

Aus dem Institut für Klinische Epidemiologie und Biometrie
der Universität Würzburg

Vorstand: Univ. Prof. Dr. med. Peter U. Heuschmann

Sind Halswirbel zur Alters- und Reifeschätzung in der Medizin geeignet?

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Miriam Yvonne Fischer
aus Nürnberg

Würzburg, September 2019



Referent: Prof. Dr. Dr. Götz Gelbrich

Korreferenten: Priv.-Doz. Dr. Norbert Hofmann

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung 16. Oktober 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Bedeutung der Wachstumsanalyse in der Kieferorthopädie	1
1.2	Methoden der Reifebestimmung	4
1.2.1	Handwurzelknochen	4
1.2.1.1	Handröntgenanalyse nach Björk	5
1.2.1.2	Handröntgenanalyse nach Fishman	9
1.2.2	Halswirbelsäule	12
1.2.3	Mineralisationsstadien der Zähne	14
1.3	Fragestellung: Sind Halswirbel zur Alters- und Reifeschätzung in der Medizin geeignet?	17
2	Material und Methoden	18
2.1	Datenerfassung	18
2.2	Fernröntgenseitenaufnahme	20
2.3	Anatomie der Halswirbel	22
2.4	Analysemethoden anhand des FRS	24
2.4.1	Analyse nach Hassel und Farman	24
2.4.2	Analyse nach Baccetti	28
2.4.3	Computerbasierte Analyse	37
2.5	Statistik	44
3	Ergebnisse	45
3.1	Ergebnisse der computerbasierten Analyse	45
3.1.1	Ausprägung der Wirbelkörpermerkmale	45
3.1.2	Auswertung nach Baccetti und Hassel-Farman	48
3.1.3	Vergleich der Ergebnisse bei Kindern und Erwachsenen	50
3.2	Ergebnisse der visuellen Analyse	55
3.2.1	Auswertung nach Hassel und Farman	56
3.2.2	Auswertung nach Baccetti	58
3.2.3	Intrabeobachterreliabilität	60
4	Diskussion	67
4.1	Ergebnisse der computerbasierten Analyse	69
4.2	Ergebnisse der visuellen Analyse	75

Inhaltsverzeichnis

4.3	Intrabeobachterreliabilität.....	78
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	79
6	Literaturverzeichnis.....	81
7	Anhang	

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CVM	cervical vertebrae maturation
CVMI	cervical vertebrae maturation indices
CVMS	cervical vertebrae maturation stages
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
FRS	Fernröntgenseitenaufnahme
OPG	Orthopantomogramm
SMI	skeletal maturity indicators
C2	zweiter Halswirbel, Axis
C3	dritter Halswirbel
C4	vierter Halswirbel
Tab.	Tabelle
Vgl.	Vergleich

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Mittelwerte einzelner Halswirbelmerkmale und zugehörige Standardabweichungen.....	46
Tab. 2	Anzahl aller Erwachsenen, die die vorgegebenen Kriterien der Halswirbelgeometrie erfüllen.....	49
Tab. 3	95% Konfidenzintervalle (2,5 – 97,5 Perzentil) der metrischen Charakteristika der Halswirbel bei Erwachsenen und Kindern.....	51
Tab. 4	Häufigkeiten der Stadien nach Hassel und Farman bei Männern und Frauen.....	56
Tab. 5	Häufigkeiten der Stadien nach Hassel und Farman bei Kindern.....	57
Tab. 6	Häufigkeiten der Stadien nach Baccetti unter Männern und Frauen.....	58
Tab. 7	Häufigkeiten der Stadien nach Baccetti bei Kindern.....	59
Tab. 8	Übereinstimmung 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farman bei Adulten....	60
Tab. 9	Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farman bei Adulten.....	61
Tab. 10	Cohen's Kappa bei der Auswertung nach Hassel und Farman bei Adulten.....	62
Tab. 11	Übereinstimmung 1. Und 2. Durchgang nach Baccetti bei Adulten.....	62
Tab. 12	Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Baccetti bei Adulten.....	63
Tab. 13	Cohen's Kappa bei der Auswertung nach Baccetti bei Adulten.....	64
Tab. 14	Übereinstimmung 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farman bei 8-10Jährigen.....	64
Tab. 15	Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farmen bei 8-10Jährigen.....	65
Tab. 16	Übereinstimmung 1. und 2. Durchgang nach Baccetti et al. bei 8-10Jährigen.....	66
Tab. 17	Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Baccetti et al. bei 8-10Jährigen.....	66

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Durchschnittliche Wachstumskurve von Mädchen und Jungen in Anlehnung an die Messungen von Hägg und Taranger.....	2
Abb. 2	Handröntgenanalyse nach Björk.....	7
Abb. 3	Lokalisation der Bezugspunkte nach der SMI Stadieneinteilung.....	9
Abb. 4	Sichtbares Sesamoid als Wegweiser.....	11
Abb. 5	Stadium 1 Initiation.....	25
Abb. 6	Stadium 2 Acceleration.....	25
Abb. 7	Stadium 3 Transition.....	26
Abb. 8	Stadium 4 Deceleration.....	26
Abb. 9	Stadium 5 Maturation.....	27
Abb. 10	Stadium 6 Completion.....	27
Abb. 11	Schema der kephalometrischen Analyse.....	30
Abb. 12	CVMS I nach Baccetti.....	32
Abb. 13	CVMS II nach Baccetti.....	33
Abb. 14	CVMS III nach Baccetti.....	34
Abb. 15	CVMS IV nach Baccetti.....	35
Abb. 16	CVMS V nach Baccetti.....	36
Abb. 17	Computerbasierte Analyse OnyxCeph ³ ™2D-Pro mit dem Zusatzmodul Leipziger Halswirbel.....	38
Abb. 18	Analyseschema der computerbasierten Datenauswertung.....	40
Abb. 19	Analyseschema, gemessene Strecken und Winkel.....	42
Abb. 20	Kumulative Verteilung der Charakteristika bei Erwachsenen und Kindern.....	53
Abb. 21	FRS eines 24-jährigen Patienten.....	69
Abb. 22	FRS dreier Männer im Alter von 43, 54 und 20 Jahren (v.l.n.r.).....	72
Abb. 23	Männlicher Patient, 8. und 12. Lebensjahr (v.l.n.r.).....	73
Abb. 24	Männlicher Patient, 15. und 23. Lebensjahr (v.l.n.r.).....	73
Abb. 25	FRS einer 33-jährigen Patientin.....	77

1 Einleitung

1.1 Bedeutung der Wachstumsanalyse in der Kieferorthopädie

Die Wachstumsanalyse spielt seit jeher eine große Rolle in der kieferorthopädischen Behandlung. Der Erfolg der funktionskieferorthopädischen Therapie kann maßgeblich vom zu erwartenden Restwachstum bei Behandlungsbeginn abhängen.

Je nach Behandlungszeitpunkt unterscheidet man zwischen Früh-, Haupt- und Spätbehandlung. Dabei liegen verschiedene Wachstumsphasen vor, wodurch auch unterschiedliche Behandlungskonzepte in Erwägung gezogen werden müssen. Von Frühbehandlung spricht man bei Behandlungsbeginn im Milchgebiss bis hin zur Ruhephase nach der ersten Wechselgebissphase. Dies beschreibt in der Regel den Zeitraum nach der Geburt bis zum Einsetzen der zweiten Wechselgebissphase. Therapien im nahezu vollständigen bleibendem Gebiss werden hingegen als Spätbehandlungen bezeichnet. Das Wachstumsmaximum ist hier bereits überschritten und die 2. Molaren sind bereits durchgebrochen. Die Hauptbehandlung findet während der zweiten Wechselgebissphase statt, im Alter von circa 11 bis 15 Jahren, da hier in der Regel der Wachstumsschub unmittelbar bevorsteht und die Funktionskieferorthopädie am wirkungsvollsten eingesetzt werden kann [1].

Das Wachstum unterliegt individuellen Phasen der Beschleunigung und der Verlangsamung. Dabei spielen die skelettale Reife und das dentale Alter eine dem chronologischen Alter übergeordnete Rolle, was die Wachstumsanalyse in der Kieferorthopädie umso wichtiger macht [2, 3]. Der maximale Wachstumsschub bei Mädchen wird von Hägg und Taranger in einem Alter von ca. 12 Jahren gesehen, bei Jungen findet er hingegen erst um das 14. Lebensjahr statt [2]. Abbildung 1 zeigt den Kurvenverlauf des Wachstums mit zunehmendem Alter. Es wurde in Anlehnung an die Werte von Hägg und Taranger erstellt.

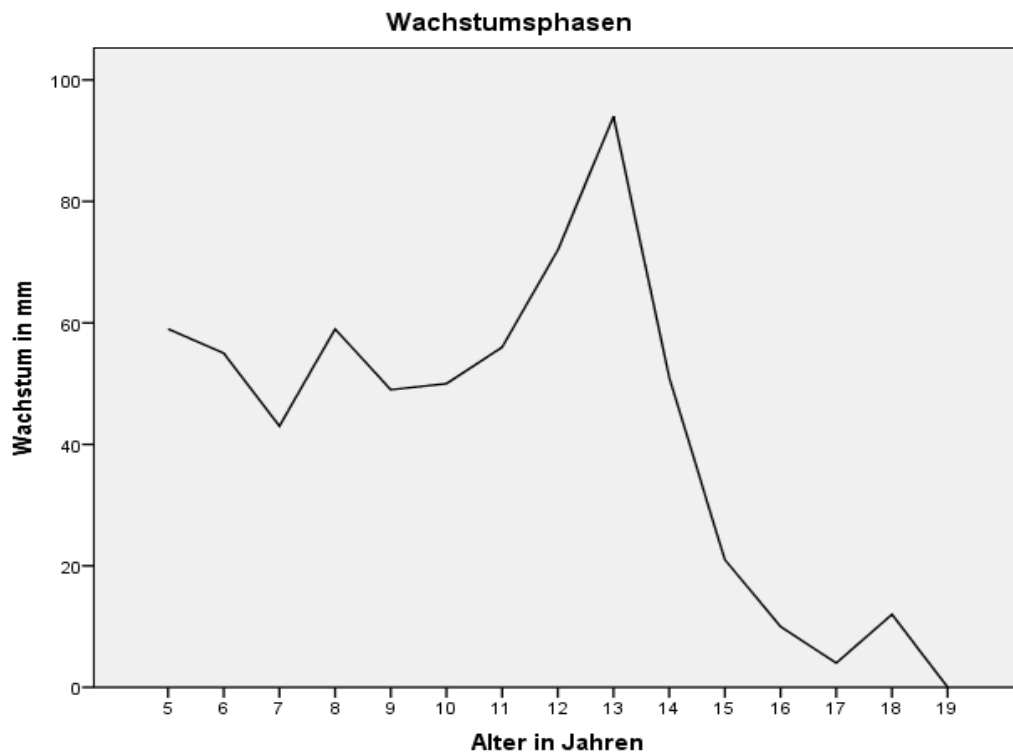


Abbildung 1: Durchschnittliche Wachstumskurve von Mädchen und Jungen in Anlehnung an die Messungen von Hägg und Taranger [2], x-Achse: Alter in Jahren, y-Achse: Größenwachstum in mm pro Jahr

Je nach Anomalie und deren Schwere werden von der DGZK unterschiedliche Zeitpunkte als optimaler Behandlungsbeginn definiert [1]. Während bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte oder Syndromen ein Behandlungsbeginn im Säuglingsalter indiziert ist, werden lediglich Dysgnathien mit progredienter Tendenz oder wachstumshemmender Auswirkungen bereits im Milchgebiss oder frühen Wechselgebiss behandelt. Davon abgesehen empfiehlt sich der Behandlungsbeginn erst ab der zweiten Wechselgebissphase, um die Behandlungsdauer nicht unnötig in die Länge zu ziehen. Eine Behandlung im Erwachsenenalter, bei abgeschlossenem Wachstum, kann aus prothetischen, parodontologischen oder auch ästhetischen Aspekten indiziert sein. Aber auch bei ausgeprägten Dysgnathien, die durch rein konservative Behandlungsansätze nicht ausreichend therapiert werden können, ist das Wachstumsende abzuwarten, um anschließend kieferorthopädisch-chirurgisch vorzugehen.

Ebenso nimmt die Altersschätzung eine große Rolle in der Forensik ein. Da durch zunehmende Migration die Personalien ausländischer Jugendlicher in Deutschland nicht immer vollständig aufgenommen werden können, oder nicht bekannt sind, treten bei Vormundschaftsangelegenheiten und Strafverfahren Probleme auf [4]. Auch innerhalb des Asylverfahrens ist das Alter alleinreisender Jugendlicher von großer Bedeutung. Jugendliche vor Vollendung des 16. Lebensjahres werden in Jugendhilfen untergebracht, während Jungen und Mädchen, die das 16. Lebensjahr bereits vollendet haben in Asyl-Sammelstellen untergebracht werden [4].

Die deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin hat hierzu Empfehlungen zur Altersschätzung veröffentlicht. Ermittelt werden dabei zum einen körperliche Indikatoren, wie beispielsweise die Größe und das Gewicht, zum anderen aber auch der vollständige Zahnstatus der zu untersuchenden Jugendlichen [4]. Im Falle eines laufenden Strafverfahrens werden zusätzlich radiologische Untersuchungen empfohlen, dazu zählen eine Handröntgenaufnahme der linken Hand, ein röntgenologischer Zahnstatus sowie eine Röntgendiagnostik der Clavicula [5]. Zur Diskussion stünde hier nun zusätzlich die Anwendbarkeit der Halswirbelmethode als Reifeindikator.

1.2 Methoden der Reifebestimmung

Die skelettale Reife des Menschen variiert nach der biologischen Uhr jedes Individuums [6]. Es treten abwechselnd Phasen der Beschleunigung und der Verlangsamung auf [7, 8]. Das chronologische Alter kann dabei nur als grobe Orientierungshilfe dienen, viel wichtiger ist der individuelle skelettale Entwicklungsstand, der durchaus vom chronologischen Alter abweichen kann [9, 10]. Da diese Reife ein ausschlaggebender Faktor für den Erfolg der funktionskieferorthopädischen Behandlung ist [11, 12], sollte vor dem Behandlungsbeginn das skelettale Alter bestimmt werden. Dies kann beispielsweise anhand der Körpergröße [13], des Körpergewichts [14], der dentalen Entwicklung [15], der Halswirbelmorphologie [6] oder der skelettalen Reife der Handwurzelknochen erfolgen [3, 16]. Im Rahmen dieser Studie sollen die drei letzten Methoden noch einmal näher erläutert werden.

1.2.1 Handwurzelknochen

Es konnte bewiesen werden, dass das skelettale Reifestadium der Handwurzel und Finger mit dem allgemein zu erwartenden skelettalen Wachstum korreliert [12, 16, 17]. So stellten Hägg und Taranger 1980 beispielsweise einen Bezug zwischen dem Größenwachstum und der skelettalen Entwicklung der Handwurzelknochen fest. Heute ist eine Handröntgenaufnahme dann indiziert, sobald der Entwicklungsstand des Patienten durch andere Methoden nicht eindeutig festgestellt werden kann, er jedoch ausschlaggebend für die Wahl der Therapie ist [18]. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn das chronologische Alter stark vom dentalen Alter abweicht.

Bei der Beurteilung der skelettalen Reife mittels einer Handröntgenaufnahme können individuelle Wachstumsstadien bestimmt werden. Hierbei werden die lokalisierten Verknöcherungsstadien skelettaler Anteile der Handwurzel und Finger analysiert, die Form der Knochen sowie auch die Beschaffenheit der Epiphysen.

1.2.1.1 Handröntgenanalyse nach Björk

Björk untersuchte in einer Längsschnittstudie bei Mädchen und Jungen im Alter von neun bis sechzehn Jahren diese Merkmale. Dieser Altersrahmen wurde gewählt, um zeitlich mit höchster Wahrscheinlichkeit im Bereich des puberalen Wachstumsschubes zu liegen. Bei der Auswertung der Handröntgenaufnahmen konzentrierte er sich dabei zum einen auf das Verhältnis zwischen Dia- und Epiphyse der ersten, zweiten und dritten Phalanx und zum anderen auf die sichtbare Verknöcherung ausgewählter Handwurzelknochen. Daraus erstellte er eine Klassifizierung, die bis dato als Meilenstein der Reifebestimmung angesehen werden kann. Er definierte die Stadien „=“, für den Fall, dass die Epi- und Diaphyse gleich groß sind, „cap“, wenn die Epiphyse die Diaphyse umschließt und „u“ für ‚unit‘, sobald die Epi- und Diaphyse miteinander verknöchert sind. Zum anderen betrachtete er auch die Kalzifizierung und damit die Sichtbarkeit des Sesambeins auf den Röntgenaufnahmen. Daraus entwickelte Björk eine Einteilung, die neun unterschiedliche Stadien umfasst:

- 1.PP2= Epi- und Diaphyse der proximalen Phalanx des Zeigefingers sind gleich breit, geringe Wachstumsgeschwindigkeit, vor dem maximalen Längswachstum
- 2.MP3= Epi- und Diaphyse der medianen Phalanx des Mittelfingers sind gleich breit, maximales Längenwachstum bevorstehend
- 3.Pisi/H1/R= sichtbare Verknöcherung des Os pisiforme / beginnende Verknöcherung des Hamulus (Os hamatum) / gleiche Breite von Epi- und Diaphyse des Radius
- 4.S/H2 Sichtbare Verknöcherung des Sesamoids am Daumen/ Verknöcherung des Hamulus (Os hamatum) deutlich abgrenzbar

5. MP3cap/PP1cap/Rcap

Diaphyse der medianen Phalanx des Mittelfingers wird von der Epiphyse umkapselt / Diaphyse der medianen Phalanx des Daumens wird von der Epiphyse umkapselt / Diaphyse des Radius wird von der Epiphyse umkapselt, Phase des maximalen Längenwachstums

6.DP3u Epi- und Diaphyse der distalen Phalanx des 3. Fingers sind vereinigt, maximales Längenwachstum

7.PP3u Epi- und Diaphyse der proximalen Phalanx des 3. Fingers sind vereinigt

8.MP3u Epi- und Diaphyse der medianen Phalanx des 3. Fingers sind vereinigt, Wachstumsmaximum überschritten

9.Ru Epi- und Diaphyse am Radius sind vereinigt, Wachstumszunahme abgeschlossen

Hx umschreibt den Zeitpunkt des maximalen Längenwachstum, der unmittelbar auf das Stadium „S“ folgt, er ist jedoch röntgenologisch nicht sichtbar

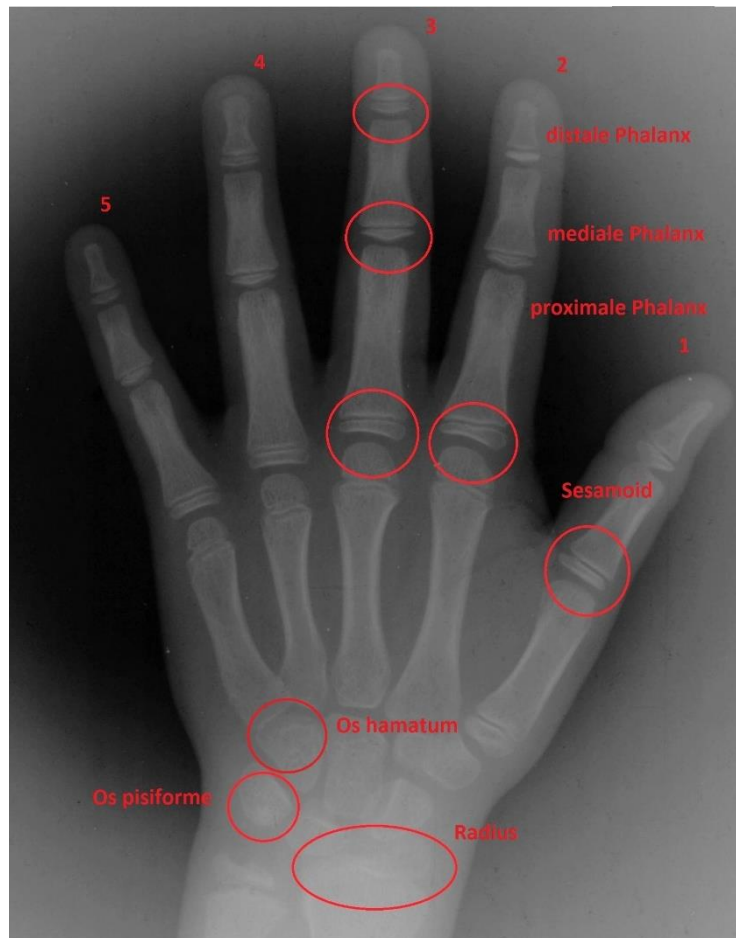


Abbildung 2: Handröntgenanalyse nach Björk, zur besseren bildlichen Darstellung hinsichtlich Kontrast und Helligkeit mit dem Programm Picasa 3.9 Build bearbeitet

Im Jahr 1959 erstellten Greulich und Pyle einen radiologischen Atlas zur Bestimmung der Reife anhand von Handröntgenaufnahmen [17]. Sie sammelten von 1931 bis 1942 von 1000 Jungen und Mädchen im Alter von 0 bis 18 Jahren in festgelegten zeitlichen Abständen Röntgenbilder und erstellten daraus einen möglichst repräsentativen Bildatlas. Dieser dient für jedes Alter zwischen 0 und 18 Jahren als Vergleichsgrundlage um eigens angefertigte Röntgenaufnahmen altersentsprechend einordnen zu können.

Neben Björk und Pyle beschäftigte sich auch Fishman mit der Handröntgenmethode. Er definierte dabei 11 unterschiedliche Stadien zur Beurteilung des skelettalen Alters, der sogenannte skeletal maturation index, kurz SMI [3]. Dieser bezieht sich auf vier separate Ossifikationsstadien, die an sechs unterschiedlichen Lokalisationen des Handskeletts

bestimmt werden. Dabei handelt es sich um das Sesamoid, den Radius, die distale, mittlere und proximale Phalanx des dritten Fingers sowie die mittlere Phalanx des kleinen Fingers. In den folgenden Kapiteln soll noch näher auf diese Stadieneinteilung eingegangen werden.

1.2.1.2 Handröntgenanalyse nach Fishman

Fishman unterschied bei seiner Bewertung der Handröntgenbilder vier verschiedene Ossifikationsstadien und untersuchte diese an sechs verschiedenen Lokalisationen des linken Handskeletts. Darunter zählten Daumen, Mittelfinger sowie kleiner Finger und Radix der linken Hand.



Abbildung 3: Lokalisation der Bezugspunkte nach der SMI Stadieneinteilung

Die vier Ossifikationsstadien teilte Fishman wie folgt ein:

- A Breite der Epiphyse gleich der Diaphyse
- B Sichtbare Ossifikation des Sesamoids
- C „Capping“ der Epiphyse
- D Verschmelzung von Dia- und Epiphyse

Dabei ist ein fortschreitender Prozess von A, der sich langsam verbreiternden Epiphyse, bis hin zu D, der kompletten Verschmelzung von Dia- und Epiphyse, zu beobachten. Fishman analysierte diese vier Ossifikationsstadien an den oben genannten sechs unterschiedlichen Lokalisationen und erstellte daraus die skeletal maturation indicators.

SMI Stadieneinteilung nach Fishman:

A Die Breite der Epiphyse entspricht der der Diaphyse

1. Proximale Phalanx des dritten Fingers
2. Mittlere Phalanx des dritten Fingers
3. Mittlere Phalanx des fünften Fingers

B Ossifikation

4. Sichtbare Ossifikation des Sesamoids am linken Daumen

C „Capping“ der Epiphyse

5. Distale Phalanx des dritten Fingers
6. Mittlere Phalanx des dritten Fingers
7. Mittlere Phalanx des fünften Fingers

D Verschmelzung von Epi- und Diaphyse

8. Distale Phalanx des dritten Fingers
9. Proximale Phalanx des dritten Fingers
10. Mittlere Phalanx des dritten Fingers
11. Radius

Die Beurteilung des Sesamoids kann als erste Entscheidungshilfe dienen, so ist bei einem sichtbarem Sesamoid davon auszugehen, dass das Stadium A bereits abgeschlossen ist und mit hoher Wahrscheinlichkeit Ossifikationsstadium C oder D vorliegt. Bei nicht sichtbarem Sesamoid kann nur mit verbreiterten Epiphysen gerechnet werden.



Abbildung 4: Sichtbares Sesamoid als Wegweiser

1.2.2 Halswirbelsäule

Zur Bestimmung der skelettalen Reife steht auch die Analyse der Halswirbelkörper, die cervical vertebrae maturation method, kurz CVM-Methode genannt, zur Diskussion. Hierbei wird in der Kieferorthopädie auf eine routinemäßig angefertigte Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) zurückgegriffen, wodurch die Handröntgenaufnahme entfallen und eine zusätzliche Strahlenbelastung des Patienten vermieden werden könnte [8]. Die Wirbelkörper werden hierbei vor allem auf ihre Form und die Ausbildung einer Konkavität der Unterseite der Halswirbelkörper untersucht [6, 7, 11, 19].

Lamparski war im Jahr 1972 einer der ersten Wissenschaftler, der sich mit der Altersbestimmung anhand der Halswirbelsäule auf Fernröntgenseitenaufnahmen beschäftigte und dabei erste Standards festlegte [20]. Er verglich die bis dahin gängigen Methoden der Reifebestimmung mittels Handröntgenaufnahmen, beispielweise von Greulich und Pyle [17], mit altersentsprechenden Fernröntgenseitenaufnahmen. Bei der Analyse der Halswirbel stellte er fest, dass vor allem die zunehmende Höhe der Wirbelkörper und die Ausbildung einer Konkavität an der Unterseite der Halswirbel Indikatoren für fortschreitendes skelettales Wachstum sind. Lamparski definierte für Männer und Frauen getrennt jeweils sechs Reifestadien anhand seiner Beobachtungen vom zweiten bis zum sechsten Wirbelkörper. Er erkannte bei seinen Untersuchungen, dass weibliche Patienten den männlichen in ihrer Entwicklung zeitlich voraus sind.

1988 untersuchten O'Reilly & Yanniello die Altersbestimmung nach der Bewertung der Halswirbelmorphologie. Als Grundlage dienten Fernröntgenseitenaufnahmen von 13 kaukasischen Mädchen zwischen neun und fünfzehn Jahren. Sie setzten dabei die Gesamtkieferlänge, Korpuslänge und Ramushöhe in Relation zu den CVM-Stadien nach Lamparski. Hierbei konnte eine signifikante Übereinstimmung festgestellt werden [19].

Eine aktuelle Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife anhand der Halswirbel geht auf Hassel und Farman zurück [6]. Da aufgrund des Thyroidschutzes der fünfte und sechste Halswirbel häufig nicht mehr deutlich auf den FRSen abgebildet sind,

beschränkten sie sich erstmals auf den zweiten bis vierten Halswirbel und formulierten sechs Stadien, die sowohl für Männer als auch Frauen gleichermaßen gelten. In der Studie von Pancherz und Szyska hat sich diese Stadieneinteilung im direkten Vergleich zur Handröntgenmethode nach Hägg & Taranger als ausreichend aussagekräftig erwiesen [21].

Tiziano Baccetti et al. stellten 2002 eine vereinfachte CVM-Klassifizierung vor. Grundlage ihrer Studie war die Einteilung in sechs verschiedene CVMI-Stadien, cervical vertebrae maturation indicators, nach Franchi et al. [22]. Er führte neben der visuellen Beurteilung der Halswirbelkörper auch eine kephalometrische Analyse durch und definierte eine neue Stadieneinteilung. Dabei reduzierte er die Anzahl von bislang sechs CVMI-Stadien auf nur noch fünf, mit der Intention, dem Betrachter dadurch die Evaluation zu erleichtern [11].

Auf die Studien von Hassel Farman und Baccetti et al. [6, 11] soll unter Material und Methoden noch einmal genauer eingegangen werden.

1.2.3 Mineralisationsstadien der Zähne

Das skelettale Alter kann auch anhand der Zähne beurteilt werden. Die gängigen Methoden basieren auf der visuellen Analyse von Orthopantomogrammen, bei der die Zähne unter anderem nach ihrer Erscheinungsform, der Form der Pulpa und dem Grad der Kalzifizierung beurteilt werden [15, 23, 24]. Neben ihrem Stellenwert in der zahnmedizinischen Diagnostik sind diese Vorgehensweisen vor allem auch in der Forensik von Bedeutung.

Eine dieser Methoden wurde 1973 von Demirjian und Goldstein entwickelt. Sie führten ihre Untersuchungen an den Röntgenbildern von 1446 Jungen und 1482 Mädchen im Alter von zwei bis zwanzig Jahren durch. Alle Probanden waren Kanadier französischer Ursprungs. Aus der Analyse der Zähne der linken Unterkieferhälfte, den Weisheitszahn ausgenommen, wurde ein Score-System entwickelt, welches auf das dentale Alter und die skelettale Reife zurückschließen lässt [15].

Jeder Zahn muss innerhalb von acht verschiedenen Stadien, die von „A“ bis „H“ reichen, eingestuft werden. Gibt es für ein Stadium nur ein Kriterium, so muss dieses erfüllt sein, sind es zwei Kriterien a) und b), muss mindestens a) erfüllt sein, bei drei Kriterien a), b) und c) müssen zumindest a) und b) zutreffen. Ist diese Einteilung erfolgt, so kann auf geschlechterspezifischen Score-Tabellen ein zugehöriger Punktwert notiert werden. Dieser Bewertungsvorgang wird bei allen sieben Zähnen einzeln durchgeführt, sodass am Ende sieben Punktwerte miteinander addiert werden können und einen Gesamtscore ergeben. Anhand des Gesamtscores kann wiederum in der entsprechenden Tabelle das dentale Alter abgelesen werden. Das System ist bei Patienten im Alter von 3 bis 17 Jahren anwendbar.

Stadium A: Bei sowohl einwurzeligen als auch mehrwurzeligen Zähnen ist im superioren Anteil der Krypte eine beginnende Verkalkung in Form eines umgekehrten Zapfens sichtbar

Stadium B: Durch die Fusion verkalkter Punkte werden eine oder mehrere Kuppen gebildet, die eine skizzenhafte Kaufläche bilden

Stadium C: a) die Schmelzbildung an der Kaufläche ist abgeschlossen, eine konvergente Verlängerung der Kaufläche nach zervikal ist sichtbar

b) beginnende Dentinablagerungen sind sichtbar

c) die okklusale Begrenzung der Pulpa ist gekrümmt

Stadium D: a) die Kronenbildung ist bis hin zur Schmelz-Zement-Grenze abgeschlossen

b) die superiore Begrenzung der Pulpakammer bei einwurzeligen Zähnen ist gekrümmt und nach zervikal konkav

c) die beginnende Wurzelbildung ist in Form einer Nadel zu sehen

Stadium E: Einwurzelige Zähne

a) die Wände der Pulpahöhle bilden gerade Linien, die durch ein Pulpahorn unterbrochen wird

b) Die Wurzellänge ist kleiner als die Kronenhöhe

Mehrwurzelige Zähne

- a) die beginnende Bildung der radikulären Bifurkation ist in Form eines kalzifizierten Punktes oder halbmondförmig zu sehen
- b) die Wurzellänge ist immer noch kleiner als die Kronenhöhe

Stadium F: Einwurzelige Zähne

- a) die Pulpawände bilden ein gleichschenkliges Dreieck
- b) die Wurzellänge ist größer oder gleich der Kronenhöhe

Mehrwurzelige Zähne

- a) die Kalzifizierung der Bifurkation setzt sich nach radikulär fort und bildet ein tunnelförmiges Ende
- b) die Wurzellänge ist größer oder gleich der Kronenhöhe

Stadium G: Die Wände des Wurzelkanals sind parallel und nach apikal offen

Stadium H: a) der Apex des Wurzelkanals ist verschlossen
b) der Parodontalspalt um die Wurzel und den Apex ist einheitlich breit

In Grenzfällen soll zugunsten des vorangegangenen Stadiums entschieden werden. Bei fehlenden Zähnen das Stadium 0 eingetragen.

1.3 Fragestellung: Sind Halswirbel zur Alters- und Reifeschätzung in der Medizin geeignet?

Die viel diskutierte Halswirbelmethode zur Altersbestimmung in der Kieferorthopädie erfreut sich großen allgemeinen Zuspruchs, vor allem im europäischen Raum. Sie könnte die Handröntgenaufnahme als Goldstandard der kieferorthopädischen Altersdiagnostik ablösen und somit die Anfertigung dieses Röntgenbildes überflüssig machen. Der häufig angebrachte Vorteil, dem Patienten auf diese Weise eine zusätzliche Strahlenbelastung ersparen zu können [21], erscheint jedoch bei einer durchschnittlichen Emission von $1,1\mu\text{Sv}$ pro Aufnahme als wenig entscheidend (vgl.: effektive Dosis eines Flugs von Wien nach New York beträgt in etwa $40\mu\text{Sv}$) [25, 26].

Laut jüngsten Studien wird allerdings auch die Anwendbarkeit dieser Methode angezweifelt [27-33]. Die subjektive Beurteilung einzelner Halswirbelmerkmale ist oft schwierig und kann je nach Betrachter zu unterschiedlichen Stadieneinteilungen führen [28, 29]. Es stellt sich zudem die Frage, ob dieses System auch zur Altersbestimmung bei abgeschlossenem Wachstum geeignet ist, was beispielsweise in der Forensik eine Rolle spielen kann. Bisherige Studien beschränken sich zumeist auf Probanden im Alter um den puberalen Wachstumsschub [6-8, 11, 19].

Die Einordnung der Halswirbel in das finale Reifestadium gestaltet sich als äußerst schwierig, da hierzu mehrere geometrische Merkmale zugleich ausgebildet sein müssen und somit auch berücksichtigt werden müssen. Dies betrifft die Höhe, Breite und zusätzlich die Ausprägung von Konkavitäten. Bei bisherigen Methoden kann das höchste Entwicklungsstadium an einer konkreten Struktur bewertet werden, beispielsweise der geschlossene Apex einer Zahnwurzel bei der dentalen Methode, oder die geschlossene Fuge der Radiusepiphyse bei der Handwurzelmethode.

Diese Studie soll sich explizit mit der Anwendung der CVM Methode im Erwachsenenalter beschäftigen und Aufschluss darüber geben, ob sie im Hinblick der Variationen der Halswirbelmerkmale im ausgereiften Stadium jedes Individuums sinnvoll ist.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerfassung

Als Ausgangsmaterial dieser Studie dienen insgesamt 420 analoge Fernröntgenseitenbilder der Abteilung für Kieferorthopädie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Die Aufnahmen wurden bei einer Auflösung von 300 dpi eingescannt, digitalisiert und in anonymisierter Form abgespeichert.

Dabei wurden Patientenfälle im Zeitraum von 1972 bis 1997 auf das Vorhandensein sowohl einer Fernröntgenseitenaufnahme, als auch einer Handröntgenaufnahme geprüft und demnach selektiert. Letzteres Kriterium diente einem größeren Projekt, auf das in dieser Studie nicht näher eingegangen werden soll.

Bei der Auswahl aller Bilder lag ein großes Augenmerk auf der deutlichen Darstellung der einzelnen Halswirbelkörper. Die Halswirbel C2 bis C4 mussten vollständig abgebildet sein. Es wurde darauf geachtet, dass die Qualität der Bilder eine präzise metrische Analyse erlaubte.

Es wurden die Fernröntgenseitenbilder von 153 Männern und 167 Frauen im Alter von 20 bis 61 Jahren ausgewählt, um sicherzustellen, dass das Körperwachstum der Teilnehmer bereits abgeschlossen ist und somit die maximale skelettale Reife erreicht ist. Syndrom- oder Spaltpatienten wurden zuvor von den Analysen ausgeschlossen.

Für deskriptive Vergleichsanalysen wurde eine zusätzliche Gruppe von jeweils 50 Mädchen und Jungen im Alter von 8 bis 10 Jahren und damit vor dem puberalen Wachstumsspur mit einbezogen.

Die Aufnahmen wurden visuell nach der CVM-Methode nach Hassel und Farman sowie nach der verbesserten Methode nach Baccetti et al. klassifiziert. Diese Bewertung wurde von der Autorin durchgeführt, die vorher mit den jeweiligen Stadieneinteilungen vertraut gemacht wurde. Das chronologische Alter der Probanden war der Autorin dabei nicht bekannt. Nach zwei Wochen wurde der Durchgang an 50 zufällig ausgewählten

Aufnahmen wiederholt, um die Verlässlichkeit der visuellen Bewertung beurteilen zu können.

Zudem erfolgte eine computerbasierte kephalometrische Analyse der Fernröntgenseitenaufnahmen. Zur Überprüfung der Reliabilität der digitalen Analyse wurde ein zweiter Bewertungsdurchgang anhand von 50 zufällig ausgewählten Aufnahmen durchgeführt.

Mit der Bescheinigung Nr. 20170317-01 der Ethik-Kommission der Universität Würzburg ist ein Ethikvotum zur Durchführung dieser Studie nicht erforderlich.

2.2 Fernröntgenseitenaufnahme

Die zu diskutierende Halswirbelmethode zur Bestimmung der skelettalen Reife ist anhand des Fernröntgenseitenbildes möglich.

Das Fernröntgenseitenbild (FRS) wurde erstmals 1931 von Hofrath und Broadbent entwickelt [34] und ist heute eine Aufnahmetechnik, die als wichtiger Bestandteil im Rahmen einer kieferorthopädischen Diagnostik routinemäßig angefertigt wird. Neben ihrer Bedeutung für den Behandlungsbeginn dient sie auch als Verlaufskontrollaufnahme und wird zudem als abschließende Beurteilung des Therapieerfolgs herangezogen.

Bei der Anfertigung des FRS wird der Schädel des Patienten rechtsseitig mit einem Fokus-Objekt-Abstand von 1,5 – 4 m geröntgt. Ein großer Fokus-Objekt-Abstand gewährleistet ein nahezu dimensionsgetreues Bild, was für die Genauigkeit der späteren kephalometrischen Auswertung von großer Bedeutung ist. Der Patient wird dabei in einem Kephalostat positioniert und nimmt seine habituelle Okklusion ein, die Frankfurter Horizontale wird waagrecht justiert. Durch den Gebrauch eines speziellen Weichteilfilters aus Aluminium erreicht man eine deutlichere Darstellung der angrenzenden Weichteile [35].

Die anschließende kephalometrische Analyse der Fernröntgenseitenaufnahme liefert die entscheidenden Kriterien für die weiterführende Diagnostik und Behandlungsplanung.

Die Indikationen eines Fernröntgenseitenbildes sind im Folgenden aufgeführt [36, 37]:

- Schädelbezügliche Lage- und Größenbestimmung der Kieferbasen
- Messung der Achsenstellung von Front- und Seitenzähnen
- Metrische Analyse der Gesichtsschädelstrukturen
- Differenzierung skelettaler und dentoalveolärer Anomalien und Entwicklungen

- Bestimmung und Voraussage von Richtung und Ausmaß der wachstums-
beziehungsweise therapiebedingten Veränderungen des Gesichtsschädels
- Weichteilprofilanalyse

2.3 Anatomie der Halswirbel

Zum besseren Verständnis der weiteren Erläuterungen soll kurz auf die Anatomie der Halswirbelsäule eingegangen werden.

Die allgemeinen Aufgaben der Wirbelsäule ist die Stütz- und Bewegungsfunktion sowie der Schutz des Rückenmarks [38]. Hierzu ist eine besondere Anatomie von Nöten.

Insgesamt sieben Wirbel bilden den Abschnitt der Halswirbelsäule. Der erste und zweite Halswirbel, Atlas und Axis sowie auch der siebte Halswirbel, Vertebra prominens, weisen Unterschiede zu den übrigen Wirbeln auf [39]. Der dritte bis zum sechsten Halswirbel stimmen in ihrer Anatomie weitestgehend überein.

Der grundlegende Aufbau besteht aus dem Wirbelkörper, Corpus vertebrae, und dem Wirbelbogen, Arcus vertebrae, der nach dorsal den Dornfortsatz, Processus spinosus, bildet [39]. Corpus und Arcus begrenzen das Wirbelloch, Foramen vertebrae. Der Arcus ist über die Wurzel, Radix, mit dem Wirbelkörper verbunden. Diese setzt kranial am Corpus an [38].

Der erste Halswirbel, Atlas, zeichnet sich durch den fehlenden Corpus aus, hier wird das größere Foramen vertebrae durch den Arcus anterior und den Arcus posterior begrenzt [39].

Am zweiten Halswirbel, Axis, befindet sich am Corpus ein zahnähnlicher Fortsatz, der Dens axis [39].

Beim siebten Halswirbel, Vertebra prominens, ist der Processus spinosus im Gegensatz zu den übrigen Wirbeln nicht gespalten. Er zeichnet sich am markantesten durch die Haut im Nackenbereich ab, daher auch die Bezeichnung ‚prominens‘.

Im Vergleich zur restlichen Wirbelsäule sind die Wirbelkörper des Halsabschnitts etwas kleiner, da die Belastung der Wirbel hier noch geringer ausfällt als in den folgenden kaudalere Abschnitten.

2.4 Analysemethoden anhand des FRS

2.4.1 Analyse nach Hassel und Farman

Ziel der Studie von Hassel und Farman im Jahr 1995 war es, im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung und Diagnostik eine Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife zu entwickeln, die auf eine routinemäßig angefertigte kephalometrische Röntgenaufnahme der Kieferorthopädie zurückgreift. Als Grundlage ihrer Untersuchungen diente die Handröntgenklassifikation nach Fishman [3] sowie die von Lamparski bereits 1972 erforschte Methode der Bestimmung der skelettalen Reife anhand der zervikalen Halswirbel [20].

Hassel und Farman untersuchten Fernröntgenseiten- und Handröntgenaufnahmen der linken Hand von insgesamt 220 kaukasischen Männern und Frauen zwischen 8 und 18 Jahren. Die Aufnahmen entstammten dem Bolton-Brush Growth Center der Case Western Reserve University. Es mussten dabei von jedem Individuum eine Handröntgen- und eine Fernröntgenseitenaufnahme des gleichen Tages vorliegen.

Die Handröntgenaufnahmen wurden anschließend nach den skeletal maturity indicators, kurz der SMI-Klassifikation von Fishman, in 11 Gruppen eingeteilt und daraufhin mit den altersentsprechenden Fernröntgenseitenbildern verglichen [3, 6].

Nachdem die Einteilung der Handröntgenaufnahmen gemäß der 11 SMI-Stadien erfolgt war, verglichen Hassel und Farman die zugehörigen Fernröntgenaufnahmen der einzelnen Gruppen. Dabei konzentrierten sie sich auf Veränderungen der Form des dritten und vierten, sowie die Konkavität des zweiten bis vierten Halswirbels bei zunehmendem Alter. Sie schlossen den von Lamparski noch berücksichtigten fünften Halswirbel von der Beurteilung aus, da dieser bei anliegendem Thyroid-Schutz nicht mehr eindeutig abgebildet werden würde.

Basierend auf ihren Beobachtungen definierten Hassel und Farman sechs Stadien zur Beurteilung der skelettalen Reife der Halswirbelkörper, die sogenannten cervical vertebrae maturation indices, kurz CVMI-Stadien:

- 1 Initiation: Die unteren Grenzflächen der Wirbelkörper C2, C3, C4 sind flach, alle Wirbelkörper sind keilförmig
→ Noch viel Restwachstum zu erwarten
- 2 Acceleration: Die unteren Grenzflächen an C2 und C3 sind konkav, die Wirbelkörper von C3 und C4 sind rechteckig
→ Beginnender Wachstumsschub



Abbildung 5: Stadium 1 Initiation



Abbildung 6: Stadium 2 Acceleration

3 Transition: Untere Grenzflächen an C2 und C3 sind ausgeprägt konkav, eine beginnende Konkavität an C4 ist sichtbar, die Wirbelkörper C3 und C4 sind rechteckig

→ Moderates Restwachstum erwartend

4 Deceleration: Alle unteren Grenzflächen sind ausgeprägt konkav, die Wirbelkörper C3 und C4 sind rechteckig bis quadratisch

→ Wenig Restwachstum erwartend

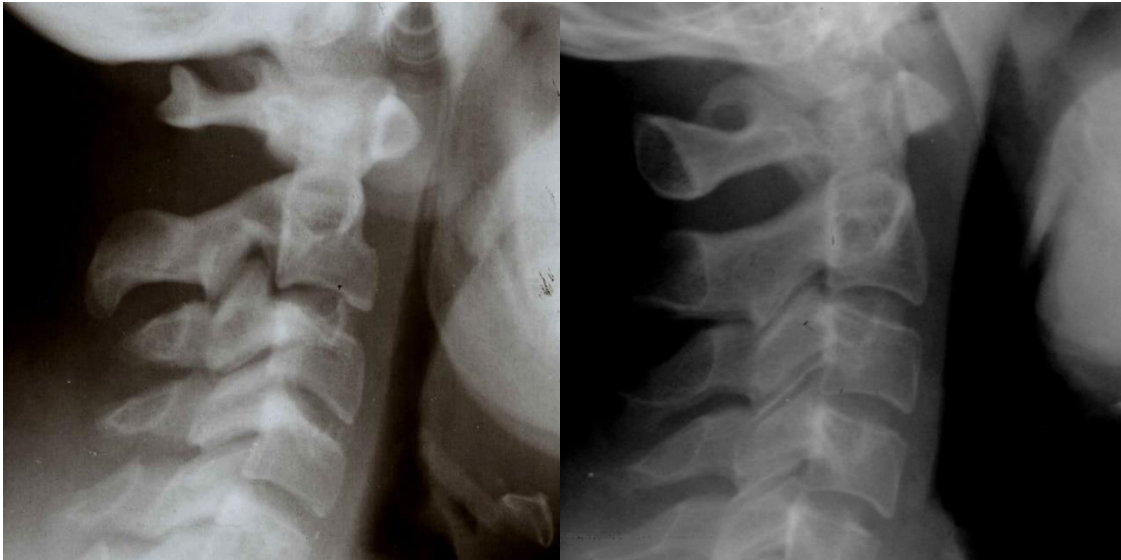


Abbildung 7: Stadium 3 Transition

Abbildung 8: Stadium 4 Deceleration

5 Maturation: Alle unteren Grenzflächen sind ausgeprägt konkav, die Wirbelkörper C3 und C4 sind quadratisch

→ Wenig Restwachstum ausstehend

6 Completion: Alle unteren Grenzflächen sind ausgeprägt konkav, die vertikale Dimension der Wirbelkörper C3 und C4 ist ausgeprägter als die horizontale Dimension

→ Kein Restwachstum mehr erwartend



Abbildung 9: Stadium 5 Maturation

Abbildung 10: Stadium 6 Completion

Nach der Studie von Hassel und Farman kann die skelettale Reife der Halswirbelkörper und damit das zu erwartende Restwachstum anhand dieser sechs Stadien beurteilt werden. Mit zunehmender Reife entwickelt sich die Form der Wirbelkörper von keilförmig bis vertikal rechteckig mit stetig zunehmender Konkavität an der unteren Wirbelgrenze.

Laut Hassel und Farman könnte folglich auf eine separat angefertigte Handwurzelaufnahme verzichtet werden.

2.4.2 Analyse nach Baccetti

Baccetti et al. veröffentlichten 2002 eine Studie zu einer verbesserten Halswirbel-Methode, anhand der das zu erwartende Restwachstum jedes Individuums bestimmt werden könne. Die bereits definierten Methoden von Lamparski und Hassel und Farman sollten dabei in zwei Punkten vereinfacht werden:

- 1) Die Anzahl der Halswirbelkörper sollte wie bei Hassel und Farman limitiert werden, um den Fokus ausschließlich auf die Wirbel zu setzen, die selbst bei angelegtem Thyroidschutz noch einwandfrei auf einem Fernröntgenseitenbild abgebildet sind
- 2) Die Stadien sollten so definiert werden, dass dem Betrachter die Einteilung erleichtert wird und es somit zur Vermeidung von Zwischenstadien kommt

Baccetti untersuchte insgesamt 30 Fernröntgenseitenbilder von 18 Jungen und 12 Mädchen der University of Michigan Elementary and Secondary School growth study. Es musste für jeden Probanden eine Bilderreihe von mindestens 6 aufeinanderfolgenden Aufnahmen vorliegen (T1 bis T6). Der Wachstumspeak wurde dabei zwischen den beiden Röntgenbildern (T3 und T4) definiert, die die größte Längenzunahme des Unterkieferastes zeigten. Zusätzlich zog man zur Auswertung zwei Bilder vor dem Wachstumspeak (T1 und T2) und zwei bei bereits stattgefundenem heran (T5 und T6). Es folgte eine visuelle und eine kephalometrische Analyse der Morphologie des zweiten bis vierten Halswirbelkörpers. Der fünfte Halswirbel wurde von Baccetti ebenfalls von der Beurteilung ausgeschlossen, da er oftmals bei angelegtem Thyroidschutz nicht mehr ausreichend abgebildet werden würde.

Bei der rein visuellen Analyse wurde zum einen die Konkavität der unteren Wirbelbegrenzungen und zum anderen die Form der Wirbel beurteilt.

Die Einteilung der Form erfolgte in vier verschiedene Kategorien: trapezförmig, horizontal rechteckig, quadratisch und vertikal rechteckig.

Die kephalometrische Analyse wurde anschließend an folgenden Punkten durchgeführt:

- C2p, C2m, C2a: hinterster, tiefster und am meisten anterior liegender Punkt des zweiten Wirbelkörpers
- C3up, C3ua: am meisten posterior und am meisten anterior liegender Punkt der oberen Wirbelgrenze
- C3lp, C3m, C3la: am meisten posterior liegender, tiefster, und am meisten anterior liegender Punkt der unteren Wirbelgrenze
- C4up, C4ua: entsprechend der Punkte an C3
- C4lp, C4m, C4la: entsprechend der Punkte an C3

Gemäß dieser Punkte wurden folgende Distanzen gemessen:

- C2Conc: Abstand zwischen dem tiefsten Punkt der unteren Wirbelbegrenzung an C2 und der Verbindungslinie C2p und C2a
- C3Conc: entsprechend der Verbindungslinie an C2
- C4Conc: Entsprechend der Verbindungslinie an C2
- C3BAR: Verhältnis zwischen der Basislänge (C3lp-C3la) und der anterioren Höhe des Wirbelkörpers (C3ua-C3la)
- C3PAR: Verhältnis zwischen der posterioren und anterioren Höhe des Wirbelkörpers (C3up-C3lp zu C3ua-C3la)

C4BAR: entsprechend der Definition von C3BAR

C4PAR: entsprechend der Definition von C3PAR

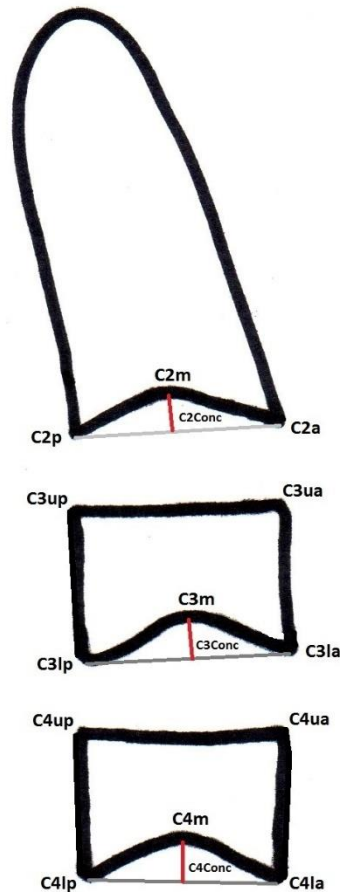


Abbildung 11: Schema der kephalometrischen Analyse

Die Auswertung der visuellen Analyse zeigte, dass bereits zum Zeitpunkt T2 in 73% der Fälle eine Konkavität am zweiten Wirbel ausgebildet wurde und dass alle Wirbelkörper trapezförmig waren. Ab dem Zeitpunkt T4 wurde an allen drei inferioren Wirbelkörpergrenzen zumeist eine Konkavität beobachtet. Die Form der Wirbelkörper war nun vorherrschend rechteckig. Bis zu dem Zeitpunkt T6 konnte beim dritten und vierten Wirbelkörper eine Entwicklung zur quadratischen (ca. 50% der Fälle) bis hin zur vertikal rechteckigen Form beobachtet werden.

Die kephalometrische Analyse ergab, dass zwischen T1 und T2 keine signifikanten Unterschiede bestehen, erst ab dem Zeitpunkt T3 konnte eine deutliche Konkavität an C2 und C3 ermittelt werden (C2Conc, C3Conc). Zudem hatte bei T3 die Höhe des anterioren Wirbelkörpers signifikant zugenommen. Ab dem Zeitpunkt T4 konnte auch an C4 eine Konkavität der inferioren Wirbelbegrenzung festgestellt werden, die Wirbelkörper C3 und C4 waren zunehmend rechteckig. Bei T5 konnte eine Entwicklung zu quadratischen Wirbelkörpern C3 und C4 beobachtet werden, auf den Röntgenbildern zu T6 stellten sich diese zu einem Drittel in vertikal rechteckiger Form dar.

Auf Basis dieser Ergebnisse formulierten Baccetti et al. eine neue, vereinfachte Stadieneinteilung, die cervical vertebrae maturation stages, kurz CVMS:

- CVMS I: Es sind keine Konkavitäten an C3 und C4 sichtbar
- Eine Konkavität an C2 kann zu 50% vorliegen
- Die Wirbelkörper C3 und C4 sind trapezförmig
- Der Wachstumsspeak wird frühestens in einem Jahr erwartet



Abbildung 12: CVMS I nach Baccetti

CVMS II: Es sind Konkavitäten an den inferioren Wirbelgrenzen von C2 und C3 sichtbar

Die Wirbelkörper C3 und C4 sind trapezförmig bis rechteckig

➔ Der Wachstumspeak wird innerhalb des nächsten Jahres erwartet



Abbildung 13: CVMS II nach Baccetti

CVMS III: Es sind Konkavitäten an C2, C3 und C4 sichtbar

Die Wirbelkörper C3 und C4 sind rechteckig

→ Der Wachstumspeak hat innerhalb der letzten ein bis zwei Jahre vor diesem Stadium stattgefunden



Abbildung 14: CVMS III nach Baccetti

CVMS IV: Es sind Konkavitäten an C2, C3 und C4 sichtbar

Mindestens C3 oder C4 ist quadratisch

→ Der Wachstumspeak hat circa ein Jahr zuvor stattgefunden



Abbildung 15: CVMS IV nach Baccetti

CVMS V: Es sind Konkavitäten an C2, C3 und C4 sichtbar

Mindestens C3 oder C4 ist vertikal rechteckig, falls nicht ist er quadratisch

→ Der Wachstumspeak hat in etwa zwei Jahre vor diesem Stadium stattgefunden



Abbildung 16: CVMS V nach Baccetti

Baccetti beobachtete mit zunehmender Reife auch eine stetige Zunahme der Konkavitäten sowie eine Entwicklung der Form von trapezförmig bis vertikal rechteckig. Baccetti et al. reduzierten die Stadieneinteilung von den vorher gängigen sechs Stadien-Methode nach Hassel und Farman in nur fünf Stadien. Da die zwei ersten untersuchten Stadien T1 und TS keine signifikanten Unterschiede zeigten wurden sie in einem Stadium, CVMS I, zusammengefasst. Der Wachstumspeak wird zwischen den Stadien CVMS II und CVMS III erwartet.

2.4.3 Computerbasierte Analyse

Die digitale metrische Analyse erfolgte über das Programm OnyxCeph³™ 2D Pro (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) mit dem Zusatzmodul Leipziger Halswirbel. Das Programm findet aufgrund der rein zweidimensionalen Analysemöglichkeiten hauptsächlich im Bereich der Kieferorthopädie Anwendung. Es dient zur Archivierung, Diagnostik und Behandlungsplanung einzelner Patientenfälle.

Als zu untersuchende Datengrundlage dienten auch hier die 420 bereits digitalisierten Fernröntgenaufnahmen der Universitätsklinik Würzburg.

Das Zusatzmodul Leipziger Halswirbel machte es möglich einzelne Halswirbel nach dem unten aufgeführten Schema zu vermessen, deren Breiten und Höhen sowie auch Konkavitäten zu berechnen, um diese anschließend mit den bereits vorgestellten Klassifizierungen zu vergleichen.

Hierzu wurden die Aufnahmen in anonymisierter Form in das Programm importiert und ausschließlich mit den Angaben Geschlecht, Geburtsdatum und Aufnahmedatum abgespeichert. Mit dem Zusatzmodul Leipziger Halswirbel wurde eine Bepunktung relevanter Strukturen auf den Röntgenbildern durchgeführt.

Nach zwei Wochen wurden diese Messungen an 50 zufällig ausgewählten Aufnahmen noch einmal wiederholt, darunter jeweils 15 Männer und Frauen sowie 10 Jungen und Mädchen.

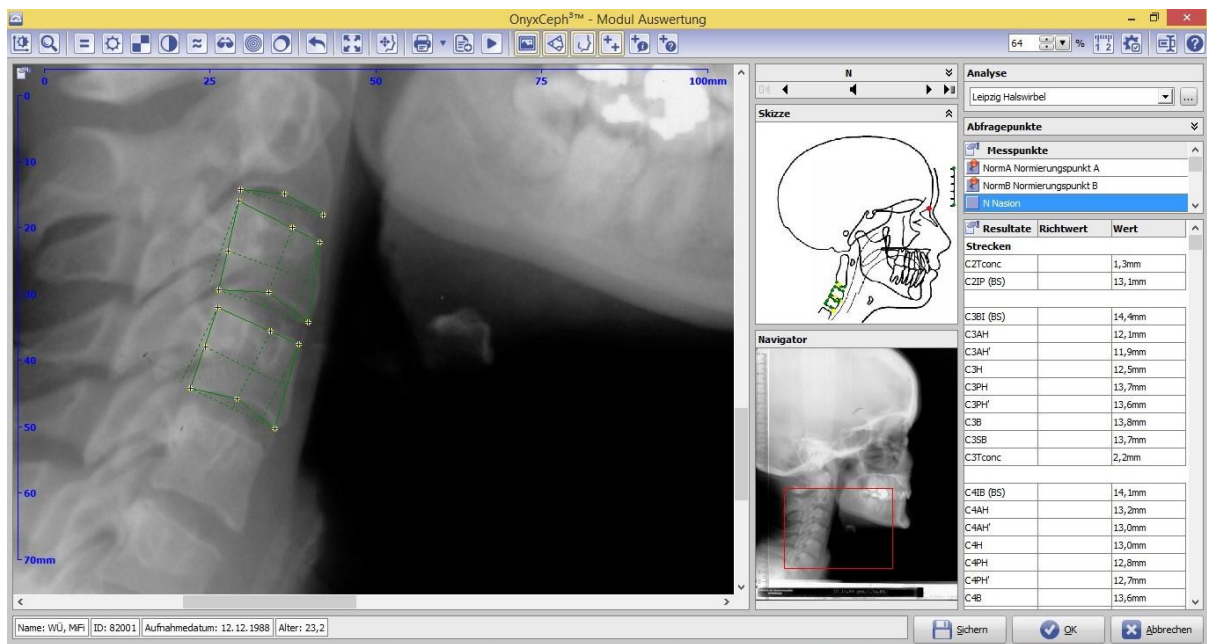


Abbildung 17: Computerbasierte Analyse OnyxCeph^{3TM}2D-Pro mit dem Zusatzmodul Leipziger Halswirbel

Um einheitliche Messergebnisse zu erhalten, wurde zunächst eine Normierungsgerade definiert. Hierzu wurde bereits beim Digitalisieren der Röntgenbilder ein identisches Lineal mit eingescannt und abgespeichert. Auf diesem Lineal wurden der Normierungspunkt A und Normierungspunkt B im Abstand von 50 mm voneinander definiert. Die sich daraus ergebende Gerade diente der Normierung aller folgenden gemessener Abstände dieser Aufnahme.

Im Anschluss wurden die Strukturen nach folgendem Schema punktiert (Abbildung 18):

Wirbelkörper C2

C2pi inferiorer Punkt der posterioren Kontur

C2ai inferiorer Punkt der anterioren Kontur

C2conc tiefster Punkt der Konkavität an der inferioren Kontur

WirbelkörperC3

C3ps	höchster Punkt der posterioren Kontur
C3as	höchster Punkt der anterioren Kontur
C3pi	inferiorer Punkt der posterioren Kontur
C3ai	inferiorer Punkt der anterioren Kontur
C3conc	tiefster Punkt der Konkavität der inferioren Kontur
C3pm	mittlerer Punkt der posterioren Kontur
C3ms	mittlerer Punkt der superioren Kontur

Die Punkte C3pm und C3ms wurden konstruiert, um bei der Berechnung der Breiten und Höhen der Wirbelkörper einen bauchigen Verlauf der anterioren, bzw. posterioren Kontur zu berücksichtigen. Für den Wirbelkörper C4 gelten die entsprechenden Messpunkte wie an C3.

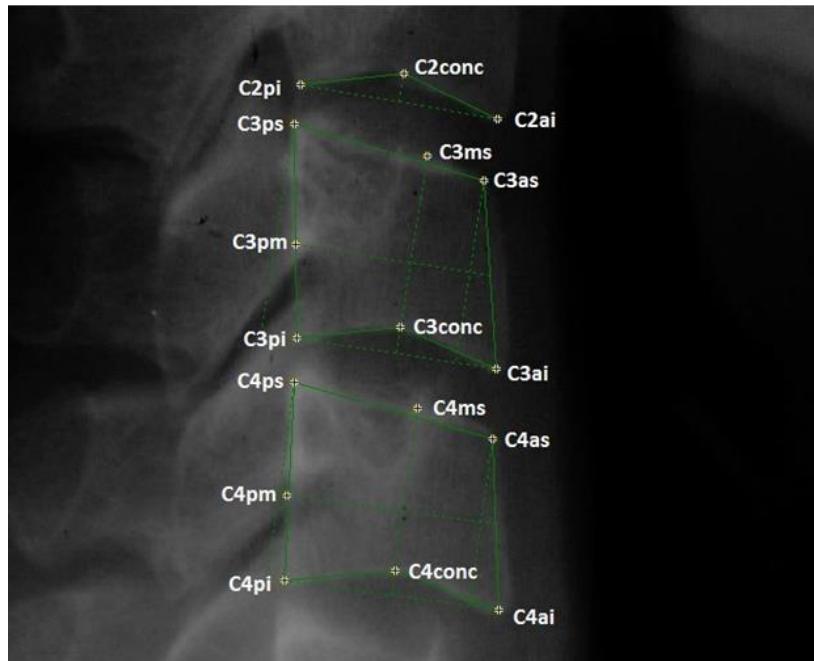


Abbildung 18: Analyseschema der computerbasierten Datenauswertung

Durch das Programm wurden aus den definierten Punkten folgende Strecken berechnet:

C2Tconc	Senkrechte vom Punkt C2conc auf die Strecke C2pi-C2ai
C3AH	anteriore Höhe; Strecke C3as-C3ai
C3AH'	korrigierte anteriore Höhe; Strecke C3as-C3ai unter Berücksichtigung von C3ms
C3H	Höhe an tiefster Stelle der inferioren Konkavität; Strecke C3ms-C3conc
C3PH	posteriore Höhe; Strecke C3ps-C3pi
C3PH'	korrigierte posteriore Höhe; Strecke C3ps-C3pi unter Berücksichtigung von C3pm
C3B	mittlere Breite; Streckenhalbierende auf C3as-C3ai mit der Begrenzung C3pm
C3Tconc	Senkrechte vom Punkt C3conc auf die Strecke C3pi-C3ai

Am Wirbelkörper C4 wurden die entsprechenden Strecken wie an C3 vermessen.

Es wurden folgende Winkel und Verhältnisse berechnet:

C2conc Winkelscheitel in C2conc mit den Winkelschenkeln C2pi und C2ai; Grad der Konkavität an der inferioren Kontur von C2

C3conc Winkelscheitel in C3conc mit den Winkelschenkeln C3ip und C3ai; Grad der Konkavität an der inferioren Kontur von C3

C3as Winkelscheitel in C3as mit den Winkelschenkeln C3ps und C3ai; Grad der Ausprägung der superior-anterioren Kantenbildung an C3

C3ps Winkelscheitel in C3ps mit den Winkelschenkeln C3as und C3pi; Grad der Ausprägung der superior-posterioren Kantenbildung an C3

Anterior-posteriores Höhenverhältnis $C3AH' / C3PH'$

Höhen-Breiten-Verhältnis $C3H / C3B$

Am Wirbelkörper C4 wurden die entsprechenden Winkel und Verhältnisse wie an C3 berechnet. Das Analyseschema ist auf Abbildung 19 noch einmal dargestellt.

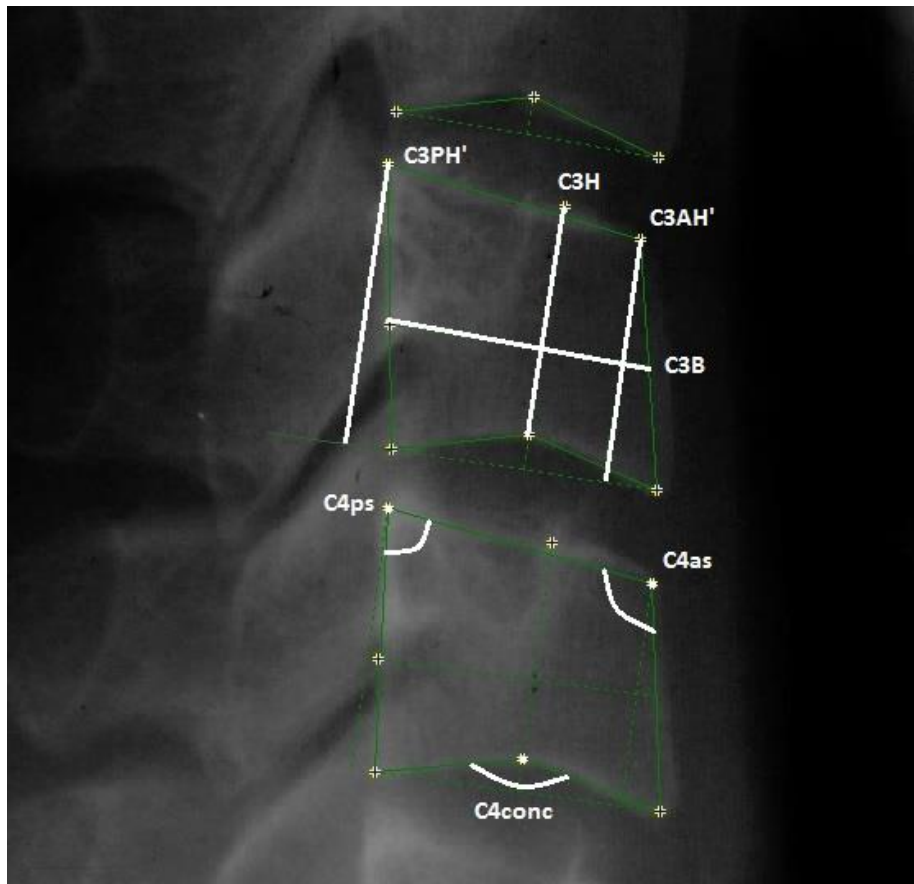


Abbildung 19: Analyseschema, gemessene Strecken und Winkel

Um die Zuverlässigkeit der manuell erhobenen Punkte zu beurteilen, wurde eine Kontrollgruppe gebildet. Es wurden 50 Aufnahmen, darunter jeweils 15 erwachsene Männer und Frauen und jeweils 10 Jungen und Mädchen, doppelt bepunktet. Die Analyse wurde im Abstand von zwei Wochen von der gleichen Person durchgeführt. Die Intraclass-Korrelation liegt bei der Berechnung des Höhen-Breiten-Verhältnisses bei ausgezeichneten 0,95-0,99, etwas geringer, bei 0,88-0,92, bei der Errechnung der Konkavitäten und bei 0,83, was die Auswertung des anterior-superioren Winkels angeht.

Im Anschluss wurden die Daten durch das Programm-Modul OnyxCeph³™-Statistik tabellarisch gegliedert und in SPSS Statistics exportiert.

Im nächsten Schritt wurde ermittelt, wieviel Prozent der erwachsenen Probanden die einzelnen Kriterien des CVMS V nach Baccetti, beziehungsweise CVMI VI nach Hassel und Farman erfüllen können.

Von den Wissenschaftlern festgelegte Eigenschaften einer vollständig ausgereiften Halswirbelsäule wurden dazu in metrische Eckdaten übersetzt:

1. Rechteckiger Wirbelkörper C3 und C4:
 - anterior-posteriores-Höhenverhältnis $\geq 0,9$
 - posterior-superiorer Winkel $\geq 70^\circ$
 - anterior-superiorer Winkel $\leq 110^\circ$

2. Mindestens C3 oder C4 mit rechteckig-vertikaler Form:
Höhen-Breiten-Verhältnis $\geq 0,9$ (schon sehr großzügig!)

3. Signifikante Konkavitäten an der inferioren Wirbelbegrenzung C2, C3 und C4:
Winkel der Konkavität $\leq 160^\circ$ (großzügig!)

Um mögliche Messfehler mit einzuberechnen wurde das Höhen-Breiten-Verhältnis mit $\geq 0,9$ und signifikante Konkavitäten mit $\leq 160^\circ$ definiert.

2.5 Statistik

Zur Datenanalyse wurde das Programm SPSS Statistics 23 (IBM Corp.) verwendet.

Folgende Eigenschaften wurden bei der Datenanalyse bewertet:

1. Winkel der inferioren Konkavität von C2, C3 und C4
2. Höhen-Breiten-Verhältnis von C3 und C4
3. Verhältnis anteriorer Höhe zu posteriorer Höhe von C3 und C4
4. Anteriorer und Posteriorer Winkel der superioren Wirbelgrenze von C3 und C4

Es wurden die jeweiligen Häufigkeiten, Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Der Unterschied zwischen Mann und Frau, beziehungsweise Jungen und Mädchen, wurde mittels t-Tests ermittelt.

Um einen direkten Zusammenhang zu den bereits erläuterten Klassifizierungen nach Baccetti und Hassel und Farman herzustellen, wurden die Bedingungen von Baccetti Stadium V, bzw. VI nach Hassel und Farman in metrische Daten übersetzt und mit den gemessenen Werten verglichen. Es wurde schließlich der Anteil berechnet, der die einzelnen Kriterien für C2, C3 und C4 erfüllt sowie alle Kriterien an allen drei Wirbelkörpern erfüllen kann.

Zum Vergleich der Werte bei Kindern und Erwachsenen wurde jeweils ein 95%-Konfidenzintervall der Wirbelmerkmale gebildet und das Ergebnis in Diagrammen dargestellt.

Zur Berechnung der Intrarater-Reliabilität wurde eine Analyse nach Cohen's Kappa durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der computerbasierten Analyse

3.1.1 Ausprägung der Wirbelkörpermerkmale

In Tabelle 1 wurden zunächst die Mittelwerte für Mann und Frau, sowie Jungen und Mädchen, der bereits aufgeführten Charakteristika errechnet. Ob der Unterschied zwischen den Geschlechtern als signifikant einzustufen ist, zeigt der aus dem t-Test resultierende p-Wert.

Tabelle 1

Mittelwerte einzelner Halswirbelmerkmale und zugehörige Standardabweichungen

Erwachsene	Männer	Frauen	p-Wert
Anzahl der Fälle	153	167	–
Alter [y]	26.8 (7.8)	27.0 (7.4)	–
C2: Winkel inferiore Konkavität [°]	153.2 (6.5)	149.5 (6.7)	<0.001
C3: Höhen-Breiten-Verhältnis	0.992 (0.100)	0.987 (0.093)	0.64
C3: anterior-posteriores Höhenverhältnis	0.933 (0.066)	0.945 (0.067)	0.12
C3: posterior superiorer Winkel [°]	76.4 (4.0)	75.6 (4.1)	0.11
C3: anterior superiorer Winkel [°]	107.2 (4.2)	107.8 (3.1)	0.17
C3: Winkel inferiore Konkavität [°]	152.4 (7.0)	149.4 (6.6)	<0.001
C4: Höhe-Breiten-Verhältnis	0.934 (0.091)	0.943 (0.093)	0.38
C4: anterior-posteriores Höhenverhältnis	0.933 (0.070)	0.931 (0.063)	0.73
C4: posterior superiorer Winkel [°]	77.9 (4.8)	77.6 (4.1)	0.57
C4: anterior superiorer Winkel [°]	104.8 (4.4)	105.9 (3.8)	0.01
C4: Winkel inferiore Konkavität [°]	156.0 (5.9)	151.8 (6.6)	<0.001
Kinder	Jungen	Mädchen	p-Wert
Anzahl der Fälle	50	50	–
Alter [y]	9.2 (0.5)	9.2 (0.6)	–
C2: Winkel inferiore Konkavität [°]	173.5 (4.7)	172.6 (6.5)	0.43
C3: Höhen-Beiten-Verhältnis	0.614 (0.083)	0.679 (0.072)	<0.001
C3: anterior-posteriores Höhenverhältnis	0.672 (0.099)	0.756 (0.116)	<0.001
C3: posterior superiorer Winkel [°]	68.5 (5.7)	73.0 (4.4)	<0.001
C3: anterior superiorer Winkel [°]	117.2 (5.3)	113.1 (4.6)	<0.001
C3: Winkel inferiore Konkavität [°]	173.5 (4.6)	173.8 (4.6)	0.72
C4: Höhen-Breiten-Verhältnis	0.627 (0.088)	0.666 (0.077)	0.02
C4: anterior-posteriores Höhenverhältnis	0.693 (0.126)	0.719 (0.100)	0.25
C4: posterior superiorer Winkel [°]	69.2 (5.4)	74.1 (5.7)	<0.001
C4: anterior superiorer Winkel [°]	113.6 (5.4)	112.0 (5.0)	0.13
C4: Winkel inferiore Konkavität [°]	174.3 (4.5)	174.0 (4.1)	0.73

Es wurden die Aufnahmen von 153 Männern und 167 Frauen mit einem mittleren Alter von 26,9 Jahren ausgewertet.

Die Ausprägung der Konkavitäten an den inferioren Wirbelgrenzen liegt bei den Erwachsenen zwischen $149,4^\circ$ und 156° . Sie ist mit 156° bei den Männern am Wirbelkörper C4 am wenigsten ausgeprägt. Generell lässt sich sagen, dass Frauen eine mit $149,4^\circ$ - $151,8^\circ$ signifikant ausgeprägtere Konkavität als Männer aufweisen.

Das Höhe-Breite-Verhältnis bewegt sich bei C3 zwischen 0,99 und 0,98. Der Wirbelkörper C4 dagegen ist mit 0,93 -0,94 etwas flacher als C3 anzusehen.

Das Verhältnis von anteriorer zu posteriorer Höhe bei C3 und C4 ist bei Männern und Frauen mit 0,93-0,94 nahezu identisch.

Der Winkel an der posterior superioren Wirbelgrenze an C4 mit $77,9^\circ$ bei den Männern und $77,6^\circ$ bei den Frauen ist stärker ausgeprägt als bei C3 ($76,4^\circ$ und $75,6^\circ$). Der anteriore Winkel bei C3 liegt im Durchschnitt bei 107° und 105° bei C4. Beide Wirbelkörper erreichen also nicht die vollständig rechteckige Form.

Zusammenfassend besteht lediglich bei den inferioren Konkavitäten von C2, C3 und C4, sowie am anterior-superioren Winkel ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen bei Männern und Frauen.

Anschließend wurden die Aufnahmen von jeweils 50 Jungen und Mädchen im durchschnittlichen Alter von 9 Jahren untersucht. Bei den Kindern erreicht die Ausprägung der Konkavitäten durchschnittlich $172,6^\circ$ – $174,3^\circ$ ohne signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern. Das Höhe-Breiten-Verhältnis von C3 und C4 liegt zwischen 0,61 und 0,68, es liegen horizontal rechteckige Wirbelkörper vor. Im Vergleich von anteriorer und posteriorer Höhe erreichen die Wirbelkörper einen Mittelwert von 0,67 – 0,76 und weisen somit die typische Trapezform ungereifter Wirbelkörper auf. Die posterior-superioren Winkel von C3 und C4 sind mit $68,5^\circ$ – $74,1^\circ$ wesentlich spitzer als beim Erwachsenen und an C4 mit $69,2^\circ$ bei den Jungen und $74,1^\circ$ bei den Mädchen signifikant. Der anterior-superiore Winkel erreicht Werte von 112° - $117,2^\circ$.

3.1.2 Auswertung nach Baccetti und Hassel-Farman

Im nächsten Schritt wurde ermittelt, wieviel Prozent der erwachsenen Probanden die einzelnen Kriterien des CVMS V nach Baccetti, beziehungsweise CVMI VI nach Hassel und Farman erfüllen können.

Wie bereits im Abschnitt Material und Methoden angeführt, wurden hierzu die Eigenschaften einer adulten und völlig ausgereiften Halswirbelsäule in metrische Eckdaten übersetzt. Dazu zählen die rechteckige Form der Wirbelkörper C3 und C4, sowie signifikante Konkavitäten an der inferioren Wirbelbegrenzung von C2, C3 und C4.

In Tabelle 2 wurde die Anzahl und der jeweilige prozentuale Anteil aller erwachsenen Probanden ermittelt, die alle drei dieser Kriterien erfüllen können.

Tabelle 2

Anzahl aller Erwachsenen, die die vorgegebenen Kriterien der Halswirbelgeometrie erfüllen

Kriterium		Total	Männer	Frauen
C2: Winkel inferiore Konkavität	$\leq 160^\circ$	289 (90%)	132 (86%)	157 (94%)
C3: Höhen-Breiten-Verhältnis	≥ 0.9	268 (84%)	126 (82%)	142 (85%)
C3: rechteckige Form		178 (56%)	84 (55%)	94 (56%)
anterior-posteriores Höhenverhältnis	≥ 0.9	227 (71%)	105 (69%)	122 (73%)
posterior superiorer Winkel	$\geq 70^\circ$	297 (93%)	143 (93%)	154 (92%)
anterior superiorer Winkel	$\leq 110^\circ$	234 (73%)	113 (74%)	121 (72%)
C3: Winkel inferiore Konkavität	$\leq 160^\circ$	287 (90%)	130 (85%)	157 (94%)
Alle Kriterien für C3 erfüllt		146 (46%)	63 (41%)	83 (50%)
C4: Höhen-Breiten-Verhältnis	≥ 0.9	209 (65%)	95 (62%)	114 (68%)
C4: rechteckige Form		204 (64%)	102 (67%)	102 (61%)
anterior-posteriores Höhenverhältnis	≥ 0.9	220 (69%)	110 (72%)	110 (66%)
posterior superiorer Winkel	$\geq 70^\circ$	308 (96%)	143 (93%)	165 (99%)
anterior superiorer Winkel	$\leq 110^\circ$	283 (88%)	139 (91%)	144 (86%)
C4: Winkel inferiore Konkavität	$\leq 160^\circ$	259 (81%)	116 (76%)	143 (86%)
Alle Kriterien für C4 erfüllt		119 (37%)	53 (35%)	66 (40%)
Alle Kriterien für C2, C3, C4 erfüllt		76 (24%)	27 (18%)	49 (29%)

Das Kriterium einer Konkavität an der basalen Begrenzung aller Wirbelkörper wird weitestgehend erfüllt, am schlechtesten schneidet jedoch C4 mit insgesamt 81% ab. An C2 und C3 kann bei jeweils 90% der Fälle eine Konkavität von $\leq 160^\circ$ beobachtet werden. Frauen erfüllen die Bedingung nach Punkt 3 mit jeweils 94% häufiger.

Das Höhen-Breiten-Verhältnis von mindestens 0,9 wird an Wirbelkörper C3 (84%) häufiger erfüllt als an C4 (65%). Der Unterschied zwischen Männern und Frauen ist hierbei irrelevant.

Dass der Wirbelkörper C3 einer rechteckigen Form gleicht, erfüllen 56% aller untersuchten Probanden. Das anterior-posteriore Höhenverhältnis von mindestens 0,9 trifft auf 71% der gemessenen Fälle zu, davon Frauen mit 73% geringfügig häufiger als die Männer. Des Weiteren zeigen insgesamt 93% einen posterior-superioren Winkel von mindestens 70°, während deutlich weniger (73%) das Kriterium unter Punkt 1 am anterior-superioren Winkel erfüllen.

Nach der Auswertung der gemessenen Werte an C4 wird bei 209 Aufnahmen das festgelegte Höhen-Breiten-Verhältnis erfüllt, dies entspricht 65% der Fälle. Dass 64% aller Wirbelkörper C4 eine rechteckige Form aufweisen, wird maßgeblich durch das anterior-posteriore Höhenverhältnis $\geq 0,9$ mit 69% bestimmt.

Die Auswertung an C4 zeigt, dass 119 ausgewertete Fälle alle für C4 bestimmten Kriterien erfüllen. Das entspricht 37%, darunter anteilig mehr Frauen (40%) als Männer (35%).

Betrachtet man den Anteil aller 320 ausgewerteten Röntgenbilder, auf den alle der oben genannten Eigenschaften zutreffen, so bleibt ein Anteil von 24%. Männer schneiden darunter mit 27 Fällen schlechter ab als Frauen.

Insgesamt erreichen 76 Teilnehmer das CVM-Stadium V nach Baccetti, beziehungsweise VI nach Hassel und Farman.

3.1.3 Vergleich der Ergebnisse bei Kindern und Erwachsenen

Inwieweit sich die Eigenschaften der Wirbelkörper bei Erwachsenen und Kindern überschneiden wird in Tabelle 3 deutlich. Sie zeigt die Ausprägung der einzelnen Charakteristika bei Männern und Frauen, sowie zum Vergleich bei Jungen und Mädchen. Die Auswertung wurde auf das 95% Konfidenzintervall beschränkt, vom 2,5 zum 97,5 Perzentil, um nur den relevanten Bereich darzustellen. Alle Werte unterhalb der 5% Signifikanzgrenze wurden ausgeschlossen.

Tabelle 3

95% Konfidenzintervalle (2,5 – 97,5 Perzentil) der metrischen Charakteristika der Halswirbel bei Erwachsenen und Kindern

Charakteristik		Erwachsene	Kinder
C2: Winkel inferiore Konkavität [°]	männlich	139.2-165.0	162.5-180.0
	weiblich	136.4-163.1	153.5-180.0
	alle	137.0-163.7	155.2-180.0
C3: Höhen-Breiten-Verhältnis	männlich	0.804-1.210	0.440-0.788
	weiblich	0.796-1.177	0.545-0.851
	alle	0.806-1.193	0.475-0.812
C3: anterior-posteriores Höhenverhältnis	männlich	0.810-1.073	0.460-0.869
	weiblich	0.818-1.074	0.547-1.010
	alle	0.817-1.073	0.509-0.971
C3: posterior superiorer Winkel [°]	männlich	69.0-85.3	53.5-79.2
	weiblich	66.1-82.2	63.8-86.1
	alle	67.4-84.5	57.6-82.4
C3: anterior superiorer Winkel [°]	männlich	99.1-115.3	106.3-129.6
	weiblich	101.5-113.7	105.2-125.1
	alle	100.2-114.8	106.1-126.8
C3: Winkel inferiore Konkavität [°]	männlich	139.7-167.8	159.8-179.8
	weiblich	138.2-162.5	163.5-179.8
	alle	138.7-167.3	163.4-179.8
C4: Höhen-Breiten-Verhältnis	männlich	0.772-1.138	0.472-0.875
	weiblich	0.769-1.150	0.499-0.860
	alle	0.772-1.137	0.484-0.872
C4: anterior-posteriores Höhenverhältnis	männlich	0.760-1.073	0.464-1.032
	weiblich	0.820-1.049	0.480-0.913
	alle	0.813-1.058	0.467-0.912
C4: posterior superiorer Winkel [°]	männlich	67.4-87.1	59.6-80.0
	weiblich	70.2-86.2	61.2-87.4
	alle	68.5-86.5	60.5-84.0
C4: anterior superiorer Winkel [°]	männlich	96.3-114.7	103.9-128.2
	weiblich	98.9-114.3	101.0-122.0
	alle	97.2-114.4	103.7-122.8
C4: Winkel inferiore Konkavität [°]	männlich	144.0-167.6	161.9-179.7
	weiblich	140.1-164.3	163.0-179.4
	alle	140.6-166.3	163.1-179.4

Die Berechnungen zeigen, dass alle Merkmale eine Schnittmenge zwischen Erwachsenen und Kindern bilden. Vor allem der Messbereich des posterior-superioren Winkels an C3, bei Erwachsenen $67,4^\circ - 84,5^\circ$, überschneidet sich ganz deutlich mit dem der Kinder, $7,6^\circ - 82,4^\circ$. Ähnliches gilt für den entsprechenden Winkel an C4. Die geringsten Überlappungen bestehen beim Vergleich des Höhen-Breiten-Verhältnisses an C3 und C4 sowie der inferioren Konkavität von C4.

Um die Überschneidungen der einzelnen Charakteristika zwischen Erwachsenen und Kindern zu veranschaulichen, wurden die Resultate in Diagrammen dargestellt (Abbildung 20). Die graue Kurve entspricht den Charakteristika bei Kindern, die schwarze die der Erwachsenen. Die Häufigkeiten jedes Kriteriums wurden in separaten Diagrammen veranschaulicht. Die horizontale Achse trägt den jeweiligen Wert x der untersuchten Eigenschaft, während die vertikale den prozentualen Anteil der Population wiedergibt, der $\leq x$ liegt. Wie auch schon in Tabelle 3 dargestellt, zeigen die Diagramme noch einmal ganz deutlich, dass sich bei jedem Merkmal Überschneidungsintervalle ergeben.

Besonders hohe Übereinstimmungen finden sich beim posterior-superioren Winkel an C3. Hier bilden 96% der Kinder und 99% der Erwachsenen ein gemeinsames Intervall zwischen 63° und 87° . Im Umkehrschluss liegt 1% der Erwachsenen über dem maximal vorkommenden Winkel der Kinder und damit außerhalb des Bereiches.

Auch bei der Betrachtung des Kurvenverlaufs des anterior-posterioren Höhenverhältnisses ist vor allem der Anteil der Adulten innerhalb des Überschneidungsbereiches auffallend. Es liegen 98% im Intervall von $0,74 - 1,08$, bei den Kindern sind es 41%.

Ähnlich verhält es sich beim posterior-superioren Winkel an C4. Hier überlappen sich 89% der Werte bei den Kindern mit 99% derer der Adulten.

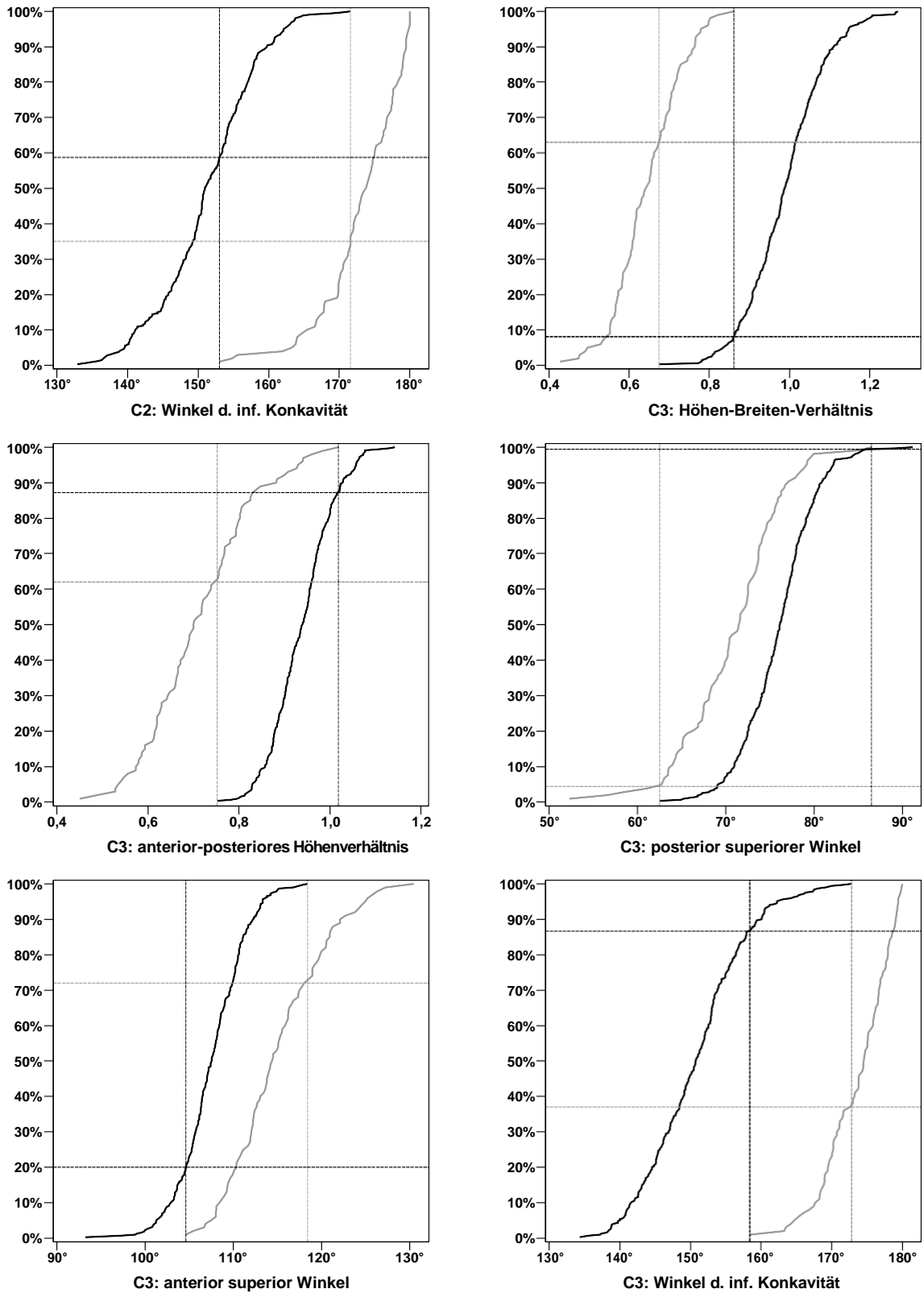


Abbildung 20: Kumulative Verteilung der Charakteristika bei Erwachsenen und Kindern

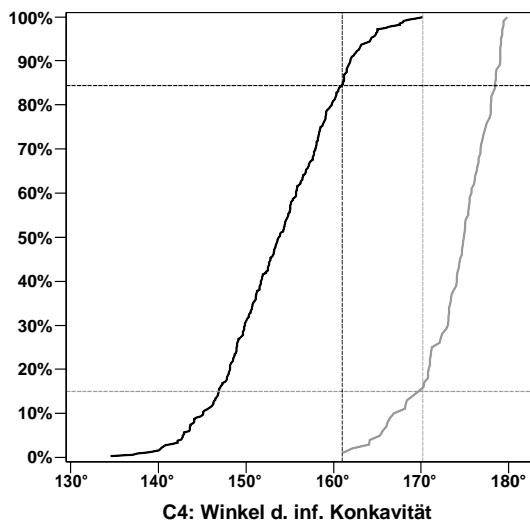
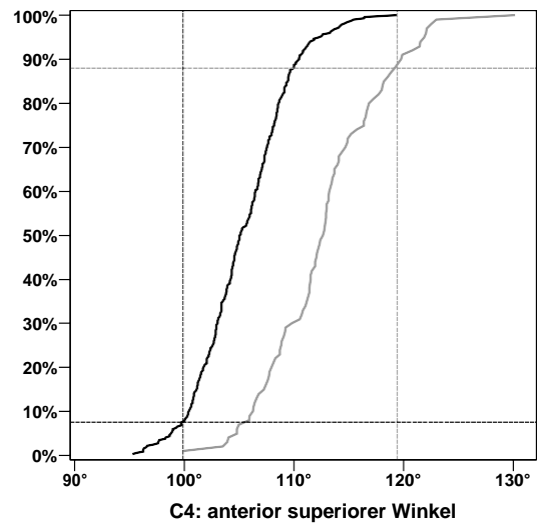
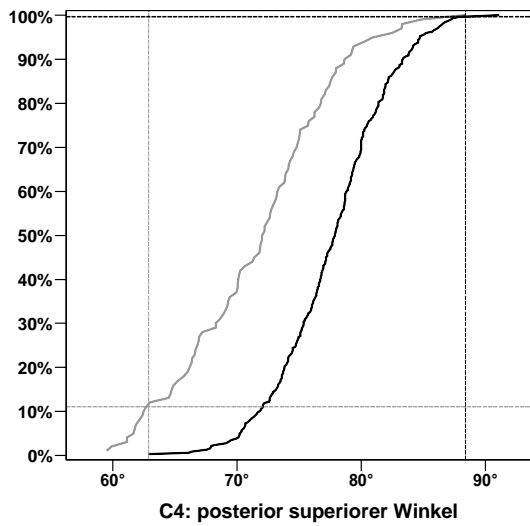
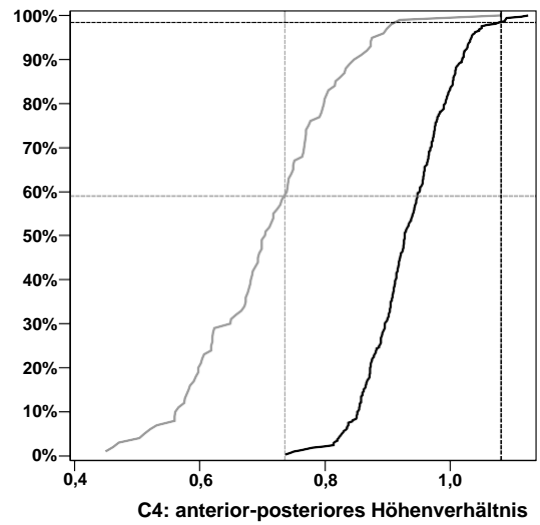
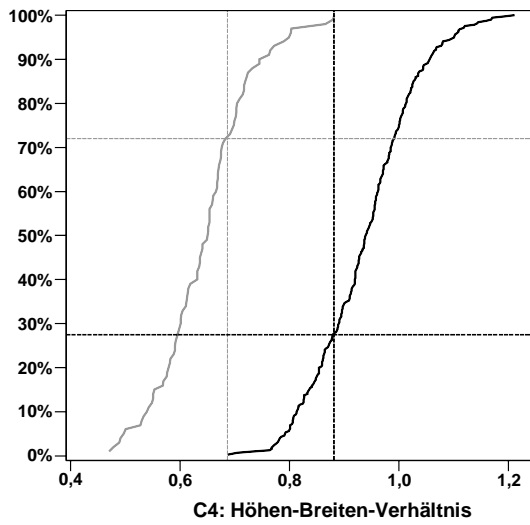


Abbildung 20 (fortführend)

3.2 Ergebnisse der visuellen Analyse

Zur Überprüfung der klinischen Reliabilität wurden visuelle Analysen durchgeführt. Dabei wurden die gleichen 420 Aufnahmen von der Autorin nach Hassel und Farman sowie Baccetti klassifiziert.

Der Autorin wurden zuvor beide Klassifizierungen erläutert, es wurden selbstständig Übungsdurchgänge durchgeführt. Das chronologische Alter der Probanden war der Beurteilerin unbekannt. Bei der Bewertung der Aufnahmen bestand die Möglichkeit je nach Stadien Tendenz ein Plus oder Minus hinzuzufügen. Ein mit Plus klassifiziertes Stadium wurde bei der Auswertung dem nächsthöheren und ein mit Minus versehenes dem nächstniedrigeren Stadium zugeordnet.

Im Abstand von zwei Wochen wurde der Durchgang ein zweites Mal durchgeführt.

3.2.1 Auswertung nach Hassel und Farman

Bei der Auswertung nach Hassel und Farman in Tabelle 4 wurden Stadien I und II nicht aufgeführt, da sie bei der Bewertung der Adulten in keinem der Fälle beobachtet wurden.

Die Aufnahmen der männlichen Probanden wurden mit 44,4% am häufigsten mit Stadium IV nach Hassel und Farman bewertet. Zu 38,6% wurde das Stadium V klassifiziert, während 15,7% der Männer dem Stadium VI zugeordnet wurden. Zwei Aufnahmen wurden mit Stadium III beurteilt.

Bei den Frauen erreichen 30,5% Stadium IV, während bei 52,7% Stadium V bewertet wurde. Stadium VI konnte bei 22 der 167 adulten Teilnehmerinnen festgestellt werden (13,2%). 6 Aufnahmen wurden hier Stadium III zugeordnet.

Tabelle 4

Häufigkeiten der Stadien nach Hassel und Farman bei Männern und Frauen

			Stadien nach Hassel und Farman				Gesamt
			III	IV	V	VI	
Geschlecht	m	Anzahl	2	68	59	24	153
		% innerhalb von Geschlecht	1,3%	44,4%	38,6%	15,7%	100,0%
	w	Anzahl	6	51	88	22	167
		% innerhalb von Geschlecht	3,6%	30,5%	52,7%	13,2%	100%
Gesamt	Anzahl		8	119	147	46	320
	% der Gesamtzahl		2,5%	37,2%	45,9%	14,4%	100,0%

Tabelle 5 zeigt die Auswertung nach Hassel und Farman bei Kindern im Alter von 8-10 Jahren. 65% der insgesamt 100 Fernröntgenbilder wurden Stadium I zugeordnet, während 32% Stadium II erreichten. Zwei Aufnahmen wurden als Stadium III klassifiziert, ein Mädchen erreichte Stadium IV. Stadien V und VI werden in der Tabelle nicht berücksichtigt, da sie kein Mal bewertet wurden.

Tabelle 5

Häufigkeiten der Stadien nach Hassel und Farman bei Kindern

			Stadien nach Hassel und Farman				
			I	II	III	IV	Gesamt
Geschlecht	m	Anzahl	32	17	1	0	50
		% innerhalb von Geschlecht	64,0%	34,0%	2,0%	0,0%	100,0%
	w	Anzahl	33	15	1	1	50
		% innerhalb von Geschlecht	66,0%	30,0%	2,0%	2,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl		65	32	2	1	100
	% der Gesamtzahl		65,0%	32,0%	2,0%	1,0%	100,0%

3.2.2 Auswertung nach Baccetti

Die Auswertung der visuellen Analyse nach Baccetti ist in Tabelle 6 und 7 abgebildet. Die Baccetti Stadien I und II traten bei der Klassifizierung der Adulten nicht auf und sind deshalb nicht in der Tabelle aufgeführt. Mit 62,5% wurde Stadium IV insgesamt am häufigsten klassifiziert. Dabei trifft es bei 67,1% der Frauen zu, während es innerhalb der männlichen Probanden mit 57,5% etwas weniger häufig zutrifft. Bei 25,9% aller ausgewerteten Aufnahmen wurde Stadium III bewertet, welches bei Männern und Frauen mit jeweils 41, beziehungsweise 42 Fällen etwa gleich häufig auftritt. Das endgültige Reifestadium V wurde innerhalb der weiblichen Adulten bei 7,8% beobachtet, unter den Männern sind es 15,7%. Es erreichen insgesamt 11,6% Baccetti Stadium V.

Tabelle 6

Häufigkeiten der Stadien nach Baccetti unter Männern und Frauen

			Stadium nach Baccetti et al.			Gesamt
			III	IV	V	
Geschlecht	m	Anzahl	41	88	24	153
		% innerhalb von Geschlecht	26,8%	57,5%	15,7%	100,0%
	w	Anzahl	42	112	13	167
		% innerhalb von Geschlecht	25,1%	67,1%	7,8%	100,0%
Gesamt		Anzahl	83	200	37	320
		% der Gesamtzahl	25,9%	62,5%	11,6%	100,0%

Tabelle 7 zeigt die Auswertung der Kinder von 8-10 Jahren. Diese ergibt mit insgesamt 73% aller Fälle Stadium I, dabei ist die Verteilung unter den Mädchen in etwa der der Jungen gleichzusetzen. Stadium II wird in 24% der Fälle erreicht, darunter circa 26% der Jungen und 22% der Mädchen. Stadium III und IV traten nur unter den Mädchen auf, Stadium III konnte zweimal und Stadium IV einmal unter den weiblichen 8-10Jährigen festgestellt werden. Stadium V kam bei der Auswertung nicht vor und wurde in Tabelle 7 nicht berücksichtigt.

Tabelle 7

Häufigkeiten der Stadien nach Baccetti bei Kindern

		Stadien nach Baccetti				Gesamt	
		I	II	III	IV		
Geschlecht	m	Anzahl	37	13	0	0	50
		% innerhalb von Geschlecht	74,0%	26,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	w	Anzahl	36	11	2	1	50
		% innerhalb von Geschlecht	72,0%	22,0%	4,0%	2,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	73	24	2	1	100
		% der Gesamtzahl	73,0%	24,0%	2,0%	1,0%	100,0%

3.2.3 Intrabeobachterreliabilität

Zur Überprüfung der Reliabilität der visuellen Analyse wurden alle 420 Aufnahmen nach zwei Wochen erneut klassifiziert.

Die Einteilung erfolgte nach den Stadien nach Hassel und Farman sowie Baccetti et al. und wurde jeweils durch die Autorin durchgeführt. Auch hier war dem Beobachter das chronologische Alter der Probanden nicht bekannt.

Tabelle 8 zeigt die Übereinstimmungsrate zwischen dem ersten und zweiten Durchgang der visuellen Analyse nach Hassel und Farman bei Erwachsenen ab dem 20. Lebensjahr. Von den insgesamt 50 bewerteten Bildern wurden 82,5% in beiden Durchgängen identisch klassifiziert. 56 Aufnahmen wurden im zweiten Durchgang anderen Stadien zugeordnet.

Tabelle 8

Übereinstimmung 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farman bei Adulten

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	Abweichendes Stadium	56	17,5	17,5
	identisches Stadium	264	82,5	82,5
Gesamt		320	100,0	100,0

In Tabelle 9 ist der direkte Vergleich der jeweiligen Stadieneinteilung abgebildet. Von den acht Aufnahmen, die im 1. Durchgang der visuellen Analyse mit Stadium 3 bewertet wurden, weicht das Ergebnis im 2. Durchgang ab, hier landen 3 dieser 8 Aufnahmen in Stadium 4. Insgesamt werden bei der Kontrollanalyse 3 Bilder mehr dem Stadium 3 zugeordnet.

Die Tabelle zeigt, dass es zwischen den einzelnen Stadien oft Abweichungen zugunsten des nächsthöheren oder niedrigeren Stadiums gibt. Von den 119 Aufnahmen, die im 1. Durchgang beispielweise als Stadium 4 klassifiziert wurden, entsprechen 14 davon im Kontrolldurchgang Stadium 5 und 6 Bilder Stadium 3. Ähnlich verhält es sich bei Stadium 5 und 6.

Tabelle 9

Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farman bei Adulten

Anzahl		Stadien 2. Durchgang				Gesamt
		III	IV	V	VI	
Stadien 1. Durchgang	III	5	3	0	0	8
	IV	6	99	14	0	119
	V	0	11	125	11	147
	VI	0	1	10	35	46
Gesamt		11	114	149	46	320

Zur Beurteilung der Intrabeobachterreliabilität wurde eine Reliabilitätsanalyse nach Cohen's Kappa durchgeführt. Diese Analysemethode wurde gewählt, da hier die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Übereinstimmung mit einberechnet wird. Es ergibt sich ein Kappa-Koeffizient von $k = 0,72$ (siehe Tab. 10).

Tabelle 10

Cohen's Kappa bei der Auswertung nach Hassel und Farman bei Adulten

		Asymptotischer Wert	Näherungsweise Standardfehler ^a	Näherungsweise t ^b	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,723	,033	18,151	,000
Anzahl der gültigen Fälle		320			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Tabelle 11 zeigt die prozentuale Übereinstimmung beider Durchgänge bei der Auswertung der Adulten nach Baccetti et al. In knapp 20% der Fälle wurde beim 2. Durchgang ein abweichendes Stadium zum ersten bewertet. 80% wurden in beiden Durchläufen gleichermaßen klassifiziert.

Tabelle 11

Übereinstimmung 1. Und 2. Durchgang nach Baccetti bei Adulten

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozenze
Gültig	abweichendes Stadium	63	19,7	19,7
	identisches Stadium	257	80,3	80,3
Gesamt		320	100,0	100,0

In Tabelle 12 ist der Vergleich der Stadieneinteilung beider Durchgänge aufgeführt. Von den insgesamt 83 mit Stadium 3 bewerteten Aufnahmen wurden im zweiten Durchgang 60 identisch und 23 in Stadium 4 eingeteilt. Stadium 4 wurde vom Beobachter im 1. Durchlauf in 200 Fällen klassifiziert, im Kontrolldurchgang landeten 35 dieser Aufnahmen im nächsthöheren und niedrigeren Stadium. Stadium 5 wurde im zweiten Durchgang mit 50 Fällen insgesamt häufiger klassifiziert.

Tabelle 12

Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Baccetti bei Adulten

Anzahl

		Stadien 2. Durchgang			Gesamt
		III	IV	V	
Stadien 1.	III	60	23	0	83
Durchgang	IV	17	165	18	200
	V	0	5	32	37
Gesamt		77	193	50	320

Auch bei der Auswertung nach Baccetti wurde eine Intrarater-Reliabilitätsanalyse nach Cohen's Kappa durchgeführt (Tab. 13).

Es ergibt sich unter der Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Übereinstimmung in der Bewertung ein Kappa-Koeffizient $k = 0,64$. Die Reliabilität ist niedriger als bei der Auswertung nach Hassel und Farman.

Tabelle 13

Cohen's Kappa bei der Auswertung nach Baccetti bei Adulten

Maß der Übereinstimmung	Kappa	Asymptotischer		Näherungsweise	Näherungsweise
		Wert	Standardfehler ^a	t ^b	Signifikanz
		,637	,041	15,105	,000
Anzahl der gültigen Fälle		320			

a. Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Zum Vergleich sind die Auswertungen der Aufnahmen der 8 – 10Jährigen in Tabelle 14 bis 17 aufgeführt.

Es ergibt sich eine Übereinstimmung von erstem und zweitem Durchgang der Bewertung nach Hassel und Farman von 73%. 27% der Fälle wurden im zweiten Durchgang dem nächsthöheren oder niedrigeren Stadium zugeordnet.

Tabelle 14

Übereinstimmung 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farman bei 8-10Jährigen

Gültig		Häufigkeit		Gültige		Kumulierte	
			Prozent	Prozente	Prozente		Prozente
	abweichendes Stadium	27	27,0	27,0		27,0	
	identisches Stadium	73	73,0	73,0		100,0	
	Gesamt	100	100,0	100,0			

Beim direkten Vergleich der Stadieneinteilung nach Hassel und Farman in Tabelle 15 wird deutlich, dass auch hier Abweichungen zu Nachbarstadien vorkommen. Während im 1. Durchgang 65 Fälle Stadium I zugeordnet wurden, wurden davon im 2. Durchgang 11 Aufnahmen Stadium II zugeteilt. Ähnlich verhält es sich bei Stadium II aus dem 1. Durchlauf, von den insgesamt 32 mit Stadium II bewerteten Fällen werden etwa die Hälfte im 2. Durchgang Stadium I zugeordnet, eine wurde mit Stadium III bewertet. Im 1. und 2. Durchgang wurde jeweils die gleiche Aufnahme in Stadium 4 eingeteilt.

Tabelle 15

Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Hassel und Farmen bei 8-10Jährigen

Anzahl

	2. Durchgang				Gesamt
	I	II	III	IV	
1. Durchgang I	54	11	0	0	65
II	15	16	1	0	32
III	0	0	2	0	2
IV	0	0	0	1	1
Gesamt	69	27	3	1	100

Tabelle 16 stellt die Auswertung nach Baccetti et al. bei Kindern im Alter von 8 – 10 Jahren dar. Von 100 ausgewerteten Aufnahmen werden 79 im 1. und 2. Durchgang mit identischen Stadien bewertet. In 21 Fällen zeigen sich Unterschiede bei der Beurteilung.

Tabelle 16

Übereinstimmung 1. und 2. Durchgang nach Baccetti et al. bei 8-10Jährigen

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	abweichendes Stadium	21	21,0	21,0	21,0
	identisches Stadium	79	79,0	79,0	100,0
	Gesamt	100	100,0	100,0	

Beim Vergleich beider Bewertungsdurchgänge nach Baccetti et al. in Tabelle 17 zeigt sich ebenfalls eine Varianz in der Auswertung. Im ersten Durchlauf wurden 24 Fälle Stadium II zugeordnet, davon entschied sich der Betrachter in der zweiten Runde in der Hälfte der Fälle für Stadium I.

Die dagegen zunächst mit Stadium I bewerteten Aufnahmen zeigen im zweiten Durchlauf eine etwas geringere Varianz.

Tabelle 17

Vergleich 1. und 2. Durchgang nach Baccetti et al. bei 8-10Jährigen

Anzahl

		2. Durchgang				Gesamt
		I	II	III	IV	
1. Durchgang	I	63	10	0	0	73
	II	12	12	0	0	24
	III	0	0	2	0	2
	IV	0	0	0	1	1
Gesamt		75	22	2	1	100

4 Diskussion

Die Wahl des optimalen Behandlungszeitpunkts in der Kieferorthopädie steht und fällt mit der skelettalen Reife der Patienten. Noch zu erwartendes Wachstum ist neben dem Behandlungsbeginn auch für die Behandlungsplanung entscheidend. Die Wahl der Therapie, deren Behandlungsdauer und Prognose hängen maßgeblich vom individuellen Reifegrad des Patienten ab [1, 10, 40].

Auch aus forensischen-rechtlichen Gründen ist die Altersbestimmung eine wichtige Entscheidungsgrundlage vor allem in Bezug auf ansteigende Migrantenzahlen. Das Alter spielt eine große Rolle bei der Entscheidung über Jugend- oder Erwachsenenstrafrecht, aber auch im laufenden Asylverfahren bestimmt eine Altersgrenze von 16 Jahren über die Unterbringung der Antragsteller. Sofern unklare, oder gar keine Altersangaben vorliegen sind weiterführende diagnostische Untersuchungen erforderlich [4, 5].

Die bislang als Goldstandard der Altersbestimmung in der Kieferorthopädie geltende Handröntgenmethode liefert zuverlässige Ergebnisse [3, 16, 17]. Dies beruht darauf, dass durch eindeutige, nicht variable anatomische Merkmale das Alter bestimmt werden kann, wie etwa die Beschaffenheit von Dia- und Epiphyse. Es lässt sich beispielsweise mit großer Sicherheit diagnostizieren, dass bei einer sichtbaren Verknöcherung des Sesamoids der Wachstumsspurt unmittelbar bevorsteht und dementsprechend der richtige Behandlungszeitpunkt gewählt werden kann.

Eine weitere Methode ist die Bestimmung des dentalen Alters nach Demirjian. Hierbei werden die Merkmale einzelner Zähne, wie etwa die Beschaffenheit des Apex (offen oder geschlossen), oder beginnende Kalzifizierungen herangezogen und in einem Punktesystem bewertet [15].

Die dentale Altersschätzung kann darüber hinaus auch kombiniert mit der Handröntgenmethode angewendet werden [41].

Die vor allem in Europa Anklang findende Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife anhand der CVM-Methode gewinnt jedoch zunehmend an Bedeutung im

kieferorthopädischen Alltag. Die Halswirbelmethode steht immer mehr zur Diskussion, da dem Patienten künftig eine zusätzliche geringe Strahlenbelastung durch den Verzicht auf eine Handröntgenaufnahmen erspart bleiben könnte. Auf diese Art erhofft man sich darüber hinaus eine Zeitersparnis bei der Altersschätzung der Patienten.

Es finden sich zahlreiche Studien zur Untersuchung der CVM-Methode anhand von Fernröntgenseitenaufnahmen [6-9, 11, 19-22, 27-30]. Stützende Studien beschränken sich dabei jedoch zumeist auf eine geringe Fallzahl [11, 21, 42, 43]. Perinetti et al. untersuchten beispielsweise den Zusammenhang der CVM-Methode und Körpergröße mit dem maximalen Unterkieferwachstum. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Halswirbelmethode im klinischen Alltag verlässliche Ergebnisse liefert, jedoch führten sie ihre Untersuchungen an nur 24 Probanden durch. Auch die bereits erläuterte Studie nach Baccetti et al. im Jahr 2002 basierte auf der Auswertung von gerade einmal 30 Aufnahmen.

Zudem konzentrieren sich vorangegangene Studien ausschließlich mit Probanden im Alter von 5 bis maximal 22 Jahren [6-9, 19, 21, 33, 42, 43] und damit nur um den vorpuberalen und puberalen Altersabschnitt. Wie es jedoch um die Verlässlichkeit der Methode bei Probanden im Alter darüber hinaus aussieht bleibt bislang undiskutiert.

In dieser Studie soll nun gezeigt werden, dass vor allem nach erfolgtem Wachstumsspurt eine eindeutige Klassifikation nach der CVM-Methode nur sehr schwer möglich ist.

4.1 Ergebnisse der computerbasierten Analyse

Bei der Auswertung der metrischen Daten fällt auf, dass vor allem die gemessenen Konkavitäten an der inferioren Wirbelgrenze des ausgereiften Halswirbels weitaus flacher ausfallen als es bei zahlreichen Klassifikationen abgebildet ist [6, 7, 11, 19, 43, 44]. Mit durchschnittlich 156° an C4 sind sie bei den männlichen Adulten am wenigsten ausgeprägt, der Wirbelkörper wirkt basal eher flach und nicht deutlich konkav wie beispielsweise bei San Roman et al. abgebildet [7]. Abbildung 21 zeigt eine Fernröntgenseitenaufnahme eines 24 Jahre alten Mannes, die dieses Ergebnis veranschaulichen soll. An allen drei Halswirbeln ist zwar eine Konkavität zu erkennen, jedoch ist diese sehr flach und damit weit entfernt von jeglichen Klassifizierungsskizzen anderer Studien [6, 11, 19]. Hier sind in der Regel Winkel zwischen 110° und 130° abgebildet.



Abbildung 21: FRS eines 24-jährigen Patienten

C2 und C3 erreichen mit 149° bei den weiblichen Erwachsenen eine ähnlich schwach ausgeprägte basale Konkavität, geringfügig mehr als an C4 (151°). Dennoch ist der Winkel an allen drei gemessenen Konkavitäten hier signifikant kleiner als bei den männlichen Probanden, was wiederum bedeutet, dass sie stärker ausgebildet sind. Dies bestätigt die Ergebnisse von Hägg und Taranger sowie auch von Björk und Helm, die in ihren Studien eine raschere skelettale Reifung der Frauen feststellen konnten [2, 45]. Auch Hoseini et al. konnten 2016 beim Vergleich der Handröntgen- und CVM-Methode darlegen, dass die weiblichen Patienten ihren männlichen in der skelettalen Reife voraus waren [46].

Bei San Roman et al. wird angegeben, dass die Höhe der reifen Halswirbel C3 und C4 im Stadium 4 stärker ausgeprägt ist als die Breite [7], die Berechnungen ergaben jedoch lediglich ein Höhen-Breiten-Verhältnis von maximal 0,99 an C3 und 0,94 an C4. Damit sind die Wirbelkörper durchschnittlich eher quadratischer Form als vertikal-rechteckig.

Beim Vergleich der anterioren und posterioren Höhe mit einem Verhältnis von durchschnittlich 0,93 wird zwar eine deutliche Tendenz zur rechteckigen Form gemessen, jedoch wird auch diese nicht vollständig erreicht. Das Wirbeldach verjüngt sich demnach von posterior nach anterior und weist noch Spuren der trapezoiden Form auf.

Als weiteres Kriterium zur Beschreibung der reifen Wirbelkörper dient in den unter Material und Methoden bereits erläuterten Klassifikationen der posteriore und anteriore Winkel an der superioren Wirbelgrenze [6, 11]. Da in den meisten Fällen sowohl bei C3 als auch bei C4 im ausgereiften Stadium ein quadratisch bis rechteckiger Wirbelkörper definiert wird, ist ein posteriorer und anteriorer Winkel von ca. 90° zu erwarten. Die Analysen zeigen aber lediglich Werte von 75° - 78° an der posterioren Kante, während der anteriore Winkel 105° - 107° beträgt. Beide Körper ähneln demnach einer eher trapezoiden Form als einer rechteckigen. Das Merkmal des rechten Winkels wird somit nicht erfüllt.

In der Gesamtheit ist festzustellen, dass die durchschnittlichen Wirbelkörper C3 und C4 von erwachsenen Frauen und Männern bei abgeschlossenem Wachstum keine vertikal rechteckige Form erreichen. Laut Klassifikationen nach Baccetti oder Hassel und Farman würde dies bedeuten, dass der Durchschnitt der Probanden nie das letzte, ausgereifte Stadium erreichen würde.

Bei den 8 -10Jährigen hingegen zeigen die Werte die zu erwartende geringe Ausprägung der untersuchten Merkmale. Die Wirbelkörper sind erst wenig gereift, demnach sehr flach und trapezförmig.

Um einen direkten Zusammenhang zu den heute gängigen Klassifizierungen der Halswirbelmethode herzustellen, sind die von Baccetti und Hassel und Farman festgelegten Kriterien in metrische Daten übersetzt worden. Vorab ist erwähnenswert, dass dabei sehr großzügig definiert wurde: Das Höhen-Breiten-Verhältnis mit $\geq 0,9$ beinhaltet auch Wirbelkörper, die noch nicht einmal eine vollständig quadratische Form annehmen. Diese Fälle gelten in dieser Studie bereits als ‚Kriterium erfüllt‘. Gleiches gilt für die Definition des Winkels der Konkavitäten, dieser wird mit $\leq 160^\circ$ festgelegt. Die Werte wurden so gewählt, um eventuelle Messfehler mit einzukalkulieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst bei dieser großzügigen Bewertung nicht alle ausgewerteten Aufnahmen das Kriterium Konkavität erfüllen können. Sogar nur 76% der Männer zeigen eine Konkavität an der inferioren Wirbelgrenze von C4 auf. Am auffälligsten ist jedoch das Merkmal ‚vertikal-rechteckige Form‘. Dieses schneidet für beide Wirbelkörper C3 und C4 bei Männern und Frauen am schlechtesten ab. Nur in 56% der Fälle erreicht C3 eine vertikal rechteckige Form, bei C4 sind es immerhin 64%. Das Ergebnis wird maßgeblich durch das anteriore-posteriore Höhenverhältnis bestimmt, dieses wurde mit $\geq 0,9$ zwar schon sehr tolerant definiert, dennoch konnte es nur bei 71% für C3 und 69% für C4 festgestellt werden. In Abbildung 22 wird dies noch einmal deutlich, es handelt sich um die Aufnahmen dreier Männer im Alter von 43, 54 und 20 Jahren. Die Wirbelkörper sind altersentsprechend vollständig ausgereift, weisen jedoch eine eindeutig horizontal-rechteckige Form auf.



Abbildung 22: FRS dreier Männer im Alter von 43, 54 und 20 Jahren (v.l.n.r.), in allen Fällen H-B-Verh. $<0,9$

Addiert man die einzelnen Ergebnisse zusammen, so zeigt sich an C3 bei 46% eine Erfüllung aller Kriterien, an C4 sind es nur 37%. Insgesamt erfüllen lediglich 24% der ausgewerteten Fälle alle Kriterien für Baccetti Stadium V, beziehungsweise Hassel und Farman Stadium VI. Das sind gerade einmal 27 männliche und 49 weibliche Probanden aller 320 Teilnehmer über 20 die das oben definierte Endstadium erreichen.

Dass sich die Merkmale der Halswirbelkörper bei präpubertären Kindern und Erwachsenen sogar überschneiden zeigen Tabelle 3 und Abbildung 20. Die superioren Winkel unterscheiden sich kaum zwischen Adulten und Kindern, denen der puberale Wachstumsspur noch bevorsteht. Die Winkel verändern sich im Laufe des Reifeprozesses nur wenig und erreichen bei abgeschlossenem Wachstum meist nicht den vorgegebenen rechten Winkel [6, 11]. Es finden sich aber auch nennenswerte Überschneidungen der Werte an den inferioren Konkavitäten von C2 und C3 sowie dem anterioren-posterioren Höhenverhältnis von C3 und C4 (Tab.3, Abb. 20). Die Halswirbelmerkmale der skelettal ausgereiften Wirbelkörper lassen sich folglich nicht eindeutig von denen der Kinder abgrenzen.



Abbildung 23: Männlicher Patient, 8. und 12. Lebensjahr (v.l.n.r.)

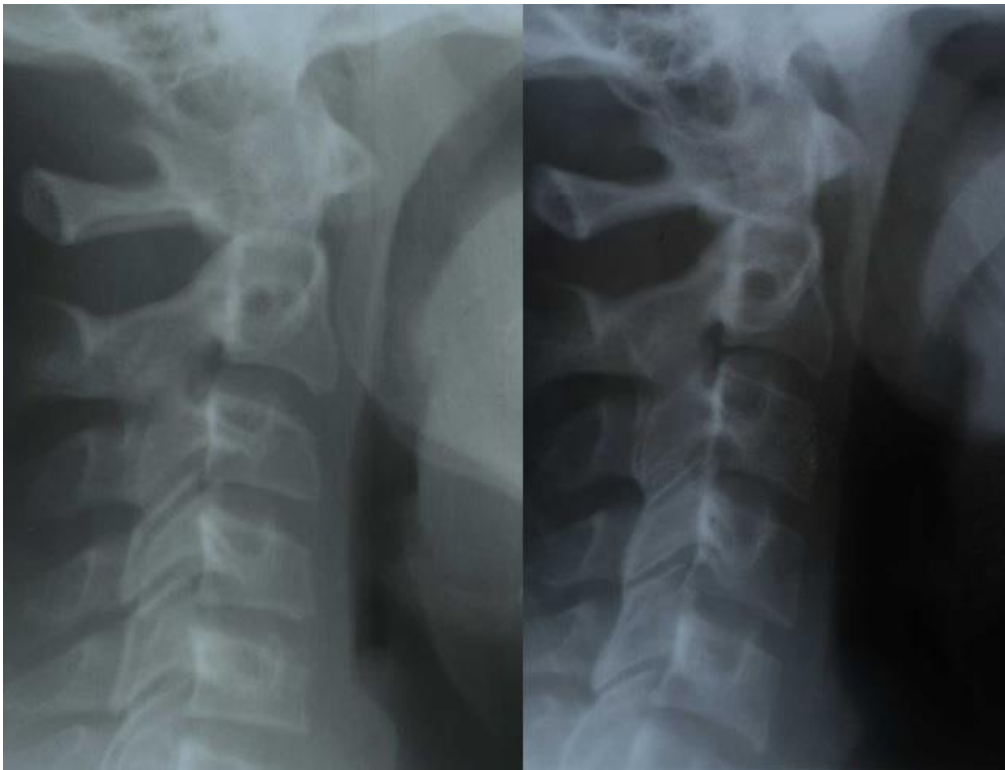


Abbildung 24: Männlicher Patient, 15. und 23. Lebensjahr (v.l.n.r.)

Abbildungen 23 und 24 veranschaulichen die Reifung der einzelnen Halswirbel anhand einer Serie an Fernröntgenseitenbildern. Die Aufnahmen stammen von einem männlichen Probanden, der vor, während und nach dem puberalen Wachstumsspurt geröntgt wurde. Sie zeigen ganz deutlich die Entwicklung: In Abbildung 23 links, im Alter von 8 Jahren, und damit vor dem Reifeprozess sind noch keine Konkavitäten erkennbar, das Wirbeldach verjüngt sich stark nach anterior und die Wirbel wirken keilförmig. Abbildung 23 rechts zeigt den Patienten im Alter von 12 Jahren mit bereits begunnenem Wachstumsspurt. Es sind initiale Konkavitäten an C2 und C3 erkennbar, während C4 basal noch sehr flach ist. Die Wirbelkörper haben anterior an Höhe zugenommen und werden zunehmend rechteckig. Bis zum Alter von 15 Jahren nimmt nun die Höhe noch etwas zu, und die Konkavitäten bilden sich weiter aus. In Abbildung 24 rechts ist der Proband nach sieben weiteren Jahren zu sehen, das Wachstum ist nun vollständig abgeschlossen. Zwar haben sich die Konkavitäten an der basalen Wirbelgrenze weiter verdeutlicht, jedoch erreichen die Wirbelkörper keine vertikal-rechteckige Form. Die superioren Winkel an C3 erreichen mit $110,8^\circ$ für den anterioren und $72,6^\circ$ für den posterioren keinen rechten Winkel und das anterior-posteriore Höhenverhältnis liegt bei 0,83. Die Wirbelkörper nehmen mit 0,94 für C3 und 0,88 für C4 eine rechteckig bis quadratische Form an. Damit passt dieses Beispiel zu den bereits festgestellten Ergebnissen dieser Studie.

4.2 Ergebnisse der visuellen Analyse

Die Auswertung der visuellen Analyse nach Baccetti et al. zeigt, dass von allen Aufnahmen nur 11,6% der Adulten ab 20 Jahren das Endstadium erreichen und die Halswirbel damit als voll ausgereift gelten (Tab. 6). Auffallend viele Aufnahmen, insgesamt knapp 63%, wurden dem Stadium IV nach Baccetti zugeordnet. Immerhin 83 Bilder fallen sogar unter Stadium III, ein Stadium in dem laut Definition durchaus noch Restwachstum zu erwarten wäre. Der Wachstumsschub hätte 1-2 Jahre zuvor stattgefunden, dies scheint jedoch bei einem Erwachsenen, der das 20. Lebensjahr bereits überschritten hat, wenig zutreffend. Die Ergebnisse lassen sich damit begründen, dass die Wirbelkörper C3 und C4 dem Betrachter bei der Beurteilung in ihrer Form nicht vertikal-rechteckig erscheinen, sondern eher horizontal-rechteckig bis quadratisch. Die Höhe der Wirbelkörper ist folglich zur Bestimmung des Reifegrades anhand der CVM-Methode wenig aussagekräftig und kann hier nicht als verlässlicher Parameter dienen. Dies wird auch in anderen Studien, wie von San Roman et al. sowie Nestman et al. deutlich [7, 28].

Die Schwierigkeit bei der visuellen Analyse liegt darin, Stadium III, IV und V bezogen auf die Form der Wirbelkörper voneinander abzugrenzen. Nach Stadium III sind die Wirbel in ihrer Form rechteckig. Stadium IV besagt mindestens einer der Wirbelkörper C3 oder C4 ist quadratisch während Stadium V besagt, dass mindestens einer der beiden vertikal-rechteckig ist. Da die Wirbelkörper eines Individuums eine annähernd simultane Reifung durchlaufen, ist deren entwicklungsbedingte Anatomie jedoch sehr ähnlich, das heißt es ist nie der Fall, dass beispielsweise C4 deutlich vertikal-rechteckig und C3 nur horizontal-rechteckig ausgeprägt ist. Es handelt sich also eher um dezente Unterschiede zwischen horizontal rechteckig-quadratisch-vertikal rechteckig, die oft mit dem bloßen Auge nur ungenau bewertet werden können.

Auch die Studie von Nestman und Marshall et al. zeigt die Problematik in der Beurteilung der Wirbelkörperform durch den Beobachter. Sie ließen zehn Kieferorthopäden, nach vorangegangenem Training in der CVM-Methode, 30 FRSe auswerten. Das Ergebnis

zeigte, dass die Beobachter hauptsächlich Probleme in der Beurteilung der Wirbelform hatten, was zu einer Intrabeobachter-Übereinstimmung von nur 62% führte [28].

Die Auswertung nach Hassel und Farman in dieser Studie ergab ein ähnliches Resultat. Knapp 46% aller Probanden wurden Stadium V zugeordnet, das heißt sie besitzen eine inferiore Konkavität an C2, C3 und C4 und C3 sowie C4 sind in ihrer Form quadratisch. Laut der Definition des Stadiums nach Hassel und Farman wird ab diesem Zeitpunkt noch ein Restwachstum von 5-10% erwartet [6]. Insgesamt 87% der ausgewerteten Fälle erreichen nicht das Endstadium VI und gelten somit als noch nicht vollständig ausgereift. Dies erscheint jedoch äußerst unwahrscheinlich bei Probanden im Alter von 20 – 61 Jahren. Hier kann angenommen werden, dass das Wachstum bereits abgeschlossen ist.

Um oben genannte Ergebnisse noch einmal zu veranschaulichen hierzu ein Beispiel: Abbildung 25 zeigt die Fernröntgenseitenaufnahme einer 33 Jahre alten Probandin. Diese wurde beim 1. Durchgang der Bewertung nach Baccetti mit Stadium III bewertet, beim 2. Durchgang hat der Beobachter sich für Stadium IV entschieden. Es ist visuell schwer zu erkennen, ob einer der beiden Wirbelkörper C3 oder C4 bereits quadratische Maße angenommen hat oder nicht. Die computerbasierte Analyse zeigt für diesen Fall für C3 ein Höhen-Breiten-Verhältnis von 0,97, für C4 ist es 0,87. Dies entspricht einer annähernd quadratischen Form von C3 und eher rechteckigen von C4, somit Stadium IV laut Baccetti et al.



Abbildung 25: FRS einer 33-jährigen Patientin

4.3 Intrabeobachterreliabilität

Um die Verlässlichkeit der visuellen Beurteilung der Fernröntgenseitenaufnahmen nach der CVM-Methode festzustellen, wurden Analysen zur Intrarater-Reliabilität durchgeführt.

Hierzu wurden alle 420 Röntgenbilder nach zwei Wochen durch den gleichen Beobachter erneut bewertet.

Die Intrabeobachterreliabilität bei der Auswertung der Adulten nach Baccetti liegt bei 0,67 (Tab. 13), es wurde sich in knapp 20% der Fälle für das nächsthöhere oder niedrigere Stadium entschieden (Tab. 11). Dies bestätigt, dass dem Beobachter in vielen Fällen die Stadieneinteilung aufgrund der fließenden Übergänge Schwierigkeiten bereitet, zu gewissem Anteil variiert sein Urteil im zweiten Bewertungsdurchgang.

Bei der Auswertung der Intrabeobachterreliabilität nach Hassel und Farman ergab sich ein Wert von 0,72. Dieser liegt geringfügig über der nach Baccetti et al. Der Betrachter entscheidet hier also minimal verlässlicher. Diese Tatsache kann der Vereinfachung und damit auch der Komprimierung der Stadien nach Baccetti geschuldet sein.

Auch andere Studien beschäftigten sich bereits mit der Verlässlichkeit der CVM-Methode [28, 47, 48]. Predko-Engel et al. ließen 2015 zehn Kieferorthopäden insgesamt 50 Fernröntgenaufnahmen von Kindern im Alter von 10-15 Jahren bewerten. Drei der Beurteiler waren dabei mit der CVM-Methode schon vertraut, die restlichen sieben waren noch ungeübt. Anschließend wurde ein zweiter Bewertungsdurchgang durchgeführt. Es ergab sich für die Intrabeobachterreliabilität ein Wert von 0,44 nach Cohen's Kappa, die Interbeobachterreliabilität lag bei 0,28. Predko-Engel et al. zeigten mit ihrer Studie also ebenfalls eine geringe Verlässlichkeit der visuellen Bewertung nach der CVM-Methode. Dabei steht die Reliabilität nicht im Zusammenhang mit dem Erfahrungswert des Beurteilers [48].

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Über die Bedeutung der Halswirbelmethode zur skelettalen Reifebestimmung ist man sich in Fachkreisen uneins. Bislang veröffentlichte Arbeiten setzen sich zumeist mit dem im prä- und peripuberalen Wachstumsabschnitt auseinander. Ziel dieser Studie war es, die Anwendbarkeit der CVM-Methode im Erwachsenenalter zu untersuchen. Dazu wurden insgesamt 420 Fernröntgenseitenaufnahmen des Universitätsklinikums Würzburg herangezogen und digitalisiert. Darunter befanden sich 320 Probanden, die das 20. Lebensjahr bereits überschritten haben, sowie 100 Kinder im Alter von 8-10 Jahren als Vergleichsgruppe.

Anschließend wurden die Röntgenbilder durch das Programm Onyx-Ceph³™ digital analysiert. Es wurden relevante Strukturen der Halswirbelkörper durch den Beobachter markiert und die benötigten Strecken und Winkel berechnet. Zur Überprüfung des Intraobserverfehlers bei der Punktierung wurden 50 zufällig ausgewählte Aufnahmen im Abstand von zwei Wochen erneut punktiert.

Alle Aufnahmen wurden zudem durch einen Beobachter nach den CVM-Klassifizierungen von Hassel und Farman sowie Baccetti et al. bewertet. Nach zwei Wochen wurde dieser Vorgang erneut wiederholt.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass ausgereifte Halswirbelkörper deutlich von der vorgegebenen Form nach den finalen Reifestadien nach Baccetti et al. sowie Hassel und Farman abweichen.

Die Konkavitäten der basalen Wirbelbegrenzung fallen flacher aus als in der bisherigen Literatur angenommen (149° - 156°). Dieses Merkmal ist bei Frauen tendenziell stärker ausgeprägt. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass ausgereifte Halswirbelkörper zumeist quadratischer Form sind (Höhen-Breiten-Verhältnis von 0,93 - 0,99). Die Messungen ergaben ebenfalls, dass beide superioren Winkel durchschnittlich nicht das Kriterium des rechten Winkels erfüllen und somit keine eindeutig rechteckige Form gebildet wird.

Die Auswertung der Vergleichsgruppe von 8-10Jährigen zeigte deutliche Überschneidungen einzelner Merkmale. Vor allem am anterior-superior und posterior-superioren Winkel konnte eine große Übereinstimmung der Werte der Adults mit den der Kinder festgestellt werden. Auch die inferioren Konkavitäten an C2 und C3 sowie das anterior-posteriore Höhenverhältnis zeigten maßgebliche Überschneidungen der Werte beider Gruppen. Es kann also geschlussfolgert werden, dass die Form der Wirbelkörper kein verlässlicher Parameter bei der Bestimmung der skelettalen Reife ist. Diese Ergebnisse konnten bereits in der internationalen Fachzeitschrift „Journal of Forensic Odonto-Stomatology“ publiziert werden [49].

Die visuelle Analyse wird zusätzlich dadurch erschwert, dass die Stadien oftmals nicht deutlich voneinander abgrenzbar sind, sondern regelrecht ineinander übergehen. Diese Grenzfälle führten zu einer nicht ausreichenden Intrabeobachterreliabilität, was auf eine unzureichende Verlässlichkeit der oben genannten Klassifikationen schließen lässt.

Im Vergleich zu bisherigen Methoden kann die Bestimmung der skelettalen Reife nach der Halswirbelmethode durch die hohe Varianz in der Anatomie nicht eindeutig erfolgen. Somit sollte die CVM-Methode nicht als alleiniges Mittel bei der Bestimmung der skelettalen Reife genutzt werden, sondern eher zur Stützung bereits bewährter Methoden. Es sollte über eine zukünftige Klassifizierung diskutiert werden, die diese anatomischen Varianzen vor allem in den Endstadien berücksichtigt.

6 Literaturverzeichnis

1. Kahl-Nieke, B., *Optimaler Zeitpunkt für die Durchführung kieferorthopädischer Maßnahmen (unter besonderer Berücksichtigung der kieferorthopädischen Frühbehandlung)*. DGKFO, 2010.
2. Hagg, U., Taranger, J., *Maturation indicators and the pubertal growth spurt*. Am J Orthod, 1982. **82**(4): p. 299-309.
3. Fishman, L.S., *Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films*. Angle Orthod, 1982. **52**(2): p. 88-112.
4. Lockemann, U., Fuhrmann, A., Püschel, K., Schmeling, A., Geserick, G., *Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen außerhalb des Strafverfahrens*. Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin, 2008.
5. Schmeling, A., Grundmann, C., Fuhrmann, A., Kaatsch, H.-J., Knell, B., Ramsthaler, F., Reisinger, W., Riepert, T., Ritz-Timme, S., Rösing, F.W., Rötzscher, K., Geserick, G., *Aktualisierte Empfehlungen für Altersschätzungen bei Lebenden im Strafverfahren*. Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin, 2008.
6. Hassel, B., Farman, A.G., *Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1995. **107**(1): p. 58-66.
7. San Roman, P., Palma, J.C., Oteo, M.D., Nevado, E., *Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development*. Eur J Orthod, 2002. **24**(3): p. 303-11.
8. Stiehl, J., Müller, B., Dibbets, J., *The development of the cervical vertebrae as an indicator of skeletal maturity: comparison with the classic method of hand-wrist radiograph*. J Orofac Orthop, 2009. **70**(4): p. 327-35.
9. Alkhal, H.A., Wong, R.W., Rabie, A.B., *Correlation between chronological age, cervical vertebral maturation and Fishman's skeletal maturity indicators in southern Chinese*. Angle Orthod, 2008. **78**(4): p. 591-6.
10. Fishman, L.S., *Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth*. Angle Orthod, 1979. **49**(3): p. 181-9.
11. Baccetti, T., Franchi, L., McNamara, J.A.Jr., *An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth*. Angle Orthod, 2002. **72**(4): p. 316-23.
12. Grave, K.C., Brown, T., *Skeletal ossification and the adolescent growth spurt*. Am J Orthod, 1976. **69**(6): p. 611-9.
13. Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Marubini, E., Resele, L.F., *The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden growth study*. Ann Hum Biol, 1976. **3**(2): p. 109-26.
14. Green, L.J., *The Interrelationships among height, weight and chronological, dental and skeletal ages*. The Angle Orthodontist, Jul 1961. **31**(3): p. 189-193.
15. Demirjian, A., Goldstein, H., Tanner, J.M., *A new system of dental age assessment*. Hum Biol, 1973. **45**(2): p. 211-27.
16. Hagg, U., Taranger, J., *Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt*. Acta Odontol Scand, 1980. **38**(3): p. 187-200.
17. Pyle, S.I., Waterhouse, A.M., Greulich, W.W., *Attributes of the radiographic standard of reference for the National Health Examination Survey*. Am J Phys Anthropol, 1971. **35**(3): p. 331-7.
18. Proff, P., Kirschneck, C., *Indikation von Handskelettaufnahmen im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung*. Stellungnahme der DGKFO, 2016.

19. O'Reilly, M.T., Yanniello, G.J., *Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae--a longitudinal cephalometric study*. Angle Orthod, 1988. **58**(2): p. 179-84.
20. Lamparski, D.G., *Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae*. International Journal of Orthodontia and Dentistry for Children, 1972. **67**(4): p. 458-459.
21. Pancherz, H., Szyska, M., *Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife*. Informationen aus Orthopädie und Kieferorthopädie, 2000(2).
22. Franchi, L., Baccetti, T., McNamara, J.Jr., *Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height*. Am J Orthod, 2000. **118**(3): p. 335-340.
23. Birchler, F.A., Kiliaridis, S., Combescure, C., Vazquez, L., *Dental age assessment on panoramic radiographs in a Swiss population: a validation study of two prediction models*. Dentomaxillofac Radiol, 2016. **45**(1): p. 20150137.
24. Wolf, T.G., Briseno-Marroquin, B., Callaway, A., Patyna, M., Muller, V.T., Willershausen, I., Ehlers, V., Willershausen, B., *Dental age assessment in 6- to 14-year old German children: comparison of Cameriere and Demirjian methods*. BMC Oral Health, 2016. **16**(1): p. 120.
25. Visser, H., Rödiger, T., Hermann, K.P., *Dose reduction by direct-digital cephalometric radiography*. Angle Orthod, 2001. **71**(3): p. 159-163.
26. Ludlow, J.B., Timothy, R., Walker, C., Hunter, R., Benavides, E., Samuelson, D.B., Scheske, M.J., *Effective dose of dental CBCT - a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units*. Dentomaxillofacial Radiology, 2015. **44**.
27. Beit, P., Peltomaki, T., Schätzle, M., *Evaluating the agreement of skeletal age assessment based on hand-wrist and cervical vertebrae radiography*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2013. **144**(6): p. 838-847.
28. Nestman, T.S., Marshall, S.D., Qian, F., *Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: Poor reproducibility*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2011. **140**(2): p. 182-188.
29. Gabriel, D.B., Southard, K.A., Qian, F., *Cervical vertebrae maturation method: Poor reproducibility*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009. **136**(4): p. 478-485.
30. Santiago, R., de Miranda Costa, L., *Cervical vertebral maturation as a biologic indicator of skeletal maturity*. The Angle Orthodontist, 2012. **82**(6): p. 1123-1131.
31. Fudalej, P., Bollen, A.M., *Effectiveness of the cervical vertebral maturation method to predict postpeak circumpubertal growth of craniofacial structures*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010. **137**(1): p. 59-65.
32. Chatziagianni, A., Halazonetis, D.J., *Geometric morphometric evaluation of cervical vertebrae shape and its relationship to skeletal maturation*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009. **136**(4): p. 481.e1-9.
33. Gray, S., Bennani, H., Kieser, J.A., *Morphometric analysis of cervical vertebrae in relation to mandibular growth*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2016. **149**(1): p. 92-98.
34. Kahl-Nieke, B., *Einführung in die Kieferorthopädie*. Vol. 3. 2009, Hamburg: Deutscher Zahnärzte Verlag.
35. Ehrenfeld, M., Sander, F.G., Schwenzer, N., *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Kieferorthopädie*. Vol. 2. 2010, Ulm: Georg Thieme Verlag KG.
36. DGKFO, *Indikation und Häufigkeit von Röntgenaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie*. J Orofacial Orthopedics / Fortschritter der Kieferorthopädie, 1997. **58**: p. 286-287.
37. Rakosi, T., *Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse*. 1979, Hauser-Verlag.

38. Liechti, A., *Die Röntgendiagnostik der Wirbelsäule*. 1944, Wien: Springer-Verlag.
39. Platzer, W., *Taschenatlas Anatomie in 3 Bänden: 1 Bewegungsapparat*. 2005: Georg Thieme Verlag.
40. Bjork, A., *Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation*. Trans Eur Orthod Soc, 1972: p. 61-74.
41. Gelbrich, B., Frerking, C., Weiss, S., Schwerdt, S., Stellzig-Eisenhauer, A., Tausche, E., Gelbrich, G., *Combining wrist age and third molars in forensic age estimation: how to calculate the joint age estimate and its error rate in age diagnostics*. Ann Hum Biol, 2015. **42**(4): p. 389-96.
42. Perinetti, G., Bianchet, A., Franchi, L., Contardo, L., *Cervical vertebral maturation: An objective and transparent code staging system applied to a 6-year longitudinal investigation*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2017. **151**(5): p. 898-906.
43. Durka-Zajac, M., Marcinkowska, A., Mitus-Kenig, M., *Bone age assessment using cephalometric photographs*. Pol J Radiol, 2013. **78**(2): p. 19-25.
44. Wong, R.W., Alkhal, H.A., Rabie, A.B., *Use of cervical vertebral maturation to determine skeletal age*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009. **136**(4): p. 484.e1-484.e6.
45. Bjork, A., Helm, S., *Prediction of the age of maximum puberal growth in body height*. Angle Orthod, 1967. **37**(2): p. 134-43.
46. Hoseini, M., Zamaheni, S., Bashizadeh Fakhar, H., Akbari, F., Chalipa, J., Rahmati, A., *Comparative Evaluation of the Efficacy of Hand-Wrist and Cervical Vertebrae Radiography for the Determination of Skeletal Age*. Iran J Radiol, 2016. **13**(3): p. e21695.
47. Predko-Engel, A., Kaminek, M., Langova, K., Kowalski, P., Fudalej, P.S., *Reliability of the cervical vertebrae maturation (CVM) method*. Bratisl Lek Listy, 2015. **116**(4): p. 222-6.
48. Rongo, R., Valleta, R., Bucci, R., Bonetti, G.A., Michelotti, A., D'Anto, V., *Does clinical experience affect the reproducibility of cervical vertebrae maturation method?* Angle Orthod, 2015. **85**(5): p. 841-7.
49. Gelbrich, B., Fischer, M., Stellzig-Eisenhauer, A., Gelbrich, G., *Are cervical vertebrae suitable for age estimation?* J Forensic Odontostomatol, 2017. **2**(35): p. 66-78.

7 Anhang

Danksagung

Abstract der Publikation „Are cervical vertebrae suitable for age estimation“, Journal of Forensic Odonto-Stomatology, 2017

Eidesstattliche Erklärung

Curriculum vitae

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Götz Gelbrich, stellvertretender Leiter des Lehrstuhls für Epidemiologie und Biometrie der Universität Würzburg für die kompetente Betreuung während dieser Dissertation bedanken.

Vielen Dank auch an Frau Prof. Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg für das zur Verfügung gestellte Material an Röntgenaufnahmen der kieferorthopädischen Abteilung und für die Möglichkeit, in den Räumlichkeiten ihrer Einrichtung die Arbeiten zur Datenzusammenstellung und Anonymisierung auszuführen.

Darüber hinaus gilt mein Dank Frau Dr. med. dent. Bianca Gelbrich, Oberärztin der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Leipzig, für die Ausarbeitung des Dissertationsthemas vor dessen Überlassung sowie für die umfangreichen Beiträge zur Prüfung der Datenqualität.

Zuletzt möchte ich noch ganz besonders meinen Eltern Renate Reinbold-Fischer und Günter Fischer, meiner Schwester Jasmin und meinem Bruder Armin für die mentale Unterstützung in dieser Zeit danken.

Are cervical vertebrae suitable for age estimation?

Bianca Gelbrich, MD

University Hospital of Leipzig (Germany), Department of Orthodontics

Miriam Fischer, doctoral student

University of Würzburg (Germany), Institute of Clinical Epidemiology and Biometry

Angelika Stellzig-Eisenhauer, MD, professor

University Hospital Würzburg (Germany), Department of Orthodontics

Götz Gelbrich, PhD, professor

University of Würzburg (Germany), Institute of Clinical Epidemiology and Biometry

Short title:

Cervical vertebrae and age estimation

Keywords:

age estimation, cervical vertebrae, hand bones, third molars, method evaluation

Corresponding author:

Bianca Gelbrich

University Hospital Leipzig Department of Orthodontics

Liebigstr. 12 / Building

D-04103 Leipzig Germany

Phone: +49-341-9721050

Fax: +49-341-9721059

E-Mail: Bianca.Gelbrich@medizin.uni-leipzig.de

ABSTRACT

BACKGROUND: The ability of cervical vertebrae (CV) staging to contribute in forensic age estimation is being discussed controversially. The large variability of CV geometries in the end stage of development might be the reason for not reaching a performance competitive to hand or third molar methods. Here we study the geometry of adult CV and demonstrate that the description of their “typical” appearance is often not met.

METHODS: Lateral cephalograms from clinical routine of 320 subjects aged 20 years or above (median 24 years, 52% female) were evaluated. The criteria for the end stage of CV development (Hassel-Farman, Baccetti) were examined by assessing them in terms of metric measurements: (1) rectangular shape of C3/C4, (2) at least one of the height-width ratios of C3/C4 >1 (both not <1), (3) significant concavities at the inferior margin of C2, C3 and C4. Metric data of the adults were also compared to those of 100 children aged 8-10 years (50% female).

RESULTS: Adult CV often violated the criteria of rectangular shape (44% C3, 36% C4), of height-width ratio (16% C3, 35% C4) and inferior concavity (10% C2, 10% C3, 19% C4). All of the criteria for adult CV were fulfilled in only 24% of the subjects (95%CI 19-28%). The variability of measures of the CV shapes was large; e.g., the 95% reference ranges for the height-width ratios were 0.81-1.19 (C3) and 0.77-1.14 (C4). There was a material overlap of ranges of CV measures of adults and children.

CONCLUSION: While hand bones and teeth have well-defined appearances in the end stage of development, adult CV have a large biological variance of shapes; it is hard to define their “typical” appearance. Moreover, measures of CV geometry do not strictly separate adults from children. These facts might reason the limited usefulness of CV in age estimation.

Eidesstattliche Erklärung

Miriam Yvonne Fischer

wohnhaft in: 90419 Nürnberg

Ehrenwörtliche Erklärung zu meiner Dissertation mit dem Titel: „Sind Halswirbel zur Alters- und Reifeschätzung in der Medizin geeignet?“

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit erkläre ich, dass ich die beigefügte Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

Ort, Datum

Unterschrift