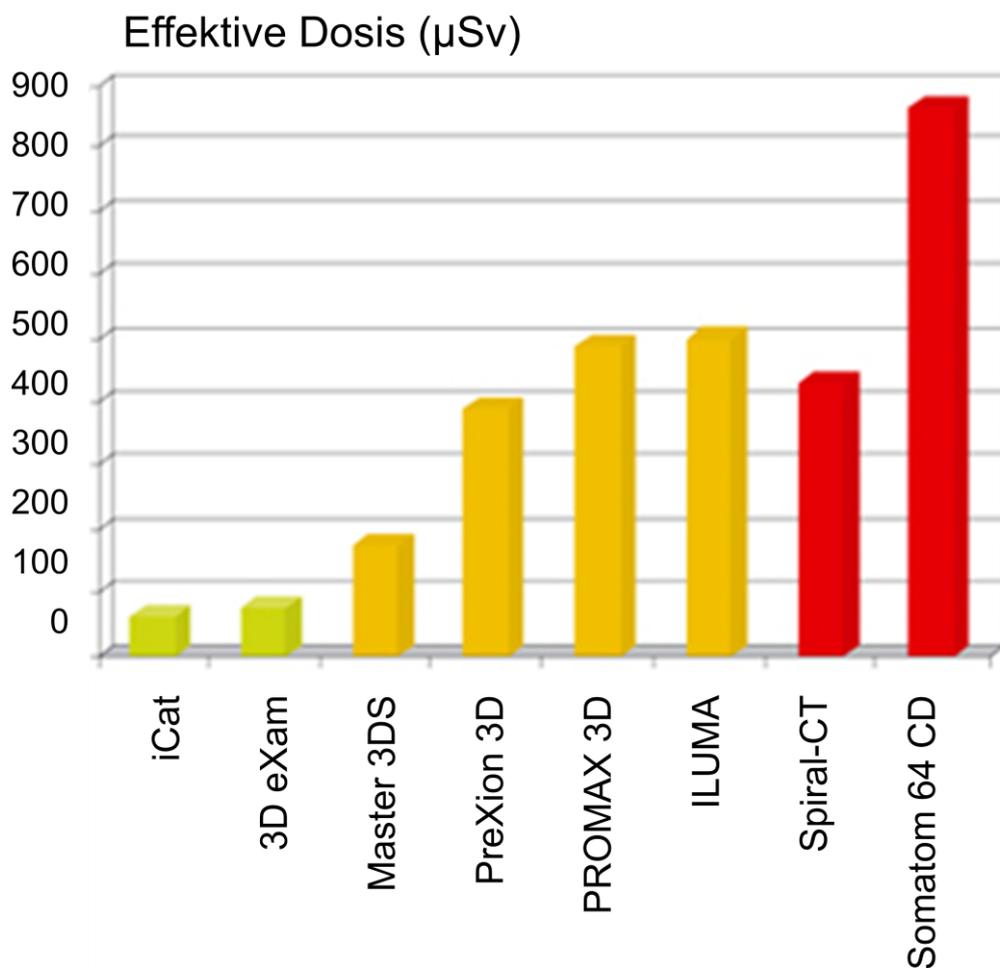


Abb. 1: Darstellung effektiver Dosen verschiedener DVT-Geräte (grün, gelb) und Computertomographen (rot) nach IRCP 2007 (Bumann 2009).

Ludlow und Ivanovic haben verschiedene IRCP-Richtlinien konforme Studien veröffentlicht. Sie verglichen unter anderem 2008 acht verschiedene DVT-Geräte mit einem CT-Gerät. Die Strahlenbelastung der DVT-Geräte lag bei großem FOV

(über 15 cm Kugeldurchmesser oder Zylinderhöhe) zwischen 68 und 1073 μSv und bei mittlerem FOV (10 bis 15 cm) zwischen 69 und 560 μSv . Im Vergleich zum CT war die effektive Dosis der DVTs je nach Größe des FOV bedeutend geringer (Ludlow und Ivanovic 2008).

Im gleichen Jahr verglichen Ludlow et al. in einer Studie die effektiven Dosen von Einzelbildaufnahmen, Orthopantomogrammen (OPGs) und Fernröntgenseitenbildern (FRS). Dabei wurden für einen 18-Bild Status Werte zwischen 34,9 und 388 μSv ermittelt. Bissflügelaufnahmen ergaben Messwerte von 5 μSv . Die OPGs wiesen einen Schwankungsbereich von 14,2 und 24,3 μSv auf. Für das FRS wurden Werte zwischen 5,1 und 5,6 μSv ermittelt (Ludlow et al. 2008). Die DVT weist demnach höhere Strahlenbelastungen in Bezug zu konventionellen Röntgenbildern auf. Dieser Aspekt kann jedoch durch den vielfältigen Mehrgehalt an Informationen, die die DVT liefert, ausgeglichen werden. Es sollte zudem bei jeder DVT-Aufnahme oder anderen strahlenbelastenden Untersuchungen stets das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) eingehalten werden, sodass diejenige Methode zu wählen ist, die die geringste Strahlenbelastung für den Patienten darstellt, bei ausreichender diagnostischer Sicherheit (N.N. 2008).

1.4. Aktueller Stand der 3D-Diagnostik der posterioren Atemwege

Mit Einführung der DVT 1998 wurden der Diagnostik der posterioren Atemwege neue Möglichkeiten eröffnet (Mozzo et al. 1998). Das Fernröntgenseitenbild als diagnostische Grundlage der lateralen Kephalometrie wurde diesbezüglich weitgehend von der DVT verdrängt, da diese in der Darstellung von 3-dimensionalen Räumen, wie den posterioren Atemwegen, ihre Grenzen findet. Transversale Dimensionen können mit der lateralen Kephalometrie nicht visualisiert werden (Nötzel und Schultz 2009, Bumann et al. 2011).

Um die Pathophysiologie zu verstehen und geeignete Therapiemaßnahmen für OSAS zu ergreifen, ist es wichtig, die Orte der Obstruktionen und Einengungen der posterioren Atemwege genau zu ermitteln und zu charakterisieren (Shi et al. 2006, Ogawa et al. 2005). Die DVT bietet hier eine im Gegensatz zum CT weitaus strahlenärmere Methode (Ludlow und Ivanovic 2008). Da in der Implantologie, Kieferchirurgie, Kieferorthopädie und in der Funktionsdiagnostik zunehmend

DVT-Aufnahmen erhoben werden, stehen viele Datensätze für die Analyse der posterioren Atemwege zur Verfügung (Arnheiter et al. 2006).

Das posteriore Atemwegsvolumen wurde hinsichtlich verschiedener Faktoren untersucht. Es konnten Zusammenhänge des posterioren Atemwegsvolumens mit dem Geschlecht, dem Body-Maß-Index, dem Alter und kraniofazialen Komplexen festgestellt werden. Chiang et al. werteten 2012 die posterioren Atemwege aus 387 DVT-Aufnahmen von Kindern bis 18 Jahren hinsichtlich Geschlecht, Alter, Atemwegslänge und -volumen aus. Dabei stellten sie eine Zunahme des posterioren Atemwegsvolumens mit steigendem Alter fest, wobei die Wachstumsrate bei Jungen größer war, als bei Mädchen. Des Weiteren wiesen Jungen im Mittel ein größeres posteriores Atemwegsvolumen auf, als Mädchen (Chiang et al. 2012). Fagala et al. kamen 2011 zu ähnlichen Ergebnissen, trotz unterschiedlich festgelegter Begrenzungen (Fagala et al. 2011). Chiang et al. nahmen als obere Begrenzung die Gaumenebene und den unteren Rand des vierten Halswirbels als untere Begrenzung. Fagala et al. hingegen bezogen sich auf die Spina-Ebene und die Epiglottis als Begrenzungen. Alves et al. wiesen 2011 keine Unterschiede bezüglich des Geschlechts nach, wobei erwähnt werden muss, dass sie sich in ihrer Studie im Gegensatz zu den Studien von Chiang et al. und Fagala et al. auf Kinder mit Mund- und Nasenatmung bezogen. Dabei wiesen die Nasenatmer größere posteriore Atemwegsdimensionen auf, als die Mundatmer (Alves et al. 2011). Guijarro-Martinez und Swennen untersuchten 2013 das obere Atemwegsvolumen bei 40 Erwachsenen zwischen 23 und 35 Jahren. Auch sie kamen zu dem Ergebnis, dass Männer im Vergleich zu Frauen ein größeres oropharyngeales und hypopharyngeales Volumen aufweisen (Guijarro-Martinez und Swennen 2013). Die Studie von Shigeta et al. unterstützt diese Ergebnisse. Sie analysierten 2008 den Oropharynx bei 19 männlichen und 19 weiblichen japanischen Probanden. Männer wiesen dabei einen längeren Oropharynx und ein größeres Volumen auf als Frauen. Des Weiteren kamen sie zu dem Ergebnis, dass das obere Oropharynxvolumen bei Männern mit zunehmendem Alter abnimmt, wohingegen das untere Oropharynxvolumen zunimmt. Die totale Oropharynxlänge steigt mit zunehmendem Alter bei Männern, was Spekulationen zur Kollapsneigung der posterioren Atemwege zulässt und damit ein Risiko für OSAS darstellt (Shigeta et al. 2008b). Abramson

et al. bestätigten in ihrer Studie, dass OSAS mit einer Erhöhung der Atemwegslänge assoziiert ist (Abramson et al. 2010). Zu berücksichtigen ist, dass Shigeta et al. und Abramson et al. sich auf CT-Aufnahmen bezogen. Das Volumen wurde dabei mit entsprechender Software berechnet.

Da zunehmendes Gewicht ein fördernder Faktor für OSAS ist, wurde der BMI in verschiedenen Studien bei der Untersuchung der posterioren Atemwege berücksichtigt. In einer vergleichsweise klein angelegten Studie - zehn OSAS-Patienten und zehn nicht-OSAS-Patienten - untersuchten Ogawa et al. 2007 das posteriore Atemwegsvolumen der verschiedenen Gruppen hinsichtlich seiner Struktur und verglichen dieses. Die OSAS-Gruppe zeigte einen höheren BMI, ein niedrigeres totales Atemwegsvolumen und einen statistisch signifikant kleineren minimalen Durchmesser als die nicht-OSAS Gruppe. Bei der OSAS-Gruppe zeigte sich eine konkave bis elliptische Atemwegskonfiguration, wohingegen die nicht-OSAS Gruppe eine eher konkave, runde oder viereckige Form der Atemwege aufwies (Ogawa et al. 2007).

Von besonderem Interesse bei der Untersuchung der posterioren Atemwege waren die Beziehungen zu kraniofazialen Komplexen. Vielfach wurde dabei der Einfluss des ANB-Winkels gewählt. In einer Studie von 2010 teilten Kim et al. 27 gesunde Kinder (durchschnittlich elf Jahre alt) in zwei Gruppen bezüglich ihres ANB-Winkels (Gruppe I: ANB 2 bis 5°; Gruppe II: ANB > 5°) ein. Sie ermittelten neben kephalometrischen Variablen und Querschnittsmessungen der Atemwege auch das Atemwegsvolumen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das durchschnittliche totale Atemwegsvolumen (gemessen von der anterioren Nasenhöhle und dem Nasopharynx bis zur Epiglottis) bei retrognathen Patienten signifikant kleiner war, als bei Patienten mit normaler skelettaler anterior-posterior Position (Kim et al. 2010). Ein Jahr später vergrößerte Oh zusammen mit Kim seine Probandenzahl (60 gesunde Kinder, durchschnittlich zwölf Jahre alt) und teilte sie hinsichtlich ihres ANB-Winkels in drei Gruppen ein (Gruppe I: ANB 1 bis 4°; Gruppe II: ANB ≥ 4°; Gruppe III: ANB < 1°). Auch hier war das Resultat, dass Kinder mit Klasse II Malokklusion eine größere Rückwärtsorientierung des Unterkiefers und ein kleineres totales Atemwegsvolumen haben, als Kinder mit Klasse I und III Malokklusion (Oh et al. 2011). Alves et al. bestätigten die Ergebnisse von Kim und Oh 2012 an 50 Kindern (Alves et al. 2012).

Grauer et al. übertrugen das Thema auf die Erwachsenen. Sie analysierten 2009 62 Patienten (17 bis 62 Jahre) in Bezug auf Atemwegsvolumen und Form des Atemweges. Sie teilten die Probanden in jeweils drei Gruppen nach skelettal antero-posterioren (Klasse I, II, III, gemessen an ANB-Winkel, Overjet, Mandibularlänge) und vertikalen Gruppen (Aufteilung in drei Tertile, gemessen aus dem Verhältnis Spannweite der Bizygomatiklinie zu Nasion-Menton-Linie). Die Untersuchung erbrachte keine Unterschiede des Atemwegsvolumens in Beziehung zu vertikalen Proportionen. Skelettal Klasse II Patienten hatten häufig eine Vorwärtsneigung des Atemwegs, während Klasse III Patienten eine eher vertikal orientierte Atemwegsform zeigten (Grauer et al. 2009). Hong et al. bezogen sich 2011 ausschließlich auf die skelettalen Klassen I und III Malokklusion bei Erwachsenen. Auch sie kamen zu dem Ergebnis, dass das Volumen des unteren pharyngealen Abschnitts größer in Klasse III Malokklusion war, als in Klasse I Malokklusion (Hong et al. 2011).

Angaben zu Beziehungen des posterioren Atemwegsvolumens zu den verschiedenen Wachstumsmustern stellen eine Lücke in der wissenschaftlichen Literatur dar. Es finden sich Studien, die jedoch nur auf einzelne Parameter der vertikalen Analyse zur Bestimmung des Wachstumsmusters Bezug nehmen und zumeist nur auf der Basis seitlicher Fernröntgenbilder erstellt wurden. Ucar und Uysal analysierten in ihrer Studie von 2011 104 Probanden (10 bis 16 Jahre) mit Klasse I Malokklusion. Sie untersuchten die orofazialen Atemwege hinsichtlich ihrer verschiedenen vertikalen Wachstumsmuster, wobei sie sich hier nur auf den SN-MP-Winkel als ausschlaggebenden Wert bezogen (kleiner Winkel: $< 26^\circ$; normaler Winkel: 26 bis 38° ; großer Winkel: $> 38^\circ$). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der nasopharyngeale und der obere posteriore Atemwegsraum größer war in der Gruppe mit kleinem Winkel, als in den anderen beiden Gruppen. Für diese Studie wurden jedoch keine DVT-Aufnahmen, sondern seitliche Fernröntgenaufnahmen herangezogen (Ucar und Uysal 2011).

Eine weitere Untersuchung mit seitlichen Fernröntgenseitenbildern erfolgte 2012 durch Memon et al. Sie setzten sich mit 360 Probanden (15 bis 16 Jahre) auseinander, die in zwei skelettale Gruppen eingeteilt wurden (Gruppe I: ANB 0 bis 4° ; Gruppe II: ANB $> 4^\circ$), welche sie wiederum jeweils in drei Untergruppen, bezogen auf ihr vertikales Muster, zerlegten. Die vertikalen Gruppen wurden

entsprechend ihres SN-GoGn-Winkels gebildet (Hypodivergent: $< 32^\circ$; Normodivergent: 33 bis 37° ; Hyperdivergent: $> 38^\circ$). Des Weiteren wurden die pharyngealen Atemwegsquerschnitte nach der McNamaras Analyse bestimmt. Ihr Fazit der Studie war, dass sagittale Malokklusion keinen Einfluss auf obere pharyngeale Querschnittsflächen hat. Hyperdivergente Probanden beider skelettaler Klassen zeigten jedoch einen statistisch signifikant kleineren oberen Atemwegsquerschnitt als die anderen beiden vertikalen Gruppen (Memon et al. 2012). Wang et al. untersuchten 2014 64 gesunde Erwachsene chinesischer Herkunft mit skelettaler Klasse II. Sie wurden, wie bereits bei Memon hinsichtlich ihres GoGn-SN-Winkels in drei Gruppen unterteilt – kleiner, normaler und großer Winkel. Die Untersuchung basierte auf der Auswertung von DVT-Aufnahmen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der Atemwegsraum in der Gruppe mit großem Winkel kleiner war, als in den anderen Gruppen (Wang et al. 2014). Diese Ergebnisse lassen eine Beziehung des posterioren Atemwegsvolumens zum vertikalen Wachstumsmuster vermuten, wobei weiterführende Analysen notwendig sind.

Ein weiterer Bereich, der wenig Beachtung in den Studien der posterioren Atemwege mit 3-D Diagnostik findet, ist die Reproduzierbarkeit der Messungen. In den bisher genannten Studien finden sich keine ausführlichen Angaben zur Reliabilität der Volumenmessungen der posterioren Atemwege. Alsufyani et al. suchten 2011 in der Literatur nach Studien in denen DVTs zum Einsatz kamen, das obere Atemwegsvolumen beurteilt wurde, in denen Volumensegmentierungen der oberen Atemwege involviert wurden und in denen das Design vom Atemweg so gestaltet war, dass verschiedene Formen, Durchmesser oder Winkel bestimmbar waren. Es wurden schließlich nur 16 Artikel gewählt, die den Kriterien entsprachen. Nur acht Artikel berichten über die Reliabilität ihrer linearen- oder Volumenmessungen. Alsufyani et al. kritisierten weiter, dass in den meisten Studien die Reproduzierbarkeit und die statistischen Tests nicht hinreichend gewichtet werden (Alsufyani et al. 2012). Diese Studie zeigt einen Bedarf an der Untersuchung der Reliabilität, welcher in Zukunft mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Ghoneima und Kula verglichen in ihrer Studie digitale Volumenmessungen von DVT-Aufnahmen mit manuellen Messungen an einem aus Wachs gefertigten Modell. Sie bestätigen der DVT dabei eine hohe

Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Volumenmessungen der Atemwege (Ghoneima und Kula 2011).

2. Fragestellung

Das OSAS weist mit einem Anteil von 0,7 bis zwei Prozent bei Kindern und zwei bis sieben Prozent bei Erwachsenen eine hohe Prävalenz auf und führt – wie vorstehend dargelegt – bei Kindern zu Entwicklungsstörungen sowie bei allen Betroffenen zu den dargestellten gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Vor diesem Hintergrund besteht ein Bedarf an Methoden der Früherkennung des Erkrankungsrisikos, um rechtzeitig therapeutisch eingreifen zu können und so die Therapieerfolge zu erhöhen. Für die Früherkennung kommt es darauf an, verlässlich zu erkennen, ob ein Patient ein kleines Atemwegsvolumen und damit ein Risiko für OSAS hat. Die bisherigen Studien haben Risikofaktoren wie beispielsweise Adipositas, behinderte Nasenatmung, Alkoholkonsum und angeborene Fehlbildungen definiert. Da häufig auch anatomische Gegebenheiten, wie die Rücklage des Unterkiefers, fördernd für eine Einengung der Atemwege sind, soll diese Arbeit einen weiteren Beitrag zur Einschätzung des Erkrankungsrisikos leisten.

Die Arbeit geht der Frage nach, ob Gesichtsschädelwachstumstypen Rückschlüsse auf das posteriore Atemwegsvolumen zulassen. Wie vorstehend dargelegt, gibt es Studien über Zusammenhänge der Wachstumsmuster und der posterioren Atemwege. Allerdings berücksichtigen diese Studien nur einen Winkel als Maßgabe für das Gesichtsschädelwachstum, obwohl mehrere Winkel bzw. Faktoren Aussagen über die Wachstumsrichtung des Schädels geben. Daran knüpft die vorliegende Arbeit an und trifft erweiterte Aussagen über das Gesichtsschädelwachstum auf der Grundlage von insgesamt vier Winkeln und dem Gesichtshöhenverhältnis.

Des Weiteren basieren die Ergebnisse der bisherigen Studien überwiegend auf Daten, die auf der Basis von CT- oder FRS-Aufnahmen gewonnen wurden. Diese bilden die posterioren Atemwege primär jedoch nur zweidimensional ab. Demgegenüber stellt die DVT die Atemwege bei moderaten Strahlendosen mit hoher Aufnahmequalität dreidimensional dar und entspricht annähernd den tatsächlichen Gegebenheiten. Aus diesem Grund liegen dieser Studie konsequent DVT-Aufnahmen zugrunde.

Zudem verfolgt diese Studie auch im Hinblick auf die Probandenzahl und -auswahl einen von den bisherigen Studien abweichenden Ansatz. Den meisten Studien lag

eine vergleichsweise kleine Anzahl von Probanden zugrunde. Zugleich erfolgte die Auswahl immer nach einem alleinigen Kriterium, sodass die Auswahl beispielsweise auf einer Altersgruppe, auf ein Geschlecht oder auf ein gesundheitliches Merkmal basierte. Die vorliegende Studie legt mit 212 Probanden einen weitaus größeren Kreis zugrunde, wobei die Personengruppe zufällig ausgewählt wurde.

Aufgrund der genannten Unterschiede zu bereits bestehenden Forschungsansätzen werden die bisherigen Ergebnisse im Hinblick auf ihre Zuverlässigkeit überprüft.

In der vorliegenden Arbeit wurden demnach auf der Grundlage von DVT-Aufnahmen und der FRS-Analyse das Gesichtsschädelwachstum und die Volumina der posterioren Atemwege bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen mit den Softwares InVivo Version 5 (Anatomage Inc., San Jose, USA) und fr-win (Computer Konkret) beurteilt und verglichen, wobei die Überprüfung folgender Hypothesen im Mittelpunkt stand:

1. Die quantitative digitale Erfassung der posterioren Atemwege ist intraindividuell zuverlässig möglich.
2. Es bestehen Unterschiede zwischen den Gesichtsschädeltypen bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege.
3. Es bestehen geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege.
4. Je älter die Patienten sind, desto größer ist das Volumen der posterioren Atemwege.

3. Material und Methoden

3.1. Allgemeine Methoden und Material

3.1.1. Patientengut

Für die Untersuchung der Volumina der posterioren Atemwege und der Bestimmung des Gesichtsschädelaufbaus wurden im 3-D Röntgeninstitut Mesantis in Berlin retrospektive DVT-Aufnahmen von 212 zufällig ausgewählten Patienten vermessen. Von den 212 Patienten waren 85 männlichen und 127 weiblichen Geschlechts bei einer Altersspanne von sieben bis 67 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 22,01 Jahre und die Standardabweichung 13,858. Bei den Patienten waren schlafmedizinische Auffälligkeiten nicht bekannt. Der Datensatz des Patientenguts wurde anonymisiert und für die anstehende Auswertung eingeteilt, wobei jeweils zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht unterschieden wurde.

Die DVT-Aufnahmen stammen aus der Datenbank des Mesantis Netzwerkes mit den Standorten Hamburg, Berlin, Mayen, Wiesbaden, Heilbronn, Leonberg und München und wurden in einem Zeitraum von Mai 2010 bis Juli 2011 aus kieferorthopädischen, kieferchirurgischen, implantologischen und funktionsdiagnostischen Gründen angefertigt.

Tab. 2: Tabellarische Darstellung der Geschlechts- und Altersverteilung der untersuchten Patienten

Geschlecht	Anzahl	Alter	Mittelwert	Standardabweichung
männlich	85	8-57	20,25	12,450
weiblich	127	7-67	23,19	14,649
Gesamt	212	7-67	22,01	13,858

3.1.2. DVT-Aufnahmen und -Technik

Die DVT-Aufnahmen zur Gewinnung der Daten für die 3D-Rekonstruktion des Schädels wurden im 3-D Röntgeninstitut Mesantis mit dem Mesantis line (IMAGING SCIENCES INTERNATIONAL, INC., Hatfield, USA) von dentalradiologisch-technischen Assistenten (DRTAs) durchgeführt. Dieses Kegelstrahl-, Volumentomographie- und Panorama-Röntgengerät besteht aus einem CT-Scanner und einer Computer Workstation. Bei der Aufnahme rotieren die Röntgenröhre und ein gegenüberliegender Bilddetektor um einen sitzenden Patienten. Der Kopf des Patienten wird mit Hilfe von Justierlampen horizontal nach der Okklusionsebene und vertikal 3,8 cm vor dem Kondylus ausgerichtet. Des Weiteren wird er dabei in einer Schale mit Kinnstütze fixiert, damit bei der Aufnahme keine Unschärfe durch Bewegung entsteht. Aus den Bildern, die während einer Röntgenrotationssequenz (360°) aufgenommen werden, generiert das DVT-Gerät einen DICOM Datensatz, der mit Hilfe einer Auswertungssoftware bearbeitet und dargestellt werden kann. Die Abbildung zwei zeigt den DVT-Scanner MESANTIS line.



Abb. 2: Spezifischer DVT-Scanner MESANTIS line (Sonderedition des iCAT platinum, Fa. ISI, Hatfield, USA) (N.N. 2014a)

Die technischen Daten des DVT-Scanners MESANTIS line sind in der nachfolgenden Tabelle drei zusammengefasst.

Tab. 3: Tabellarische Darstellung der technischen Daten des DVT-Scanners MESANTIS line (Ehrl et al. 2010)

Röntgenstrahl	Gepulst, rechteckiger Kegel
Sensortyp	Flatpanel Detector
Field of View (FOV)	Frei wählbar
Fokus-Objekt-Abstand	49,5 cm
Strahlenbelastung	34 bis 67 μ Sv
Scanwinkel	360°
Scandauer	5 bis 26,9 Sek.
Expositionszeit	4,8 bis 9,8 Sek.
Voxelgröße	0,3/0,25/0,2/0,125 mm
Graustufen	14 Bit
Röntgenröhrenspannung	3 bis 7 mA
Stromstärke	120 kVp

Die in dieser Studie vermessenen DVTs wurden mit einer Voxelgröße von 0,25 bis 0,3 mm und einem FOV von 13 bis 17 cm erstellt. Die Scandauer betrug 17,8 bis 26,9 Sekunden.

3.1.3. Auswertungssoftware und Auswertungsmonitor

Die vom DVT erstellten DICOM Daten wurden mit den Softwares InVivo Version 5 (Anatomage Inc., San Jose, USA) und fr-win (Computer Konkret) im Mesantis Institut Berlin bearbeitet und ausgewertet.

Mit InVivo Version 5 können aus den Datensätzen zweidimensionale Ansichten des Schädels in koronaler, sagittaler, axialer und paraaxialer Schicht rekonstruiert werden. Des Weiteren sind dreidimensionale Ansichten des Knochens und der Weichgewebe möglich. Über verschiedene Messoptionen können Punkte definiert,

Strecken, Flächen und Volumina berechnet, Bilder gedreht und zurechtgeschnitten sowie Kontraste eingestellt werden. Ebenso können vom Behandler die Schichtebenen frei gewählt werden.

Fr-win ist eine KFO-Diagnostiksoftware zur Auswertung vielfältiger Analysen wie seitliche und frontale Fernröntgenanalysen, Modellanalysen, seitliche und frontale Fotoauswertung und Handröntgenanalysen. Auch hier können über verschiedene Messoptionen Punkte definiert, Strecken und Winkel berechnet, Bilder visualisiert und Kontraste eingestellt werden.

Die Auswertung der einzelnen Aufnahmen erfolgte an einem EIZO FlexScan MX240W Monitor. Dieser besitzt eine Auflösung von 1920 x 1200 Pixeln. Das Kontrastverhältnis beträgt 850 : 1 bei einer Helligkeit von 320 cd/m². Als Betriebssystem des Desktop PCs wurde Windows XP Professional verwendet.

3.1.4. FRS-Analyse zur Bestimmung des Gesichtsschädelaufbaus

Für die Analyse der Fernröntgenseitenbilder wurden die 3-D Datensätze der Patienten über die Software fr-win (Computer Konkret) aufgerufen.

Über den Button „FR seitlich“ öffnet sich das Programm für die seitliche Fernröntgenanalyse. Der Schädel ist hier in Sagittalansicht dargestellt. Anschließend werden die röntgenkephalometrischen Bezugspunkte, die sich aus der Abbildung und Überlagerung anatomischer Strukturen ergeben, per Mausklick eingezeichnet. Die Abbildung drei zeigt die graphische Darstellung von kephalometrischen Bezugspunkten des Fernröntgenseitenbildes eines Patienten. Aus diesen Punkten errechnet das Programm Linien, Ebenen und Winkel, die für die Interpretation des Schädels in der Sagittalen und Vertikalen von Bedeutung sind.

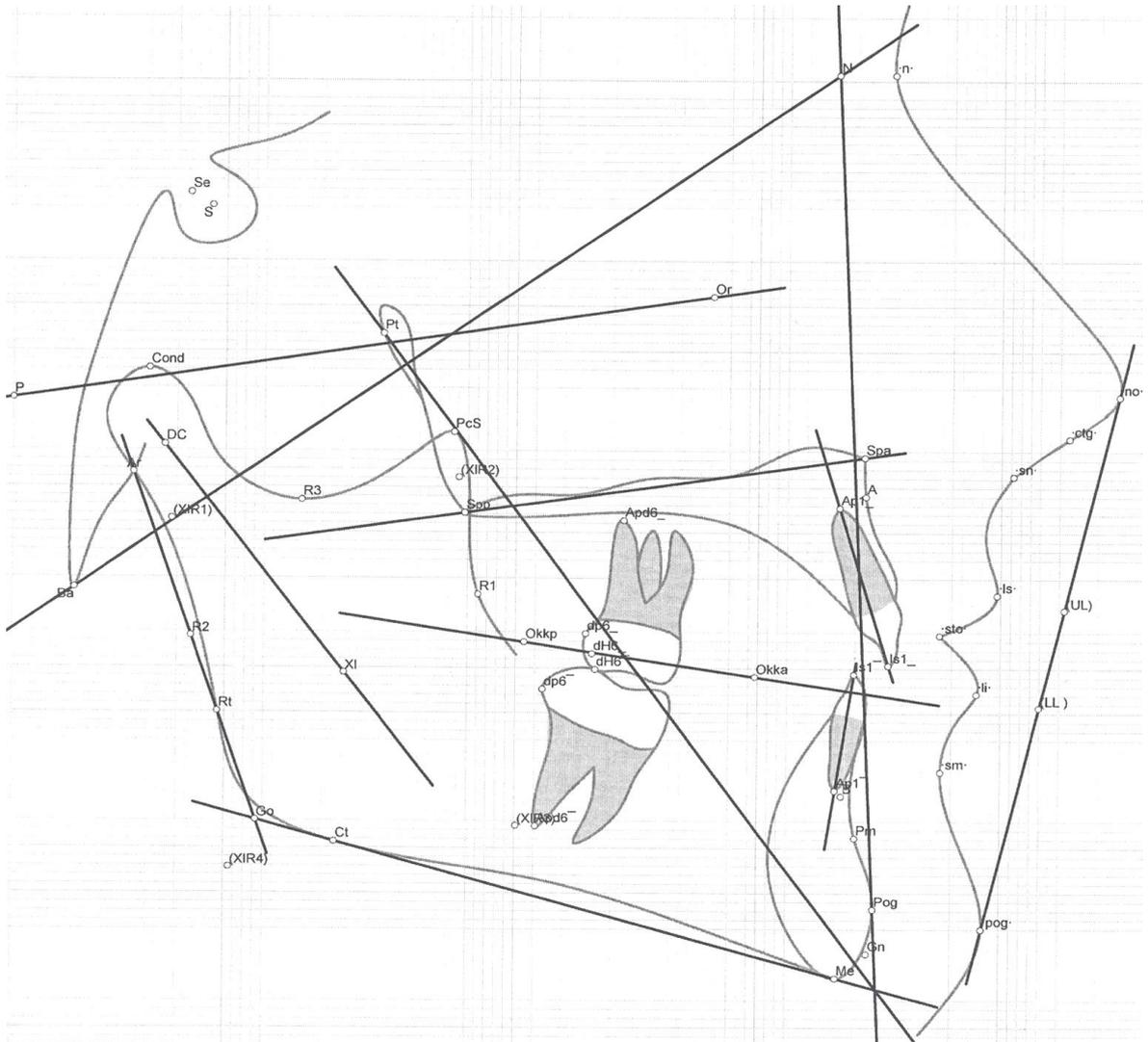


Abb. 3: Graphische Darstellung von kephalometrischen Bezugspunkten und -linien eines Fernröntgenseitenbildes eines Patienten zur Interpretation des Schädels in der Sagittalen und Vertikalen.

Da für die Bestimmung des Gesichtsschädelwachstums die vertikalen Parameter charakteristisch sind, wurde ausschließlich auf diese Bezug genommen. Die Einstufung in einen normalen, horizontalen und vertikalen Gesichtsschädelaufbau erfolgte in Anlehnung an das von Sander et al. 2011 entwickelte Prognoseschema. Die Patienten wurden dabei anhand fünf kephalometrischer Messungen, wie in Tabelle vier dargestellt, bezüglich ihres Gesichtsschädelwachstums eingeteilt (Sander et al. 2011).

Wiesen drei von fünf Werten auf einen Wachstumstyp hin, so wurde der Patient diesem zugeordnet. Des Weiteren wurden Probanden, die keiner Gruppe zugerechnet werden konnten, in der statistischen Analyse nicht berücksichtigt.

Tab. 4: Tabellarische Darstellung der fünf untersuchten vertikalen Parameter nach Sander et al. 2011

Winkel	Horizontal	Normal	Vertikal
ML-NSL	< 26°	26° - 38°	> 38°
NSGn	< 65°	65° - 67°	> 67°
ML-NL	< 20,5°	20,5° - 26,5°	> 26,5°
ArGoMe	< 116°	116° - 136°	> 136°
Ratio: (S-Go/N-Me) x 100 %	> 65 %	62 % - 65 %	< 62 %

3.1.5. Volumenbestimmung der posterioren Atemwege

Um das Volumen der posterioren Atemwege zu bestimmen, wurden die 3-D Datensätze der einzelnen Patienten über die Software InVivo Version 5 (Anatomage Inc., San Jose, USA) aufgerufen. Die Messung der Ausdehnung des posterioren Atemwegsvolumens erfolgte im Programm „Volume Render“. Der Schädel ist hier in Sagittalansicht dargestellt und die Schicht kann frei gewählt werden. Für die Messung des Volumens wurden Schichten ausgewählt, auf denen die Spina-Ebene und die Epiglottis deutlich zu erkennen waren. Über die Messoption „Airway Measurements“ wurden anschließend die Begrenzungen mit Hilfe der linken Maustaste eingezeichnet. Die Grenzen richten sich nach der Veröffentlichung von Shigeta et al. im Jahr 2008 (Shigeta et al. 2008b). Dabei stellt die obere Begrenzung die Verlängerung der Spina-Ebene und die untere die Spitze der Epiglottis dar. Beide Ebenen wurden so eingezeichnet, dass sie parallel zueinander verlaufen. Nach Bestätigung der markierten Begrenzungen mit der rechten Maustaste, errechnet das Programm aus der Abgrenzung der Luft zu den umgebenen Räumen das Volumen. Dieses wird farbkodiert dargestellt und in cm³ angegeben. Des Weiteren erhält man die Größe der engsten Stelle des posterioren Atemweges in mm². Um sehr kleine Volumina farblich durchgängig

darzustellen, muss nach Errechnen des Volumens über den Button „Werkzeug“ die Color min. auf 33 heruntergesetzt werden. Die komplette Messung des posterioren Atemwegsvolumens dauert weniger als eine Minute. Die Abbildung vier zeigt beispielhaft die posterioren Atemwegsvolumina zweier DVT-Aufnahmen.

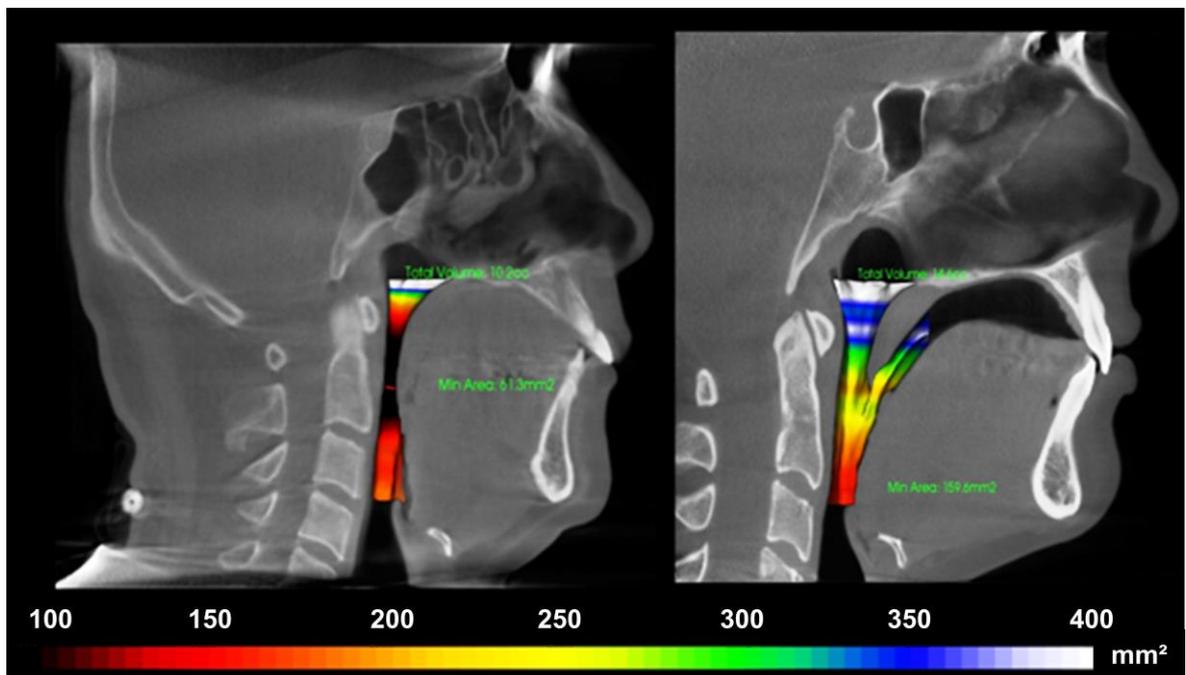


Abb. 4: Zwei-dimensionale Darstellung zweier DVT-Datensätze mit Einfärbung der posterioren Atemwegsvolumina zweier Patienten. Links ein sehr eingegengtes und rechts ein normales posteriores Atemwegsvolumen. Die Messung erfolgte von der Spina-Ebene bis zur Spitze der Epiglottis.

3.1.6. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die anonymisierten Daten der Messergebnisse in das Microsoft Office 2010 Programm Excel übertragen. Die Datenanalyse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Version 20, wobei für alle Messwerte die Minima, Maxima, Medianwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen bestimmt wurden.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde ein Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ festgelegt. Dies entspricht der Irrtumswahrscheinlichkeit, die Alternativhypothese anzunehmen, obwohl die Nullhypothese gilt. Es wird hier von einem Fehler erster Art gesprochen. Der p-Wert ist eine Kennzahl zur Auswertung statistischer Tests.

Ist der p-Wert kleiner als α , wird das Resultat als statistisch signifikant bezeichnet (Bortz 2005).

Es wurden die folgenden Signifikanzniveaus nach Bortz 2005 festgelegt:

- $p > 0,05$ nicht signifikant
- $p \leq 0,05$ signifikant
- $p \leq 0,01$ sehr signifikant

Des Weiteren wurde auf folgende Tests Bezug genommen:

T-Test

Der T-Test ist ein parametrisches Verfahren. Hier werden die Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben verglichen. Voraussetzung für diese Analyse ist eine Normalverteilung der Stichprobenvariablen und die Homogenität der Varianzen (Bortz 2005). In dieser Studie lag eine Normalverteilung vor.

Varianzanalyse

Die Varianzanalyse ist ein strukturprüfendes statistisches Verfahren, in dem die Mittelwertunterschiede der erhobenen Daten untersucht werden. Hierbei kann getestet werden, ob die Varianz zwischen den Gruppen größer ist als die Varianz innerhalb der Gruppen. Weiterhin lässt sich mit diesem Test der Signifikanzwert p berechnen. Der Unterschied der gemessenen Mittelwerte wird als signifikant bezeichnet, wenn p kleiner oder gleich dem festgelegten Signifikanzniveau α ist. Voraussetzung für diese Analyse ist eine Normalverteilung der Stichprobenvariablen und die Homogenität der Varianzen (Bortz 2005). In dieser Studie lag eine Normalverteilung vor.

Die Homogenität der Varianzen wurde mit Hilfe des Levene-Tests überprüft. Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn der Signifikanzwert unter dem festgelegten Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ liegt, da dann die Unterschiede in den Varianzen der Stichprobe signifikant sind (Rudolf und Kuhlisch 2008).

Bravais-Pearson-Korrelation

Die Bravais-Pearson-Korrelation wird synonym auch als Produkt-Moment-Korrelation bezeichnet. Der Korrelationskoeffizient r kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen und stellt damit den linearen Zusammenhang zwischen

intervallskalierten Merkmalen dar. Werte zwischen -1 und 0 zeigen einen negativen Zusammenhang, Werte zwischen 0 und +1 einen positiven Zusammenhang. Der Wert 0 (und nahe 0) bedeutet, dass kein Zusammenhang besteht. Die Bravais-Pearson-Korrelation wird ebenfalls auf Signifikanz geprüft (Bortz 2005).

Methodenfehler nach Dahlberg

Der Methodenfehler nach Dahlberg (1940) beschreibt die Größe der Standardabweichung der Mittelwerte aus einer wiederholten Messung. Er stellt damit die Genauigkeit der Messungen dar beziehungsweise er dient der Quantifikation von Fehlern, die beim Erheben der Messdaten auftreten können (Dahlberg 1940).

Er wird mit folgender Formel berechnet:

$$\delta_D = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}} \quad (1)$$

Mueller und Martorell generalisierten 1988 die Formel für k-Messungen (Mueller und Martorell 1988).

$$\delta_{MM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k x_j^2 - \frac{(\sum_{j=1}^k x_j)^2}{k} \right)}{n(k-1)}} \quad (2)$$

Als kritischer Wert bei der Beurteilung sollte der Methodenfehler $\delta < 1$ sein, es wird dann von einer guten Reliabilität gesprochen.

Box-Plot

Der Boxplot (Abbildung 5) ist ein Diagramm zur grafischen Verteilung empirischer Quantile. In Form einer Box werden dabei der maximale und minimale Wert („oberer Whisker“ und „unterer Whisker“), sowie der Median ($x_{0,5}$) und die empirischen Quartile ($x_{0,25}$ und $x_{0,75}$) von einer Stichprobe berechnet. Jeweils 25 % der Stichprobendaten liegen in jedem Abschnitt des Box-Plots. Der Box-Plot gibt zudem Aufschluss über die Symmetrie von Verteilungen (Walz 2004).

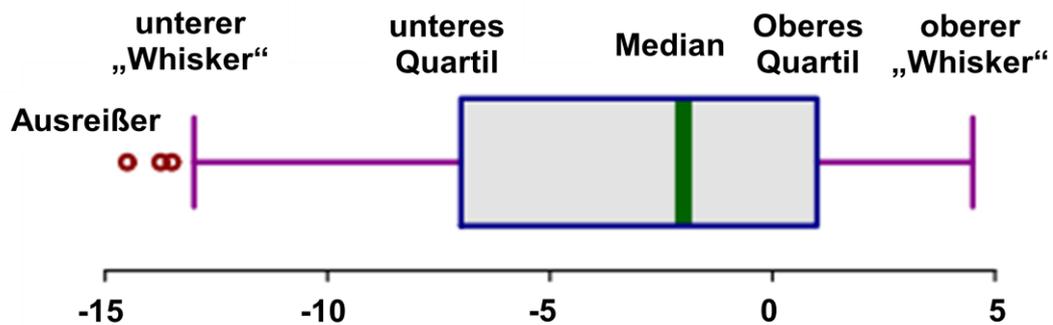


Abb. 5: Graphische Darstellung eines Boxplots mit seinen Begrenzungen (Thoma 2015).

Bland-Altman-Plot

Der Bland-Altman-Plot nach John Martin Bland und Douglas G. Altman, visualisiert die Differenzen zwischen den Einzelmessungen und trägt sie gegen die Mittelwerte der einzelnen Messungen über alle Patienten ab. Des Weiteren liefert der Bland-Altman-Plot auch die Limits of Agreement (synonym auch als obere und untere Schranken bezeichnet). Zwischen ihnen liegen ca. 95 % aller Fälle. Sind diese Limits of Agreement innerhalb eines Bereiches, der klinisch irrelevant ist, so gilt die Reproduzierbarkeit als belegt (Bland und Altman 1999, Bland und Altman 1986). Als Bedingung wurde hier festgelegt, dass ein Bereich von $\pm 1 \text{ cm}^3$ noch tolerierbar ist.

3.2. Spezielle Methoden

3.2.1. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Volumenbestimmung

Die Hypothese „Die quantitative digitale Erfassung der posterioren Atemwege ist intraindividuell zuverlässig möglich“ beinhaltet die Überprüfung der Reproduzierbarkeit wiederholter Messungen des posterioren Atemwegsvolumens. Dazu wurde im Abstand von jeweils 30 Tagen bei 30 DVTs, die zufällig ausgewählt wurden, das posteriore Atemwegsvolumen, wie in Kapitel 3.1.5. beschrieben, noch zweimal vermessen. Die Daten wurden in eine Excel-Tabelle übertragen und in SPSS ausgewertet. Zur Quantifizierung der Reproduzierbarkeit wurde der Methodenfehler nach Dahlberg (1940) für k-Messungen generalisiert (nach Mueller und Martorell 1988) und berechnet. Des Weiteren wurden der Bland-Altman-Plot und der Scatterplot zur Auswertung herangezogen. Für den

Bland-Altman-Plot wurde festgelegt, dass die Limits of Agreement innerhalb eines Bereiches von $\pm 1 \text{ cm}^3$ liegen.

3.2.2. Korrelation zwischen Gesichtsschädeltypen und Volumen

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung der Korrelation zwischen den Gesichtsschädeltypen und dem Volumen der posterioren Atemwege. Darauf basiert die ungerichtete Unterschiedshypothese „Es bestehen Unterschiede zwischen den Gesichtsschädeltypen bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege“. Hierzu wurden der Gesichtsschädelaufbau und das posteriore Atemwegsvolumen der einzelnen Probanden, wie in Kapitel 3.1.4. und 3.1.5. beschrieben, bestimmt. Die gemessenen Werte wurden entsprechend der drei Gesichtsschädeltypen sortiert und in eine Excel-Tabelle übertragen. Die Probanden, die keinem Gesichtsschädeltyp zugeordnet werden konnten, wurden in dieser Analyse nicht berücksichtigt. Als statistische Verfahren wurden die einfaktorielle Varianzanalyse und der Levene-Test sowie Boxplots im Programm SPSS herangezogen. Die Mittelwerte, Standardabweichungen und Standardfehler wurden in Excel berechnet.

3.2.3. Korrelation zwischen Geschlecht und Volumen

Die Korrelation zwischen dem Geschlecht und dem Volumen der posterioren Atemwege, die ebenfalls untersucht wurde, bildet die Grundlage für die ungerichtete Unterschiedshypothese „Es bestehen geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege“. Diese postuliert Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Die Bestimmung des posterioren Atemwegsvolumens erfolgte wie in Kapitel 3.1.5. erläutert. Die Messwerte wurden anschließend in eine Excel-Tabelle differenziert nach Geschlecht eingetragen. Es erfolgte dann die Auswertung in SPSS mit Hilfe des T-Tests für unabhängige Stichproben und dem Levene-Test. Die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Standardfehler wurden im Excel-Programm berechnet. Des Weiteren erfolgte zusätzlich die Untersuchung der Hypothese nach den gleichen statistischen Verfahren, jedoch differenziert in zwei Altersgruppen. Dabei stellten die < 17-Jährigen die eine Gruppe und die ≥ 17 -Jährigen die andere Gruppe dar. Das Alter wurde aus der Zeitspanne des

Geburtsdatums und des Zeitpunktes der DVT-Aufnahme errechnet und die Messwerte entsprechend differenziert in eine Excel-Tabelle übertragen.

3.2.4. Korrelation zwischen Alter und Volumen

Die Korrelation zwischen dem Alter und dem Volumen der posterioren Atemwege ist auf die gerichtete Zusammenhangshypothese „Je älter die Patienten sind, desto größer ist das Volumen der posterioren Atemwege“ zurückzuführen. Das Alter der Probanden wurde auch hier aus der Zeitspanne des Geburtsdatums und des Zeitpunktes der DVT-Aufnahme errechnet. Das posteriore Atemwegsvolumen wurde wie in Kapitel 3.1.5. erläutert gemessen. Das Alter und die jeweiligen Messwerte des posterioren Atemwegsvolumens der Probanden wurden anschließend in eine Excel-Tabelle übertragen. Als statistische Verfahren wurden die Bravais-Pearson-Korrelation sowie ein Profildiagramm in SPSS herangezogen.

4. Ergebnisse

4.1. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Volumenbestimmung

Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Bestimmung des posterioren Atemwegsvolumens mit der Formel nach Mueller und Martorell für $k = 3$ Messungen ergab einen Methodenfehler von $\delta_{MM} = 0,49 \text{ cm}^3$. Da der errechnete Wert unter eins liegt, kann man von einer guten Reproduzierbarkeit sprechen. Des Weiteren wurde für den Bland-Altman-Plot ein Mittelwert der Differenzen zwischen den Einzelmessungen von $-0,042 \text{ cm}^3$ und eine Standardabweichung von $0,457 \text{ cm}^3$ berechnet. Daraus resultierten die Limits of Agreement mit $+0,854 \text{ cm}^3$ und $-0,939 \text{ cm}^3$. Diese liegen in dem zuvor festgelegten Toleranzbereich von $\pm 1 \text{ cm}^3$. Die Hypothese: „Die quantitative digitale Erfassung der posterioren Atemwege ist intraindividuell zuverlässig möglich“ wurde angenommen.

Die folgenden Abbildungen sechs und sieben visualisieren und unterstützen die errechneten Ergebnisse. Die Abbildung sechs zeigt die grafische Darstellung eines Scatterplots mit Winkelhalbierender. Die Messungen des posterioren Atemwegsvolumens von 30 Patienten und die zweimaligen Wiederholungsmessungen im Abstand von jeweils 30 Tagen wurden gegen die jeweiligen Mittelwerte der Einzelmessungen eingetragen. Alle Messungen liegen auf der Winkelhalbierenden, was die Reproduzierbarkeit unterstreicht.

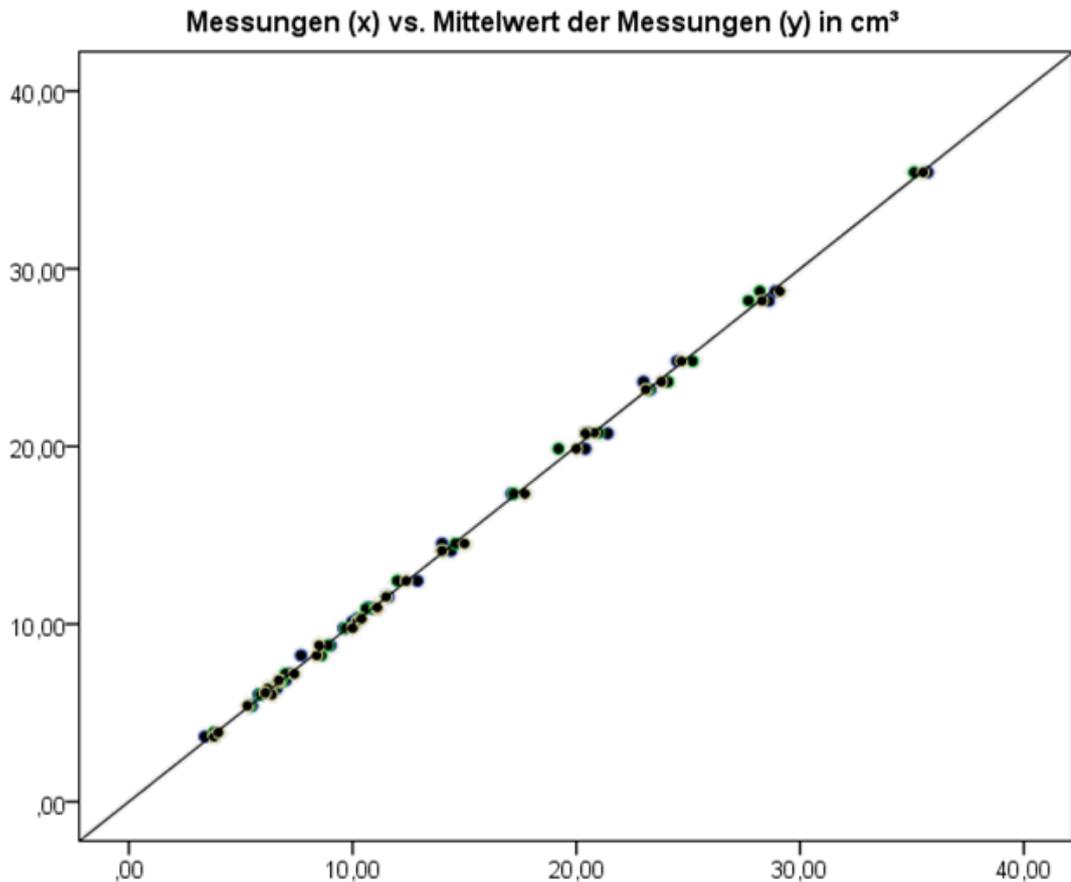


Abb. 6: Graphische Darstellung eines Scatterplots mit Winkelhalbierender. Alle Messungen liegen auf der Winkelhalbierenden, was die Reproduzierbarkeit unterstreicht.

Die Abbildung sieben zeigt den Bland-Altman-Plot, welcher die Differenzen zwischen den drei Einzelmessungen der posterioren Atemwegsvolumina der 30 Patienten darstellt. Im Abstand von jeweils 30 Tagen wurden die Messungen durchgeführt und gegen die Mittelwerte der einzelnen Messungen der 30 Patienten abgetragen. Die Limits of Agreement ($+0,8547744 \text{ cm}^3$ und $-0,9391744 \text{ cm}^3$) liegen im zuvor festgelegten Toleranzbereich.

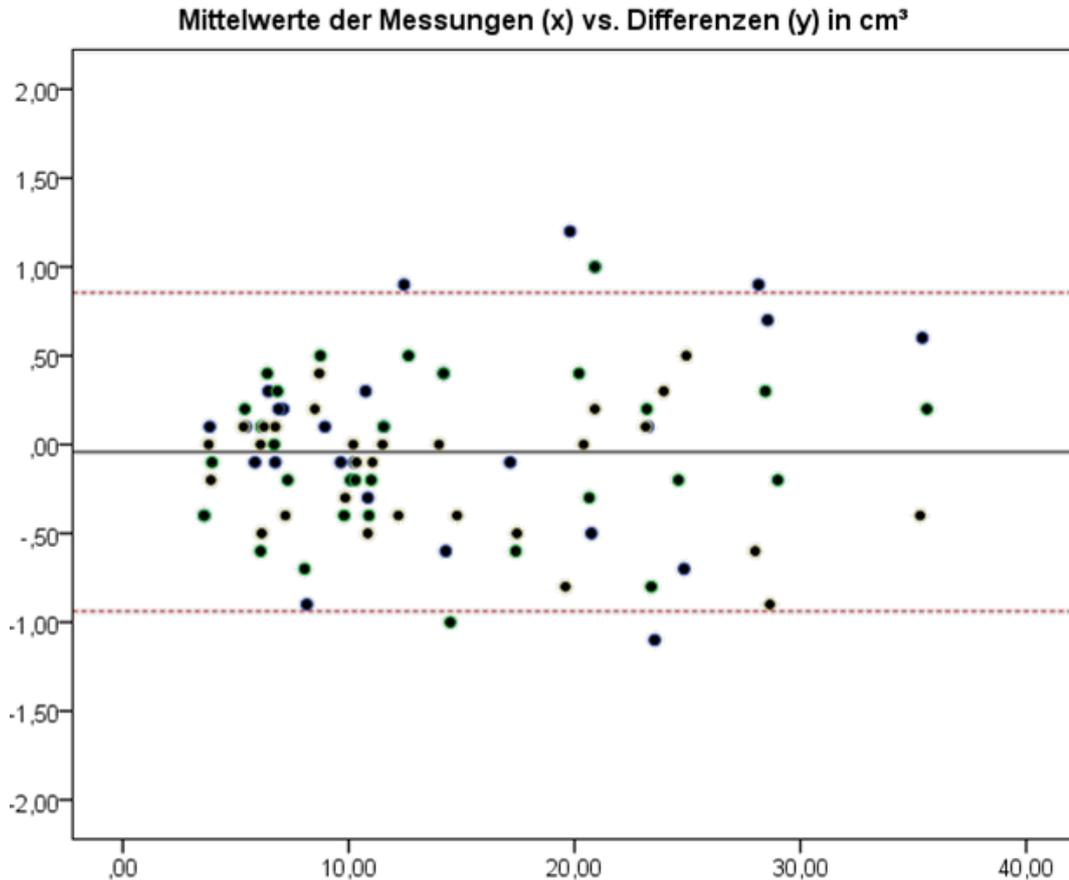


Abb. 7: Bland-Altman-Plot mit den Limits of Agreement (+0,8547744 und -0,9391744), welche in dem zuvor festgelegten Toleranzbereich ($\pm 1 \text{ cm}^3$) liegen.

4.2. Korrelation zwischen Gesichtsschädeltypen und Volumen

Von den 212 vermessenen Patienten wurden 34 den horizontalen, 99 den normalen und 43 den vertikalen Gesichtsschädeltypen zugeordnet. 36 konnten keinem Gesichtsschädeltyp zugeordnet werden und wurden in der Analyse nicht berücksichtigt. Das posteriore Atemwegsvolumen erreichte in der horizontalen Gruppe Werte von 3,4 bis 28,9 cm^3 , bei einem Mittelwert von 14,065 cm^3 und einer Standardabweichung von 5,577 cm^3 . In der Gruppe der normalen Gesichtsschädeltypen reichte das posteriore Atemwegsvolumen von 3,6 bis 30,4 cm^3 , bei einem Mittelwert von 13,584 cm^3 und einer Standardabweichung von 6,578 cm^3 . Die Gruppe der vertikalen Gesichtsschädeltypen wies Werte des posterioren Atemwegsvolumens von

3,9 bis 37,4 cm³ auf, bei einem Mittelwert von 14,702 cm³ und einer Standardabweichung von 8,386 cm³.

Der Vergleich der Mittelwerte bzw. der Minima und Maxima ließ leicht erhöhte Werte in der Gruppe der vertikalen Gesichtsschädeltypen erkennen. Ob signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen der einzelnen Gesichtsschädeltypen (normal, horizontal, vertikal) bestehen, wurde mit der einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Dafür wurde zunächst der Levene-Test als Voraussetzung für den Vergleich der Mittelwerte durchgeführt. Dieser ergab eine Signifikanz von $p = 0,161$. Die Varianzen waren demnach homogen und die einfaktorielle Varianzanalyse konnte angewendet werden. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab eine Signifikanz von $p = 0,671$. Da $p > 0,05$ ist, konnte die Hypothese: „Es bestehen Unterschiede zwischen den Gesichtsschädeltypen bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege“ nicht bestätigt werden.

Die Boxplots in der Abbildung acht zeigen keine erheblichen Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen der Gesichtsschädeltypen und unterstützen damit das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse. Die oberen Whisker liegen bei allen um die 30 cm³ mit leichtem Anstieg bei der Gruppe mit normalem Gesichtsschädelaufbau. Die unteren Whisker liegen im Bereich von 5 cm³. Bei der Gruppe der vertikalen Gesichtsschädeltypen sind einzelne Ausreißer erkennbar. Der Medianwert der drei Boxplots liegt im Bereich von 14 cm³. Der Unterschied zwischen den Gesichtsschädeltypen war nicht signifikant.

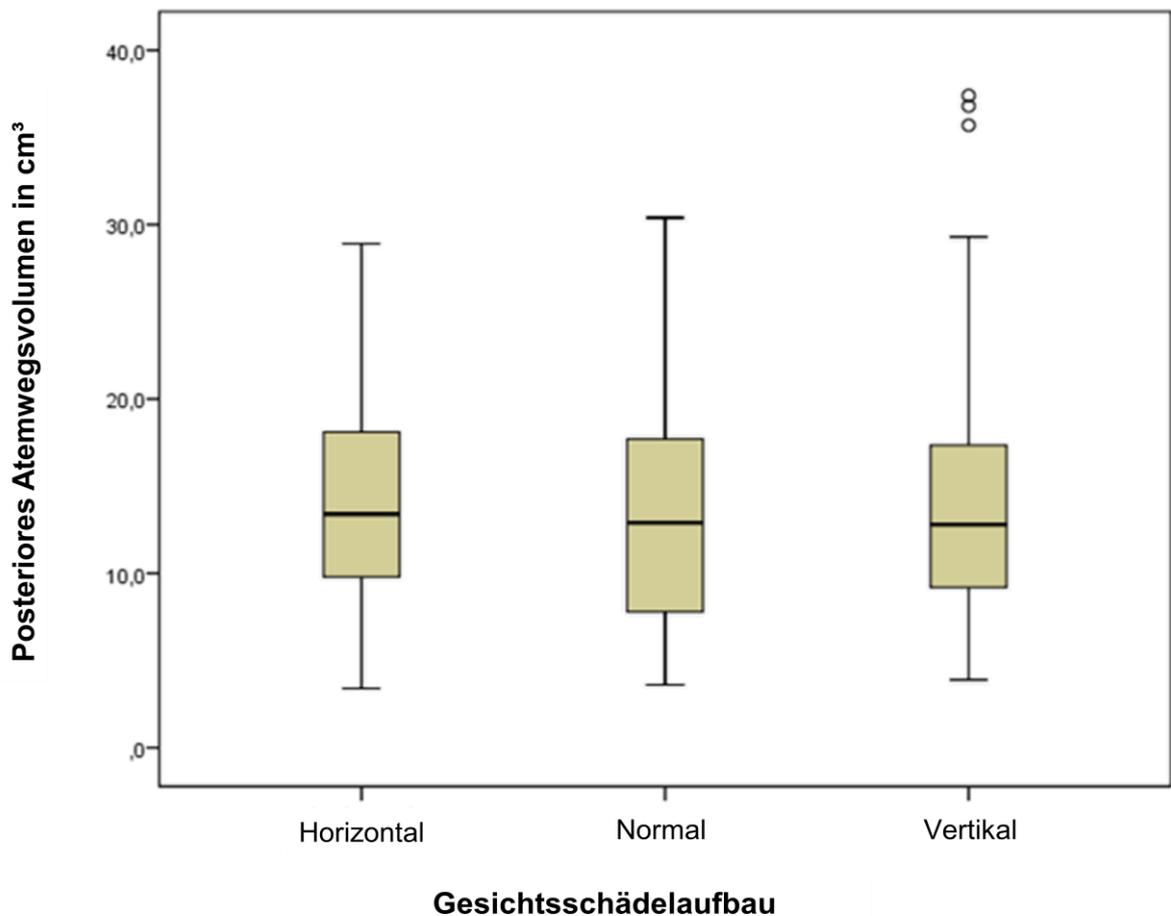


Abb. 8: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens der drei Gesichtsschädeltypen in Form von Boxplots. Die Boxplots der drei Gesichtsschädeltypen unterscheiden sich unwesentlich voneinander.

4.3. Korrelation zwischen Geschlecht und Volumen

Von den 212 untersuchten Probanden waren 85 männlichen und 127 weiblichen Geschlechts. Die männlichen Probanden wiesen im Mittel ein posteriores Atemwegsvolumen von $14,316 \text{ cm}^3$ bei einer Standardabweichung von $7,277 \text{ cm}^3$ auf. Bei den weiblichen Probanden betrug das posteriore Atemwegsvolumen im Mittel $13,753 \text{ cm}^3$ bei einer Standardabweichung von $6,917 \text{ cm}^3$.

Der Levene-Test zur Untersuchung der Varianzgleichheit ergab eine Signifikanz von $p = 0,694$, womit diese gegeben war. Die Untersuchung der Korrelation zwischen dem Geschlecht und dem Volumen der posterioren Atemwege der untersuchten Patienten erbrachte beim T-Test einen Signifikanzwert von $p = 0,57$. Das Ergebnis war nicht signifikant.

Die Abbildung neun zeigt den Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht aller Probanden in Form von Boxplots. Die oberen und unteren Whisker unterscheiden sich unwesentlich und liegen im Bereich von 2,5 cm³ bis 37,5 cm³. Der Medianwert der weiblichen Probanden liegt im Bereich von 12 cm³, der der männlichen Probanden im Bereich von 13 cm³. Die kleinere Box der männlichen Probanden resultiert aus der höheren Dichte der Werte.

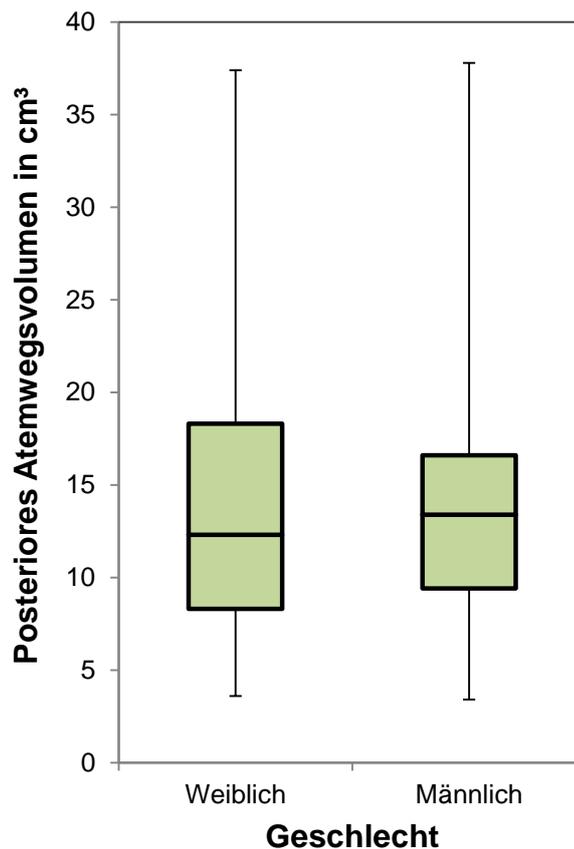


Abb. 9: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht aller Probanden in Form von Boxplots. Der Unterschied zwischen Männern und Frauen war statistisch nicht signifikant ($p = 0,57$).

Bei der Differenzierung in die beiden Altersgruppen waren in der Gruppe der < 17-Jährigen 51 männlichen und 61 weiblichen Geschlechts, wobei die männlichen Probanden einen Mittelwert von 12,059 cm³, bei einer Standardabweichung von 5,105 cm³ aufwiesen. Die weiblichen Probanden wiesen einen Mittelwert von 10,803 cm³ bei einer Standardabweichung von 5,289 cm³ auf.

Die Varianzgleichheit wurde mit dem Levene-Test mit einer Signifikanz von $p = 0,879$ bestätigt. Der T-Test ergab eine Signifikanz von $p = 0,206$. Die Abbildung zehn zeigt den Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen dem männlichen und dem weiblichen Geschlecht in der Gruppe der < 17-Jährigen in Form von Boxplots. Die oberen Whisker weisen bei den männlichen Probanden höhere Werte (28 cm^3) im Vergleich zu den weiblichen Probanden (26 cm^3) auf. Die unteren Whisker unterscheiden sich unwesentlich und liegen im Bereich von 3 cm^3 . Die Boxen beider Geschlechter weisen ähnliche Streuungen der Werte auf, jedoch mit einem höheren Medianwert bei den männlichen Probanden (12 cm^3). Der Medianwert der weiblichen liegt im Bereich von 9 cm^3 . Der Unterschied zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht war nicht signifikant ($p = 0,206$).

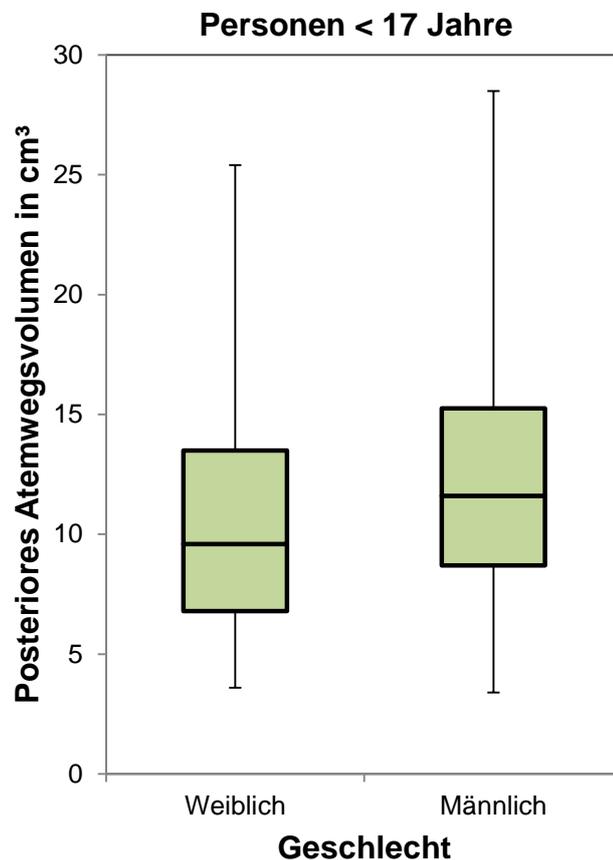


Abb. 10: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht in der Gruppe der < 17-Jährigen in Form von Boxplots. Der Unterschied zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht war nicht signifikant ($p = 0,206$).

In der Gruppe der ≥ 17 -Jährigen waren 34 männlichen und 66 weiblichen Geschlechts. Der Mittelwert der männlichen Probanden ergab $17,703 \text{ cm}^3$ bei einer Standardabweichung von $8,695 \text{ cm}^3$. Die weiblichen Probanden wiesen im Mittel $16,479 \text{ cm}^3$ bei einer Standardabweichung von $7,157 \text{ cm}^3$ auf.

Die Abbildung elf zeigt den Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht in der Gruppe der ≥ 17 -Jährigen in Form von Boxplots. Die oberen Whisker liegen im Bereich von 37 cm^3 . Die unteren im Bereich von 4 cm^3 . Die Boxen weisen ähnliche Streuungen der Werte auf, mit einem Medianwert von 16 cm^3 bei den weiblichen Probanden und einem Medianwert von 14 cm^3 bei den männlichen Probanden. Der Unterschied zwischen weiblichem und männlichem Geschlecht war nicht signifikant ($p = 0,454$).

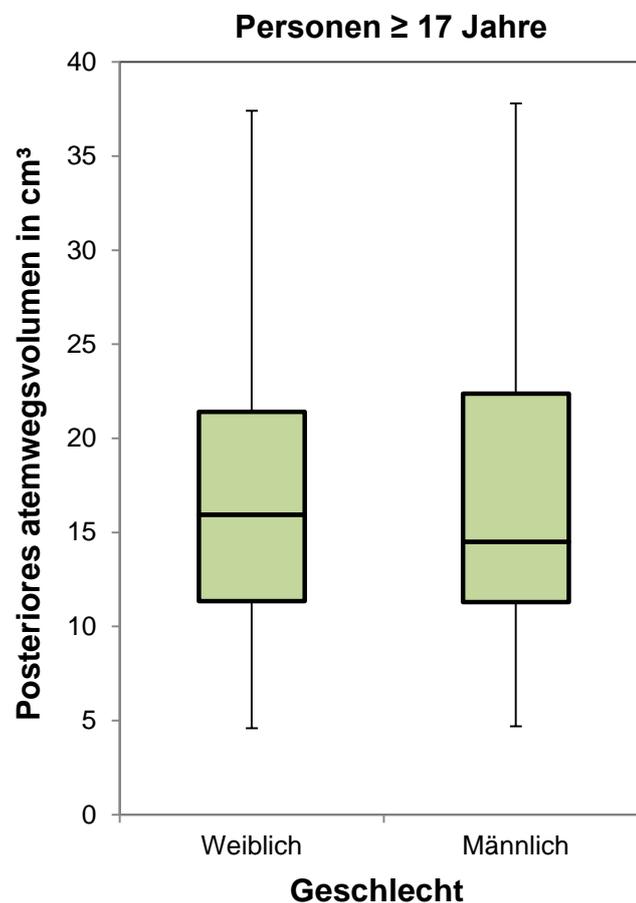


Abb. 11: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht in der Gruppe der ≥ 17 -Jährigen in Form von Boxplots. Der Unterschied zwischen weiblichem und männlichem Geschlecht war nicht signifikant ($p = 0,454$).

Auffallend waren die größeren Mittelwertunterschiede zwischen den Geschlechtern von $1,256 \text{ cm}^3$ bei den < 17 -Jährigen und $1,224 \text{ cm}^3$ bei den ≥ 17 -Jährigen im Vergleich zur gesamten Probandenzahl ($0,563 \text{ cm}^3$).

Die Hypothese „Es bestehen geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege“ konnte insgesamt nicht bestätigt werden, da $p > 0,05$.

4.4. Korrelation zwischen Alter und Volumen

In der vorliegenden Studie wurden 212 Patienten bei einer Altersspanne von sieben bis 67 Jahren vermessen. Die Probanden waren im Mittel 22,01 Jahre alt, bei einer Standardabweichung von $13,858 \text{ cm}^3$.

Die Analyse der Korrelation zwischen dem Alter und dem Volumen der posterioren Atemwege der untersuchten Patienten ergab $p = 0,000$. Der postulierte positive Zusammenhang zwischen Alter und Volumen der posterioren Atemwege konnte bestätigt werden, da $p < 0,001$. Das Ergebnis ist sehr signifikant. Der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson betrug $r = 0,316$, es besteht demnach ein moderater linearer Zusammenhang zwischen Alter und posteriorem Atemwegsvolumen. Die Hypothese „Je älter die Patienten sind, desto größer ist das Volumen der posterioren Atemwege“ wurde bestätigt.

Die folgenden Abbildungen unterstützen die Ergebnisse. Die Abbildung zwölf zeigt die graphische Darstellung der posterioren Atemwegsvolumina der einzelnen Probanden in Beziehung zu ihrem Alter. Die logarithmischen Trendlinien zeigen einen Anstieg des posterioren Atemwegsvolumens mit Zunahme des Alters, wobei die männlichen Probanden ein geringfügig höheres Atemwegsvolumen aufweisen als die weiblichen Probanden. Des Weiteren zeigt der Verlauf bis zum 20. Lebensjahr einen höheren Anstieg im Vergleich zu den höheren Altersklassen. Die unterschiedliche Dichte in den verschiedenen Altersklassen resultiert aus der zufälligen Auswahl der Probanden.

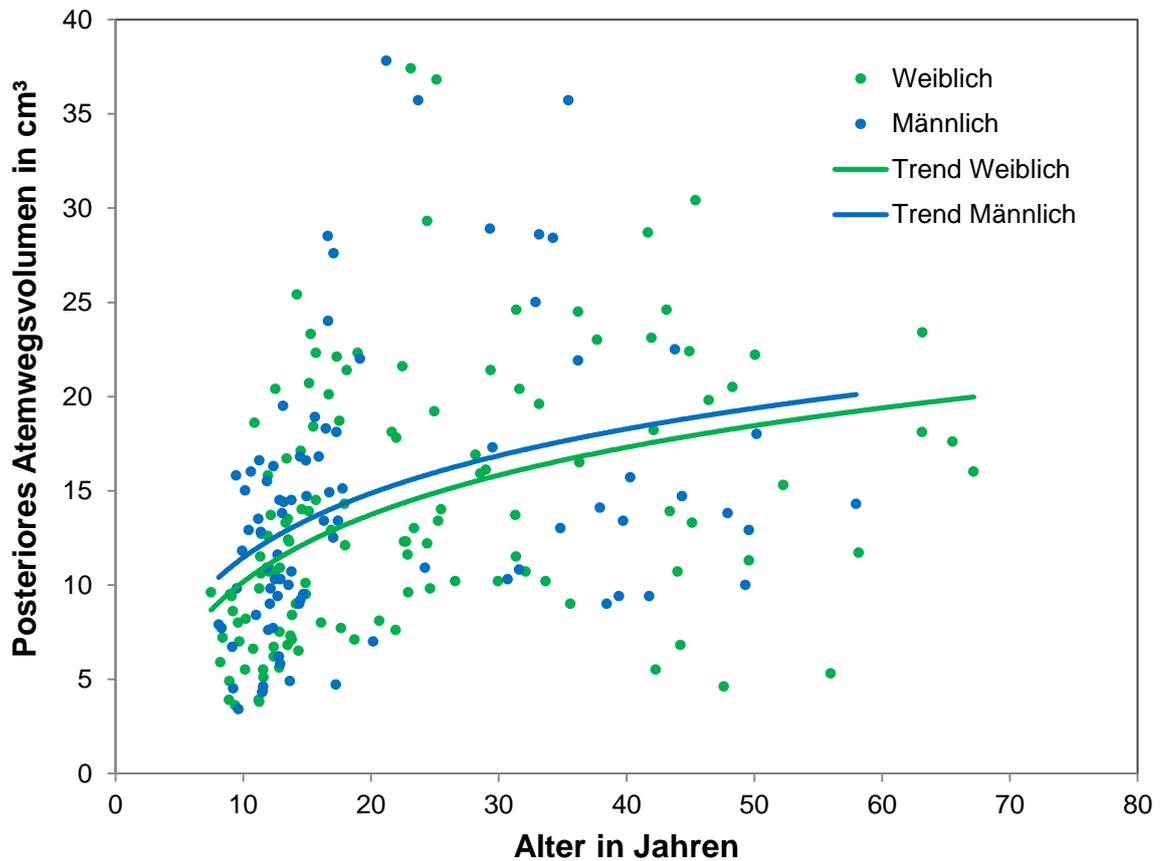


Abb. 12: Graphische Darstellung der posterioren Atemwegsvolumina der einzelnen Probanden in Beziehung zu ihrem Alter. Die logarithmischen Trendlinien zeigen einen Anstieg des posterioren Atemwegsvolumens mit Zunahme des Alters.

Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt die graphische Darstellung der Beziehung der Mittelwerte des posterioren Atemwegsvolumens und der Altersklassen zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht. Mit zunehmendem Alter steigt das posteriore Atemwegsvolumen beider Geschlechter statistisch signifikant. Der Unterschied der Mittelwerte beträgt ca. 1 cm^3 und bleibt zwischen den Geschlechtern mit steigendem Alter konstant. Es ist ein moderater linearer Zusammenhang zwischen dem posterioren Atemwegsvolumen und dem Alter nachweisbar.

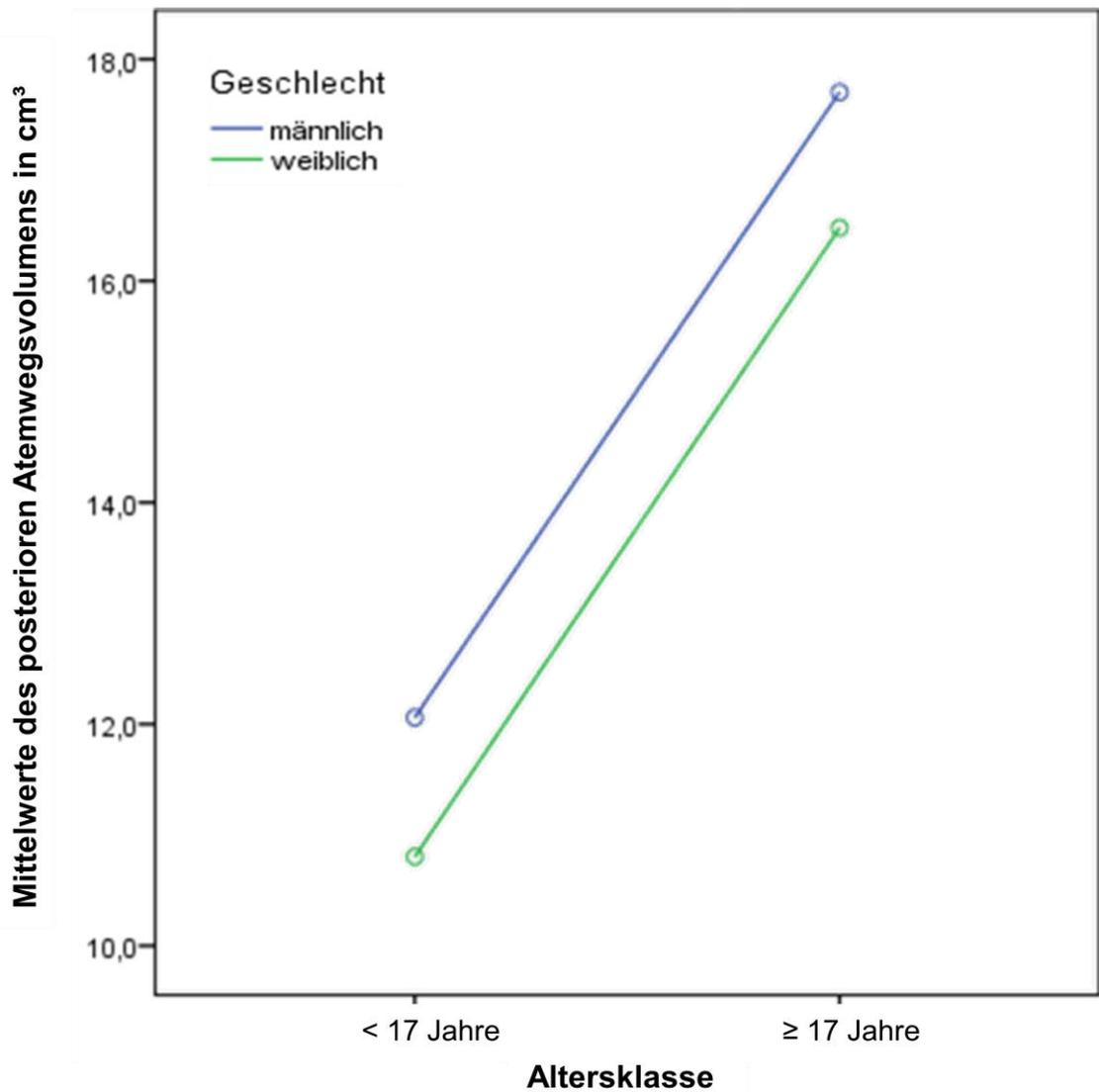


Abb. 13: Graphische Darstellung der Beziehung der Mittelwerte des posterioren Atemwegsvolumens und der Altersklassen zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht. Mit zunehmendem Alter steigt das posteriore Atemwegsvolumen beider Geschlechter statistisch signifikant an.

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Methoden

Eine normale Atmung ist abhängig von suffizienten anatomischen Dimensionen der Atemwege (Dörges et al. 2009). In den letzten Jahren haben viele Studien zu der Erkenntnis geführt, dass Variationen in skelettalen Bereichen des Schädels prädisponierend für Einengungen der oberen Atemwege sein können.

Bacon et al. berichteten bereits 1990, dass eine Erhöhung der unteren Gesichtshöhe ein ausschlaggebender Faktor für Einengungen im Pharynxbereich ist (Bacon et al. 1990). Kim et al. zeigten 2010 auf, dass das totale Atemwegsvolumen bei retrognathen Kindern kleiner war und Memon et al. erklärten 2012, dass hyperdivergente Kinder einen kleineren Atemwegsquerschnitt aufweisen im Vergleich zu Normodivergenten (Kim et al. 2010, Memon et al. 2012). Diese Studien sind jedoch untereinander schwer vergleichbar. Sie differieren in der Anzahl der Probanden, zumeist sind es dabei kleine Probandengruppen wie bei Kim et al. 2010 mit 27, die sich auf geringe Altersspannen beschränken.

Weiterhin unterscheiden sie sich in den Auswahlkriterien. Vorzugsweise werden „gesunde“-Probanden ohne schlafmedizinische Auffälligkeiten und Kinder, wie bei Memon et al. 2012 und Kim et al. 2010 oder männliche Probanden bei Bacon et al. 1990 für kraniofaziale Merkmale untersucht. Für diese Studie wurde eine größere beziehungsweise annähernd gleich große Anzahl (212 Probanden) von verwertbaren Datensätzen angestrebt, wie in vergleichenden Studien, um eine höhere statistische Aussagekraft zu erhalten. Die Verteilung der männlichen und weiblichen Probanden war aufgrund der zufälligen Auswahl unterschiedlich. Beachtung sollte zudem die Altersspanne von sieben bis 67 Jahren finden und damit auch die Differenzen in Größe, Gewicht und Wachstumspotential. Desweiteren gab es keinen Anhalt über eine kieferorthopädische Therapie, genetische Erkrankungen, das Vorhandensein von OSAS oder anderen schlafmedizinischen Auffälligkeiten, was eine Einschränkung der Studie darstellt. Es wurden ausschließlich Datensätze verwendet, auf denen die zu vermessenden Punkte und Strukturen abgebildet waren.

Die Aufnahmen zur Gewinnung der Daten für die Analyse wurden mit einem DVT-Gerät (Mesantis line, IMAGING SCIENCES INTERNATIONAL, INC., Hatfield, USA) erstellt. Der Pharynx kann hier dreidimensional dargestellt werden, wodurch sich die Studie von denen von Ucar und Uysal sowie von Memon et al. abgrenzt, da diese mit Fernröntgenseitenbildern erstellt wurden, welche lediglich zweidimensionale Bilder des Pharynx liefern (Ucar und Uysal 2011, Memon et al. 2012). Die DVT-Aufnahmen wurden in der vorliegenden Arbeit am sitzenden Patienten erstellt, wodurch die Vergleichbarkeit mit Studien, wie u.a. die von Shigeta et al. schwierig sind, da diese in Rückenlage aufgenommen wurden aber der Atemwegwiderstand von der Körperlage beeinflusst wird (Shigeta et al. 2008a). Patienten mit OSAS weisen im Wachzustand sowohl im Sitzen als auch im Liegen im Vergleich zu Gesunden einen erhöhten Atemwegwiderstand auf. Dieser ist während des Schlafes in Rückenlage höher als in Seitenlage (Amis et al. 1999, Verin et al. 2002, Strauss und Wang 2012). Ursache dafür ist eine physiologische reversible Umverteilung von Flüssigkeitsansammlungen aus den unteren Extremitäten in den Hals- und Nackenbereich bei einem Wechsel von aufrechter in liegender Körperposition mit resultierender Einengung des Pharynx (Shiota et al. 2007).

Ferner wird beim DVT durch die Fixierung der Patienten im Kephalostat möglichen Verzerrungen durch Bewegungen vorgebeugt. Insbesondere bei Prozessen des Zungengrundes, des Mundbodens und des Pharynx sollten die Untersuchungszeiten möglichst kurz gehalten werden, da wiederholtes Schlucken oder Bewegungen des Patienten zu erheblichen Artefakten in der Bildgebung führen (Schwenzer und Ehrenfeld 2000).

Die Aufnahmezeit des Mesantis line ist mit fünf bis 26,9 Sekunden länger als beim konventionellen Fernröntgenseitenbild, jedoch annähernd gleich im Vergleich zum CT (Spiral-CT OK 19,3 Sekunden, Spiral-CT UK 14,3 Sekunden) (Pasler und Visser 2000). Es besteht zudem eine geringere Gefahr der räumlichen Verzerrung beim DVT im Gegensatz zum CT, da die Bewegung beim DVT zu einer schlechteren Auflösung führt, wohingegen sie beim CT die räumliche Zuordnung der einzelnen Schichten zueinander und damit auch die geometrische Genauigkeit beeinflusst (Meissen et al. 2004). Eine Einschränkung des DVT stellt jedoch die Wirkung von Metallartefakten im Gegensatz zum CT dar. Diese kann beim DVT

ausgeprägter sein und sich störend auf die Volumenberechnung auswirken (Zhang et al. 2007). Einer der wichtigsten positiven Aspekte des DVT ist aber die geringere Strahlenbelastung im Vergleich zum CT (Ludlow und Ivanovic 2008).

Die vom DVT erstellten DICOM Daten wurden für die kephalometrische Analyse mit der Software fr-win (Computer Konkret) ausgewertet. Bei der kephalometrischen Analyse wurde ausschließlich auf vertikale Parameter Bezug genommen und die Einstufung in ein entsprechendes Wachstumsmuster erfolgte in Anlehnung an das von Sander et al. 2011 entwickelte Prognoseschema. Dabei wurde auf fünf relevante Messwerte Bezug genommen, sodass die endgültige Analyse auf vier Winkel und einer Ratio basierte. Wiesen drei von fünf Werten auf einen Wachstumstyp hin, so wurde der Proband diesem zugeordnet. Probanden, die keiner Gruppe zugeordnet werden konnten, wurden in der statistischen Analyse nicht berücksichtigt, sodass sich für die Untersuchung der Hypothese zwei die Probandenanzahl auf 176 reduzierte. Die Studie setzt sich damit von den bisherigen, wie beispielsweise die von Ucar und Uysal oder Memon et al. ab, da dort nur einzelne vertikale Parameter als ausschlaggebender Faktor der vertikalen Analyse herangezogen wurden (Ucar und Uysal 2011, Memon et al. 2012).

Die Bestimmung des posterioren Atemwegsvolumens erfolgte mit der Software InVivo Version 5 (Anatomage Inc., San Jose, USA). Die Festlegung der Grenzen für die Volumenbestimmung der posterioren Atemwege orientierte sich zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse an die Studien von Shigeta et al. 2008b. Durch den hohen Kontrast zwischen Haut- und Weichgewebe, beziehungsweise Luft- und Weichgewebe, ließen sich die knöchernen Messpunkte am Übergang Luft zu Weichgewebe sehr gut identifizieren. Dabei stellt die obere Begrenzung die Verlängerung der Spina-Ebene und die untere Grenze die Spitze der Epiglottis dar. Andere Studien wie Memon et al. nahmen die Verlängerung des weichen Gaumens als obere und den Kreuzungspunkt der hinteren Grenze der Zunge mit dem unteren Rand des Unterkiefers als untere Begrenzung (Memon et al. 2012). Grauer et al. bezogen sich in ihrer Studie auf die Verlängerung der Spina nasalis posterior mit dem unteren medialen Rand des ersten Halswirbels als obere Begrenzung und den unteren Rand des dritten Halswirbels als untere Begrenzung (Grauer et al. 2009). Diese Unterschiede in der Festlegung der Grenzen zeigen deutlich die Problematik der Vergleichbarkeit der verschiedenen Studien.

Die statistische Analyse erfolgte mit der Software SPSS Version 20 und diente dem Vergleich der erhobenen Messergebnisse. Für die deskriptiven Statistiken wurden für die einzelnen untersuchten Parameter die Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima berechnet. Diese dienen dem Verständnis der Datenlage und sind Grundlage für die Prüfung der aufgestellten Hypothesen. Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der angewandten Messmethode wurde mit Hilfe des Methodenfehlers nach Mueller und Martorell ermöglicht. Der Bland-Altman-Plot und der Scatterplot dienen der graphischen Darstellung der Ergebnisse.

Um die Mittelwerte der ermittelten posterioren Atemwegsvolumina miteinander zu vergleichen, wurde auf die Standardmethode des T-Tests zurückgegriffen. Mit Hilfe des T-Tests können zwei Merkmale miteinander verglichen werden. Für den Vergleich mehrerer Merkmale wurde die einfaktorielle Varianzanalyse verwendet. Als Voraussetzung dieser Tests gilt die Varianzgleichheit, welche mit Hilfe der Levene-Statistik überprüft wird. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde standardmäßig $\alpha = 0,05$ gewählt. P-Werte wurden berechnet wobei $p < 0,05$ bedeutete, dass die Nullhypothese verworfen werden konnte. Für die visuelle Darstellung der deskriptiven Statistiken wurde auf die Methode des Boxplots zurückgegriffen. Mit der Bestimmung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson und der Durchführung des dazugehörigen Signifikanztests konnte eine Einschätzung des linearen Zusammenhangs der Merkmale vorgenommen werden.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Intraindividuelle Reproduzierbarkeit der Volumenbestimmung

Zur Überprüfung der Reliabilität wurden im Abstand von jeweils 30 Tagen 30 DVTs, die zufällig ausgewählt wurden vom gleichen Untersucher noch zweimal vermessen. Ziel war es, möglichst zuverlässige Messungen zu erhalten, welche eine gute Reproduzierbarkeit belegen. Da es keinen Referenzwert gibt, musste der wahre Wert aus den Einzelmessungen geschätzt werden. Er entspricht dem Mittelwert der Messungen. Methodisch ist es daher sinnvoll mindestens drei Einzelmessungen durchzuführen. Durch den großen zeitlichen Abstand zwischen den drei Einzelmessungen herrschten zudem vergleichbare Bedingungen für eine

objektive Beurteilung und Vermessung. Zur Quantifizierung der Reliabilität wurde der Methodenfehler nach Mueller und Martorell (1988) berechnet, da Dahlbergs (1940) Formel nur für zwei Messreihen definiert ist.

Der Methodenfehler beträgt $\delta_{MM} = 0,49 \text{ cm}^3$. Man kann demnach von einer guten Reliabilität sprechen, da der errechnete Wert unter eins liegt. Da die Formel von Mueller und Martorell nur den zufälligen Fehler untersuchen, wurde zusätzlich die Bland-Altman-Methode angewandt, denn es ist ebenso wichtig die Differenzen zwischen den Einzelmessungen zu betrachten, sowie deren Mittelwert und Standardabweichung. Hier können folglich der zufällige und der systematische Fehler untersucht werden. Die Limits of Agreement ($+0,8547744 \text{ cm}^3$ und $-0,9391744 \text{ cm}^3$) liegen im zuvor festgelegten Toleranzbereich von $\pm 1 \text{ cm}^3$, womit die Reproduzierbarkeit belegt ist. Ghoneima und Kula unterstützen diese Ergebnisse. Auch sie schreiben der DVT eine hohe Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit zu (Ghoneima und Kula 2011).

5.2.2. Korrelation zwischen Gesichtsschädeltypen und Volumen

In der vorliegenden Arbeit konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Wachstumsmustern bezüglich ihrer posterioren Atemwegsvolumina festgestellt werden. Die einfaktorielle Varianzanalyse bestätigte dies mit einer Signifikanz von $p = 0,671$. Das Ergebnis unterstützt die Aussagen von Grauer et al., auch wenn sie nur einen vertikalen Parameter (Verhältnis Bizygomatiklinie zu Nasion-Menton-Linie) als ausschlaggebenden Faktor für die Einstufung in ein Wachstumsmuster wählten (Grauer et al. 2009). Es muss weiterhin erwähnt werden, dass Grauer et al. sich ausschließlich auf Erwachsene bezogen. Wang et al. fanden bei der Untersuchung von Erwachsenen eine Beziehung des Atemwegsraumes zum GoGn-SN-Winkels. Der Atemwegsraum war kleiner in der Gruppe mit großem Winkel. Zu beachten ist hier jedoch, dass sie sich ausschließlich auf gesunde Probanden chinesischer Herkunft mit skelettaler Klasse II bezogen (Wang et al. 2014). Die Auswahl in dieser Studie erfolgte zufällig, sodass ethnische oder medizinische Hintergründe nicht bekannt waren.

Ucar und Uysal sowie Memon et al. kamen hingegen bei der Untersuchung von Kindern zu dem Ergebnis, dass es einen Zusammenhang zwischen vertikalen Parametern und orofazialen Atemwegsdimensionen gibt. Hyperdivergente Kinder

zeigten einen statistisch signifikant kleineren oberen Atemwegsquerschnitt. Insgesamt stützten sie sich ebenfalls nur auf einzelne vertikale Parameter. Des Weiteren basieren diese Studien auf FRS-Aufnahmen (Ucar und Uysal 2011, Memon et al. 2012).

Die Ergebnisse lassen Vermutungen auf Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern zu. Es muss demnach darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der Altersspanne von sieben bis 67 Jahren viele Probanden in dieser Studie noch Wachstumspotential hatten.

Vergleicht man in der vorliegenden Arbeit jedoch die Minima und Maxima der einzelnen Gruppen, lassen sich auch hier keine Rückschlüsse ziehen, dass Probanden mit vertikalem Wachstumsmuster ein kleineres posteriores Atemwegsvolumen aufweisen. Denn im Gegenteil, die Gruppe der vertikalen Probanden weist mit $3,9 \text{ cm}^3$ um $0,3$ bis $0,5 \text{ cm}^3$ bei den Minima und mit $37,4 \text{ cm}^3$ um 7 bis $8,5 \text{ cm}^3$ bei den Maxima sogar größere Werte im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen auf, wobei der Maximalwert ($37,4 \text{ cm}^3$) der Gruppe der Vertikalen durch Ausreißer zustande kommt.

Zudem muss beachtet werden, dass bei der Betrachtung der einzelnen vertikalen Parameter nicht ein einzelner Wert für die Einstufung in ein Wachstumsmuster verantwortlich ist. Vielfach weisen verschiedene vertikale Parameter auf unterschiedliche Wachstumsmuster hin. In der vorliegenden Arbeit konnten 36 Probanden keinem Wachstumstyp zugeordnet werden, da die einzelnen Werte auf unterschiedliche Wachstumsmuster hinwiesen. Sie wurden in der statistischen Analyse nicht berücksichtigt. Für die Einstufung in ein bestimmtes Wachstumsmuster sollten folglich mehrere vertikale Parameter herangezogen werden.

5.2.3. Korrelation zwischen Geschlecht und Volumen

Der Vergleich der einzelnen Mittelwerte der posterioren Atemwegsvolumina zwischen Männern und Frauen mit Hilfe des T-Tests zeigt mit $p = 0,57$ keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Auch bei der Unterscheidung in den Altersgruppen < 17 und ≥ 17 Jahre sind mit $p = 0,206$ und $p = 0,454$ keine signifikanten Unterschiede nachweisbar. Die Mittelwertunterschiede sind mit $0,563 \text{ cm}^3$ in der gesamten Probandengruppe, mit $1,256 \text{ cm}^3$ bei den < 17 -Jährigen und mit $1,224 \text{ cm}^3$ bei den ≥ 17 -Jährigen gering.

Chiang et al. kamen 2012 zu zum Teil gegenteiligen Ergebnissen. Sie fanden heraus, dass Jungen und Mädchen im Alter von sieben bis 11 Jahren ähnliche Volumina aufweisen. Bei den Älteren wiesen jedoch die Jungen ein größeres Atemwegsvolumen auf als Mädchen, wobei bei der Betrachtung der Mittelwerte auch hier die Unterschiede mit 0,428 bis 2,145 cm³ gering ausfallen.

Zudem muss beachtet werden, dass Chiang et al. in ihrer Studie ausschließlich gesunde Kinder, ohne Atemprobleme, pathologische Veränderungen oder kraniofaziale Operationen untersuchten (Chiang et al. 2012).

Alves et al. wiesen 2011 ebenfalls keine signifikanten Unterschiede der Atemwegsvolumina bezüglich des Geschlechts nach. Sie bezogen sich in ihrer Studie jedoch nur auf Kinder mit Mund- und Nasenatmung (Alves et al. 2011).

Shigeta et al. untersuchten in ihrer Studie 38 Erwachsene und kamen zu dem Ergebnis, dass Männer im Vergleich zu Frauen ein größeres unteres okklusales Atemwegsvolumen aufweisen ($p = 0,003$). Zu beachten ist hier die kleine Probandenzahl im Vergleich zu vorliegender Studie. Des Weiteren waren die Probanden ausschließlich japanischer Herkunft und wiesen einzelne kraniofaziale pathologische Befunde, wie OSA, Schnarchen, Unterkieferfrakturen oder Malokklusionen auf. In der vorliegenden Studie sind keine pathologischen Auffälligkeiten sowie die Herkunft der Probanden bekannt. Zudem wurden die CT-Aufnahmen bei Shigeta et al. in liegender Position aufgenommen, die DVT-Aufnahmen dieser Studie jedoch im sitzen (Shigeta et al. 2008b).

5.2.4. Korrelation zwischen Alter und Volumen

Der postulierte positive Zusammenhang zwischen Alter und Volumen der posterioren Atemwege konnte mit $p = 0,000$ bestätigt werden. Mit $r = 0,316$ besteht ein moderater Zusammenhang zwischen Alter und posteriorem Atemwegsvolumen.

Auch Chiang et al. bestätigen in ihrer Studie einen fast linearen Anstieg des Atemwegsvolumens bei den Mädchen im Alter von acht bis 18 Jahren. Bei den Jungen steigt das Atemwegsvolumen von acht bis zehn Jahren ebenfalls nahezu linear an und nimmt dann von 11 bis 18 Jahren mit einer höheren Anstiegsrate als bei den Frauen zu (Chiang et al. 2012).

In der vorliegenden Studie kann bei beiden Geschlechtern eine Zunahme des posterioren Atemwegsvolumens mit steigendem Alter beobachtet werden. Der

Anstieg des posterioren Atemwegsvolumens nimmt mit Zunahme des Alters einen logarithmischen Verlauf ein. Des Weiteren zeigt der Verlauf bis zum 20. Lebensjahr einen höheren Anstieg im Vergleich zu den höheren Altersklassen. Im Vergleich zu der Studie von Chiang et al. 2012 erfolgte die Auswahl der Probanden zufällig und es gab keine Hinweise auf schlafmedizinische Auffälligkeiten, kieferorthopädische Therapie oder sonstige pathologische Befunde, was den Unterschied in der Anstiegsrate zwischen männlichen und weiblichen Probanden in der Studie von Chiang et al. 2012 erklären würde. Chiang et al. 2012 schlossen Probanden mit schlafmedizinischen Auffälligkeiten, Atemproblemen, kraniofazialen Befunden u.a. aus.

5.3. Schlussfolgerungen

Gegenstand der Arbeit war die Untersuchung der Beziehung des posterioren Atemwegsvolumens zum Gesichtsschädelaufbau bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen auf der Basis der dentalen Volumentomographie. Damit sollte herausgefunden werden, ob das Gesichtsschädelwachstum das Atemwegsvolumen beeinflusst und folglich Rückschlüsse auf ein erhöhtes Risiko für OSAS zulässig sind. Auf diese Weise sollte ein Beitrag zu einer verlässlichen Früherkennung geleistet werden.

Im Folgenden werden die in der Fragestellung gestellten Hypothesen anhand der ermittelten Ergebnisse beantwortet.

1. Die quantitative digitale Erfassung der posterioren Atemwege ist intraindividuell zuverlässig möglich.

Die Hypothese konnte bestätigt werden. Der Methodenfehler nach Mueller und Martorell ergab $\delta_{MM} = 0,49 \text{ cm}^3$. Im Bland-Altman-Plot lagen die Limits of Agreement im zuvor festgelegten Toleranzbereich von $\pm 1 \text{ cm}^3$.

Die Bestimmung der posterioren Atemwegsvolumina bezogen auf die Verlängerung der Spina nasalis posterior und der Spitze der Epiglottis belegten damit eine gute Reproduzierbarkeit. Sie können demnach zur Erfassung der posterioren Atemwege empfohlen werden.

2. Es bestehen Unterschiede zwischen den Gesichtsschädeltypen bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege.

Unter der Einbeziehung der vier verschiedenen Winkel und dem Gesichtshöhenverhältnis im Vergleich zu den in vorherigen Studien gefundenen Messungen mit nur einem Winkel konnte ein Zusammenhang zwischen den Gesichtsschädeltypen und dem posterioren Atemwegsvolumen nicht festgestellt und die entsprechende Hypothese insofern nicht bestätigt werden ($p = 0,671$). In der vorliegenden Studie konnte ein Einfluss des Gesichtsschädeltyps auf das posteriore Atemwegsvolumen nicht festgestellt werden. Bei der Analyse konnten 36 Probanden keinem Wachstumstyp zugeordnet werden, da die einzelnen Werte auf unterschiedliche Wachstumsmuster hinwiesen. In weiterführenden Studien sollten folglich mehrere Werte oder Parameter für die Einstufung in ein Wachstumsmuster herangezogen werden. Es ist durchaus möglich, dass eine Untersuchung, die auf einem Vergleich zwischen gesunden und kranken Probanden (mit OSAS) oder zwischen Kindern und Erwachsenen basiert, Zusammenhänge zwischen Gesichtsschädelwachstumstypen und dem posterioren Atemwegsvolumen liefert.

3. Es bestehen geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege.

Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen bezüglich des Volumens der posterioren Atemwege waren nicht festzustellen ($p = 0,57$). Ebenso wenig konnten Unterschiede bei der Differenzierung in die Alterseinteilung der unter und über 17-Jährigen erkannt werden ($p = 0,206$ und $p = 0,454$).

4. Je älter die Patienten sind, desto größer ist das Volumen der posterioren Atemwege.

Es konnte ein positiver Zusammenhang zwischen dem Alter und dem posterioren Atemwegsvolumen festgestellt werden. Mit zunehmendem Alter steigt das posteriore Atemwegsvolumen an ($p = 0,000$). Der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson betrug $r = 0,316$. Es besteht ein moderater Zusammenhang zwischen Alter und posteriorem Atemwegsvolumen. Dies findet in der wissenschaftlichen Literatur zu vergleichbaren Fragestellungen Unterstützung.

Primäre Zielstellung der Arbeit war, einen Beitrag zur Früherkennung von OSAS auf der Grundlage eines angedachten Zusammenhanges zwischen Wachstumstyp und posteriorem Atemwegsvolumen zu leisten. Ein solcher Zusammenhang konnte nicht bestätigt werden. Allerdings zeigte die Untersuchung, dass das Vorhandensein einer DVT-Aufnahme eine schnelle Berechnung des posterioren Atemwegsvolumens zulässt. Da ein kleines posteriores Atemwegsvolumen prädisponierend für OSAS ist, kann ein tatsächlicher Beitrag zur Früherkennung in der kieferorthopädischen Praxis geleistet werden, indem bei vorhandenen DVT-Aufnahmen routinemäßig das Atemwegsvolumen mitbestimmt wird.

Zur Diagnostik von OSAS kann hervorgehoben werden, dass bisher die Polysomnographie als Standard in der Diagnostik gilt. Diese ist jedoch sehr zeitaufwändig und kostenintensiv. Zudem ist deren Indikation durch die Richtlinie zu Untersuchungs- und Behandlungsmethoden der vertragsärztlichen Versorgung eingeschränkt. Die DVT bietet in der dreidimensionalen Darstellung der posterioren Atemwege mit hoher Aufnahmequalität eine weitaus strahlenärmere Methode als das CT und stellt damit eine suffiziente und effektive Möglichkeit dar, bei Patienten ein erhöhtes Risiko für OSAS diagnostizieren zu können. Darüber hinaus zeigt diese Arbeit, dass das DVT eine zuverlässige Berechnung des posterioren Atemwegsvolumens zulässt und so einen guten Beitrag zur Früherkennung leistet.

6. Literaturverzeichnis

- Abramson, Z.; Susarla, S.; August, M.; Troulis, M.; Kaban, L. 2010.** Three-dimensional computed tomographic analysis of airway anatomy in patients with obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg.* 68(2):354-62. 2010. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20116708>.
- Alsufyani, N.A.; Flores-Mir, C.; Major, P.W. 2012.** Three-dimensional segmentation of the upper airway using cone beam CT: a systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology.* 41(4):276-84. 2012.
- Alves, M.Jr.; Baratieri, C.; Nojima, L.I.; Nojima, M.C.; Ruellas, A.C. 2011.** Three-dimensional assessment of pharyngeal airway in nasal- and mouth-breathing children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 75(9):1195-1199. 2011. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21764464>.
- Alves, M.Jr.; Franzotti, E.S.; Baratieri, C.; Nunes, L.K.; Nojima, L.I.; Ruellas, A.C. 2012.** Evaluation of pharyngeal airway space amongst different skeletal patterns. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 41(7):814-819. 2012. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22365893>.
- Amis, T.C.; O'Neill, N.; Wheatley, J.R. 1999.** Oral airway resistance during wakefulness in patients with obstructive sleep apnoea. *Thorax.* 54(5):423-426. 1999.
- Arnheiter, C.; Scarfe, W.C.; Farman, A.G. 2006.** Trends in maxillofacial cone-beam computed tomography usage. *Oral Radiology.* 22(2):80-85. 2006.
- Bacon, W.H.; Turlot, J.C.; Krieger, J.; Stierle, J.L. 1990.** Cephalometric evaluation of pharyngeal obstructive factors in patients with sleep apneas syndrome. *The Angle Orthodontist.* 60(2):115-122. 1990.
- Baulig, C.; Bierbrauer, J.; Deetjen, W.; Kamps, N.; Lutz, J.; Modrack, M.; Mühlbauer, W.; Sebastian, H.; Vasseur, M.; Dzluk, M. 2006.** *Arbeitshilfe - Schlafbezogene Athmungsstörung.* 2006. erstellt durch die Sozialmedizinische Expertengruppe "Versorgungsstrukturen" (SEG-3) der MDK-Gemeinschaft.
- Bixler, E.O.; Vgontzas, A.N.; Lin, H.M.; Liao, D.; Calhoun, S.; Vela-Bueno, A.; Fedok, F.; Vlastic, V.; Graff, G. 2009.** Sleep disordered breathing in children in a general population sample: prevalence and risk factors. *Sleep.* 32(6):731-6. 2009. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19544748>.

- Bixler, E.O.; Vgontzas, A.N.; Lin, H.M.; Ten Have, T.; Rein, J.; Vela-Buenos, A.; Kales, A. 2001.** Prevalence of sleep-disordered breathing in women: effects of gender. *Am Respir Crit Med.* 163(3 Pt 1):608-13. 2001. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11254512>.
- Bland, J.M., Altman, D.G. 1999.** *Measuring agreement in method comparison studies.* 1999. pp. 135-160.
- Bland, J.M., Altman, D.G. 1986.** *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.* 1986. pp. 307-310.
- Boenninghaus, H-G.; Lenarz, T.; 2004.** *HNO.* 12. Auflage. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2004. pp. 231-233.
- Bortz, J. 2005.** *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler.* 6. Auflage. Heidelberg : Springer Verlag, 2005.
- Bumann, A. 2009.** DVT- Für und Wider aus Sicht des Anwenders. *ZWP Online, Kieferorthopädie Nachrichten.* Nr.4. 2009. Available: http://www.zwp-online.info/archiv/pub/sim/kn/2009/kn0409/kn0409_08_bumann.pdf.
- Bumann, A.; Hauser, C.; Richter, V.; Nitka, M. 2011.** Röntgen in der KFO-analog, digital und 3-D. *ZWP online.* 2011. Available: <http://www.zwp-online.info/de/fachgebiete/kieferorthopaedie/diagnostik/roentgen-der-kfo-analog-digital-und-3-d-1>.
- Bumann, A.; Wiemer, K.; Staribratova-Reister, K.; El-Teter, N.; Kamp, N.; 2008.** Die digitale Volumentomographie - klinisch unterschätzt und wissenschaftlich überschätzt? *ZMK.* 24(4):214-225. 2008.
- Chiang, C.C.; Jeffres, M.N.; Miller, A.; Hatcher, D.C. 2012.** Three-dimensional airway evaluation in 387 subjects from one university orthodontic clinic using cone beam computed tomography. *The Angle Orthodontist.* 82(6):985-992. 2012.
- Cistulli, P.A. 1996.** Craniofacial abnormalities in obstructive sleep apnoea: implications for treatment. *Respirology.* 1(3):167-74. 1996. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9424392>.
- Cohenca, N.; Simon, J.H.; Roges, R.; Morag, Y.; Malfaz, J.M. 2007.** Clinical indication for digital imaging an dento-alveolar trauma. Part 1: traumatic injuries. *Dental Traumatology.* 23(2):95-104. 2007.
- Dahlberg, G. 1940.** *Statistical Methods for Medical and Biological Students.* New York: Interscience Publications. 1940.

- De Vos, W.; Casselman, J.; Swennen, G.R. 2009.** Cone beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 38(6):609-25. 2009.
- Döriges, V.; Byhahn, C.; Krier, C. 2009.** *Memorix Atemwegsmanagement*. s.l. : Georg Thieme Verlag, 2009. pp. 1-12.
- Ehrl, P.A.; Hassel, A.; Heinemann, F.; Holst, St.; Kern, M.; Krauß, A.; Neumeier, P.; Oberhuber, J.; Schneider, R.; Schweiger, J.; Strahinovic, S-J.; Straubinger, A.; Schulze, D.; Schünemann, J.; Wiesend, M. 2010.** Marktübersicht "Digitale Volumetomografen". *Digitale Technologien Handbuch*. 2010, pp. 70-76.
- Fagala, K.D.; Streight, R.A.; Harris, E.F. 2011.** Growth of the nasopharynx: a three dimensional CBCT study. *International Association for Dental Research*. General Session 90:1518. 2011. Available: <http://iadr.confex.com/iadr/2011sandiego/webprogram/Paper147624.html>.
- Ghoneima, A.; Kula, K. 2011.** Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for airway volume analysis. *European Journal of Orthodontics*. 2011, pp. 1-6.
- Grauer, D.; Cevdanes, L.S.H.; Styner, M.A.; Ackerman, J.L.; Proffit, W.R. 2009.** Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: Relationship to facial morphology. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 136(6):805-814. 2009.
- Guijarro-Martinez, R.; Swennen, G.R. 2013.** Three dimensional cone beam computed tomography definition of the anatomical subregions of the upper airway: a validation study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 42(9):1140-9. 2013. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23623785>.
- Haak, R.; Wicht, M.J.; Ritter, L.; Kuskis, P.; Noack, M. 2006.** Cone beam tomography for the detection of approximal carious cavitation. *Caries Research*. (34):103-108. 2006.
- Hashimoto, K.; Kawashima, S.; Kameoka, S.; Akiyama, Y.; Honjaya, T.; Ejima, K.; Sawada, K. 2007.** Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography. *Dentillomaxillofacial Radiology*. 36(8):465-71. 2007.

- Hirsch, E.; Wolf, U.; Heinicke, F.; Visser, H.; Alves Garcia da Silva, M. 2008.** Untersuchungen zur Dosisbelastung bei der DVT. *Digital Dental News*. 2. Jahrgang. 2008, pp. 6-11.
- Holberg, C.; Rudzki-Janson, I. 2007.** Kephalemetrie-Quo Vadis? 3D-Kephalemetrie-kritische Auseinandersetzung mit einem vielversprechendem Ansatz. *BZB Bayerisches Zahnärzteblatt*. 5:33-35. 2007.
- Honey, O.B.; Scarfe, W.C.; Hilgers, M.J.; Klueber, K.; Silveira, A.M.; Haskell, B.S.; Forman, A.G. 2007.** Accuracy of cone beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 132(4):429-38. 2007. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17920495>.
- Hong, J.S.; Oh, K.M.; Kim, B.R.; Kim, Y.J.; Park, Y.H. 2011.** Three-dimensional analysis of pharyngeal airway volume in adults with anterior position of the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 140(4):e161-9. 2011. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21967954>.
- Kahl-Nieke, B. 2001.** *Einführung in die Kieferorthopädie*. 2. Auflage. München, Jena : Urban&Fischer, 2001. pp. 137-144.
- Kamp, N.; Drechsler, T.; Frank, E.; Bumann, A. 2007.** Kieferorthopädische Behandlungsplanung als rechtfertigende Indikation für die digitale Volumentomographie. *41. Jahrestagung der AG für Röntgenologie in der DGZMK*. Berlin : s.n., 2007.
- Kau, C.H.; Richmond, S.; Palomo, J.M.; Hans, M.G. 2005.** Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *Journal of Orthodontics*. 32(4):282-293. 2005.
- Kim, Y.J.; Hong, J.S.; Hwang, Y.I.; Park, Y.H. 2010.** Three-dimensional analysis of pharyngeal airway in preadolescent children with different anteroposterior skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20197163>.
- Konietzko, N.; Teschler, H.; Freitag, L. 1998.** *Schlafapnoe*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York : Springer Verlag, 1998. p. 13.
- Liang, X.; Jacobs, R.; Hassan, B.; Li, L.; Pauwels, R.; Corpas, L.; Souza, P.C.; Martens, W.; Shabazian, M.; Alonso, A.; Lambrichts, I. 2010a.** A comparative evaluation of Cone Beam Computed tomography (CBCT) and Multi-Slice CT

(MSCT). Part I: On subjective image quality. *European Journal of Radiology*. 75(2):265-269. 2010a.

Liang, X.; Lambrichts, I.; Sun, Y.; Denis, K.; Hassan, B.; Li, L.; Pauwels, R.; Jacobs, R. 2010b. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II: On 3D model accuracy. *European Journal of Radiology*. 75(2):270-274. 2010b.

Ludlow, J.B.; Davies-Ludlow, L.E.; White, S.C. 2008. Patient Risk Related to Common Dental Radiographic Examinations: The Impact of 2007 International Commission on Radiological Protection Recommendations Regarding Dose Calculation. *The Journal of the American Dental Association*. 139(9):1237-43. 2008.

Ludlow, J.B.; Ivanovic, M. 2008. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral and Maxillofacial Radiology*. 106(1):104-14. 2008.

Meissen, R.J.; Krekeler, G.; Lüth, T. 2004. Genauigkeit der navigierten Implantatchirurgie mit dem Robodent-System auf der Grundlage einer radiologischen Untersuchung mittels digitaler Volumetomographie (DVT). *Quintessenz Implantologie*. 12(4):389-400. 2004.

Memon, S.; Fida, M.; Shaikh, A. 2012. Comparison of different craniofacial patterns with pharyngeal widths. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 22(5):302-6. 2012.

Mozzo, P.; Procacci, C.; Tacconi, A.; Martini, P.T.; Bergamo Andreis, I.A. 1998. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology*. 8:1558-1564. 1998.

Mueller, W.H., Martorell, R. 1988. *Reliability and Accuracy of Measurement*. 1988. pp. 83-86, Chapter 6.

N.N. 2014a. *MESANTIS line*. 2014a. <http://www.mesantis.com/>.

N.N. 2014b. *Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses zu Untersuchungs- und Behandlungsmethoden der vertragsärztlichen Versorgung*. 2014b. pp. 16-18.

N.N. 2008. Strahlung/Strahlenschutz Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz. *Bundesamt für Strahlenschutz*. 2008, pp. 26-29.

Nötzel, F.; Schultz, C. 2009. *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik*. 2. Auflage. s.l. : Deutscher Zahnärzterverlag, 2009. pp. 53-92.

- Ogawa, T.; Enciso, R.; Clark, G.T. 2007.** Evaluation of Cross-section Airway Configuration of Obstructive Sleep Apnea. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 103(1):102-108. 2007.
- Ogawa, T.; Enciso, R.; Memon, A.; Mah, J.K.; Clark, G.T. 2005.** Evaluation of 3D airway imaging of obstructive sleep apnea with cone-beam computed tomography. *Stud Health Technol Inform*. 111:365-368. 2005. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15718761>.
- Oh, K.M.; Hong, J.S.; Kim, Y.J.; Cevdanes, L.S.H.; Park, Y.H. 2011.** Three-dimensional analysis of pharyngeal airway form in children with anteroposterior facial patterns. *The Angle Orthodontist*. 81(6):1075-82. 2011.
- Pasler, F.A.; Visser, H. 2000.** Zahnmedizinische Radiologie-Bildgebende Verfahren. *Farbatlanten der Zahnmedizin*. 2. Auflage. Stuttgart, New York : Thieme, 2000, Vol. 5.
- Peltonen, L.I.; Aarnisalo, A.A.; Käser, Y.; Kortensniemi, M.K.; Robinson, S.; Suomalainen, A.; Jero, J. 2009.** Cone-beam computed tomography: a new method for imaging of the temporal bone. *Acta Radiol*. 50(5):543-8. 2009. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19353342>.
- Periago, D.R.; Scarfe, W.C.; Moshiri, M.; Scheetz, J.P.; Silveira, A.M.; Farman, A.G. 2008.** Linear Accuracy and Reliability of Cone Beam CT Derived 3-Dimensional Images Constructed Using an Orthodontic Volumetric Rendering Program. *The Angle Orthodontist*. 78(3):387-395. 2008.
- Punjabi, N. M. 2008.** The Epidemiology of Adult Obstructive Sleep Apnea. *Proceedings of the American Thoracic Society*. Nr.5. 2008, pp. 136-143.
- Rakosi, T. 1988.** *Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse*. 2. Auflage. München, Wien : Hanser, 1988.
- Redline, S.; Tishler, PV. 2000.** The genetics of sleep apnea. *Sleep Med Rev*. 4(6):583-602. 2000. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12531037>.
- Rudolf, M.; Kuhlisch, W. 2008.** *Biostatistik: Eine Einführung für Biowissenschaftler*. München : Pearson Studium, 2008.
- Sami, E.; Gebhart, F.; Sagheb, K.; Draenert, F.G. 2008.** Weichteildarstellung auf Basis von DICOM-Daten dentaler DVT-Geräte. *Digital Dental News*. 2. Jahrgang. 2008, pp. 14-18.

- Sander, F.G.; Schwenger, N.; Ehrenfeld, M. 2011.** *Zahn-Mund-Kieferheilkunde Kieferorthopädie*. 2. Auflage. Stuttgart, New York : Georg Thieme Verlag, 2011. pp. 15-43.
- Sander, F.G.; Schwenger, N.; Ehrenfeld, M. 2011.** *Zahn-Mund-Kieferheilkunde Kieferorthopädie*. 2. Auflage. Stuttgart, New York : Georg Thieme Verlag, 2011. p. 39 Befundbogen.
- Scarfe, W.C.; Farman, A.G. 2008.** What is cone-beam CT and how does it work? *The Dental Clinics of North America*. 52(4):707-30. 2008.
- Scherer, P.; Ritter, L.; Neugebauer, J.; Mischkowski, R.A.; Zöller, J.E. 2008.** Indikationen für die digitale Volumentomographie. *ZM Zahnärztliche Mitteilungen*. Heft 6. 2008, pp. 46-53.
- Schwenger, N.; Ehrenfeld, M. 2000.** *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde*. 1 Allgemeine Chirurgie. Stuttgart, New York : Georg Thieme Verlag, 2000. pp. 261-266.
- Shi, H.; Scarfe, W.C.; Farman, A.G. 2006.** Upper airway segmentation and dimensions estimation from cone-beam CT image datasets. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 1:177-186. 2006.
- Shigeta, Y.; Enciso, R.; Ogawa, T.; Shintaku, WH., Clark, GT. 2008a.** Correlation between retroglossal airway size and body mass index in OSA and non OSA patients using cone beam CT imaging. *Sleep Breath*. 12(4):347-52. 2008. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18446397>.
- Shigeta, Y.; Ogawa, T.; Venturin, J.; Nguyen, M.; Clark, G.T.; Enciso, R. 2008b.** Gender-and age-based differences in computerized tomographic measurements of the oropharynx. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology and endodontics*. 106(4):563-70. 2008.
- Shiota, S.; Ryan, C.M.; Chiu, K.L.; Ruttanaumpawan, P.; Haight, J.; Arzt, M.; Floras, J.S.; Chan, C.; Bradley, T.D. 2007.** Alterations in upper-airway cross-sectional area in response to lower body positive pressure in healthy subjects. *Thorax*. 62(10):868-872. 2007.
- Soumalainen, A.; Kiljunen, T. Käser, Y.; Peltola, J.; Kortensniemi, M. 2009.** Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dentillomaxillofacial Radiology*. 38(6):367-78. 2009.

- Stradling, J.R.; Crosby, J.H. 1991.** Predictors and prevalence of obstructive sleep apnoea and snoring in 1001 middle aged men. *Thorax*. 46(2):85-90. 1991. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2014507>.
- Stratemann, S.A.; Huang, J.C.; Maki, K.; Miller, A.J.; Hatcher, D.C. 2008 .** Comparison of cone beam computed tomography imaging with physical measures. *Dentillomaxillofacial Radiology*. 37(2):80-93. 2008 .
- Strauss, R.A.; Wang, N. 2012.** Cone beam computed tomography and obstructive sleep apnoea. *Australien Dental Journal*. 57(1 Suppl.):61-71. 2012.
- Strohl, K. P.; Redline, S. 1996.** Recognition of Obstructive Sleep Apnea. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. Nr.154. 1996, pp. 279-289.
- Suomalainen, A.; Vehmas, T.; Kortesiemi, M.; Robinson, S.; Peltola, J. 2008.** Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. *Dentillomaxillofacial Radiology*. 37(1):10-7. 2008.
- Thoma, M. 2015.** 2015. <http://martin-thoma.com/einfuehrung-in-die-stochastik/>.
- Tishler, PV.; Larkin, EK.; Schluchter, MD.; Redline, S. 2003.** Incidence of sleep-disordered breathing in an urban adult population: the relative importance of risk factors in the development of sleep-disordered breathing. *JAMA*. 289(17):2230-7. 2003. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12734134>.
- Ucar, F.I.; Uysal, T. 2011.** Orofacial airway dimensions in subjects with class I malocclusion and different growth patterns. *The Angle Orthodontist*. 81(3):460-468. 2011.
- Vandenberghe, B.; Jacobs, R.; Yang, J. 2008.** Detection of periodontal bone loss using digital intraoral and cone beam computed tomography images: an in vitro assessment of bony and/or infrabony defects. *Dentillomaxillofacial Radiology*. 37(5):252-260. 2008.
- Verin, E.; Tardif, C.; Buffet, X.; Marie, J.P.; Lacoume, Y.; Andrieu-Guitrancourt, J.; Pasquis, P. 2002.** Comparison between anatomy and resistance of upper airway in normal subjects, snorers and OSAS patients. *Respiration Physiology*. 129(3):335-343. 2002.

- Voßhans, J.; Hümmeke, S.; Wiesend, M.; Esser, E. 2005.** Genaue Lagebestimmung der unteren Achter prae operationem. *ZM Zahnärztliche Mitteilungen*. Heft 2. 2005, pp. 32-36.
- Walz, G. 2004.** *Lexikon der Statistik*. s.l. : Elsevier GmbH, 2004.
- Wang, T.; Yang, Z.; Yang, F.; Zang, M.; Zaho, J.; Chen, J.; Li, J. 2014.** A Three Dimensional Study of Upper Airway in Adult Skeletal Class II Patients with Different Vertical Growth Patterns. *PLoS One*. 9(4):e95544. 2014. Available: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0095544>.
- Wiater, A.; Paditz, E.; Schlüter, B.; Scholle, S.; Niewerth, H-J.; Schäfer, T.; Erler, T.; Schachinger, H. 2002.** Obstruktives Schlafapnoesyndrom im Kindesalter. *Deutsches Ärzteblatt*. Nr.49. 2002, pp. A3324-3330.
- Young, T.; Palta, M.; Dempsey, J.; Skatrud, J.; Weber, S.; Badr, S. 1993.** The occurrence of sleep-disordered breathing among middle-aged adults. *N Engl J Med*. 328(17):1230-5. 1993. Available: <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8464434>.
- Young, T.; Shahar, E.; Nieto, F.J.; Redline, S.; Newman, A.B.; Gottlieb, D.J.; Walsleben, J.A.; Finn, L.; Enright, P.; Samet, J.M. 2002.** Predictors of sleep-disordered breathing in community-dwelling adults: the Sleep Heart Health Study. *Arch Intern Med*. 162(8):893-900. 2002. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11966340>.
- Zhang, Y.; Zhang, L.; Zhu, X.R.; Lee, A.K.; Chambers, M.; Dong, L. 2007.** Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*. 67(3):924-932. 2007.

7. Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Annika Czaika versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Korrelation zwischen Gesichtsschädelaufbau und posteriorem Atemwegsvolumen auf der Basis von dentaler Volumentomographie und Fernröntgen-Analyse“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§ 156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 3. November 2015

Annika Czaika

Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Annika Czaika hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation: Eine Veröffentlichung mit dem Titel „Different growth pattern in correlation to the posterior airway volume on the basis of Cone-beam computed tomography and the lateral cephalometric analysis“ in dem Journal „American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics“, ist in Vorbereitung.

Berlin, den 3. November 2015

Annika Czaika

8. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Axel Bumann für die wissenschaftliche Betreuung von der Themenerstellung bis zur Fertigstellung. Seine wertvollen Anregungen haben maßgeblich zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen.

Ich danke außerdem dem Team von Mesantis für die stets hilfreiche und freundliche Unterstützung bei technischen Fragen. Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Erik Kirst und Frau Alexandra Klemm für die fachlichen Ratschläge bei statistischen Problemen bedanken.

Ganz besonders danke ich meinem Partner Burghard Genz, der die Höhen und Tiefen, die mit einer Dissertation verbunden sind, geduldig begleitet und wertvolle Hilfestellungen geleistet hat. Außerdem danke ich meiner Tante Dr. Lydia Scholz für ihre hilfreichen Korrekturanmerkungen, sowie meinen Eltern Bernd und Sigrun Czaika und meinen Großeltern, die mich während meiner gesamten Ausbildung unterstützt haben.

10. Anhang

10.1. Abkürzungsverzeichnis

<u>Abkürzung</u>	<u>Bedeutung</u>
AHI	Apnoe-Hypopnoe-Index
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANB	Winkel zwischen den Punkten Subspinale Nasion und Supramentale
ArGoMe	Winkel zwischen den Punkten Artikulare, Gonion und Menton
BMI	Body-Mass-Index
CBCT	Cone-beam computed tomography
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
CT	Computertomographie
DRTA	Dentalradiologisch-technische Assistenten
DVT	Dentale Digitale Volumentomographie
EEG	Elektroenzephalografie
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyografie
EOG	Elektrookulografie
FOV	Field of View
FRS	Fernröntgenseitenbild
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
MF	Methodenfehler
ML-NL	Winkel zwischen Mandibularebene und Spinaebene
ML-NSL	Winkel zwischen Mandibularebene und vorderer Schädelbasis
N.N.	Nomen Nominandum

N-Me	Vordere Gesichtshöhe (Strecke zwischen den Punkten Nasion und Menton)
NSGn	Winkel zwischen vorderer Schädelbasis und Gnathion-Punkt
OPG	Orthopantomogramm
OSAS	Obstruktives-Schlafapnoe-Syndrom
SBAS	Schlafbezogene Atemstörung
S-Go	Hintere Gesichtshöhe (Strecke zwischen den Punkten Sella und Gonion)
SN-GoGn	Winkel zwischen vorderer Schädelbasis und den Verbindungspunkten Gonion und Gnathion
SN-MP	Winkel zwischen vorderer Schädelbasis und Mandibular-Planum
vs.	versus

10.2. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Stufendiagnostikverfahren nach § 3 Richtlinie Methoden vertragsärztliche Versorgung (N.N. 2014)	9
Tab. 2: Tabellarische Darstellung der Geschlechts- und Altersverteilung der untersuchten Patienten	23
Tab. 3: Tabellarische Darstellung der technischen Daten des DVT-Scanners MESANTIS line (Ehrl et al. 2010)	25
Tab. 4: Tabellarische Darstellung der fünf untersuchten vertikalen Parameter nach Sander et al. 2011	28

10.3. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung effektiver Dosen verschiedener DVT-Geräte (grün, gelb) und Computertomographen (rot) nach IRCP 2007 (Bumann 2009)	14
Abb. 2: Spezifischer DVT-Scanner MESANTIS line (Sonderedition des iCAT platinum, Fa. ISI, Hatfield, USA) (N.N. 2014a)	24
Abb. 3: Graphische Darstellung von kephalometrischen Bezugspunkten und -linien eines Fernröntgenseitenbildes eines Patienten zur Interpretation des Schädels in der Sagittalen und Vertikalen	27
Abb. 4: Zwei-dimensionale Darstellung zweier DVT-Datensätze mit Einfärbung der posterioren Atemwegsvolumina zweier Patienten. Links ein sehr eingeengtes und rechts ein normales posteriores Atemwegsvolumen. Die Messung erfolgte von der Spina-Ebene bis zur Spitze der Epiglottis	29
Abb. 5: Graphische Darstellung eines Boxplots mit seinen Begrenzungen (Thoma 2015)	32
Abb. 6: Graphische Darstellung eines Scatterplots mit Winkelhalbierender. Alle Messungen liegen auf der Winkelhalbierenden, was die Reproduzierbarkeit unterstreicht.	36
Abb. 7: Bland-Altman-Plot mit den Limits of Agreement (+0,8547744 und -0,9391744), welche in dem zuvor festgelegten Toleranzbereich ($\pm 1 \text{ cm}^3$) liegen.	37
Abb. 8: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens der drei Gesichtsschädeltypen in Form von Boxplots. Die Boxplots der drei Gesichtsschädeltypen unterscheiden sich unwesentlich voneinander.	39

- Abb. 9: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht aller Probanden in Form von Boxplots. Der Unterschied zwischen Männern und Frauen war statistisch nicht signifikant ($p = 0,57$). 40
- Abb. 10: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht in der Gruppe der < 17 -Jährigen in Form von Boxplots. Der Unterschied zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht war nicht signifikant ($p = 0,206$). 41
- Abb. 11: Vergleich des posterioren Atemwegsvolumens zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht in der Gruppe der ≥ 17 -Jährigen in Form von Boxplots. Der Unterschied zwischen weiblichem und männlichem Geschlecht war nicht signifikant ($p = 0,454$). 42
- Abb. 12: Graphische Darstellung der posterioren Atemwegsvolumina der einzelnen Probanden in Beziehung zu ihrem Alter. Die logarithmischen Trendlinien zeigen einen Anstieg des posterioren Atemwegsvolumens mit Zunahme des Alters. 44
- Abb. 13: Graphische Darstellung der Beziehung der Mittelwerte des posterioren Atemwegsvolumens und der Altersklassen zwischen männlichem und weiblichem Geschlecht. Mit zunehmendem Alter steigt das posteriore Atemwegsvolumen beider Geschlechter statistisch signifikant an. 45

10.4. Verwendete Formelzeichen

<u>Formelzeichen</u>	<u>Bedeutung</u>
δ_D	Methodenfehler nach Dahlberg
δ_{MM}	Methodenfehler nach Mueller und Martorell
Σ	Summe
d	Differenz der Messungen
n	Gesamte Anzahl der Probanden
r	Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson
x	Messwert
k	Anzahl der Messungen

p	Signifikanzwert
α	Signifikanzniveau
i	1 bis n = Zählwert
j	1 bis k = Zählwert

10.5. Liste der verwendeten Materialien

DVT-Gerät „MESANTIS line“, eine Sonderedition „des iCAT platinum“, Fa. ISI, Hatfield, USA

InVivo Version 5, 3D Imaging Software, Anatomage Inc., San Jose, USA

fr-win, KFO Diagnostik Software, Computer Konkret