

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Kieferorthopädie
- Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. dent. U. Ehmer -

Vergleichende Untersuchung differenter Methoden zur skelettalen Altersbestimmung im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Erdmann, Julika Kristin

aus Münster

2007

**Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen
Wilhelms-Universität**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. V. Arolt

1. Berichtstatter: Priv.-Doz. Dr. med. dent. C. Lippold

2. Berichtstatter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Piffko

Tag der mündlichen Prüfung: 26.09.2007

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Kieferorthopädie
- Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. dent. U. Ehmer -
Referent: Priv.-Doz. Dr. med. dent. C. Lippold
Koreferent: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. J. Piffko

ZUSAMMENFASSUNG

Vergleichende Untersuchung differenter Methoden zur skelettalen Altersbestimmung im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik

Erdmann, Julika Kristin

Ziel dieser Studie war die Analyse verschiedener Methoden zur skelettalen Altersbestimmung im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik. Das skelettale Alter spielt eine wichtige Rolle im Rahmen der zeitlichen Koordination einer kieferorthopädischen Behandlung hinsichtlich des möglichen Restwachstums, des Zeitpunktes operativer Interventionen bei kieferorthopädisch-chirurgischer Kombinationsbehandlung sowie der Terminierung des Retentionszeitendes. Hinsichtlich der Genauigkeit der verschiedenen Untersuchungsmethoden variieren die Angaben in der Literatur. Neben Orthopantomogrammen und Fernröntgenseitenaufnahmen konnten bei den in die Studie integrierten Individuen auch Handröntgenaufnahmen untersucht werden. Durch eine Korrelationsanalyse von Röntgenaufnahmen zu einem Untersuchungszeitpunkt wurde die diagnostische Wertigkeit dieser drei Methoden verglichen. Für die Analyse der Handröntgenaufnahme wurde die Methode nach Grave und Brown eingesetzt. Die Halswirbelossifikationsbestimmung erfolgte nach dem "CVMI" System. Auf Grundlage der Methode nach Demirjan wurde das dentale Alter der Individuen bestimmt. Die Korrelationsberechnung zur Handröntgenaufnahme als Goldstandard ergab eine mittlere bis hohe Korrelation in der skelettalen Altersbestimmung bei der Fernröntgenseitenaufnahme und eine nur geringe Korrelation beim Orthopantomogramm.

Im Vergleich der einzelnen Aufnahmearten untereinander ist der Handröntgenaufnahme uneingeschränkt die Position des Goldstandards zuzumessen. Bei der engen Indikation kann jedoch aufgrund der eigenen Ergebnisse geschlossen werden, dass die Fernröntgenseitenaufnahme mit der speziellen Analysemöglichkeit ausreichend verlässliche Ergebnisse liefern kann. Diese Schlussfolgerungen aus dem Orthopantomogramm zu entwickeln, ist aufgrund der eigenen Ergebnisse mit einer hohen Fehlerquelle belastet und daher nicht zu empfehlen.

Tag der mündlichen Prüfung: 26.09.2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Handröntgenaufnahme zur skelettalen Altersbestimmung.....	3
2.1.1	Skelettale Altersbestimmung nach Greulich und Pyle.....	3
2.1.2	Skelettale Altersbetimmung nach Tanner-Whitehouse	4
2.1.3	Skelettale Altersbestimmung nach Fishman.....	5
2.1.4	Skelettale Altersbestimmung nach der Garn Methode	5
2.2	Die Halswirbelsäule zur Determinierung des skelettalen Alters.....	7
2.2.1	Skelettale Altersbestimmung nach Lamparski.....	8
2.2.2	Skelettale Altersbestimmung nach O'Reilly & Yaniello.....	9
2.2.3	Skelettale Altersbestimmung nach Hassel und Farman	12
2.2.4	Skelettale Altersbestimmung nach Bacceti, Tiziano & Franchi, Lorenzo	19
2.3	Die Mineralisationsstadien der Zähne zur Bestimmung des skelettalen Alters.....	25
2.3.1	Skelettale Altersbestimmung nach Chertkow	25
3	Zielstellung.....	28
4	Material und Methode.....	29
4.1	Handröntgenaufnahme	30
4.1.1	Analyse der Handröntgenaufnahme nach Grave und Brown.....	31
4.2	Fernröntgenseitenaufnahme	37
4.2.1	Analyse der Fernröntgenaufnahme nach Franchi und Baccetti.....	38

4.3	Orthopantomogramm	44
4.3.1	Analyse des Orthopantomogramms nach Demirjian.....	46
5	Statistik.....	53
5.1	Deskriptive Statistik	53
6	Ergebnisse	59
6.1	Altersverteilungen und univariate Statistiken	59
6.1.1	Altersverteilung aller Aufnahmen	59
6.1.2	Univariate Statistik aller Aufnahmen	60
6.1.3	Altersverteilung FRS	61
6.1.4	Univariate Statistik FRS	62
6.1.5	Altersverteilung Hand	63
6.1.6	Univariate Statistik Hand	64
6.1.7	Altersverteilung OPG.....	65
6.1.8	Univariate Statistik OPG.....	66
6.2	Korrelationbestimmungen nach Pearson	67
6.2.1	Skelettales Alter FRS Gesamtkollektiv - chronologisches Alter in Jahren.....	67
6.2.2	Skelettales Alter FRS Jungen - chronologisches Alter in Jahren	68
6.2.3	Skelettales Alter FRS Mädchen - chronologisches Alter in Jahren	69
6.2.4	Dentales Alter OPG Jungen-chronologisches Alter in Jahren.....	70
6.2.5	Dentales Alter OPG Mädchen-chronologisches Alter in Jahren	71
6.2.6	Skelettales Alter Hand Jungen - chronologisches Alter in Jahren	72
6.2.7	Skelettales Alter Hand Mädchen-chronologisches Alter in Jahren	73

6.2.8	Korrelationen.....	74
6.2.9	Auswertung aller angefertigten Aufnahmen	77
6.2.10	Handröntgenaufnahmen	84
6.2.11	OPG-Aufnahmen.....	87
6.2.12	Dentales Alter OPG Mädchen-chronologisches Alter in Jahren.....	88
7	Diskussion	90
7.1	Die Bestimmung des skelettalen Alters.....	90
7.2	Korrelation zwischen chronologischem und skelettalen Alter bei Fernröntgenseitenaufnahmen und Handröntgenaufnahmen.....	95
7.2.1	Fernröntgenseitenaufnahmen.....	95
7.3	Korrelation zwischen dentalem und chronologischem Alter bei OPG Aufnahmen.....	97
7.4	Korrelation aller in dieser Studie einbezogenen Aufnahmemethoden zur Bestimmung des skelettalen Alters	98
7.4.1	Korrelation zwischen OPG und Handröntgenaufnahmen.....	98
7.4.2	Korrelation zwischen OPG und Fernröntgenaufnahmen.....	98
7.4.3	Korrelation zwischen Handröntgen- und Fernröntgenaufnahmen.....	99
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	101
9	Literaturverzeichnis	104
10	Anhang	111
10.1	Lebenslauf.....	111
10.2	Danksagung.....	112

1 Einleitung

Das wissenschaftliche Interesse an der Bestimmung des so genannten skelettalen Alters oder des Knochenreifealters ist schon seit mehreren Jahrzehnten aus Literaturangaben abzuleiten. [1, 7, 8, 9,13, 15, 18, 19, 23, 31, 37, 37].

Für die Kieferorthopädie ist die Analyse des Wachstums ein wesentlicher Faktor für die medizinische Terminierung des Behandlungsbeginns und auch für den Therapieerfolg. Wachstum ist kein uniformes Geschehen, sondern es gibt Perioden von Beschleunigung und Verlangsamung. Aufgrund der individuellen Abweichung von Zeitpunkt, Dauer und Geschwindigkeit des Wachstums, ist die Bestimmung des skelettalen Alters essentiell für die kieferorthopädische Therapieplanung [37, 50].

Es gibt verschiedene Indikatoren, mit denen das skelettale Alter bestimmt werden kann, z.B. Ossifikationsstadien differenzierter Handknochen [31, 36], die Veränderung der Form der Halswirbel [2, 4, 56], die Entwicklungsstadien der bleibenden Zähne und die Kalzifizierung der Zahnwurzeln [15, 19], das chronologische Alter [23] , Größe und Gewicht oder sexuelle Indikatoren wie Stimmbruch und Menarche [35].

Die Handröntgenaufnahme gilt offensichtlich als bester Indikator zur Bestimmung der skelettalen Reife und sie steht in engem Zusammenhang zur Wachstumskurve [21, 23, 31,33, 36, 77].

Der entscheidende Nachteil ist in der zusätzlichen Strahlenbelastung zu sehen.

Daher bietet es sich an, Standardaufnahmen der kieferorthopädischen Diagnostik zur skelettalen Altersbestimmung zu verwenden.

So befassten sich viele Autoren mit den morphologischen Veränderungen der Halswirbel und der Zähne auf Fernröntgenseitenaufnahmen und Panoramavergrößerungsaufnahmen. Zudem ist bereits von Chertkow 1979 [15], von Hunter 1978 [41] und von Roche 1976 [66] nachgewiesen worden, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht.

Auf der Grundlage, dass sich die Morphologie von Halswirbeln im Laufe des Wachstums verändert, veröffentlichte Lamparski [50] einen Atlas, der die Veränderungen der Halswirbel während der Pubertät widerspiegelte und benutzte diese Differenzierungen zur Bestimmung des skelettalen Alters. Hassel und Farman [37] und Garcia-Fernandez [27] berichteten von einer hohen Korrelation zwischen der Reifung der Halswirbel und der skelettalen Reifung der Hand. Ihre Techniken bedurften keiner Handaufnahme und basierten auf Analyse des skelettalen Alters mittels Fernröntgenseitenaufnahmen.

Auf der Veröffentlichung von Demirjian [19] im Jahre 1973 beruht die damals als „neue Methode zur skelettalen Altersbestimmung“ bezeichnete Analyse auf der Basis der Entwicklungsstadien der Zähne. Der zitierte Autor bewertete dabei die gesamten Entwicklungsstadien der Zähne und nicht nur, wie vorher vereinfacht durchgeführt, deren Durchbruchzeiten, was zuvor als einziges Kriterium zur Bestimmung des skelettalen Alters teilweise klinisch benutzt wurde. Die Methode lehnt sich an die Analyse der Handröntgenaufnahme nach Tanner und Whitehouse an [79], da auch hier für die einzelnen Entwicklungsstadien bestimmte Punktwerte zugeteilt werden, die anschließend addiert werden und so eine Gesamtpunktzahl ergeben. Diese entspricht wiederum einem bestimmten dentalen Alter. Dieses Schema der Einordnung nach Punkten nahmen sich auch Tanner und Whitehouse zur Grundlage ihrer Methodik der skelettalen Altersbestimmung.

Zielstellung der eigenen Untersuchungen ist es nunmehr diese drei kurz dargestellten wichtigsten Methoden zur Bestimmung des skelettalen Alters mittels vorliegender differenter Röntgenaufnahmen miteinander zu vergleichen und ihre interindividuelle Reliabilität zu analysieren.

2 Literaturübersicht

Auf Grundlage morphologischer Kriterien verschiedener definierter skelettaler Strukturen können skelettale Altersbestimmungen mit verschiedenen Röntgenbildern durchgeführt werden. Diese unterschiedlichen Verfahren basieren im kieferorthopädischen Bereich vorwiegend auf der Analyse der Handröntgenaufnahme, der seitlichen Fernröntgenaufnahme und des Orthopantomogramms. Nachfolgend sollen für diese Arbeit relevante Studien zusammenfassend dargestellt werden. Nach Übersicht über die Literatur zur Handröntgen- und Fernröntgenaufnahme werden auch Möglichkeiten der skelettalen Altersbestimmung anhand des Orthopantomogramms dargestellt.

2.1 Handröntgenaufnahme zur skelettalen Altersbestimmung

2.1.1 Skelettale Altersbestimmung nach Greulich und Pyle

Das skelettale Alter ist nach Greulich und Pyle [33] als das chronologische Alter definiert, in dem die Kinder, auf denen die aufgestellten röntgenologischen Standards beruhen, einen entsprechenden Grad an skelettaler Reife besitzen. Eine sorgfältige Auswahl der untersuchten Kinder war für diese Studie notwendig, da die Veränderungen des Skeletts starken Schwankungen unterworfen sind. Der Greulich & Pyle Atlas basiert auf den Daten von T. Wingate Todd's Untersuchungen zur skelettalen Reifung an der Case Western Reserve Universität zwischen 1931 und 1942. Todd untersuchte prospektiv die Röntgenaufnahmen von Hand und Handgelenk an 1000 gesunden kaukasischen Kindern, amerikanischer Abstammung, aus gehobenen sozioökonomischen Verhältnissen. Die Röntgenaufnahmen wurden im ersten Lebensjahr in einem Intervall von 3 Monaten angefertigt, danach alle 6 Monaten bis zu ihrem 12. Lebensjahr und schließlich jährlich bis zu ihrer Reife.

Unterschiede in der Entwicklung beruhten vor allem auf geschlechtsbedingten Entwicklungsdifferenzen zwischen Jungen und Mädchen sowie auf verschiedenen Familien-, Rassen-, regionalen- und sozioökonomischen Hintergründen der Kindern.

Daher variieren die Standards und sind demnach bei praktischer Anwendung in Beziehung zu den individuellen Merkmalen der Patienten anzupassen [79].

Die Methode von Greulich & Pyle ist wegen der Schwierigkeit in der Zuordnung der Differenzierungsraten der Knochen kritisch betrachtet worden[42]. Zerlin [79] beschreibt die Methode jedoch als einfach durchführbar und verständlich.

Als Atlas zusammengefasst werden in einer chronologischen Abfolge Handröntgenaufnahmen für ein bestimmtes skelettales Alter präsentiert. Geschlechtsspezifische Standards sind getrennt voneinander aufgeführt (31 für Jungen und 29 für Mädchen). Der Atlas bietet die Möglichkeit, das skelettale Alter des Patienten anhand eines direkten visuellen Vergleichs der Handknochen des Patienten mit den Standards des Atlas zu bestimmen. Zwischen dem für Kieferorthopäden interessanten Alter von 10 bis 14 gibt es nur geringe morphologische Unterschiede der Röntgenaufnahmen. Daher ist es während dieser Zeit oft schwer eine Übereinstimmung mit den Standards zu finden [33]. Da Reifung ein disharmonischer Prozess ist, macht es die Kongruenz mit einem einzelnen Standard schwierig. In einigen Fällen kann das skelettale Alter dann zwischen zwei Standards eingeordnet werden.

Handwurzelknochen unterliegen stärker systemischen Einflüssen als Röhrenknochen der Hand. Poznanski et al [61] legen daher mehr Gewicht auf die Darstellung der Mittelhandknochen, der Phalangen und des distalen Teils von Elle und Speiche.

2.1.2 Skelettale Altersbestimmung nach Tanner-Whitehouse

Bei der Tanner und Whitehouse Methode (TW2) werden das Ausmaß der Verknöcherung und die Morphologie der 20 Knochen der Hand und des Handgelenkes individuell bewertet und ein Entwicklungsstadium für jeden Knochen bestimmt [79]. Ein fraktionierter Multiplikator wird angewandt, um einen Entwicklungssummenwert für jeden der 20 Knochen zu erhalten. Die Summe der entsprechenden Werte für die distale Elle und Speiche, für die Fingerglieder und Mittelhand des ersten, dritten und fünften Strahls wird als "RUS" Zahl definiert. Durch Hinzufügen der Entwicklungspunkte für die Handwurzelknochen (ohne os pisiforme) zur RUS Zahl wird die Handwurzelzahl bestimmt. Der Mittelwert der RUS und der Handwurzelzahl ergibt den TW2 Wert. Mit dieser Zahl kann das skelettale Alter an einem Diagramm ermittelt werden, welches auf einer Datenbasis aus mehreren

Untersuchungen der Hand und des Handgelenks von 2564 britischen Kindern aus der sozialen Mittelklasse zwischen 1945 und 1958 beruht. Es existieren separate Standards für Mädchen und Jungen.

2.1.3 Skelettale Altersbestimmung nach Fishman

Die Methode nach Fishman basiert auf skelettalen Indikatoren, um die skelettale Reife dem puberalen Wachstumsschub zuzuordnen. Das Ziel dieser Methode ist es, die individuelle Reifeentwicklung des Individuums zu beurteilen und nicht auf Mittelwerte zurückzugreifen [23]. Die Werte werden dann einer Wachstumskurve zugeordnet, an der das skelettale Alter ermittelt werden kann. Das System wurde nach Fishman als „SMA System“ (skeletal maturity assessment) beschrieben [21]. Hierbei werden vier Stadien der Knochenreife definiert und diese bieten eine relativ einfache Annäherung. Fishman vergleicht die Methode der Identifikation von spezifischen Punkten entlang des Wachstumspfad mit Kilometersteinen entlang eines Highways zwischen zwei Städten. Bei dieser Methode wird zunächst ein Schlüsselstadium, die Verknöcherung des Sesamoids am Daumen, als vorhanden oder nicht vorhanden beurteilt und anschließend werden die Reifeindikatoren schematisch abgefragt. Fishman erkannte bereits, dass das Wachstum von Mandibula und Maxilla in Korrelation zur skelettalen Reife und zum allgemeinen Körperwachstum steht.

2.1.4 Skelettale Altersbestimmung nach der Garn Methode

Die Garn Methode [29] benutzt Diagramme, welche den Beginn von Verknöcherungen spezifischer Wachstumszentren des Körpers bei Kindern zu definierten Zeitpunkten beschreiben. Dieses Verfahren wird von den Autoren als einfach anwendbar beschrieben, da ein Zentrum entweder verknöchert sei oder nicht. Daher gebe es kaum interindividuelle Abweichungen zwischen verschiedenen Untersuchern. Der Hauptnachteil dieser Methode ist nach Zerlin et al [79], dass sie keine präzise Übertragung der skelettalen Maturation über einen langen Alterszeitraum ermöglicht, da die verwendeten Wachstumszentren nur in großen Abständen auftreten. Sie wird eher für die Analyse der skelettalen Wachstumsentwicklung im ersten Lebensjahr angewendet. An skelettalen Strukturen der Hand und des Handgelenks gibt es während dieses Zeitraumes jedoch nur geringgradige Veränderungen und anschließend lange Zeiträume, in denen keine neuen

Wachstumszentren auftreten. Das os lunatum beispielsweise weist in der Garn Methode bei einer 95%igen Ossifikation bei Jungen einen Altersbereich von 1,53 Jahren bis 6,77 Jahren mit einem Mittelwert von 4,07 Jahren auf. Bei Anwendung dieser Methode müssen jedoch weite Bereiche des Skelettes röntgenologisch untersucht werden, was als Nachteil angesehen werden muss.

2.2 Die Halswirbelsäule zur Determinierung des skelettalen Alters

Die Basis für Studien zur skelettalen Altersbestimmung anhand morphologischer Parameter der Halswirbelsäule auf Fernröntgenseitenaufnahmen wurde durch die Arbeit von Lamparski geschaffen [50]. Er beschrieb, dass jedes Individuum nach seinem eigenen Zeitplan reift und somit das chronologische Alter kein geeigneter Hinweis für die skelettale Reife darstellt. Bis dahin war die biologische Entwicklung durch Abschätzung der skelettalen Reife von Hand- und Handgelenksaufnahmen, sowie durch die Zahnentwicklung und deren Durchbruch bestimmt worden. Untersuchungen zur skelettalen Altersbestimmung mittels Handröntgenaufnahmen von Flory [23], Todd [77] und später von Greulich & Pyle [33] haben bereits beschrieben, dass die Abschätzung des skelettalen Alters mittels Handaufnahmen verlässlich und einfach anwendbar ist. Lamparski übertrug Prinzipien der skelettalen Altersbestimmung auf die Halswirbelsäule. Zuvor hatte es Studien gegeben, die die Halswirbel nach unterschiedlichsten Kriterien untersuchten (Todd & Pyle 1928, Elsberg & Dyke 1934, Lanier 1939, Bick and Copel 1950, Bailey 1952, Hinck 1962, 1966, Smith & Trift 1967) [38] und bereits alters- und geschlechterspezifische Unterschiede feststellten, jedoch keine Standards festlegten. Zu unterscheiden waren hierbei Studien, die die vertikale Dimensionsveränderung der Wirbel untersuchten, histologische Studien an Hunden und radiographische Studien [bei der Todd&Pyle 1928[77] die vertikale Höhe der Wirbel 2-7] untersuchten. Neben Untersuchungen zu vertikalen Veränderungen der Halswirbel existieren in der Literatur Angaben zu Wachstumsraten für die anteriore, mittlere und posteriore vertikale Höhe der Wirbelkörper. Konsens besteht in der Literatur über die Formveränderung der Wirbelkörper die in der Kindheit keilförmig sind, im Erwachsenenalter dagegen eine eher rechteckige Form aufweisen. Die horizontale Dimensions- und Formveränderung der Wirbel ist ebenfalls Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Lanier, Bick & Copei).

2.2.1 Skelettale Altersbestimmung nach Lamparski

Um die Ermittlung des skelettalen Alters mit der Halswirbelsäule zu standardisieren, wurden von Lamparski [50] bestimmte Standards für jedes Alter beschrieben. Für diese Studie wurden aus bereits bestehenden Daten der Universität Pittsburgh Fernröntgenseitenaufnahmen und Handröntgenaufnahmen von 69 männlichen und 72 weiblichen Personen untersucht (Alter 10-14 Jahre). Eine Testgruppe von 25 Männern und 25 Frauen wurde zur Überprüfung der Standards herangezogen. Das chronologische Alter der Probanden der Testgruppe betrug 10,0 - 14,10 Jahre bei männlichen und 11,1 - 16,6 Jahre bei weiblichen Probanden. Die Handaufnahme wurde nach der Methode von Todd und später nach Greulich & Pyle ausgewertet.

Zunächst erfolgte die Bestimmung des Alters der Wirbel: Die folgenden Variablen wurden analysiert, um jedes Alter zu entwickeln.

Vordere, mittlere und hintere vertikale Höhen der Wirbelkörper von 2-6. C7 wurden nicht mitbewertet, da dieser kaum auf den Röntgenbildern zu sehen war.

Der sagittale Durchmesser des Wirbelkanals und einschließlich aller Wirbel C2-C6 .

Obere, mittlere, und untere horizontale Länge der Wirbelkörper C2-C6.

Unterschiede zwischen anteriorer und posteriorer vertikaler Höhe der Wirbel C3-C6.

Sagitto-vertikaler Index der Wirbelkörper 3-6.

Zudem wurden das erste Auftreten, die Entwicklung und Vereinigung des vertebrales Ringes beobachtet.

Die Standards wurden wie folgt erstellt: eine Gruppe der Kephalogramme von Probanden mit Angaben zu chronologischem und skelettalem Alter wurden sukzessive beginnend vom geringsten Reifegrad bis hin zur vollständigen Reife basierend auf den Entwicklungen der Wirbel angeordnet. Das „anatomische Mittel“ wurde ermittelt, um repräsentativ für die Reifung der Wirbel in einer bestimmten Altersgruppe als Standard zu dienen. Dieses Prozedere wurde für alle Altersgruppen von 10-15 Jahren durchgeführt. Daraus resultierten jeweils 6 Standards für jede Altersgruppe und jedes Geschlecht.

Die Indikatoren der skelettalen Reife wurden wie folgt zusammengefasst:

Entwicklung der Wirbelkörperbasis.

Morphologische Änderung der Wirbelkörper: ausgehend von einer posterior nach anterior steil abfallenden über eine rechteckige, quadratische bis hin zu einer Statur, die höher als breiter ist.

Die Standards:

Die Reifeindikatoren sind für beide Geschlechter gleich. Unterschiedlich ist, dass die weiblichen Probanden die Reifegrade zu einem früheren chronologischen Alter erreichen, als die männlichen. So gesehen entspricht ein weiblicher 11 Jahres Standard einem männlichen Standard von 12 Jahren, ein weiblicher 12 Jahres Standard gleicht einem männlichen von 13 und zuletzt stimmt ein 13 Jahres Standard der Mädchen mit einem 15 Jahres Standard der Jungen überein. Dies bedeutet, dass dieselben Veränderungen, die bei Jungen in einem Zeitraum von 10-15 Jahren stattfinden, bei den Mädchen bereits im Alter von 10-13 Jahren auftreten.

2.2.2 Skelettale Altersbestimmung nach O'Reilly & Yaniello

Ziel dieser Studie war es, für die skelettale Altersbestimmung auf eine zusätzliche Röntgenaufnahme zu verzichten, da die Halswirbel bereits auf der Fernröntgenaufnahme (FRS) zu sehen sind. Zudem sollte ein möglicher Zusammenhang zwischen den Entwicklungsstadien der Halswirbel und Wachstumsveränderungen des Unterkiefers determiniert werden [56].

Die Fernröntgenseitenaufnahmen entstammten den Unterlagen der Bolton-Broadbent Wachstumsstudie in Cleveland. Es wurden Röntgenaufnahmen von 13 weiblichen kaukasischen Probanden im Alter zwischen 9 bis 15 Jahre hinsichtlich Unterkieferlänge, Corpuslänge und Ramuslänge untersucht. Um die Veränderungen während der Reifung der Halswirbel zu diagnostizieren, wurden die Standards für Frauen nach Lamparski [50] benutzt. Jede FRS Aufnahme wurde mit einem Standard verglichen und daraufhin in ein bestimmtes Stadium eingeteilt.

Cervical Vertebrae

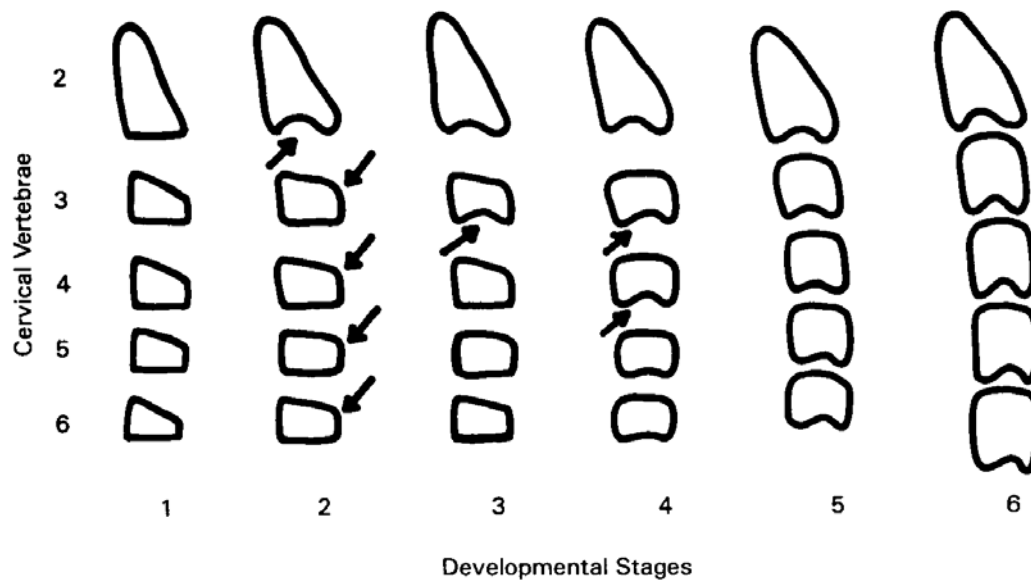


Figure 1
Stages of cervical vertebral maturation.

Stage 1: All inferior borders of the bodies are flat. The superior borders are strongly tapered from posterior to anterior.

Stage 2: A concavity has developed in the inferior border of the 2nd vertebra. The anterior vertical heights of the bodies have increased.

Stage 3: A concavity has developed in the inferior border of the 3rd vertebra. The other inferior borders are still flat.

Stage 4: All bodies are now rectangular in shape. The concavity of the 3rd vertebra has increased, and a distinct concavity has developed on the 4th vertebra. Concavities on 5 and 6 are just beginning to form.

Stage 5: The bodies have become nearly square in shape, and the spaces between the bodies are visibly smaller. Concavities are well defined on all 6 bodies.

Stage 6: All bodies have increased in vertical height and are higher than they are wide. All concavities have deepened.

Wie in Abbildung 2-2 [56] dargestellt, wurden Steigungskurven für alle 13 Probanden erstellt und die Längenzunahme des Unterkiefers auf der y Achse aufgetragen (Angaben in mm). Die Stadien der skelettalen Reifung der Halswirbel wurden auf der x-Achse notiert. Durchschnittsalter der Halswirbelreifung wurde notiert, Durchschnittskurven erhielt man durch Hinzufügen der individuellen Kurven zum Wachstumsgipfel.

O'Reilly and Yanniello

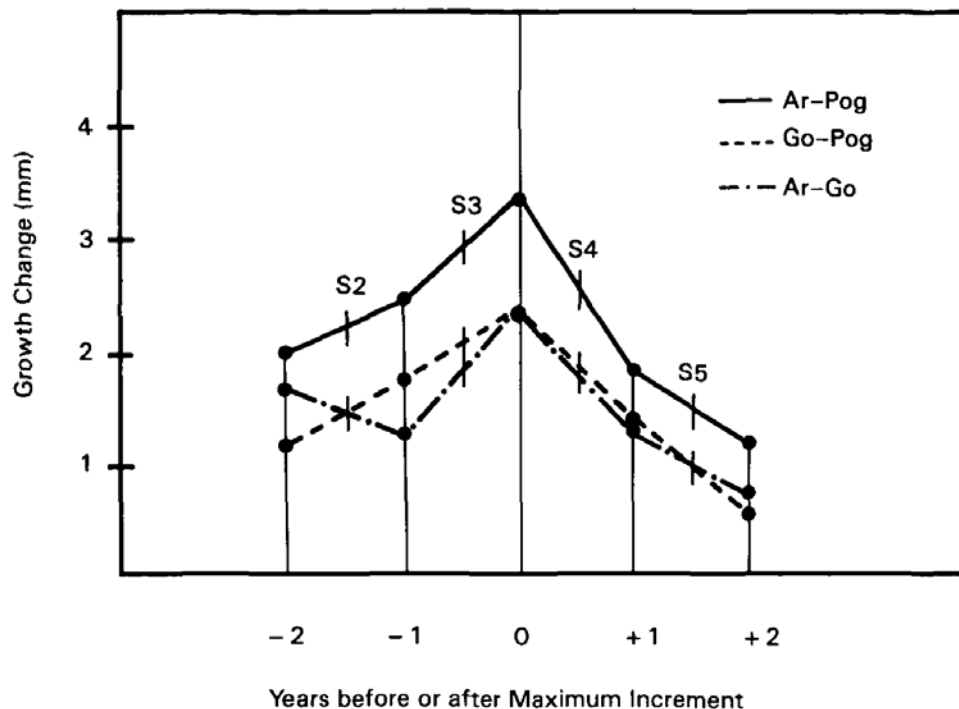


Figure 2
Average curves for mandibular length (Ar-Pog), corpus length (Go-Pog), and ramus height (Ar-Go) superimposed on maximum increment.

S2 vertebral stage 2

S4 vertebral stage 4

S3 vertebral stage 3

S5 vertebral stage 5

Abbildung 2-2: Wachstumsveränderungen während der verschiedenen Halswirbelstadien [56]

Hierbei wurden signifikante Stadien aufgezeigt. Die größten Zunahmen der UK-Länge fanden zwischen den Stadien 1-2, 2-3 und 3-4 statt; der Corpus-Länge zwischen 1-2 und 2-3;

und der Ramus Länge zwischen 1-2. Die Stadien 1-3 wurden im Zusammenhang mit dem Peak height velocity (PHV; Wachstumsgipfel) für alle Dimensionsveränderungen im Unterkiefer beobachtet. Stadium 2 und 3 folgten dem Wachstumsgipfel.

2.2.3 Skelettale Altersbestimmung nach Hassel und Farman

Das Hauptziel der Studie war es, eine Methode zu entwickeln, die die skelettale Reife des kieferorthopädischen Patienten mittels kephalometrischen Röntgenaufnahmen, die routinemäßig angefertigt werden, abschätzen kann. Verbindungen zwischen der Reife von Halswirbeln und Handröntgenaufnahmen wurden zusätzlich ermittelt [37].

Es wurden 11 Gruppen bestehend aus 10 männlichen und 10 weiblichen kaukasischen Probanden im Alter von 8 bis 18 Jahren aus dem Bolton-Brush Growth Center der Case Western Reserve University gebildet. Die verwendeten Röntgenaufnahmen waren Handröntgenaufnahmen und FRS Aufnahmen. Die einzige Aufspaltung der Probanden erfolgte nach den Geschlechtern.

Die Handaufnahmen wurden nach dem SMA-System von Fishman [21,23] ausgewertet. Bei Erreichen der vollen skelettalen Reife nach Fishman erfolgte die Anfertigung einer Handaufnahme.

10 männliche und 10 weibliche Probanden wurden in jede SMI Gruppe (1-11) gruppiert. Die Zeichnungen der Halswirbel wurden mit den zugehörigen Handröntgenaufnahmen, die in eine SMI Kategorie eingeteilt wurden, kombiniert. Diese Pauszeichnungen wurden fotokopiert. Die Fotokopien der Halswirbel wurden auf Veränderungen in Form und Dimension der Wirbel zwischen den SMI Gruppen untersucht. Spezifische Merkmale waren hierbei die An- oder Abwesenheit von Kurvaturen am Unterrand von Dens Axis, C3 und C4. Der intervertebrale Raum wurde ebenfalls analysiert.

Dieselben Aufnahmen wurden verwandt, um den entsprechenden CVMI (Cervical maturation indices) zu bestimmen. Die CVMI Indizes wurden dann mit dem zuvor bestimmten SMI (skelettal maturation index) verglichen, um mögliche Zusammenhänge zu evaluieren.

Um interindividuelle Fehler zu minimieren, wurden alle Röntgenaufnahmen jeweils von drei unabhängigen Untersuchern zu zwei Zeitpunkten in dreiwöchigem Abstand analysiert.

Es konnten 6 Kategorien für die Reifung der Halswirbel definiert werden:

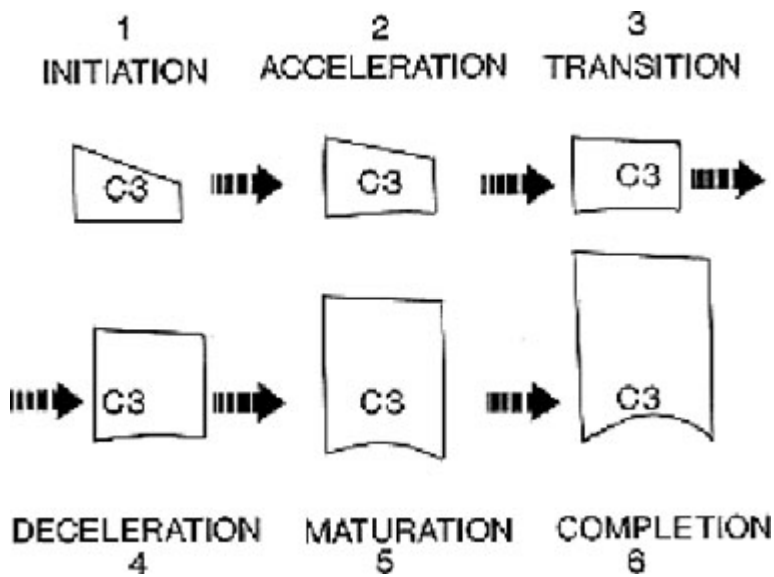


Abbildung 2-3: Cervical maturation indicators (CVMI) mit C3 als Leitschiene aus Hassel&Farman [37]

CVMI 1: Initiationsphase:

Die Phase ist eine Kombination aus SMI 1 und 2. Zu diesem Zeitpunkt findet sich der Beginn des jugendlichen Wachstums, und es wird 80-100% jugendlichen Wachstums erwartet. Die unteren Ränder der Halswirbel C2, C3 und C4 sind keilförmig, die oberen Ränder sind abfallend von posterior nach anterior (Abb.2).

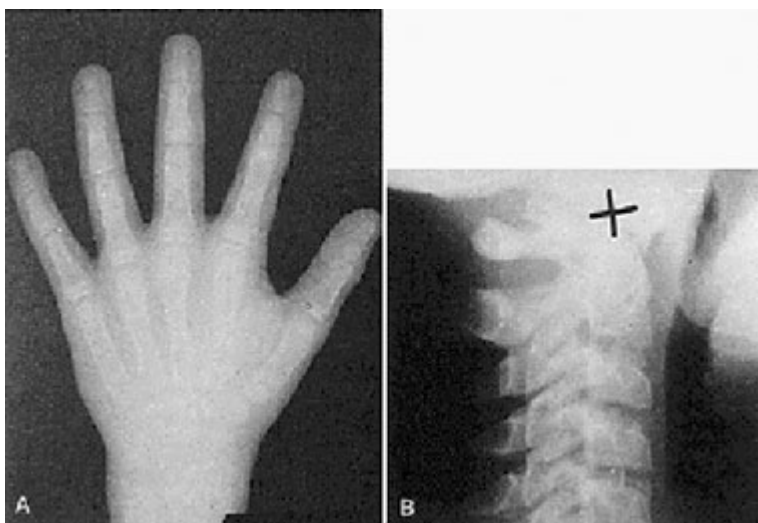


Abbildung 2-4: CVMI 1: A Typische Handröntgenaufnahme B. Typisches Aussehen von Halswirbeln auf FRS Aufnahmen [21]

CVMI 2: Beschleunigungsphase

Diese Phase stimmt mit einer Kombination von SMI 3 und 4 überein. Die Beschleunigung des Wachstums setzt hier ein, und ein jugendliches Wachstum von 65-85% wird erwartet. Einziehungen entwickeln sich an den Unterseiten von C2 und C3. Der Unterrand von C4 ist eben. Die Wirbelkörper haben eine quadratische Gestalt (Abb.3).

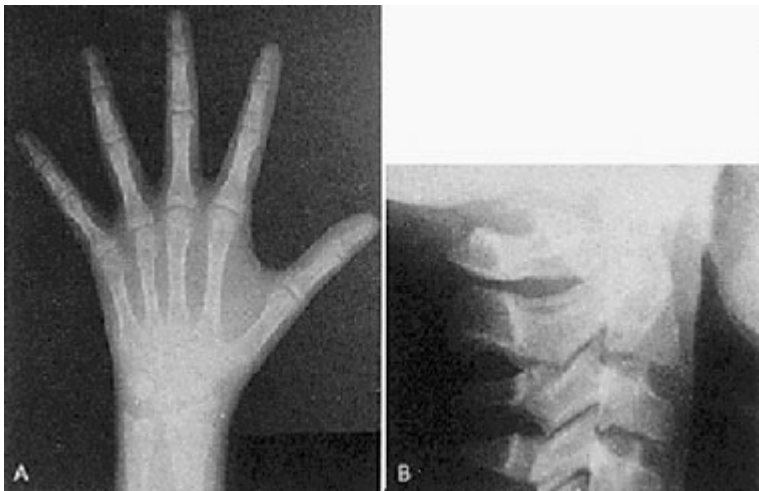


Abbildung 2-5: CVMI 2: A. Typische Handröntgenaufnahme. B. Typisches Aussehen von Halswirbeln auf FRS Aufnahmen [21]

CVMI 3: Übergangsphase

Diese Phase stellt eine Kombination aus SMI 5 und 6 dar. Hier findet immer noch eine Zunahme von Wachstum in Richtung Wachstumsgipfel statt, mit 25-65% erwartetem Restwachstum. Es lassen sich deutliche Einziehungen in den unteren Begrenzungen der Wirbel C2 und C3 erkennen. C3 und C4 haben eine rechteckige Form. (Abb. 4)

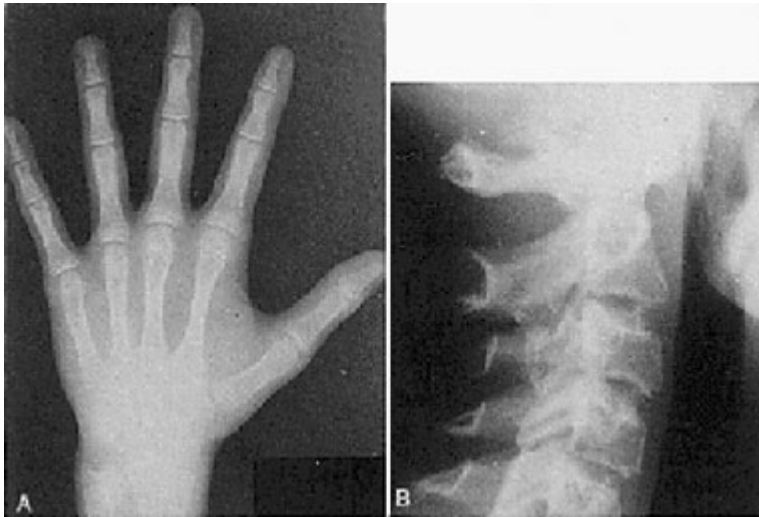


Abbildung 2-6: A. Typische Handröntgenaufnahme. B. Typisches Aussehen von Halswirbeln auf FRS Aufnahmen [21]

CVMI 4: Abbremsphase

Diese Phase geht mit einer Kombination aus SMI 7 und 8 überein. Jugendliches Wachstum verlangsamt sich deutlich. Es wird mit 25% Restwachstum gerechnet. Es wurden klare Einziehungen an den unteren Rändern von C2, C3 und C4 beobachtet. Die Form der Wirbelkörper von C3 und C4 ist annähernd quadratisch (Abb. 5).



Abbildung 2-7: CVMI 4: A. Typische Handröntgenaufnahme. B. Typisches Aussehen von Halswirbeln auf FRS Aufnahmen [21]

CVMI 5: Reifungsphase

Diese Phase stimmt mit der Kombination aus SMI 9 und 10 überein. Während dieses Stadiums setzt die skelettale Reife der Halswirbel ein, und es werden noch 5-10% Restwachstum erwartet. Die Einziehungen am Unterrand der Wirbel C2, C3 und C4 sind noch deutlicher akzentuiert. Die Morphologie zeigt eine nahezu quadratische Form (Abb. 6).



Abbildung 2-8: CVMI 5: A. Typische Handröntgenaufnahme. B. Typisches Aussehen von Halswirbeln auf FRS Aufnahmen [21]

CVMI 6: Vervollständigungsphase

Dieses Stadium fällt mit SMI 11 zusammen. Das Wachstum ist gänzlich abgeschlossen [21]. Es liegen tiefe Einziehungen am kaudalen Rand von C2, C3 und C4 vor. Die Form der Wirbel C3 und C4 ist entweder quadratisch oder in der Vertikalen länger als in der Horizontalen (Abb. 7).



Abbildung 2-9: CVMI 6: A. Typische Handröntgenaufnahme. B. Typisches Aussehen von Halswirbeln auf FRS Aufnahmen [21]

Die Intention dieser Studie war es, dem Kieferorthopäden ein weiteres Diagnostikum zur Abschätzung des Wachstumspotentials eines jugendlichen Patienten zu bieten. In dieser Studie wurden die Analysen der Handröntgenaufnahme und der Halswirbel kombiniert. Die Beobachtungen von Lamparski [50] konnten hierbei bestätigt werden, mit Ausnahme des Fehlens der Verschmälerung des intervertebralen Abstandes im zunehmenden Alter. Die Umrisse der Wirbel veränderten sich im Laufe der skelettalen Reifung so, dass standardisierte Stadien entwickelt wurden, mit denen man für jede Person die skelettale Reife und das jeweilige Wachstumspotential bestimmt werden kann. Wie oben aufgeführt änderte sich die äußere Form der Wirbel von keilförmig zu rechteckig und über quadratisch zu länger als breiter. Am Unterrand wurden Einziehungen beobachtet, die sich im Laufe der Reifung immer mehr vertieften.

2.2.4 Skelettale Altersbestimmung nach Bacceti, Tiziano & Franchi, Lorenzo

Auf diese Autoren geht eine neuere Methode zur skelettalen Altersbestimmung anhand der Halswirbel zurück [4]. Dabei erneuerten und verbesserten bzw. vereinfachten sie ihre bereits bestehende Methode nach den CVM Stadien [2, 25, 26]. Dieser Studie liegen wiederum die Arbeiten von Lamparski 1972 [50], Hassel and Farman 1995 [37] und speziell in Bezug auf das Unterkieferwachstum, die Studien von O'Reilly and Yaniello [56] zugrunde. Sie baut auf der Studie von Franchi [25, 26] auf, in der eine Einteilung der Wachstumsphasen der Halswirbel in 6 CVM Stadien als biologische Indikatoren für die Reife der Mandibula und der skelettalen Reife erfolgte. Die ursprüngliche Methode von Lamparski [50] wurde übernommen und modifiziert, um eine Angabe über das skelettale Alter sowohl für Jungen als auch für Mädchen, unabhängig von deren chronologischem Alter, machen zu können.

Dabei lagen die Hauptmerkmale dieser CVM Methode in folgenden Punkten:

In etwa 95% fällt das CVM Stadium 3 und 4 zusammen mit dem pubertären Gipfel des Unterkiefer- und des Körperwachstums.

Die Identifizierung und Reproduzierbarkeit der Daten bzw. der CVM Stadien liegt bei 98,6%

Die Methode ist nützlich, um den pubertären Gipfel im Unterkieferwachstum vorauszusagen. Der Gipfel ist noch nicht erreicht, wenn entweder CVM Stadium 1 oder 2 erreicht wurde.

Nichtsdestotrotz hielt Baccetti [4] einige Verbesserungen für notwendig, um die Methode praktikabler für die Vielzahl von Patienten zu machen.

Zuallererst erfolgte die Analyse einer geringeren Anzahl an Wirbeln, wie auch schon von Hassel und Farman vorgeschlagen [37]. Genauer gesagt, sollte diese Methode nur die Wirbel C2, C3 und C4 beinhalten, da diese auch im Röntgenbild zu erkennen sind, wenn der Patient einen Schutzkragen trägt. Außerdem formulierten sie klarere Definitionen der Stadien, die alle sichtbaren Veränderungen einschlossen, damit keine Unsicherheiten in der Einteilung der Stadien aufkommen konnten.

Die gesamte Probandengruppe bestehend aus 706 Subjekten, umfasste die Röntgenaufnahmen der University of Michigan Elementary and Secondary School Growth Study. Probanden mit weniger als 6 hintereinander folgenden Aufnahmen wurden exkludiert (n= 492). Gemessen wurde die totale Unterkieferlänge (Co-Gn) an jährlichen Aufnahmen bei den verbleibenden 214 Probanden. Die Aufnahmen wurden digital analysiert und ausgewertet (Viewbox, 2.6, Kafissa, Griechenland). Die maximale Zunahme im Wachstum von Co-Gn wurde zwischen 2 aufeinander folgenden Röntgenaufnahmen dazu verwendet, den Gipfel im Unterkieferwachstum zu definieren. Zwei aufeinander folgende Aufnahmen, die den Wachstumsgipfel beinhalteten definierten, zusammen mit 2 früheren und 2 späteren aufeinander folgenden FRS Aufnahmen ein Inklusionskriterium. Dies minimierte die Zahl auf 30 Probanden, 18 Jungen und 12 Mädchen.

Nun wurde die Morphologie der Wirbelkörper von C2-C4 in den 6 aufeinander folgenden FRS Aufnahmen (T1-T6) analysiert. Die Analyse bestand in einer sowohl visuellen, als auch in einer schädelbezogenen Abschätzung der morphologischen Charakteristika der Halswirbel.

Visuelle Analyse:

Zwei Untersucher (Franchi; Baccetti) untersuchten die Halswirbel unabhängig voneinander. Die Übereinstimmung ihrer Bewertungen lag bei 96,7%. Zwei Variablen wurden untersucht:

(1) Die Präsenz einer Konkavität in der unteren Begrenzung der Wirbelkörper C2, C3 und C4; und (2) der Umriss von C3 und C4.:

trapezförmig: Die obere Begrenzung der Wirbelkörper fällt steil von hinten nach vorn ab

horizontal rechteckig: Die Höhen der hinteren und vorderen Begrenzungen sind gleich; Die oberen und unteren Begrenzungen sind länger als die vorderen und hinteren

quadratisch: Die hintere, obere, vordere und untere Begrenzung ist gleich lang

vertikal rechteckig: Die hintere und vordere Begrenzung ist länger als die obere und untere.

Vertikal rechteckig: Die hintere und vordere Begrenzung ist länger als die obere und untere Begrenzung

Kephalometrische Analyse:

Auf den seitlichen Kephhalogrammen wurden nachfolgende Punkte zur Beschreibung der morphologischen Veränderungen analysiert (Figure 2). [4]

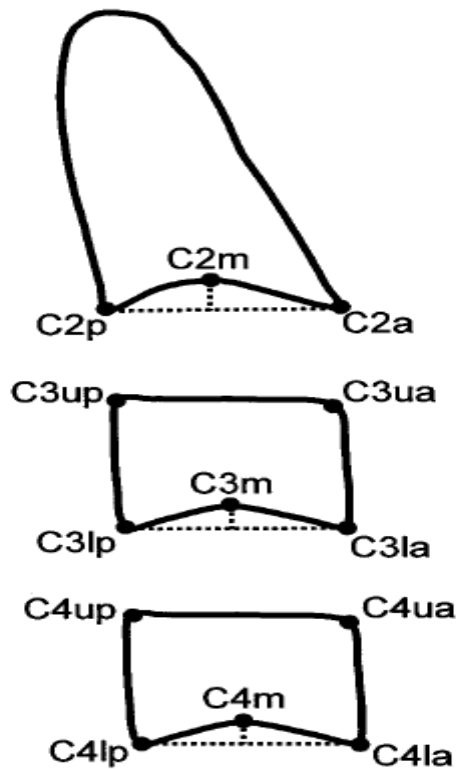


FIGURE 2. Cephalometric landmarks for the quantitative analysis of the morphologic characteristics in the bodies of C2, C3, and C4.

Abbildung 2-10: Cephalometrische Abmessungspunkte für die quantitative Analyse der morphologischen Charakteristika der Wirbelkörper von C2, C3 und C4 [4].

C2p, C2m, C2a: Die am weitesten posterior, am tiefsten und am weitesten vorne liegenden Punkte am Unterrand der Wirbelkörper von C2.

C3up, C3ua: Die am weitesten oben gelegenen Punkte der hinteren und vorderen Begrenzungen des Körpers von C3.

C3lp, C3m, C3la: die am meisten posterior gelegenen, die tiefsten und die am weitesten anterior gelegenen Punkte am Unterrand von C3.

C4up, C4ua: die obersten Punkte der hinteren und vorderen Begrenzung von C4.

C4lp, C4m, C4la: Die am weitesten posterior, die tiefsten und die am weitesten anterior gelegenen Punkte am Unterrand des Körpers von C4.

Angelehnt an die Arbeit von Hellsing [40], die sich auf die Lokalisation der Punkte konzentrierte, wurden einige Merkmale übernommen. Es erfolgte die Analyse der folgenden Messstrecken:

C2Conc: Messung der Einziehungstiefe am Unterrand von C2. (Distanz von der Verbindungslinie, die C2p und C2a vereint, bis zum tiefsten Punkt am Unterrand von C2, C2m)

C3Conc: Dieselbe Messung wie oben beschrieben, übertragen auf C3.

C4Conc: Dieselbe Messung wie oben beschrieben, übertragen auf C4.

C3BAR: Verhältnis zwischen der Länge der Basis (C3up-C3lp) und der vorderen Höhe (C3ua-C3la) der Wirbelkörpers von C3.

C3PAR: Verhältnis zwischen der hinteren (C3up-C3lp) und vorderen (C3ua-C3la) Höhe der Wirbelkörper C3

C4BAR: Siehe C3 BAR

C4PAR: Siehe C3 PAR

Folgende Veränderungen und Verbesserungen hinsichtlich der alten Methode beschrieben. Da sich nach eingehender visueller und kephalometrischer Analyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stadien Cvs1 und Cvs2 in der alten Methode gezeigt haben, wurden diese zwei Stadien zu einem zusammengelegt. Dieses neue Stadium wurde mit CVMS 1 bezeichnet. Die sichtbare Einziehung am Unterrand der Wirbel ist dabei der

hervorstechendste anatomische Indikator für die Einteilung in das Stadium, welches dem Peak Height Velocity (Wachstumsgipfel) folgt (ehemals Cvs 3, aktuell CVMI 2).

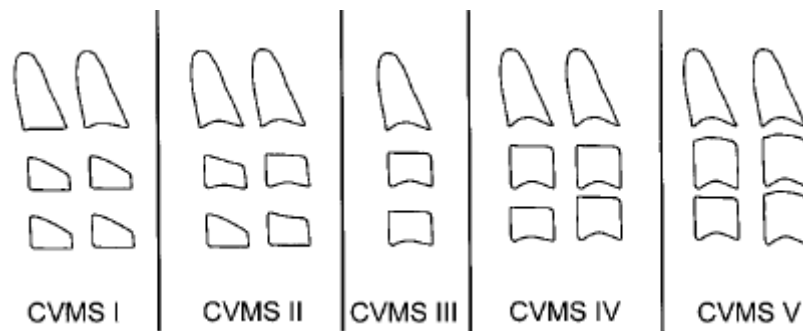


Abbildung 2-11: Die neu verbesserte Methode. Verschiedene Kombinationen der morphologischen Merkmale von C2, C3 und C4 werden für die neue Methode vorgestellt[4].

CVMS I: Die unteren Begrenzungen aller 3 Wirbel sind flach, in 50% der Fälle zeigt sich eine Konkavität an C2. Die Körper von C3 und C4 sind trapezartig geformt (siehe oben). Der Peak im Unterkieferwachstum wird etwa ein Jahr nach diesem Stadium auftreten.

CVMS II: Einziehungen am unteren Rand von C2 als auch C3 sind sichtbar. Die Wirbelkörper von C3 und C4 können entweder trapezförmig oder horizontal rechteckig sein. Der Wachstumsgipfel im UK Wachstum tritt ein Jahr nach diesem Stadium auf.

CVMS III: Nun sind in allen drei Wirbeln Einziehungen zu erkennen. Die Form der Wirbelkörper ist horizontal. Der Wachstumsgipfel des UK Wachstums liegt ein bis zwei Jahre vor diesem Stadium.

CVMS IV: Die Konkavitäten der Wirbel C2, C3 und C4 sind immer noch präsent. Mindestens einer der Wirbel von C3 und C4 ist quadratisch. Der Wachstumsgipfel der Mandibula liegt nicht länger als ein Jahr zurück.

CVMS V: Die Einziehungen der Wirbel C2, C3 und C4 sind immer noch nachweisbar. Wenigstens ein Wirbel ist vertikal rechteckig geformt. Der andere hat noch eine quadratische Form. Der Peak im Unterkieferwachstum liegt nicht länger als 2 Jahre zurück.

CVMS II stellt den idealen Zeitpunkt dar, um mit einer funktionellen Therapie zu beginnen, da ein Jahr nach diesem Stadium der Unterkiefer am Gipfel seines Wachstums sein wird. In der Probandengruppe entfaltete sich das UK Wachstum mit einer durchschnittlichen Zunahme von 5,4 mm pro Jahr nach dem Eintreten des Stadiums CVMS II. Ein deutlich größerer Zuwachs im Vergleich zum Wachstumsintervall von CVMS I zu CVMS II (um 2,4mm) und den anderen Zwischenstadien (1,6mm und 2,1mm von CVMS III zu CVMS IV und von CVMS IV zu CVMS V, respektiv).

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Wachstumsgipfel zwischen Stadium CVMS II und CVMS III liegt. Der puberale Wachstumsgipfel liegt ohne das Erreichen der Stadien CVMS I und CVMS II noch nicht vor. Die von den Autoren entwickelte vorgestellte Methode dient vor allem der Bestimmung des skelettalen Alters bei nur einer vorliegenden Röntgenaufnahme, die lediglich die Wirbel C2-C4 zeigt.

2.3 Die Mineralisationsstadien der Zähne zur Bestimmung des skelettalen Alters

2.3.1 Skelettale Altersbestimmung nach Chertkow

Wie zuvor gesagt, gibt das chronologische Alter wenig Auskunft über das Reifestadium des Kindes. Es gibt jedoch eine Verbindung zwischen dem puberalen Größenwachstum und den kraniofacialen Veränderungen [15]. Für die Kieferorthopädie liefert das Wissen über den Entwicklungsstand des Gesichtsschädels einen wichtigen Beitrag zur zeitlichen Planung der Behandlung von dentofazialen Deformitäten. Weit verbreiteter Indikator zur Bestimmung des skelettalen Alters anhand von Handröntgenaufnahmen ist der Beginn der Kalzifizierung des Sesamoids des Daumens [7, 13], sowie des Haken des Os hamatum, die Überkappung der Epiphyse des mittleren Fingergliedes des Mittelfingers [7, 32]. Der Zusammenhang dieser Indikatoren und der PHV (peak height velocity) wird in folgender Darstellung deutlich.

Bislang war wenig über das Verhältnis zwischen der dentalen Reife und dem Beginn der Pubertät bekannt. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Korrelationen zwischen der Zahnmineralisation und anderen Parametern der physischen Entwicklung generell gering ist [9,51]. Diese Studie dient der Analyse des Zusammenhangs zwischen den verschiedenen Mineralisationsstadien der unterschiedlichen Zähne und anderen Reifeindikatoren der puberalen Wachstumskurve unter schwarzen und weißen südafrikanischen Kindern. Dazu untersuchte er 197 Kinder, deren Daten aus der kieferorthopädischen Abteilung der Zahnklinik der Universität von Witwatersrand stammten. Es waren 66 weiße und 22 schwarze Jungen und 93 weiße und 16 schwarze Mädchen. Alle Kinder standen bislang nicht in kieferorthopädischer Behandlung. Analysiert wurden Orthopantomogramme, laterale Fernröntgenseitenaufnahmen und Handröntgenaufnahmen der linken Hand und Handwurzel. Danach wurden die Teilnehmer nach der Erscheinung des Sesamoids des Daumens selektiert.

Folgende Kriterien wurden bezüglich der Bestimmung der Kalzifizierung aufgestellt [13]:

Ein Sesamoiddurchmesser von ungefähr 1mm

Ein undefinierter federiger Umriss

Inkomplette Kalzifizierung aufgrund von schlechter Radioopazität

Das skelettale Alter der Patienten wurde mit der TW2 (Tanner-Whitehouse) Methode bestimmt (s.o.) [78]. Die dentalen Röntgenaufnahmen wurden nach Demirjian [19,20] ausgewertet (A-H) (s.u.). In dieser Studie rangierten die Zähne in den Stadien C-H. Die OK Molaren wurden aus dieser Studie ausgeschlossen, da die Überlagerung kalzifizierter Zonen die genaue Beurteilung verhinderte. Die Incisivi und die ersten Molaren wurden nicht aufgeführt, da der apikale Verschluss bereits stattgefunden hatte. Dritte Molaren wurden nicht berücksichtigt.

Folgende Zähne wurden untersucht: Die Ok und Uk 3er, 4er und 5er und die Uk 7er.

Das durchschnittliche chronologische und skelettale Alter von sowohl schwarzen als auch weißen Kindern wurde berechnet, um die Abweichungen im Alter zu bestimmen, die bei dem Erscheinen des Sesamoids in den verschiedenen Gruppen auftreten. Das chronologische Durchschnittsalter bei Erscheinen des Sesamoids ist bei den weißen Kindern um ein Jahr beschleunigt. Diese Verzögerung der skelettalen Entwicklung seitens der schwarzen südafrikanischen Kinder im Vergleich zu den kaukasischen Kindern stellt ein wohl dokumentiertes Phänomen dar [76]. Nichtsdestotrotz differieren die skelettalen Altersangaben nicht signifikant voneinander und sind mit dem Durchschnittsalter des Beginns der Ossifikation des Sesamoids aus anderen Studien vergleichbar [27, 29, 30]. Um die Beziehung von der Mineralisation der Zähne zum skelettalen Alter zu untersuchen, wurde die prozentuale Verteilung der Kalzifizierungsstadien jedes Zahnes bestimmt. Es waren sexuelle und rassenbezogene Unterschiede feststellbar. Die meisten untersuchten Zähne waren bei den schwarzen Kindern apical geschlossen und die Jungen haben generell eine schnellere Entwicklung in der Zahnentwicklung, einzige Ausnahme der UK Eckzahn, der in seiner Entwicklung innerhalb der Geschlechter eine ähnliche Zeitspanne aufweist.

Wie oben bereits erwähnt, ist die einheitliche Entwicklungsrate des Unterkiefer Eckzahnes im Gegensatz zur ansonsten breiteren Verteilung der Raten der anderen Zähne hervorstechend.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels Chi - Quadrat Test.

Um eine Verbindung des Unterkiefer Eckzahnes zu anderen Wachstumsindikatoren während des puberalen Wachstumsspurts zu ziehen, wurde der Reifegrad des Zahnes in Relation zu dem Grad der Kalzifizierung des Haken des Os hamatum gesetzt, sowie zu der Entwicklung der Epiphyse des mittleren Gelenks des Mittelfingers.

Liegt ein niedriger Entwicklungsstand des Zahnes vor, so sind die anderen Indikatoren auch noch nicht in Erscheinung getreten. Gegensätzlich ist bei den Patienten, bei denen schon ein apikaler Verschluss des Caninus stattgefunden hat, der Haken des Os hamatum vollständig ausgeformt, und die Epiphyse hat das Kappenstadium erreicht.

Diese Beobachtungen führen zu der Schlussfolgerung, dass eine enge Verbindung zwischen dem Stadium der Reife des Unterkiefer Eckzahnes und dem Aufkommen der anderen Reifeindikatoren besteht.

Als Fazit lässt sich ziehen, dass die Verteilungsrate der Kalzifizierungsstadien des Ober- und Unterkiefer Eckzahnes im Gegensatz zu den übrigen Zähne eng beieinander liegt, mit der Mehrheit der Zähne im Stadium G. Dieses Stadium der Entwicklung des UK Eckzahnes steht in enger Beziehung zu den Reifeindikatoren des pubertären Wachstums (Sesamoid des Daumens, Haken des Os hamatum und die Überkappung der Epiphyse des Mittelgelenks des dritten Fingers), (77% der weißen Mädchen und 78% der weißen Jungen haben dieses Entwicklungsstadium erreicht), so dass die Möglichkeit aufkommt, diesen Zahn als Indikator zur Annäherung an das Erwachsenenalter zu benutzen. Bei Schwarzen konnte diese Hypothese nicht bewahrheitet werden, da bei ihnen schon der apikale Verschluss stattgefunden hatte.

3 Zielstellung

Die Zielstellung dieser Studie besteht darin, zu evaluieren welche Methode zur Bestimmung des skelettalen Alters am zuverlässigsten ist. Dafür soll mit den drei in der Literaturübersicht vorgestellten Methoden (Bestimmung des dentalen Alters, Veränderungen der Halswirbel und die Analyse der Handröntgenaufnahmen) jeweils das skelettale Alter bestimmt und die Ergebnisse im Vergleich weiter analysiert werden. Mithilfe einer Korrelationsbestimmung sollten nun die einzelnen Wertigkeiten der Methoden bestimmt werden. Dafür werden alle Methoden untereinander verglichen.

Zudem werden jede einzelne Methode in Bezug zum chronologischen Alter gesetzt und die Signifikanzen ermittelt. Auch hier ergibt sich die Frage, welche Auswertungsmethode am nächsten am chronologischen Alter liegt.

4 Material und Methode

In dieser retrospektiven Studie wurden Röntgenaufnahmen (Orthopantomogramme, Handröntgenaufnahmen und Fernröntgenseitenaufnahmen) einbezogen, welche aus kieferorthopädischer Indikation durch die Poliklinik für Kieferorthopädie am Universitätsklinikum Münster (Direktion Univ.-Prof. Dr. med. dent. Ulrike Ehmer) im Zeitraum von Januar 1988 bis Dezember 2001 angewiesen und in der röntgenologischen Abteilung (Direktor: Uni.-Prof. Dr. mult. Ulrich Joos) des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde angefertigt wurden. Anhand der Aufzeichnungen in den Jahrbüchern der röntgenologischen Abteilung der Zahnklinik Münster wurden die Patienten, bei denen jeweils ein oder mehrere Orthopantomogramme, Fernröntgenseitenaufnahmen und gleichzeitig Handröntgenaufnahmen angefertigt wurden, ermittelt. Nachdem die Röntgenbilder ausgewertet waren, erfolgte die Archivierung der Ergebnisse in eine Microsoft Access 2000 Datenbank. Die Patienten Daten wurden mit SPSS 12.0 (Lead Technology, Chicago, IL, USA) ausgewertet.

Die Akten und Röntgenbilder stammen aus dem Archiv der röntgenologischen Abteilung der Westfälischen Wilhelms Universität Münster. Im Zeitraum von 1988 bis Mai 2001 konnten 94 Patientenfälle ermittelt, bei denen jeweils eine Handröntgenaufnahme, eine Fernröntgenseitenaufnahme und ein Orthopantomogramm an einem Tag angefertigt wurden. Insgesamt wurden 279 Handröntgenaufnahmen, 531 Fernröntgenseitenaufnahmen und 646 Orthopantomogramme bei den Patienten angefertigt, die alle einzeln ausgewertet wurden und in die Statistik miteinfließen. Die Studie beinhaltete männliche und weibliche Probanden. Syndrompatienten mit Kiefer- und Zahnmissbildungen und Patienten mit anderen systemischen Erkrankungen wurden aus der Studie ausgeschlossen. Das Alter der Patienten rangiert von 15-33 Jahre (Geb. Datum 1990-1972).

Insgesamt wurden folgende Röntgenaufnahmen am Universitätsklinikum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Münster im Zeitraum von Januar 1988 bis Mai 2001 angefertigt. Das Orthopantomogramm ist die mit Abstand am häufigsten verwendete Aufnahmemethode (n=646), danach folgen die FRS Aufnahmen mit n=531. Am wenigsten wurden aus diagnostischen Zwecken in der Kieferorthopädie Handaufnahmen angefertigt (n=279). Unter diesem Gesichtspunkt wurde auch geprüft, ob man in Zukunft immer mehr

auf zusätzliche Röntgenaufnahmen verzichten kann und sich weiterhin mehr auf die ohnehin schon angefertigten Standardaufnahmen fokussieren sollte.

Folgend wird die Analyse der einzelnen Röntgenbilder, die aus den einzelnen entsprechenden vollständigen Akten entnommen wurden, beschrieben:

4.1 Handröntgenaufnahme

Nach Tanner [79] ist die Hand ein kleiner skelettaler Anteil des Körpers, der viele unterschiedliche Mineralisationsstadien verschiedener Ossifikationszentren vereint. In der Kieferorthopädie dient sie der Bestimmung des skelettalen Alters. Nach einer Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie [21] aus dem Jahre 1997 darf diese Art von Aufnahme wegen der Strahlenbelastung nur in einem engen Indikationsbereich verwendet werden, wie z.B. zur Beurteilung von Restwachstum oder starker Abweichung zwischen dentalem und chronologischem Alter und wenn keine anderen Informationen durch Anamnese möglich sind (Menarche, Stimmbruch, Wachstumsabschluss) [21].

Die hier untersuchten Handröntgenaufnahmen lagen in den meisten Fällen diesen Indikationen zugrunde. Die danach retrospektiv ausgewählten Handröntgenaufnahmen wurden nach folgenden Angaben vorgenommen.

Die Einstellungen am Röntgengerät für eine Handröntgenaufnahme liegen je nach Gerät bei ca. 50-100 kV, der Film hat je nach Handgröße ein Format von 18x24cm. Es wird immer die linke Hand aufgenommen, da die rechte Hand bei den meisten Menschen mehr beansprucht wird.

Abgebildet wird die ganze Hand mit Handwurzelknochen, Radius- und Ulna-Epiphysen.

Der ideale Film-Fokus Abstand liegt bei 70cm, bei Dentalröntgengeräten bei 35cm, beim Fernröntgengerät 1,50m.

Der Arm wird in einem Winkel von 90° vom Körper weggestreckt, die Hand muss flach aufliegen, die Finger werden leicht gespreizt und der Daumen wird um 30° abgewinkelt. Der Unterarm liegt in Verlängerung des Mittelfingers.

Der Zentralstrahl ist auf die Mitte zwischen Mittelfingerspitze und distalem Ende des Radius projiziert. Es liegt ein dorsopalmarer Strahlengang vor [59, 60].

4.1.1 Analyse der Handröntgenaufnahme nach Grave und Brown

Die in dieser Studie angewendete Methode zur Bestimmung des skelettalen Alters basiert auf Studien von Grave & Brown (1976) [31, 32] zurück. Der Entwicklungsstand eines Kindes steht in Relation zu physischen Ereignissen, welche im Zuge des Größenwachstums stattfinden. So z.B. die skelettalen Verknöcherungsstadien, das Erreichen des Wachstumsgipfels oder die pubertären Veränderungen des Körpers. Das Alter, in welchem diese Ereignisse auftreten, ist individuell, und daher sind Indikatoren des Entwicklungsalters aussagekräftiger als das chronologische Alter eines Patienten.

Wichtig für jeden Kieferorthopäden ist es zu wissen, in welchem Wachstumsabschnitt sich ein Patient befindet, denn gerade die funktionskieferorthopädischen Geräte nutzen das Wachstum aus. Somit ist das Wissen über den Reifezustand des Skeletts wichtig zur kieferorthopädischen Diagnosestellung und zur Planung der Therapie, ob sich ein Patient in der accelerativen oder der decelerativen Wachstumsphase befindet.

Grave & Brown führten ihre Untersuchungen an australischen Ureinwohnern, den Aborigines durch. Sie untersuchten 88 Kinder (52 Jungen und 36 Mädchen) aus einer Langzeitstudie, die im Jahr 1961 begonnen wurde. Alle Kinder waren von reinem Ursprung. Sie leben im Nordwesten von Alice Springs im Northern Territorium von Australien.

Es folgten 10 Besuche in den Jahren von 1961 bis 1971, und dabei wurden folgende Daten ermittelt: Familiengeschichte, Körpermessungen, Zahndokumentationen, Schädelaufnahmen, Röntgenaufnahmen der Hand und Handgelenke und Fotografien des Kopfes.

Für jedes Kind wurde das Alter, in welchem der jugendliche Wachstumsgipfel auftrat, als Mittelpunkt der zwei nachfolgenden Alter, zwischen denen die maximale Zunahme in Körpergröße stattfand, festgehalten. Eine Reihe von Verknöcherungsereignissen der Hand und des Handgelenks wurden ebenfalls notiert. Es ergaben sich 14 verschiedene Verknöcherungsereignisse, die in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum einen die

Verknöcherung von individuellen Knochen und zum anderen die epiphysären Veränderungen. Zu den Ereignissen in den Knochen zählen die anfänglichen Verknöcherungen in Gestalt der Pisi Form (pisi), anfängliche und fortgeschrittene Verknöcherungen des Haken des Os hamatum (H1, H2), korrespondierend mit den Stadien 7 und 8 der Hamatus Ossifikation nach Tanner und Whitehouse 1962, sowie die initialen Verknöcherungen des Sesamoids des Mittelhandknochens des ersten Fingers (S). Die epiphysären Veränderungen wurden am 1., 2. und 3. Finger, sowie an der Speiche (Radius) aufgezeichnet. Waren Epiphyse und Diaphyse in ihrer Weite gleichbreit, so wurden diese Stadien mit einem Gleichheitszeichen versehen. So z.B. für das proximale Gelenk des zweiten Fingers PP2= oder für das mittlere Gelenk des dritten Fingers MP3= und im Radius R=. Wenn die Epiphyse anfang die Diaphyse zu kappen, so verdeutlichte man dies z.B. mit PP1cap (proximales Gelenk des ersten Fingers) oder MP3cap (mittleres Gelenk des Mittelfingers) oder des Radius Rcap. Schließlich wurde der Verschluss von Epiphyse mit der Diaphyse mit PP3u, MP3u und DP3u und für den Radius mit Ru bezeichnet.

Das Durchschnittsalter, in denen der Wachstumsgipfel und die Ossifikationen stattfanden, wurde getrennt für Mädchen und Jungen analysiert. Die Zeitintervalle zwischen Wachstumsgipfel und Verknöcherungen wurden ebenfalls notiert. Assoziationen zwischen den Entwicklungsstadien wurden mit Korrelationskoeffizienten ausgedrückt.

Das Altersintervall zwischen dem frühesten und den spätesten Ereignissen betrug in etwa 7 Jahre.

Der Wachstumsgipfel bei Jungen belief sich auf ein Alter von 13,8 Jahren und bei Mädchen auf 11,8 Jahre.

Es gibt drei Ereignisse, die dem Wachstumsgipfel vorangehen (H-1, pisi, R=) und drei Ereignisse, welche nach dem Wachstumsgipfel auftreten (PP3u, MP3u und Ru). Zudem trat das Schließen der Epiphysenfuge im distalen Gelenk des 3. Fingers ungefähr 1,5 Jahre nach dem Wachstumsgipfel auf. Das Sesamoidstadium und das epiphysäre Überkappen des mittleren Gelenks des Mittelfingers fällt in 41% und 44% bei den Mädchen mit dem Wachstumsgipfel zusammen, bei den Jungen sind die Prozentzahlen mit 73% und 67% noch wesentlich höher. Die übrigen Stadien der Verknöcherung wie H-2, PP1cap und Rcap fielen in 50% der Fälle mit dem Wachstumsgipfel zusammen.

Resultate dieser Studie waren, dass die Wachstumsraten bezogen auf das Gesichts- und Körperwachstum ein pubertäres Maximum zur selben Zeit ausbildeten. Außerdem waren die Ergebnisse, welche den Wachstumsgipfeln und die Ossifikationsstadien anbelangen, bei Kindern der Aborigines und bei kaucaischen Kindern ähnlich.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die in der vorliegenden Studie verwendeten Phasen der skelettalen Handreifung abgebildet (nach Grave und Brown [31, 32]). Die Beschreibung der Stadien ist in Tabelle Tabelle 4-1 angegeben.

Stadien	Verknöcherungsereignisse
PP2=	Proximales Gelenk des 2.Fingers, Epiphyse gleiche Weite Diaphyse
MP3=	Mittleres Gelenk des 3. Fingers, Epiphyse gleiche Breite Diaphyse
H-1	Hakenbildung des Os Hamatum-Stadium 1
Pisi	Erscheinen der Pisiform
R=	Radius; Epiphyse gleiche Breite wie Diaphyse
S	Erscheinen des Ulna Sesamoids am 1. Finger
H-2	Hakenbildung des Os Hamatum-Stadium 2
MP3cap	Mittleres Gelenk des 3. Fingers, Epiphyse kappt Diaphyse
PP1cap	Proximales Gelenk des 1. Fingers; Epiphyse kappt Diaphyse
Rcap	Radius; Epiphyse kappt Diaphyse
DP3u	Distales Gelenk des 3. Fingers; kompletter ephiphysärer Schluss
PP3u	Proximales Gelenk der 3. Fingers, totaler Epiphysenfugenschluss
MP3u	Mittleres Gelenk des 3. Fingers; totaler Epiphysenfugenschluss
Ru	Radius; kompletter Epiphysenfugenschluss

Tabelle 4-1: skelettale Reife der Hand aus Grave & Brown [31].

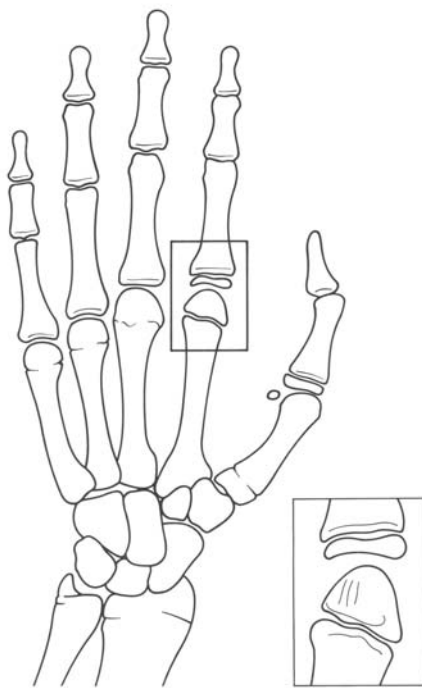


Abbildung 4-1:PP2=:Mädchen:9,6,Jungen:10,5

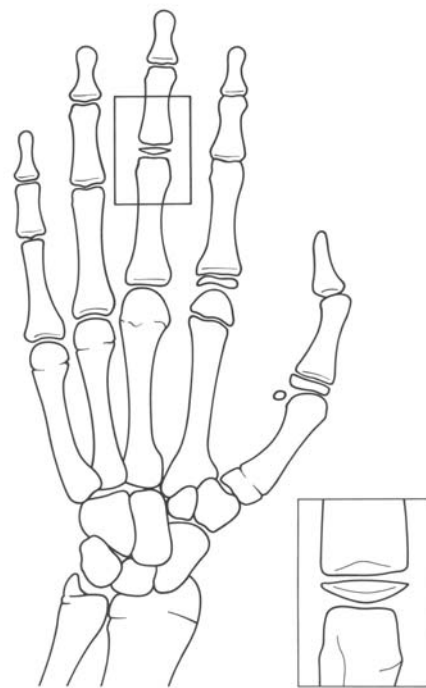


Abbildung4-2MP3=:Mädchen:9,7,Jungen: 11,2

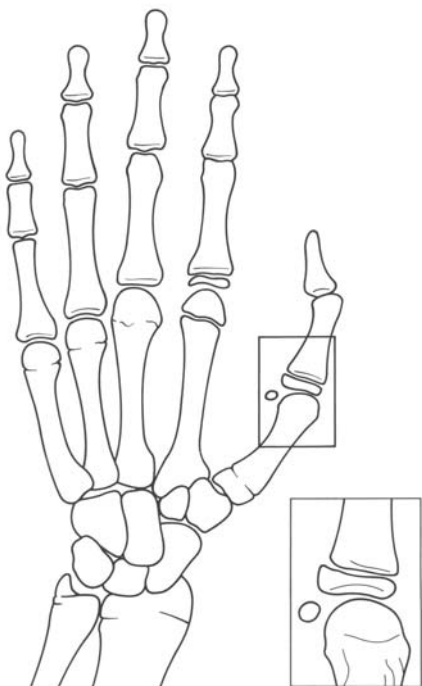


Abbildung 4-3S: Mädchen 11,3, Jungen 13,5

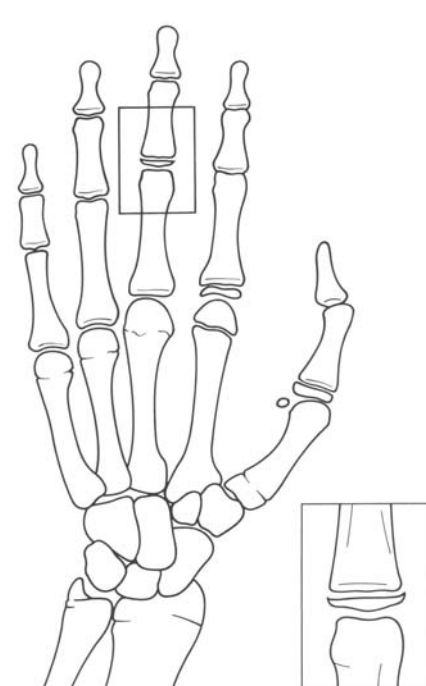


Abbildung 4-4:MP3 cap: Mädchen 12,4, Jungen

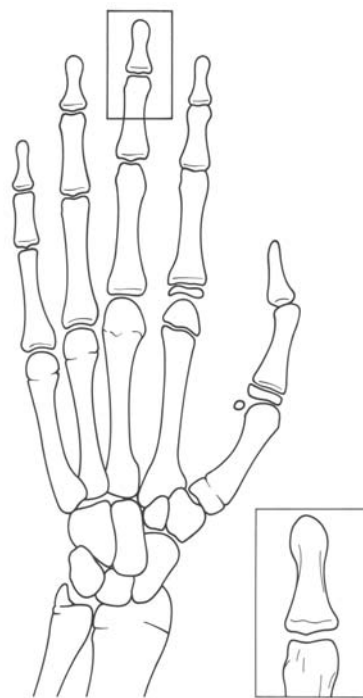


Abbildung 4-5DP3u: Mädchen:13,1, Jungen: 15,4

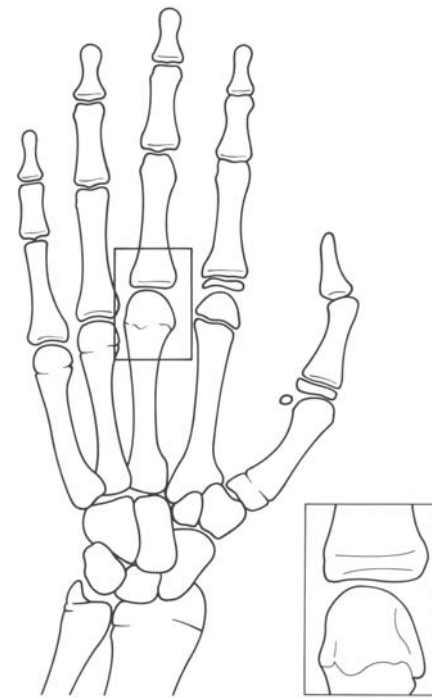


Abbildung 4-6:PP3u: Mädchen: 14,1, Jungen:16

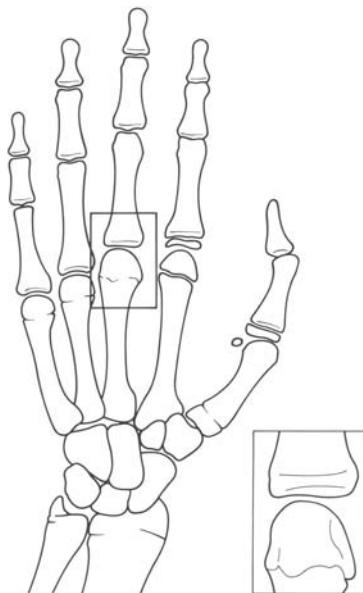


Abbildung 4-7: MP3u:Mädchen:14,3 Jungen:16,0

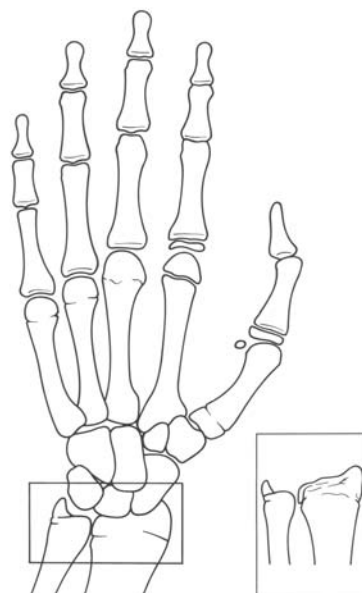


Abbildung 4-8:Ru:Mädchen:16,5, Jungen:17,3

4.2 Fernröntgenseitenaufnahme

Entsprechend dem heutigen Entwicklungsstand der Zahnmedizin steht nach Pasler [60] und der Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie [21] nicht mehr nur der einzelne Zahn, sondern vielmehr das Kauorgan als Einheit im Blickfeld der Betrachtungen. Panorama- und konventionelle Schädelaufnahmen, Fernröntgenbilder, Computertomographien und andere bildgebende Verfahren gehören daher zum diagnostischen Spektrum des Zahnarztes, Kieferorthopäden und Kieferchirurgen. Eine wichtige Rolle für die Analyse der Schädel- und Gesichtsstruktur sowie des Wachstumstyps spielt die Fernröntgenseitenaufnahme.

Der Vollständigkeit halber sind folgend alle Indikationen aufgeführt, auf Grund dessen die retrospektiv ausgewählten Fernröntgenseitenaufnahmen angefertigt wurden.

Für die Fernröntgenseitenaufnahmen sind die folgenden Indikationen beschrieben [59, 21]:

Schädelbezüglichen Lage- und Größenbestimmung der Kieferbasen.

Messung der Achsenstellung der Front- und Seitenzähne.

Metrische Analyse der Gesichtschädelstrukturen.

Differenzierung skelettaler und dentoalveolärer Anomalien und Entwicklungen.

Bestimmung und Voraussage von Richtung und Ausmaß der wachstums- bzw. therapiebedingten Veränderungen des Gesichtsschädels.

Weichteilanalyse (Profil).

Die Aufdeckung der kephalometrischen Relationen erlaubt eine entsprechende Behandlungsplanung.

In Zusammenarbeit mit der Kieferchirurgie dient diese Analyse zudem zur Planung von Dysgnathieoperationen und der Planung von Implantaten.

Auch der Aufnahmetyp der Fernröntgenseitenaufnahme unterliegt in der Anfertigung bestimmten Anforderungen.

Das Prinzip der Fernröntgenseitenaufnahme besteht in einem großen Fokus-Objekt Abstand und einem kleinen Objekt-Bildträger Abstand. Der Fokus-Objekt Abstand liegt hier zwischen 1,5m und 4m. Damit soll eine auf dem Röntgenbild sichtbare Differenz zwischen 2 auf einer Linie der dritten Dimension fokusfern und fokusnah liegenden Punkten auf ein Minimum reduziert werden. So kann man möglichst korrekte Distanz- und Winkelmessungen vornehmen.

Neben den knöchernen Strukturen werden hier auch die Weichteile sichtbar gemacht. Dies wird mittels spezieller Differentialfolien erreicht.

Für diese Aufnahmetechnik wird eine Filmgröße von 18x25cm gewählt. Die Einstellungen werden in der Regel mit folgenden Werten durchgeführt: 20mA und 50-90 kV.

4.2.1 Analyse der Fernröntgenaufnahme nach Franchi und Baccetti

Bei Analyse der Fernröntgenaufnahme nach Franchi und Baccetti [2,4], welche der Bestimmung des skelettalen Alters dienen soll, liegt das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung der Halswirbel.

In der vorliegenden Studie wurde die Methode basierend auf Lamparski [50] , O'Reilly und Yaniello [56] verwendet. Neuere Untersuchungen und Abwandlungen haben Franchi und Baccetti und Franchi [2, 4, 25 ,26] durchgeführt, die sich eher den Ergebnissen von Hassel und Farman [37] angleichen.

Die Reproduzierbarkeit der erhaltenen Daten belaufen sich zum einen auf 91,2% nach Studien nach Pancherz und Szyska [57] und zum anderen auf 98,6% nach Analysen nach Baccetti [2, 4, 25 , 26].

Die Voraussetzungen für einen verlässlichen biologischen Indikator werden erfüllt [2].

Weiterhin gilt diese Methode für beide Geschlechter. Es gibt im Gegensatz zu Lamparski 1972 keine unterschiedlichen Angaben für Mädchen und Jungen [50].

Im Allgemeinen beschreibt diese Methode die ganze pubertäre Periode mit allen signifikanten Phasen im kraniofazialen Wachstum während der Jugend und des jungen Erwachsenenalters.

Die Reifung der Halswirbel als biologischer Indikator für das individuelle skelettale Alter wird hier in 6 Stadien unterteilt und als „CVMI“ beschrieben (cervical vertebral maturation indices). Dieses Procedere hat sich als effektiv und klinisch nachvollziehbar erwiesen.

Die 6 Phasen werden nach Hassel and Farman [37] in: 1 = Initiation, 2 = Akzeleration, 3 = Transition, 4 = Deceleration, 5 = Maturation und 6 = Completion unterteilt.

Unabhängig vom chronologischen Alter werden nun im speziellen die Phasen wie folgt beschrieben [4, 56].

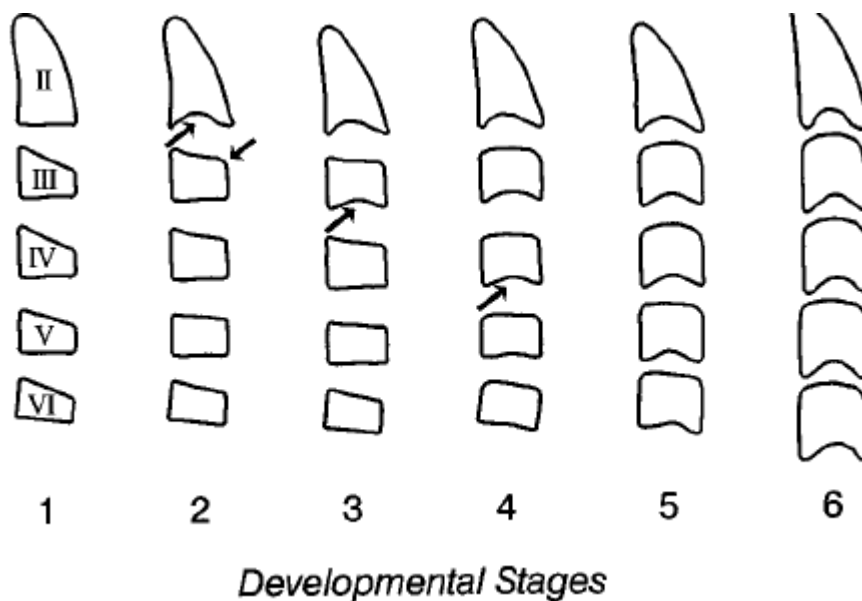


Abbildung 4-9: Die sechs verwendeten Stadien (CVS 1 bis 6) der Reifung der Halswirbel [4]

Cvs 1: Die untere Begrenzung des Wirbelkörpers von allen Halswirbeln (C2-C6) ist plan. Die obere Begrenzung der Wirbel fällt steil von posterior nach anterior ab.

Cvs 2: Es entwickelt sich eine leichte Konkavität in der unteren Begrenzung des zweiten Halswirbels. Die anteriore vertikale Höhe der Wirbelkörper steigt an

Cvs 3: Es entwickelt sich eine Einziehung an der unteren Begrenzung des dritten Wirbelkörpers

Cvs 4: Es entwickelt sich eine Einziehung am unteren Rand des vierten Wirbels. Zudem deuten sich Konkavitäten an den unteren Rändern von C5 und C6 an. Alle Wirbelkörper haben eine rechteckige Form.

Cvs 5: Die Konkavitäten haben sich in allen fünf Halswirbeln deutlich definiert. Die Form der Wirbelkörper ist nahezu quadratisch und das Platzangebot zwischen den Wirbeln hat sich deutlich reduziert.

Cvs 6: Alle Konkavitäten haben sich vertieft. Die Wirbelkörper sind nun höher als breiter.

Dabei definieren die Stadien Cvs 1-3 den Zeitraum vor dem Wachstumsspeak (beschleunigende Wachstumsphase) und die Stadien Cvs 4-6 beziehen sich auf den Zeitraum nach dem Wachstumsgipfel (abbremsende Wachstumsphase). Der Zeitpunkt des Wachstumsgipfels des Unterkiefers und der Körpergröße befindet sich fast immer zwischen Cvs 3 und Cvs 4 (bei 95% der Nordamerikaner) [25]

Die Reproduzierbarkeit der Daten (Erkennung der CVM Stadien) beläuft sich auf 98,6% [2, 4]

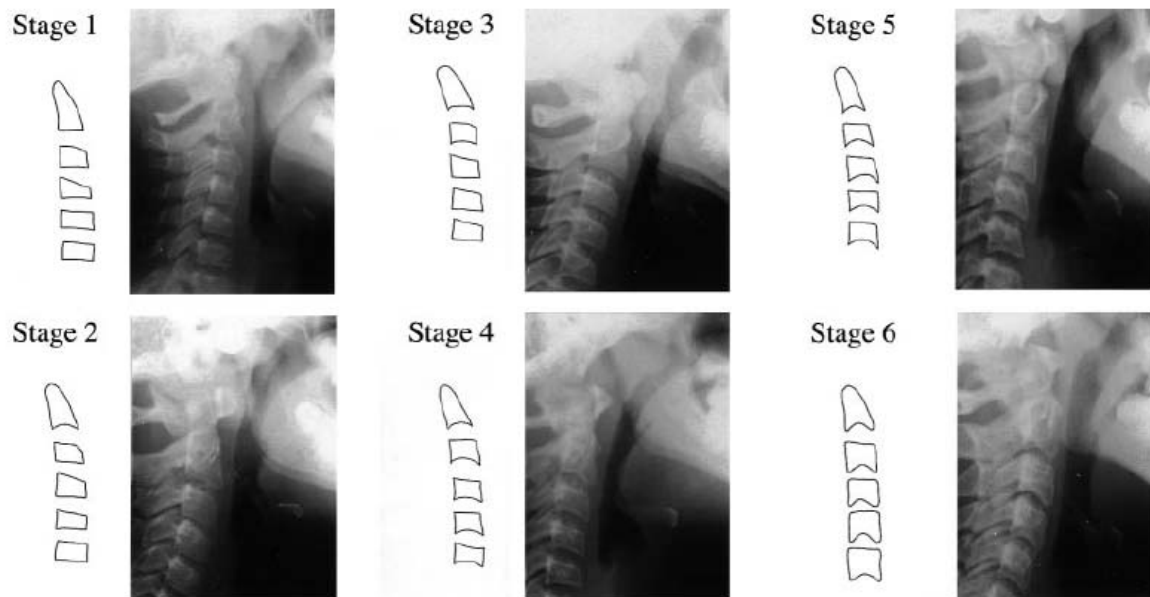
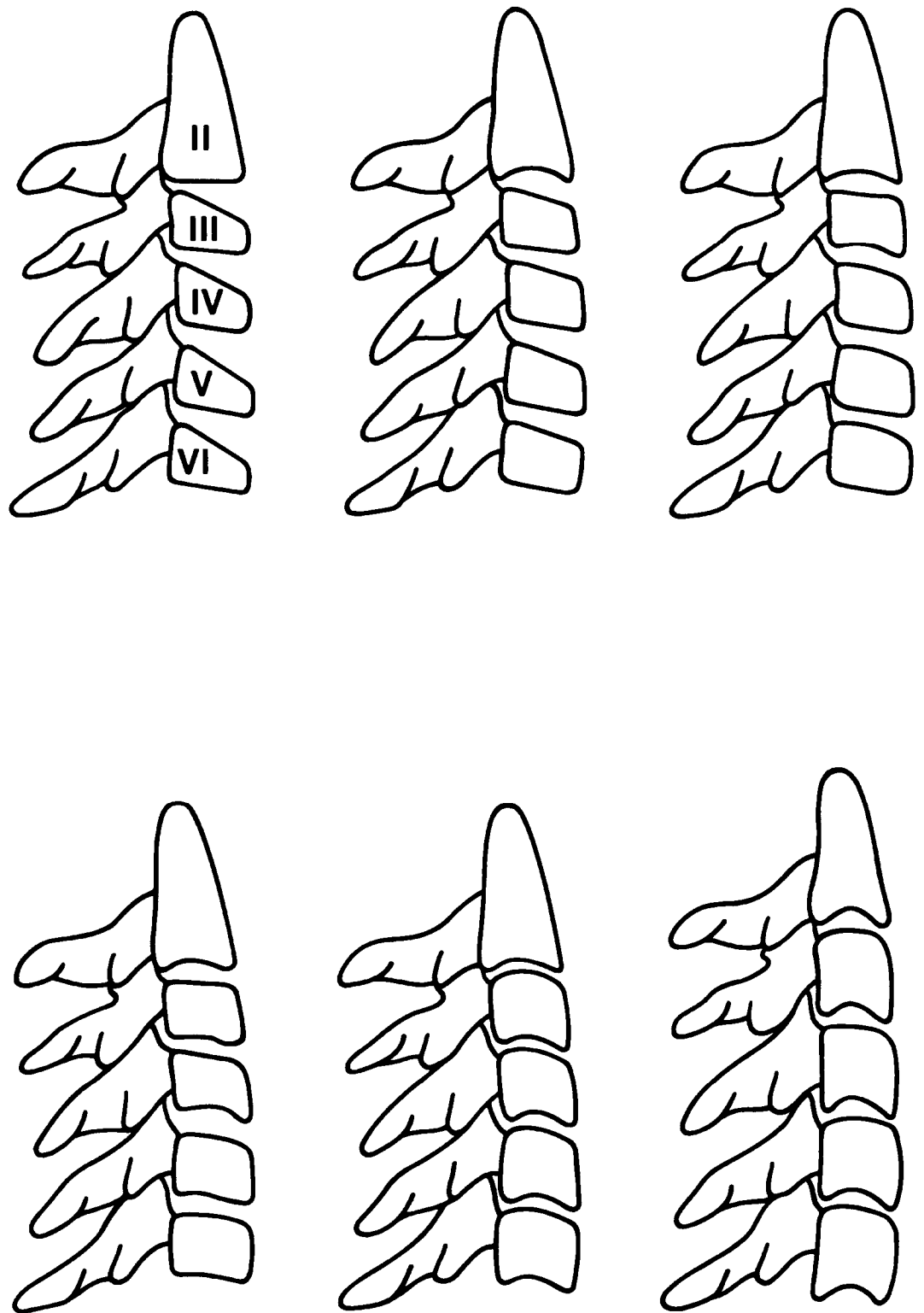


Figure 2 Cervical vertebrae maturation stages according to the concavity of the lower border of the vertebral body. (1) All vertebrae have a flat lower border; (2) a concavity is present in the C₂ lower border; (3) a concavity is present in C₃ lower border; (4) C₂ and C₃ concavity increases and a concavity is present in C₄, C₅, and C₆; (5) concavity increases in all vertebrae; (6) a deep concavity is present in all vertebrae and the inferior angles are rounded.

Abbildung 4-10: Röntgenologische und schematische Darstellung der Wirbelveränderungen

Es wurden folgende Angaben zu dem Halswirbelalter gemacht, die anhand der aufeinander folgenden sechs Röntgenaufnahmen entstanden sind und für beide Geschlechter anwendbar sind. Die Angaben gehen auf Franchi, Baccetti und Mc Namara zurück [4].



4.3

Abbildung 4-11: Veränderungen der Morphologie der Wirbelkörper

In voran gestellter Abbildung 3-13 sieht man die 6 verschiedenen CVMI Stadien nach Franchi&Bacchetti [26,2], angefangen von oben links nach unten rechts. Die Veränderungen der Wirbel werden von C2-C6 beschrieben.

4.4 Orthopantomogramm

Nach Pasler [60, 59] leitet sich die Orthopantomographie von der klassischen Tomographie ab. Die stark verbesserte Panoramaschichtaufnahme ist gegenwärtig die einzige radiologische Untersuchungsmethode, mit der nicht nur die Zähne, sondern gleichzeitig auch noch die Kiefer mit den benachbarten Strukturen des Gesichtsschädels extraoral und übersichtlich dargestellt werden können.

Im speziellen lagen folgende Indikationen für die retrospektiv gesammelten Panoramaschichtaufnahmen vor:

Erkennung von funktionellen und pathologischen Zusammenhängen und ihre Auswirkungen auf das Kau-system.

Feststellung von Nichtanlagen von Zähnen.

Zahnunterzahlen (Mesiodens).

Lage, Mineralisation, Form und Größe von Zahnkeimen und Wurzeln.

Retinierte Zähne / Zahnfehlagen.

Persistierenden Milchzähnen.

Bestimmung des dentalen Alters.

Erkrankungen der Kieferhöhle (Mukozele, Antrumlinie, Rezessus).

Abklärung von entzündlichen Prozessen im Kiefer, im Parodontium und an den Zähnen.

Fehlentwicklung von Kiefer oder Kiefergelenk (Größenvergleich, Kondylen).

Karies und Pulpitiden.

Zysten oder Tumore.

Unter diesen Gesichtspunkten wurde das Orthopantomogramm nach folgendem Schema angefertigt.

Die Röntgenröhre und der Filmträger bewegen sich beide im Uhrzeigersinn um den annähernd elliptisch geformten Zahnbogen des Patienten, der in die vorgegebene Fokus-Projektionsflächenanordnung des Röntgengerätes eingeordnet werden muss. Dabei müssen die Größe der Kieferbögen, der Aufbau des Gesichtsschädels und die diagnostischen Fragestellungen zu verschiedenen Lebensaltern mitberücksichtigt werden, um Fehlaufnahmen zu vermeiden.

Die Funktion des Panoramaschichtgerätes kann vereinfacht dargestellt werden:

Die gleichsinnig um den Gesichtsschädel ablaufende Rotation von Röhre und Kassetten- oder Sensorträgern bewegt sich um die innerhalb des Zahnbogens während der Exposition gleitend verschobenen Rotationszentren. Eine fokusnahe und eine fokusferne vertikale Schlitzblende bündeln die Strahlen, die durch die sekundäre (fokusferne) Schlitzblende des Kassetten- oder Sensorträgers auf die Projektionsfläche des im Gegensinn ablaufenden Films treffen und so das Strahlenrelief der gefragten Region aufzeichnen. So entsteht eine Zonographie, deren scharf zeichnende Schicht sogar dem mittleren Verlauf der unterschiedlich geformten Zahnbögen von Kindern und Erwachsenen angepasst werden kann. Das Rotationszentrum sollte dabei möglichst parallel zu den Zahnachsen der getroffenen Zähne eingerichtet werden.

Da es sich bei der Panoramaschichtaufnahme um eine Summationsaufnahme handelt, lässt es sich nicht verhindern, dass es zu Überlagerungen von Schatten gebenden Strukturen (Additionseffekt) oder lufthaltigen Räumen (Subtraktionseffekt) kommt. So werden z.B. vestibulär oder oral liegenden Objekte häufig in die Schicht oder den Kiefer hineinprojiziert und dabei verformt.

Vorteile der Orthopantomographie liegen in der umfassenden und vollständigen Untersuchung durch Panoramadarstellung des Kausystems mit Einschluss der Kiefergelenke und der Kieferhöhlen. Zudem kann die Strahlenbelastung auf ein Minimum reduziert werden, indem eine rationelle Untersuchungsstrategie angewendet wird. Außerdem bietet es eine gute Übersicht im Seitenvergleich und die Filmverarbeitung kann als sehr schnell bezeichnet werden.

Nachteile liegen in der Vergrößerungsunschärfe und der allgemeinen Vergrößerung von ca. 20 %, zudem ist der Halswirbelsäuleschatten oft nicht voll ausgeblendet und die Approximalräume sind häufig nicht orthoradial projiziert und somit überlagert.

4.4.1 Analyse des Orthopantomogramms nach Demirjian

Im Folgenden wurde für die Beurteilung des skelettalen Alters die Mineralisation der bleibenden Zähne analysiert. Es handelt sich hierbei um eine Stadieneinteilung von A bis H, die von Demirjian erstellt wurde [19, 20].

Diese Methode geht davon aus, dass Zahnformationen zuverlässigere Indikatoren für das Zahnalter sind als der alleinige Durchbruch der Zähne. Denn dieses Ereignis kann von vielen Faktoren beeinflusst sein. Wie z.B. einer Impaktion der Zähne, einer frühzeitigen oder späteren Extraktion von Zähnen oder einer Ankylosierung eines Zahnes.

Im Gegensatz dazu wird das Ausmaß der Bildung und Formation der bleibenden Zähne nicht von frühzeitigem Milchzahnverlust beeinflusst, wie Demirjian schon 1971 beschrieb [19].

Weiterhin variiert der Zusammenhang zwischen Durchbruch und Ausformung des Zahnes bei den unterschiedlichen Zähnen. So haben schon 1971 Liliequist und Lundberg ein Punktesystem für die Reife entwickelt. Auch Fanning hat 1971 eine differenzierte Analyse zu diesem Thema etabliert. So wird also deutlich, dass die morphologische Ausbildung der Zähne ein weitaus bedeutenderer Faktor in Bezug auf das dentale Alter darstellt, als der alleinige gingivale Durchbruch. Verschiedene Autoren wie z.B. Fanning, Garn und Lewis oder Gleiser und Hunt haben schon in den 50 er und 60 er Jahren über verschiedene Entwicklungsstadien der Zähne berichtet. Dabei wurden die wesentlichen Veränderungen der Zähne vom Beginn der Kalzifizierung bis zur endlichen Reife analysiert und festgestellt, dass ein Zahn immer wieder die gleichen Entwicklungsstadien durchläuft.

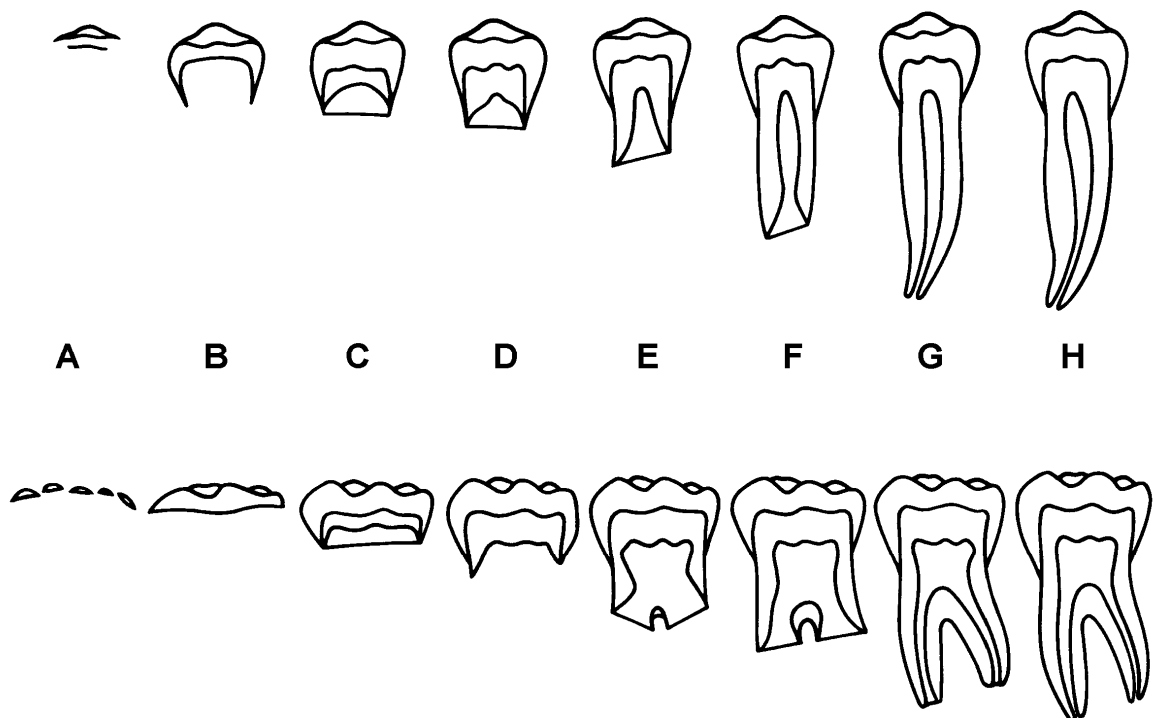


Abbildung 4-12: In der Abbildung werden die einzelnen Entwicklungsstadien der Zähne nach Demirjian [19] dargestellt. Die Stadien durchlaufen A-H angefangen von der Schmelzentwicklung bis zum Abschluss der Wurzel.

- A: In einwurzeligen und mehrwurzeligen Zähnen kann man den Anfang einer Kalzifizierung im oberen Anteil der Einziehung in Form eines umgekehrten Zapfens oder mehrerer Zapfen erkennen. Es findet kein Zusammenschluss dieser kalzifizierenden Punkte statt.
- B: Die Verschmelzung der kalzifizierenden Punkte führt zu einer Ausbildung von einem oder mehreren Hörnern, welche sich vereinen, um eine gleichmäßige okklusale Fläche zu schaffen.
- C: a) die Schmelzbildung ist an der okklusalen Oberfläche abgeschlossen. Man erkennt eine Ausbreitung und Konvergenz in Richtung cervicaler Region
 b) Beginn der Dentinablagerung
 c) der Umriss der Pulpahöhle ist kurvig an der Grenze zum okklusalen Anteil
- D: a) die Kronenbildung ist abgeschlossen bis zur Schmelz-Zement Grenze

b) Die obere Grenze der Pulpahöhle bei einwurzeligen Zähnen hat eine klare kurvige Form die konkav geformt in Richtung zervikaler Region ist. Die Abbildung der Pulpenhörner, wenn gegeben, hat eine Umrissform, die an einen Regenschirm erinnert. Bei Molaren hat die Pulpakammer eine Trapezform.

c) der Anfang der Wurzelbildung präsentiert sich als nadelartiger Fortsatz

E: Einwurzelige Zähne:

Die Wände der Pulpahöhle sind nun gradlinig, deren Kontinuität durch die Präsenz des Pulpahorns unterbrochen ist, welches größer als in dem letzten Stadium ist.

Die Wurzellänge ist kleiner als die Kronenlänge

Molaren:

Der Beginn der Ausformung der Bifurkation stellt sich entweder in Form eines kalzifizierenden Punktes oder als eine Form Halbmond dar.

Die Wurzellänge ist stets kürzer als die Kronenlänge

F: Einwurzelige Zähne

Die Wände der Pulpakammer formen eine Triangel. Der Apex endet schornsteinartig.

Die Wurzellänge erreicht dieselbe Länge wie die der Krone.

Molaren:

Die kalzifizierende Region der Bifurkation hat sich weiter aus der Halbmondform ausgeformt, um den Wurzeln einen klareren und mehr definierten Umriss zu geben und um auch in der Schornsteinform zu enden.

Die Wurzellänge entspricht der Kronenlänge.

G: a) die Wände des Wurzelkanals sind nun parallel und dessen apikaler Teil ist immer noch teilweise geöffnet (dies betrifft die distale Wurzel in Molaren)

H: a) das apikale Ende des Wurzelkanals hat sich komplett geschlossen (betrifft die distale Wurzel der Molaren.

b) Der Desmodontalspalt ist zirkulär gleichweit im Bereich der Wurzel und des Apex.

Nun folgt die Berechnung des skelettalen Alters.

Das System geht auf Tanner, Whitehouse and Healy 1962 [79] zurück, deren Prinzip es war, jedem Knochen eine bestimmte Punkteanzahl zu geben, abhängig davon, in welchem Reifestadium er sich befand. Daraus wurde das skelettale Alter mittels Handröntgenaufnahmen ermittelt.

Bei Demirjian wird dieses System auf die Zähne übertragen. Es werden Punkte für die Reifeentwicklung der Zähne vergeben, welche in der Addition einen totalen Reifepunktwert liefern.

Die Summe aller Zähne sollte eine Zahl von 100 ergeben. Mädchen und Jungen werden unterschiedliche Punktesysteme zugesprochen.

Bei diesem System handelt es sich um ein so genanntes 7 Zähne System, d.h. es werden sieben Zähne des linken Unterkiefers begutachtet, da zuvor festgestellt wurde, dass eine hohe Symmetrie zwischen den Zähnen der rechten und linken Seite bestand. Beide Systeme, einmal mit 14 Zähnen und 7 Zähnen wurden miteinander verglichen, und es stellte sich nur eine geringe Standardabweichung bezogen auf den Unterschied der beiden Systeme heraus. So wurden die 7 Zähne der linken Unterkieferseite zur Basis des Systems nach Demirjian.

Im Hinblick auf die Einfachheit des Systems wurde jedem Zahn gleiche Bedeutung beigemessen.

Bei einer Nichtanlage oder Fehlens eines bleibenden Zahnes wurden nur die Zähne berücksichtigt, die präsent waren. Die Standardabweichungen bei den Systemen mit nur 6 Zähnen waren im Alter von 8 Jahren einmal 5 Wochen und bei nur 4 anwesenden Zähnen 10 Wochen.

Weiterhin ist zu sagen, dass das Prinzip der dentalen Entwicklung der Zähne nicht deutlich in den verschiedenen Populationen abweicht und so das Reifepunktesystem, welches hier angewandt wurde, universell einsetzbar ist.

Beim Zuweisen der Schätzungen werden die bleibenden Zähne in folgender Reihenfolge beurteilt:

Zweiter Molar, Erster Molar, Zweiter Prämolare, Erster Prämolare, Eckzahn, seitlicher Schneidezahn, mittlerer Schneidezahn

Alle Zähne werden nach der Skala von A-H bewertet. Für jedes Stadium gibt es bestimmte Kriterien. Wenn es nur eines gibt, so ist das Stadium erreicht, wenn dieses erfüllt ist. Wenn zwei Kriterien vorgegeben sind, dann muss zumindest das erste erfüllt sein. Bei drei Kriterien müssen die ersten zwei erfüllt sein. Das Kriterium des vorderen Stadiums muss immer erreicht sein. Das dritte Kriterium ist dann das zu bewertende Stadium.

Die Beurteilungen sollten mit dem bloßen Auge vollzogen werden.

Die Kronenhöhe ist definiert als maximale Distanz zwischen dem höchsten Punkt der Glocke oder Kappe und der Schmelz-Zementgrenze

Die Benutzung des Punktesystems:

Jedem Zahn wird ein bestimmtes Stadium zugeteilt

Dieses wird in eine Punktezahl umgewandelt

Die Punkte werden für alle 7 Zähne addiert und zu einer allgemeinen Summe, die den Reifegrad ausdrückt. (Reifepunktezahl)

Diese Reifezahl wird anhand der Tabelle in das dentale Alter umgewandelt

Besonderes Augenmerk sei hier auf den Eckzahn gelegt, da nach Chertkow [15] ein Zusammenhang zwischen der Zahnmineralisation und dem Sesamoidstadium der Hand besteht. Hierbei tritt zumeist das Stadium G der Zahnmineralisation nach Demirjian mit

dem Sesamoidstadium nach Grave & Brown [31,32] der Hand zusammen. Hierbei tritt dieses Ereignis zumeist geschlechtsunabhängig, jedoch rassenabhängig auf.

Jungen									
Zahn Stadium									
	O	A	B	C	D	E	F	G	H
M2	0,0	2,1	3,5	5,9	10,1	12,5	13,2	13,6	15,4
M1				0,0	8,0	9,6	12,3	17,0	19,3
PM2	0,0	1,7	3,1	5,4	9,7	12,0	12,8	13,2	14,4
PM1			0,0	3,4	7,0	11,0	12,3	12,7	13,5
C				0,0	3,5	7,9	10,0	11,0	11,9
I2				0,0	3,2	5,2	7,8	11,7	13,7
I1					0,0	1,9	4,1	8,2	11,8

Mädchen									
Zahn Stadium									
M2	O	A	B	C	D	E	F	G	H
M1	0,0	2,7	3,9	6,9	11,1	13,5	14,2	14,5	15,6
PM2				0,0	4,5	6,2	9,0	14,0	16,2
PM1	0,0	1,8	3,4	6,5	10,6	12,7	13,5	13,8	14,6
C			0,0	3,7	7,5	11,8	13,1	13,4	14,1
I2				0,0	3,8	7,3	10,3	11,6	12,4
I1				0,0	3,2	5,6	8,0	12,2	14,2
					0,0	2,4	5,1	9,3	12,9

Abbildung 4-13: Punktesystem nach Demirjian [19]. Die Punktwerte werden addiert und ergeben einen Wert für das dentale Alter.

5 Statistik

5.1 Deskriptive Statistik

Häufigkeit

Ein erster Schritt bei der Analyse von Daten ist in der Regel eine Häufigkeitsauszählung. Die Häufigkeiten werden in Häufigkeitstabellen festgehalten, deren jede Zeile eine Merkmalsausprägung beschreibt.

Mittelwert

Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel der Messwerte und berechnet sich daher aus der Summe der Messwerte geteilt durch die Anzahl. Liegen z.B. zwölf Messwerte vor und beträgt die Summe der Messwerte 600, so ist der Mittelwert $x=600:12=50$

Standardabweichung

Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Messwerte; sie ist die Quadratwurzel aus der Varianz. Trägt man die Standardabweichung zu beiden Seiten des Mittelwertes auf, so liegen bei normalverteilten Werten ca. 67% der Werte in diesem Intervall.

Varianz

Die Varianz ist das Quadrat der Standardabweichung und somit ebenfalls ein Maß für die Streuung der Messwerte. Sie wird berechnet aus der Summe der Abweichungsquadrate aller Messwerte von ihrem arithmetischem Mittel, dividiert durch die um 1 verminderte Anzahl der Werte.

Normalverteilung

Die Anwendung zahlreicher Verfahren, die intervallskalierte Variablen betreffen, setzt voraus, dass deren Werte normal verteilt sind. Dies ist eine Verteilung, bei der sich die meisten Werte um den Mittelwert gruppieren, während die Häufigkeiten nach beiden Seiten hin gleichmäßig abfallen.

Im Diagramm ist die Normalverteilungskurve (Gaußsche Glockenkurve) eingezeichnet. Genaue normal verteilte Werte kommen in der Praxis so gut wie nie vor, so gilt es nur festzustellen, ob die Werte hinreichend normal verteilt sind, also die gegebene Verteilung nicht signifikant von der Normalverteilung abweicht.

Spannweite

Die Spannweite ist die Differenz zwischen dem größten Wert (Maximum) und dem kleinsten Wert (Minimum).

Minimum und Maximum

Der kleinste und größte Wert.

Standardabweichung und Standardfehler

Es handelt sich hierbei um den Standardfehler des Mittelwertes. Trägt man den Standardfehler zu beiden Seiten des Mittelwertes auf, liegt mit etwa 67% iger Wahrscheinlichkeit der Mittelwert der Grundgesamtheit in diesem Intervall. Der Standardfehler errechnet sich aus der Standardabweichung, indem man sie durch die Quadratwurzel des Stichprobenumfangs dividiert.

Die üblichen Streuungsmaße für intervallskalierte und normalverteilte Variablen sind die Standardabweichung und der Standardfehler. Die Standardabweichung dient dazu, einen Streubereich für die einzelnen Werte anzugeben. Nach einer Faustregel liegen im einfachen

Bereich der Standardabweichung etwa 67% der Werte, im doppelten Bereich der Standardabweichung etwa 95% und im dreifachen Bereich etwa 99% der Werte.

Der Standardfehler hingegen dient dazu, ein Konfidenzintervall für den Mittelwert anzugeben.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit p

Folgt man der Aufgliederung der Statistik in deskriptive (beschreibende) und analytische Statistik, so ist die Aufgabe der analytischen Statistik, Verfahren an die Hand zu geben, nach denen objektiv unterschieden werden kann, ob ein auftretender Mittelwertsunterschied oder ein Zusammenhang zufällig zustande gekommen ist oder nicht.

Vergleicht man zwei Mittelwerte, so können zu diesem Zweck zwei Hypothesen formuliert werden:

Hypothese 0 (Nullhypothese): Die beiden Stichproben entstammen der gleichen Grundgesamtheit (d.h. der Mittelwertsunterschied ist zufällig zustande gekommen).

Hypothese 1 (Alternativhypothese): Die beiden Stichproben entstammen verschiedenen Grundgesamtheiten (d.h. der Mittelwertunterschied ist nicht zufällig zustande gekommen).

Die Prüfungsstatistik hat Verfahren entwickelt, die aus den gegebenen Stichprobenwerten bzw. den daraus resultierenden Kennwerten nach bestimmten Formeln so genannte Prüfgrößen zu berechnen. Diese Prüfgrößen folgen bestimmten theoretischen Verteilungen (t-Verteilung, F-Verteilung, χ^2 -Verteilung u.a.), welche die Berechnung der so genannten Irrtumswahrscheinlichkeit erlauben.

Wahrscheinlichkeiten werden als Größen zwischen 0 und 1 (in der Statistik oft in Prozent) angegeben. Sie werden gewöhnlich mit „ p “ bezeichnet.

Ein einheitlicher Sprachgebrauch, unabhängig von der Wahl welche Hypothese verwendet wird, ist üblich. Aussagen, die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$ behaftet sind,

nennt man signifikant, solche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,01$ heißen hoch signifikant und solche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$ höchst signifikant. Diese Sachverhalte werden häufig durch die Angabe von ein, zwei oder drei Sternchen angegeben.

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0,05$	nicht signifikant	n.s.
$p \leq 0,05$	signifikant	*
$p \leq 0,01$	hoch signifikant	**
$P \leq 0,001$	höchst signifikant	***

Tabelle 5-1: Irrtumswahrscheinlichkeit p ; Angabe der verschiedenen Signifikanzniveaus

Korrelation

Im Allgemeinen beschreibt eine Korrelation den Zusammenhang zweier Variablen. Bei bivariaten Zusammenhangsmaßen gründet sich die Berechnung auf die Bildung von Wertepaaren, die aus den zugrunde liegenden abhängigen Stichproben gebildet werden.

Zur graphischen Darstellung eines solchen Zusammenhangs kann ein rechtwinkliges Koordinatensystem benutzt werden, dessen beide Achsen den einzelnen Variablen entsprechen. Ein solches Koordinatensystem wird als Streudiagramm bezeichnet.

Der Statistiker spricht von einer Korrelation zwischen zwei Variablen und gibt die Stärke des Zusammenhangs mit einer Maßzahl an, die als Korrelationskoeffizient bezeichnet wird. Der Korrelationskoeffizient, der mit „ r “ symbolisiert wird, liegt zwischen -1 und $+1$. wobei ein Betrag nahe 1 einen starken und ein Betrag nahe 0 einen schwachen Zusammenhang entspricht.

Ist der Korrelationskoeffizient negativ, bedeutet dies einen gegenläufigen Zusammenhang. Je größer der Wert einer Variablen wird, desto kleiner wird der Wert der anderen. Für die Stärke des Zusammenhangs ist auch hier der Betrag des Korrelationskoeffizienten maßgebend. Zur verbalen Beschreibung der Größe des Betrags des Korrelationskoeffizienten sind folgende Abstufungen üblich.

Wert	Interpretation
Bis 0,2	Sehr geringe Korrelation
Bis 0,5	Geringe Korrelation
Bis 0,7	Mittlere Korrelation
Bis 0,9	Hohe Korrelation
Über 0,9	Sehr hohe Korrelation

Tabelle 5-2: Korrelationskoeffizient nach Pearson

Korrelation nach Bravais und Pearson: Berechnung

Formel:

$$\begin{aligned}
 r_{xy} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_i - \bar{x})}{s_x} \right) \left(\frac{(y_i - \bar{y})}{s_y} \right) \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}} \right) \left(\frac{(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n}}} \right) \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}}
 \end{aligned}$$

Abbildung 5-1: Korrelationskoeffizient nach Bravais/Pearson

Dabei sind X_i und Y_i die Werte der beiden Variablen, \bar{x} und \bar{y} deren Mittelwerte und s_x und s_y deren Standardabweichungen; n ist die Anzahl der Wertepaare.

Ausgegeben werden jeweils der Pearson-Korrelationskoeffizient r , die Anzahl der jeweiligen Wertepaare und die sich bei der Absicherung von r gegen Null ergebende Irrtumswahrscheinlichkeit p .

Welcher Korrelationskoeffizient berechnet wird, hängt vom Skalenniveau der betreffenden Variablen ab.

Die Pearson Korrelation wird auch als Produkt-Moment-Korrelation bezeichnet und rechnet mit intervallskalierten und normal verteilten Variablen.

6 Ergebnisse

6.1 Altersverteilungen und univariate Statistiken

Im Folgenden wird ein Überblick über die Altersverteilungen bei allen Aufnahmen gegeben, die an einem Tag erstellt wurden und im Einzelnen über die ausgewerteten Aufnahmen einer Röntgenmethode.

6.1.1 Altersverteilung aller Aufnahmen

Das erste Histogramm verdeutlicht die Altersverteilungen bei den Patienten, bei denen die drei verschiedenen Aufnahmen zu einem Zeitpunkt erstellt wurden. Aufgeführt sind zudem das Durchschnittsalter (Mean=12,96), die Standardabweichung (Std. Dev. =2,01), sowie die Anzahl N der Patienten (92). Zudem ist die Normalverteilung aufgezeichnet.

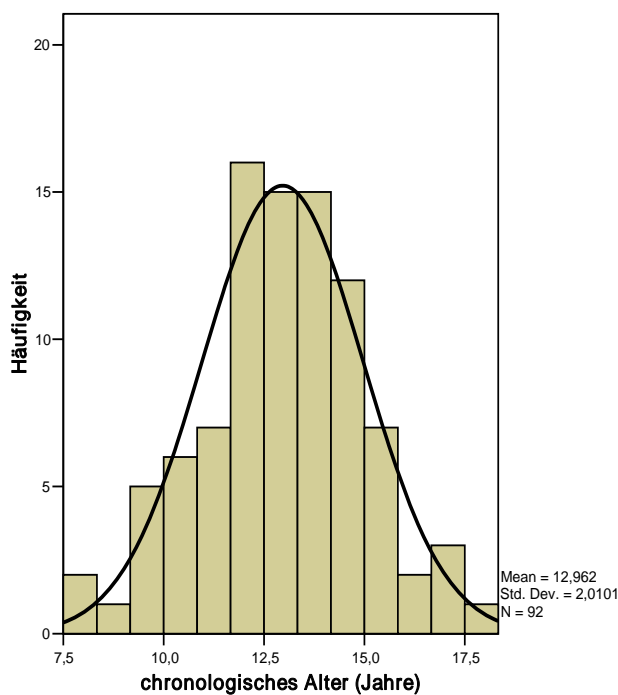


Abbildung 6-1: Diagramm der Altersverteilung aller Aufnahmen, die an einem Tag angefertigt wurden

6.1.2 Univariate Statistik aller Aufnahmen

		Standard
		fehler
	Statistik	
Alter	Mittelwert	12,962 ,2096
	Median	13,032
	Standardabweichung	2,0101
	Minimum	7,9
	Maximum	18,3

Tabelle 6-1: Übersicht über die univariaten Statistiken aller Aufnahmen

6.1.3 Altersverteilung FRS

Hier wird die Altersverteilung bei allen 531 FRS Aufnahmen veranschaulicht. Die Patienten waren im Durchschnitt 13,2 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 2,01 Jahren. Die Anzahl der untersuchten Patienten liegt bei N=92.

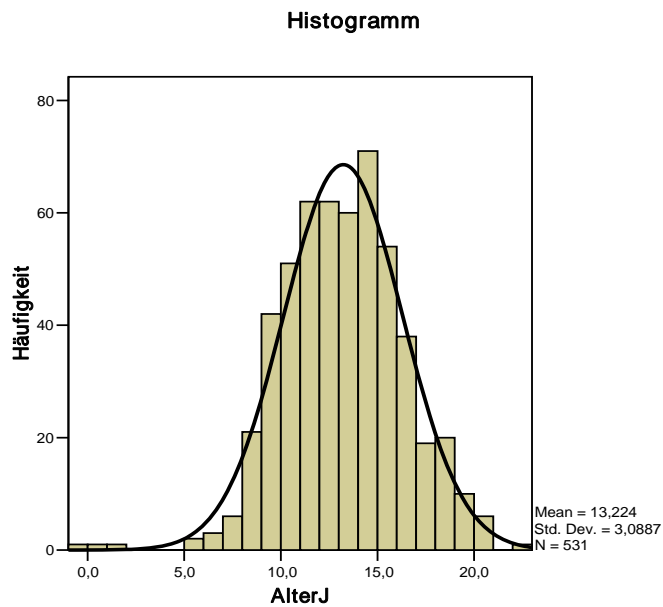


Abbildung 6-2: Diagramm über die Altersverteilung der FRS Aufnahmen

6.1.4 Univariate Statistik FRS

		Statistik	Standardfehler
Alter	Mittelwert	13,224	,1340
	Median	13,202	
	Varianz	9,540	
	Standardabweichung	3,0887	
	Minimum	-4	
	Maximum	22,9	

Tabelle 6-2: Überblick über die univariate Statistik der FRS Aufnahmen

6.1.5 Altersverteilung Hand

Untenstehend ist die Altersverteilung bei den Handaufnahmen angeführt. Hier liegt eine geringe Standardabweichung von 2,3 Jahren vor, das Durchschnittsalter beträgt 13,2 Jahre und die Anzahl der untersuchten Aufnahmen lautet N=279.

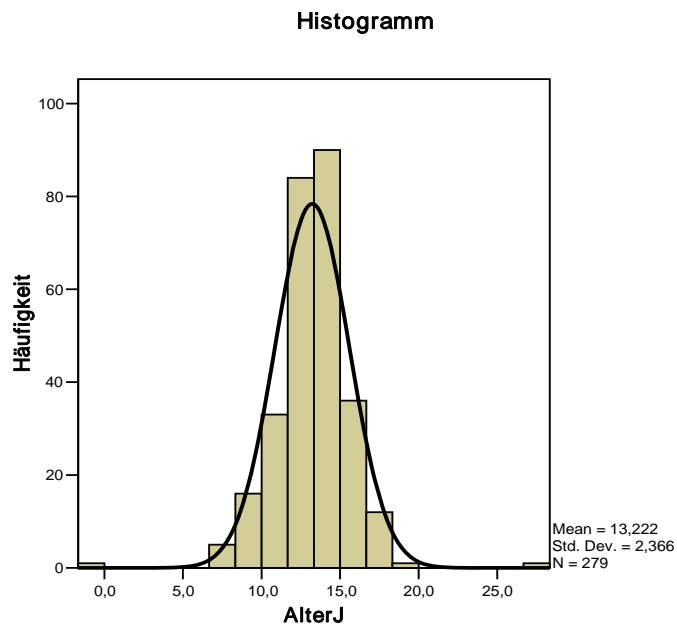


Abbildung 6-3: Diagramm der Altersverteilungen der Hand

6.1.6 Univariate Statistik Hand

		Statistik	Standardfehler
Alter	Mittelwert	13,222	,1416
	Median	13,339	
	Varianz	5,598	
	Standardabweichung	2,3660	
	Minimum	-,9	
	Maximum	27,2	

Tabelle 6-3: Übersicht über die univariaten Statistiken der Handaufnahmen

6.1.7 Altersverteilung OPG

Als letztes sei eine Übersicht über die Altersverteilung bei den OPG Aufnahmen gegeben. Hier wurden 646 Aufnahmen bei 225 Patienten ausgewertet. Das Durchschnittsalter liegt bei 13,4 Jahren, die Standardabweichung beträgt 3,2 Jahre.

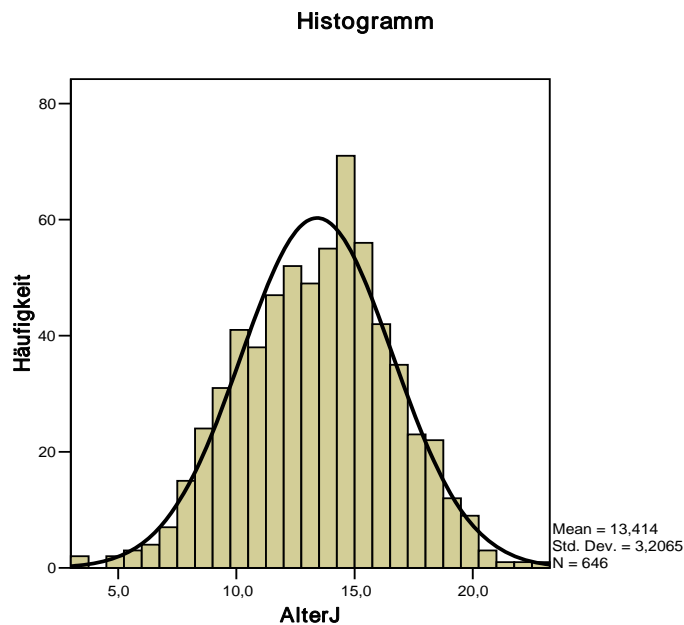


Abbildung 6-4: Diagramm der Altersverteilung der OPG Aufnahmen

6.1.8 Univariate Statistik OPG

		Statistik	Standardfehler
Alter	Mittelwert	13,414	,1262
	Median	13,547	
	Varianz	10,282	
	Standardabweichung	3,2065	
	Minimum	3,0	
	Maximum	22,9	

Tabelle 6-4: Überblick über die univariaten Statistiken der OPG Aufnahmen

6.2 Korrelationbestimmungen nach Pearson

In diesem Abschnitt werden die Korrelationen zweier intervallskalierter Variablen wiedergegeben, welche nach der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson berechnet wurden. Hiermit werden die unterschiedlichen Röntgenmethoden zur skelettalen Altersbestimmung untereinander und gegeneinander verglichen. Die Ergebnisse sind wie folgt:

6.2.1 Skelettales Alter FRS Gesamtkollektiv - chronologisches Alter in Jahren

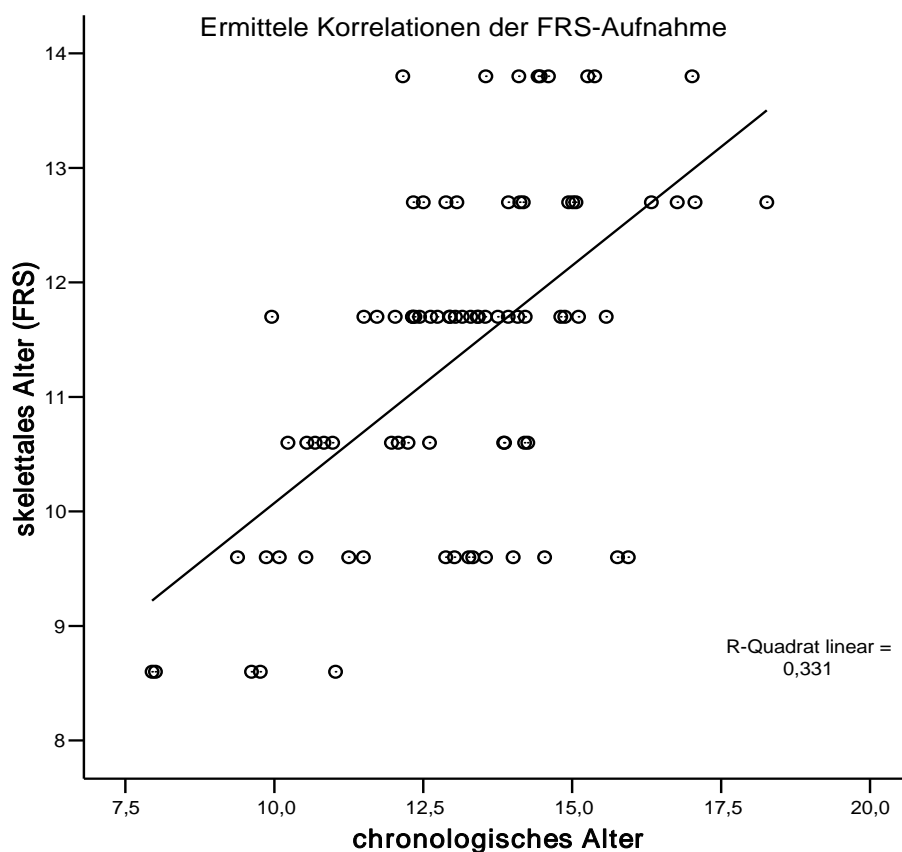


Abbildung 6-5: Streudiagramm: skelettales Alter FRS (xfrs) und chronologischem Alter in Jahren beim Gesamtkollektiv.

Das Streudiagramm verdeutlicht die nach Pearson ermittelte Korrelation zweier Variablen, die in dem Koordinatensystem durch die beiden Achsen dargestellt sind. Hierbei handelt es sich um das skeletale Alter bei allen Fernröntgenseitenaufnahmen (die an einem Tag angefertigt wurden), welches in Jahren angegeben wird und das chronologische Alter, auch in Jahren gemessen. Die Korrelation ergab einen Wert von $r^2=0,331$, dies entspricht einem Korrelationskoeffizient von $r=0,575$ ($p<0,01$). Dies stellt eine hohe Signifikanz dar.

6.2.2 Skelettales Alter FRS Jungen - chronologisches Alter in Jahren

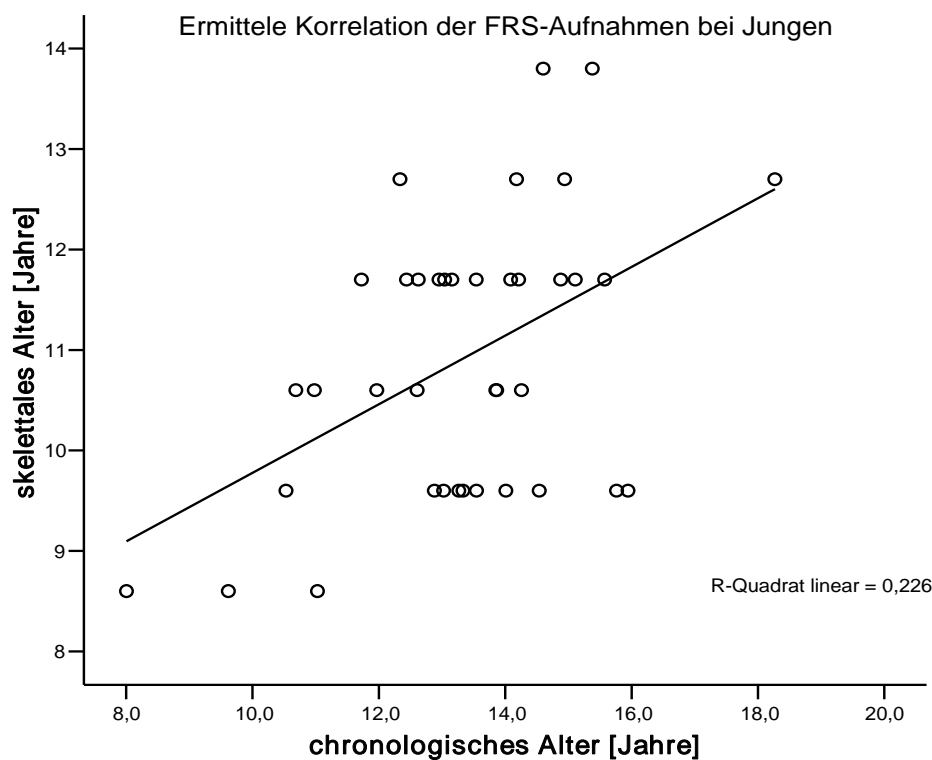


Abbildung 6-6: Streudiagramm: skelettales Alter FRS (xfrs) und chronologisches Alter in Jahren bei Jungen.

Bei Jungen ergab die nach Pearson ermittelte Korrelation zwischen skeletalem Alter FRS und chronologischem Alter eine hohe Signifikanz mit einem Wert von $r^2=0,226$ ($r=0,475^{**}$; $p<0,01$).

6.2.3 Skelettales Alter FRS Mädchen - chronologisches Alter in Jahren

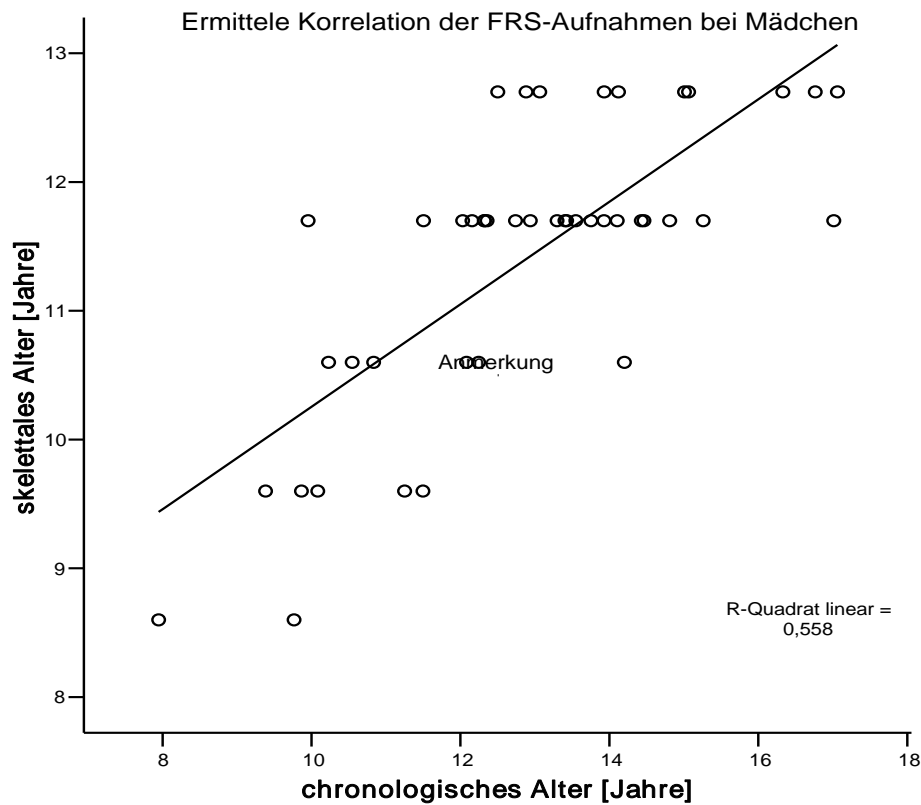


Abbildung 6-7: Streudiagramm: skelettales Alter FRS (xfrs) und chronologisches Alter in Jahren bei Mädchen.

Bei diesem Streudiagramm handelt es sich um eine Darstellung des Vergleichs von chronologischem und skelettalem Alter bei FRS Aufnahmen für Mädchen. Diese zwei Variablen wurden in einer Korrelationsrechnung nach Pearson miteinander verglichen, da es sich um intervallskalierte, normalverteilte Variablen handelt. Das Ergebnis liefert einen Wert von $r^2=0,558$ ($r=0,747^{**}$), ($p<0,01$), was für ein hoch signifikantes Ergebnis spricht.

6.2.4 Dentales Alter OPG Jungen-chronologisches Alter in Jahren

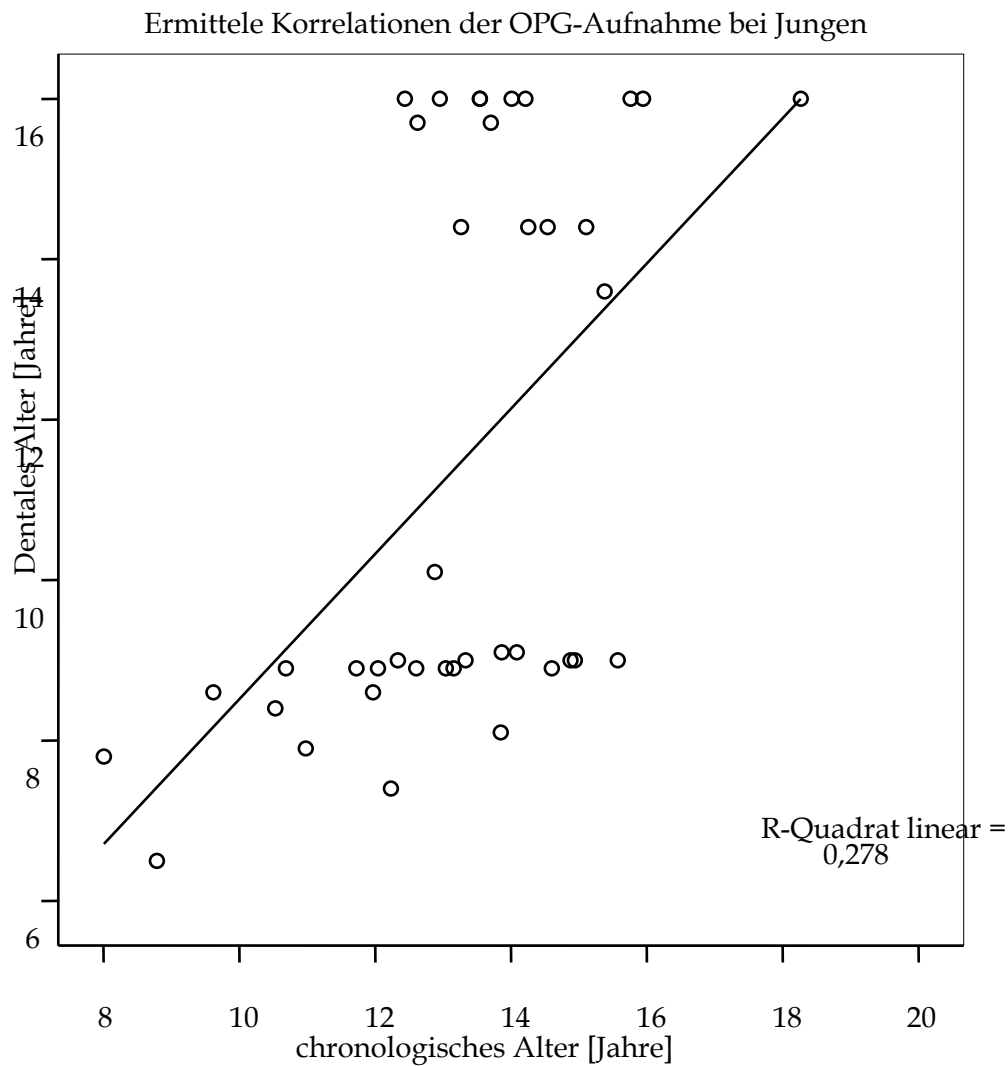


Abbildung 6-8: Streudiagramm: Alter bestimmt durch OPG (xopg) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Jungen.

Die ermittelte Korrelation nach Pearson ergab bei dem Vergleich des dentalen Alters zum chronologischen Alter bei Jungen eine hoch signifikante Korrelation ($p < 0,01$) mit $r^2 = 0,278$ und $r = 0,527^{**}$.

6.2.5 Dentales Alter OPG Mädchen-chronologisches Alter in Jahren

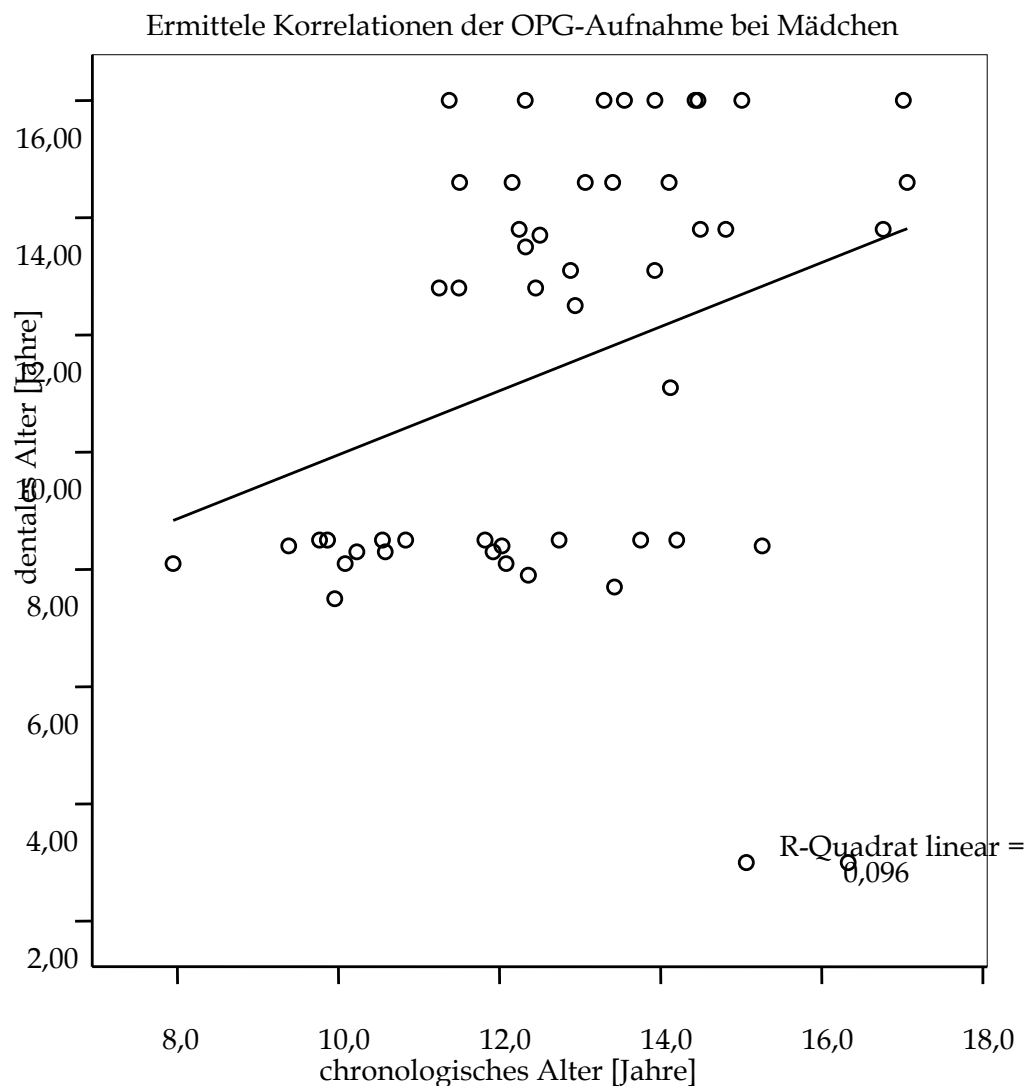


Abbildung 6-9: Streudiagramm: Alter bestimmt durch OPG (xopg) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Mädchen.

In dieser Graphik spiegelt sich die Korrelation zwischen dentalem Alter und chronologischem Alter für OPG Aufnahmen bei Mädchen wieder. Die Steigung ergibt hier einen Wert von $r^2=0,096$ ($p<0,05$) und wurde nach dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson errechnet; welcher einen Wert von $r=0,310^*$ ergab, was für eine Signifikanz spricht.

6.2.7 Skelettales Alter Hand Mädchen-chronologisches Alter in Jahren

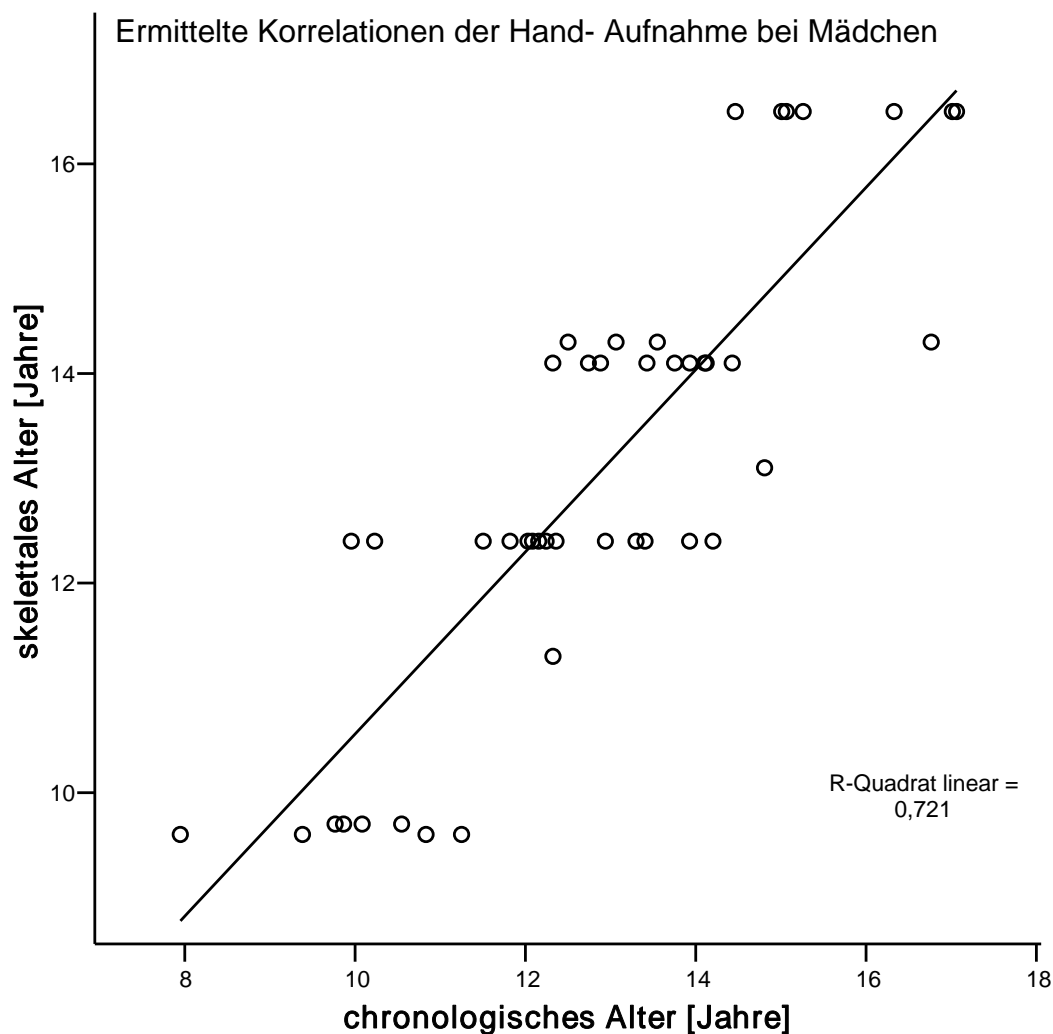


Abbildung 6-11: Streudiagramm: Alter bestimmt durch Hand (xhand) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Mädchen.

Als letztes sei das Streudiagramm der Handaufnahmen bei Mädchen angeführt. Hier erkennt man eine Steigung mit dem Wert $r^2=0,721$ nach Pearson. Infolgedessen beträgt der r -Wert $0,849^{**}$ und ist hoch signifikant.

Die folgenden Kreuztabellen bieten eine Übersicht über die geschlechtsspezifische Auswertung der Korrelationsbestimmungen nach Pearson und stellen eine bivariate Analyse. Hierdurch kann man der Fragestellung, ob Zusammenhänge zwischen 2 oder mehreren Variablen bestehen, analysieren.

In der nachfolgenden Korrelationstabelle wird das chronologische Alter in Jahren, mit dem skelettalen Alter der jeweiligen Aufnahmetechnik verglichen. Die Variablen sind nach dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson 2-seitig ausgewertet. Hierbei sind die Signifikanzen durch Sternchen verdeutlicht. Ein Sternchen spricht für eine Irrtumswahrscheinlichkeit p auf dem Niveau von $p < 0,05$ und bedeutet, dass eine Signifikanz vorhanden ist. Zwei Sternchen bedeuten ein hoch signifikantes Ergebnis und beruhen auf dem Niveau von $p < 0,01$.

6.2.8 Korrelationen

		xfrsm	xfrsw	xopgm	xopgw	xhandm	xhandw
AlterJ	Korrelation nach Pearson	,475(**)	,747(**)	,528(**)	,310(*)	,783(**)	,849(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,003	,000	,001	,029	,000	,000
	N	38	44	39	50	37	44

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 6-5: Allgemeiner Überblick aller Korrelationen

Nun werden nicht nur die beiden Variablen chronologisches und skelettales Alter in einer Korrelationsrechnung nach Pearson miteinander verglichen, sondern wie unten beschrieben, erfolgt auch ein Vergleich der Aufnahmemethoden (OPG, FRS, Hand) untereinander.

Der Eintrag in jeder Zeile spiegelt das Ergebnis der Pearson Korrelation wieder. So ergibt sich ein übersichtlicher Vergleich der einzelnen Korrelationsberechnungen zueinander.

		<i>skelettales Alter</i>		
		OPG	FRS	Hand
skelettales Alter	OPG	-	0,019	0,493**
	FRS	0,019	-	0,635**
	Hand	0,493**	0,635**	-

Tabelle 6-6 Korrelationen nach Pearson zwischen Aufnahmearten bei den männlichen Probanden** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Das obere Kreuzdiagramm befasst sich mit den Ergebnissen der männlichen Probanden. Anhand der Tabelle erkennt man, dass nicht alle Aufnahmearten bezogen auf das skelettales Alter ein hoch signifikantes Ergebnis (** bzw. $p < 0.01$) liefern. Kein signifikantes Ergebnis liefern die OPG-Aufnahmen verglichen mit den FRS -Aufnahmen.

		<i>skelettales Alter</i>		
		OPG	FRS	Hand
skelettales Alter	OPG	-	0,298 *	0,236
	FRS	0,298*	-	0,799**
	Hand	0,236	0,799**	-

Tabelle 6-7 : Korrelationen nach Pearson zwischen Aufnahmearten bei den weiblichen Probanden

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Diese Kreuztabelle bietet eine Übersicht über die Korrelationsbestimmungen bei den weiblichen Probanden. Auch hier sind hoch signifikante Ergebnisse zu erkennen, gekennzeichnet durch **. Jedoch bietet auch hier das OPG kein signifikantes Ergebnis, diesmal jedoch auf die Handaufnahme bezogen.

6.2.9 Auswertung aller angefertigten Aufnahmen

Bei dieser Studie wurden nicht nur die Aufnahmen ausgewertet, die alle an einem Tag gemacht wurden, sondern auch alle anderen Aufnahmen, die jeweils bei einem Patienten gemacht wurden. Folgende Graphiken bieten nun einen Eindruck der Korrelationen im Hinblick auf chronologisches und skelettales Alter bei allen angefertigten Aufnahmen. Da es sich über eine größere Anzahl N handelt, sind auch diese Ergebnisse als sehr repräsentativ zu bewerten.

6.2.9.1 FRS Aufnahmen:

Es lagen von 234 Patienten insgesamt 531 FRS Aufnahmen vor und wurden ausgewertet. Von diesen waren 269 von weiblichen Patienten und 262 von männlichen Patienten. Im Durchschnitt wurden in dem Patientenkollektiv für Diagnostik und Therapiekontrolle kieferorthopädischer Behandlungen 2,2 FRS Aufnahmen pro Patient angefertigt. Im Hinblick auf die Gesamtpatientenzahl (326) wurden bei 71% FRS Aufnahmen gefertigt. Die Ergebnisse der Korrelationsbestimmung von skelettalem Alter und chronologischem Alter sind folgend aufgeführt.

6.2.9.2 Skelettales Alter FRS- chronologisches Alter in Jahren

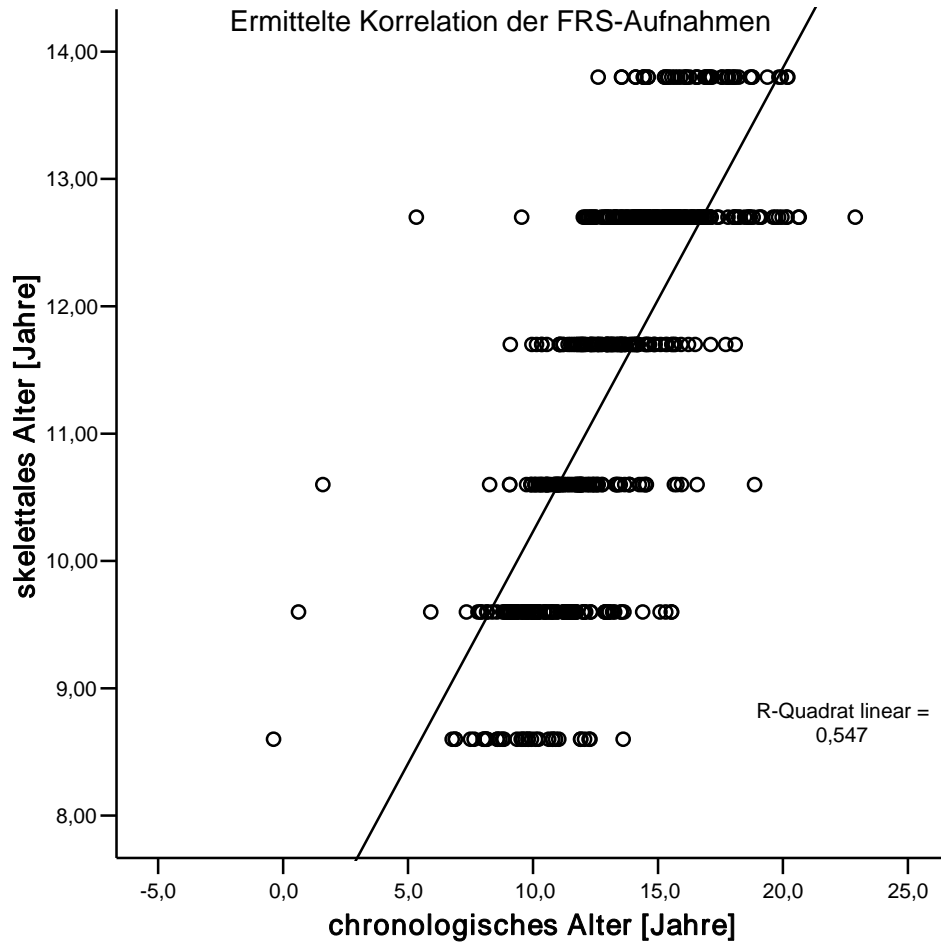


Abbildung 6-12: Streudiagramm: Alter bestimmt durch FRS (xfrs) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren.

Korrelationen

		xfrs	AlterJ
Xfrs	Korrelation nach Pearson	1	,740(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
AlterJ	Korrelation nach Pearson	,740(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	

Tabelle 6-8** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a Listenweise N=531

Anhand dieser Korrelationsberechnungen erkennt man einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter und skelettalem Alter bei FRS Aufnahmen. Bei einer Anzahl N von 531 Aufnahmen erhält man ein hoch signifikantes Ergebnis ($r=0,740$, $p<0,01$). Die Steigung des Streudiagramms beträgt $r^2=0547$.

Korrelationen

		AlterJ	xfrsm
AlterJ	Korrelation nach Pearson	1	,767(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
Xfrsm	Korrelation nach Pearson	,767(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	

Tabelle 6-9** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a Listenweise N=262

Dieses Diagramm mit Tabelle bietet eine Übersicht über die Korrelationen zwischen skelettalem und chronologischem Alter der FRS Aufnahmen bei Jungen. Den Berechnungen lagen 262 Aufnahmen zugrunde. Der r^2 -Wert liegt bei 0,589 und der r -Wert bei 0,767**, was ein hoch signifikantes Ergebnis widerspiegelt.

6.2.9.4 Skelettales Alter FRS Mädchen-chronologisches Alter in Jahren

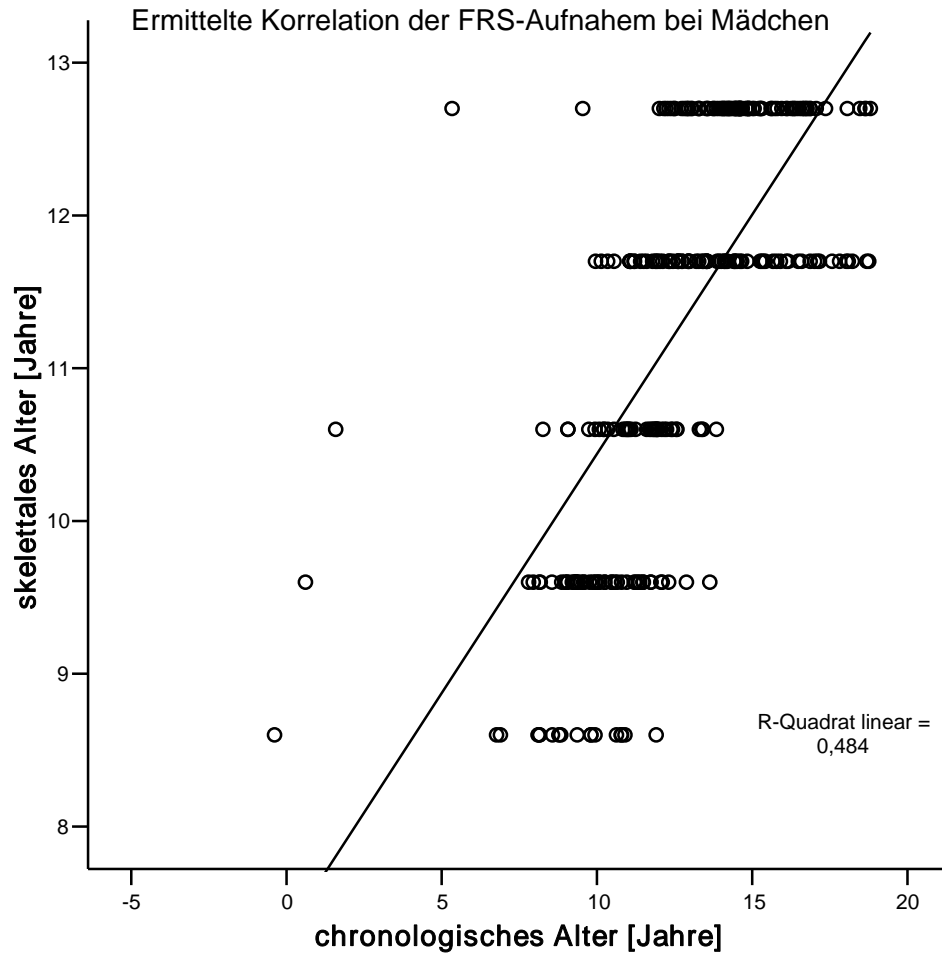


Abbildung 6-14: Streudiagramm: Alter bestimmt durch FRS (xfrs) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Mädchen.

Korrelationen

		AlterJ	xfrsw
AlterJ	Korrelation nach Pearson	1	,696(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
xfrsw	Korrelation nach Pearson	,696(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	

Tabelle 6-10** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

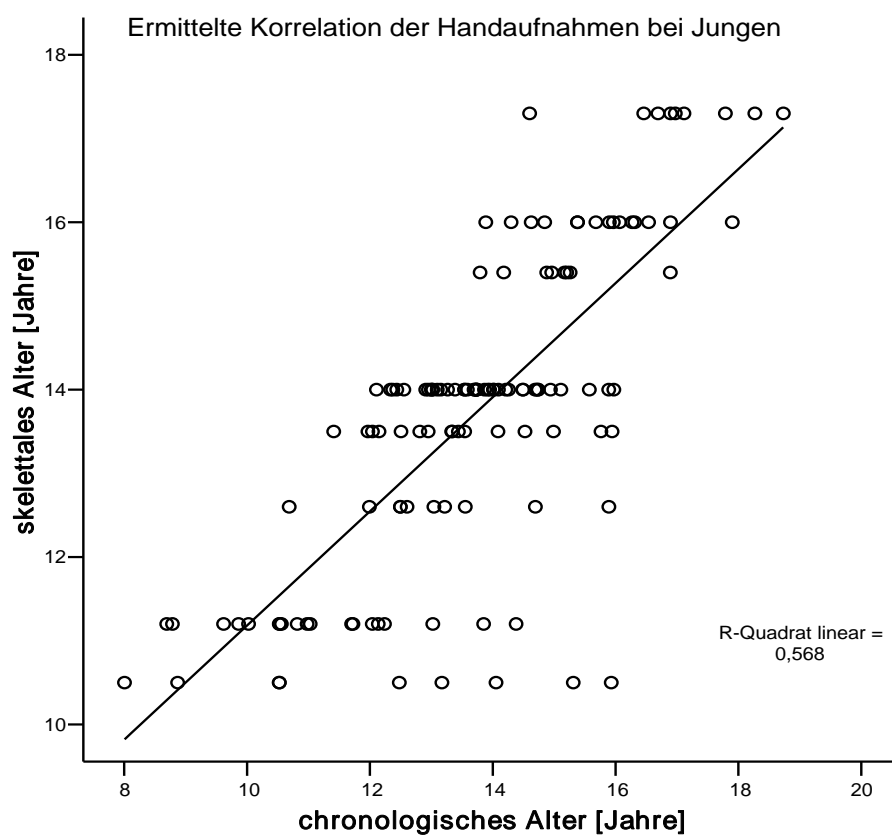
a Listenweise N=269

Dieses Streudiagramm mit angehängter Kreuztabelle liefert die Ergebnisse der Korrelationsbestimmung nach Pearson für skelettales und chronologisches Alter bei Mädchen. Die Anzahl der Aufnahmen lag bei 269. Der r^2 -Wert liegt bei 0,484, was einem r -Wert von 0,696** entspricht. Auch hier ist das Ergebnis hoch signifikant auf einem Niveau von $p < 0,01$.

6.2.10 Handröntgenaufnahmen

Dieser Studie lagen insgesamt 271 Handaufnahmen zugrunde. Diese 271 Aufnahmen teilten sich auf in 129 von weiblichen Patienten und 142 von männlichen, die bei insgesamt 262 Patienten angefertigt wurden. Im Durchschnitt wurden 1,06 Aufnahmen pro Patient erstellt. Das Durchschnittsalter der Patienten bei den Handaufnahmen betrug 13,2 Jahre. 93,1% aller Aufnahmen waren Handröntgenaufnahmen.

6.2.10.1 Skelettales Alter Hand Jungen-chronologisches Alter in Jahren



6.2.11

Abbildung 6-15: Streudiagramm: Alter bestimmt durch Hand (xhand) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Jungen.

6.2.11.1 Skelettales Alter Hand Mädchen-chronologisches Alter

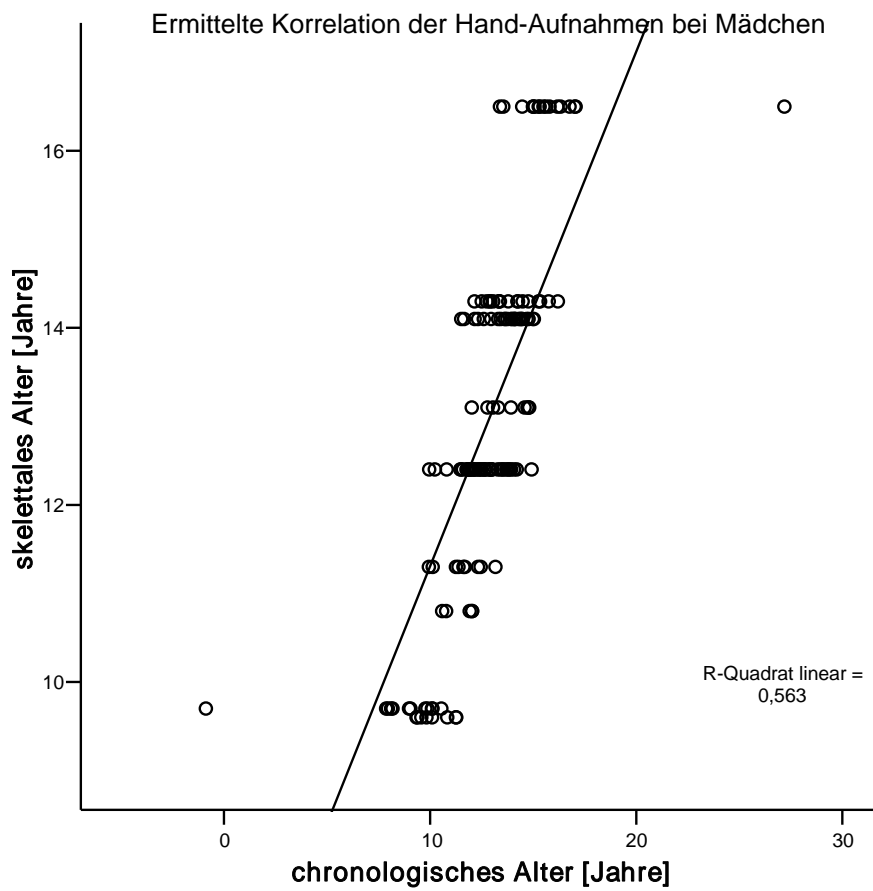


Abbildung 6-16: Streudiagramm: Alter bestimmt durch Hand (xhand) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Mädchen.

Korrelationen

		xhandm	xhandw
Alter	Korrelation nach Pearson	,754(**)	,751(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
	N	129	142

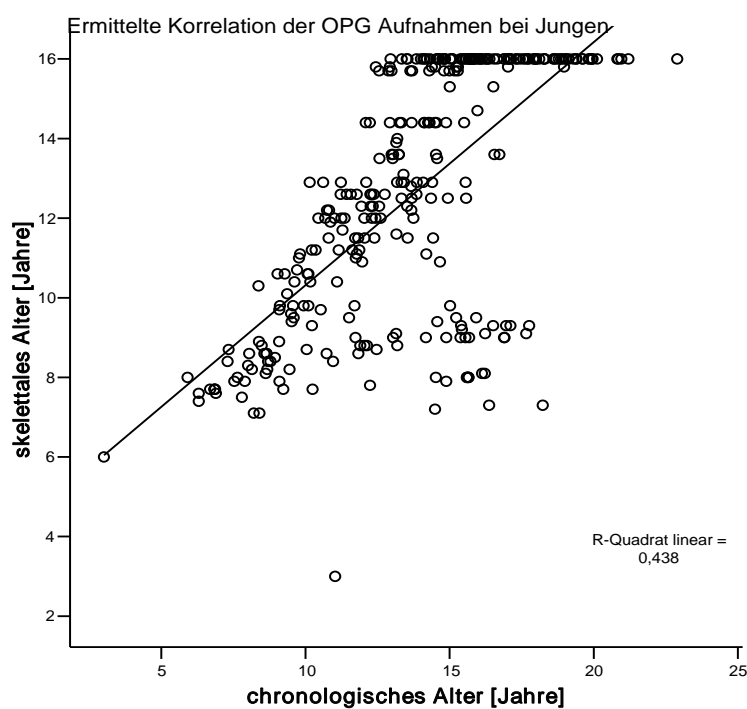
Tabelle 6-11** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Ergebnisse der Korrelationsbestimmungen der Handröntgenaufnahmen sind wie folgt: Für beide Geschlechter liegen hohe Signifikanzen auf einem Niveau von $p < 0,01$ vor, was mit 2 Sternchen gekennzeichnet ist. Die r-Werte betragen für Jungen 0,754 und für Mädchen 0,751. Die Steigungen der Streudiagramme, verdeutlicht durch den R-Quadrat-Wert, lauten für Jungen $r^2 = 0,568$ und für Mädchen $r^2 = 0,563$.

6.2.12 OPG-Aufnahmen

Es lag eine Anzahl von 646 Orthopantomogrammen vor. Davon gehen 311 Aufnahmen auf männliche Patienten und 335 auf weibliche Patienten zurück. Es konnten die Unterlagen von insgesamt 225 Patienten einbezogen werden, bei denen OPG -Aufnahmen vorlagen. Hierbei wurden durchschnittlich 2,87 Aufnahmen erstellt. Das durchschnittliche Alter der Patienten beläuft sich auf 13,4 Jahre.

6.2.12.1 Dentales Alter OPG Jungen-chronologisches Alter in Jahren



6.2.13

Abbildung 6-17 Streudiagramm: Alter bestimmt durch OPG (xopg) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Jungen.

6.2.14 Dentales Alter OPG Mädchen-chronologisches Alter in Jahren

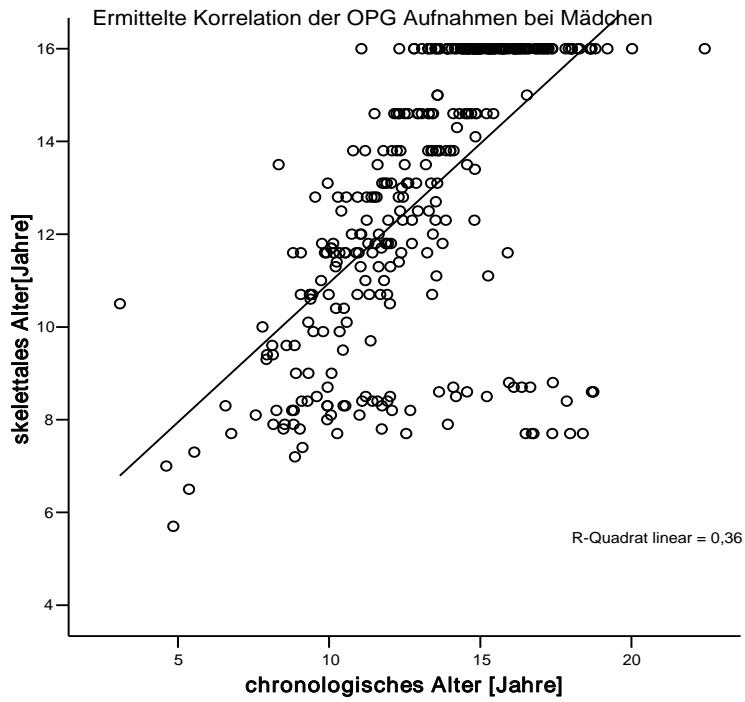


Abbildung 6-18: Streudiagramm: Alter bestimmt durch OPG (xopg) Auswertung und chronologisches Alter in Jahren bei Mädchen.

		Xopgm	xopgw
Alter	Korrelation nach Pearson	,661(**)	,600(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000
	N	311	335

Tabelle 6-12** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Korrelation nach Pearson hat ergeben, dass eine mittlere Korrelation zwischen chronologischem Alter und skelettalem Alter bei OPG Aufnahmen vorliegt. Das bedeutet, die OPG Aufnahmen liefern ein hoch signifikantes Ergebnis zur Bestimmung des skelettalen Alters und sind repräsentativ zur Bestimmung des skelettalen Alters. Der Steigungswert des Streudiagramms bei Jungen beträgt $r^2=0,438$ und der Korrelationskoeffizient $r=0,661^{**}$, bei Mädchen liegen die Werte bei $r^2=0,36$ und $r=0,600^{**}$.

7 Diskussion

Während des diagnostischen Procedere der Kieferorthopädie hat die Bestimmung des skelettalen Alters für Diagnostik, Behandlungsbeginn und Therapieplanung eine hohe Bedeutung.

Die Handröntgenaufnahme kann in diesem Zusammenhang immer noch als Goldstandard gelten. Ziel dieser Studie war es, zu analysieren, inwiefern dieser Goldstandard in Frage gestellt werden kann, indem anhand von Standardaufnahmen für die kieferorthopädische Diagnostik und Behandlungsplanung eine Analyse des skelettalen Alters möglich ist. Zur Beurteilung ist es von besonderem Interesse, die hierbei ermittelten Daten zum skelettalen und dentalen Alter mit denen des chronologischen Alters zu vergleichen. In der Diskussion soll nunmehr die Zuverlässigkeit der Aussage der Standardaufnahmen (Fernröntgenseitenaufnahme, Orthopantomogramm) im Vergleich zur Handröntgenaufnahme im Hinblick auf die Bestimmung des skelettalen Alters ermittelt werden.

In der Gliederung der Diskussion wird dabei folgendermaßen verfahren:

Bestimmung des skelettalen Alters an einzelnen Aufnahmen und Aufnahmearten

Gegenüberstellung der Korrelationen zwischen skelettalem und dentalem Alter.

Korrelationsbestimmung des dentalen und chronologischen Alters.

Im Abschluss wird ein direkter Vergleich der einzelnen Methoden untereinander diskutiert.

7.1 Die Bestimmung des skelettalen Alters

Die Beurteilung und die Art der Bestimmung des skelettalen Alters im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie spielt eine wichtige Rolle zur Planung des Zeitpunktes einer funktionskieferorthopädischen Behandlung. Hierzu werden im Allgemeinen Handröntgenaufnahmen verwendet. Eine routinemäßige Anfertigung ist nach den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie nicht indiziert. Medizinische Indikationen

werden jedoch für bestimmte Bereiche geregelt, die besagen, dass Handröntgenaufnahmen im Rahmen kieferorthopädischer Therapie, jedoch in einem engen zeitlichen Rahmen (um den pubertären Wachstumsgipfel), angefertigt werden kann, um Wachstum in der Therapie zu nutzen oder falls negative Wachstumsfolgen nach einer Therapie oder Retention zu erwarten sind. Zudem liefern sie Informationen über das skelettale Alter und können die Wahl erleichtern, zu entscheiden, wann der optimale Behandlungsbeginn ist und wann die Behandlung abgeschlossen werden kann. Sie sollte auch nur angefertigt werden, wenn keine anderen anamnestischen Angaben (z.B. Menarche) als aussagekräftig genug angesehen werden [21].

Bei Patienten, die sich zu spät beim Kieferorthopäden vorstellen, kann das mögliche Restwachstum bei Behandlungsindikation durch die skelettale Altersbestimmung evaluiert werden. Der Zeitpunkt zur Anfertigung von Handröntgenaufnahmen bei dieser Indikation wird bei Mädchen, abhängig vom Fortschritt der Allgemeinentwicklung, mit 12 Jahren und bei Jungen mit 13 Jahren angegeben.

Zur Ermittlung und Bestimmung des vorhanden Restwachstums, des optimalen Behandlungszeitpunktes (d.h. Nutzung des Wachstums für die Funktionskieferorthopädie) bei einer Angle Klasse II, haben Baccetti und Franchi die Behandlung mit dem Twin Block genau analysiert [4].

In der Studie von Baccetti und Franchi [2] wurden verschiedene Altersgruppen miteinander verglichen: früh behandelte [9-10 Jahre] (der Wachstumsgipfel war nicht in die Therapie integriert) und spät behandelte [12-14 Jahre] (Therapie während oder kurz nach dem Wachstumsgipfel). Die Fernröntgenseitenaufnahmen wurden nach Pancherz [57] analysiert und ergaben, dass der optimale Behandlungszeitraum während oder kurz nach dem Wachstumsgipfel lag. Im Vergleich zur Therapie vor dem Gipfel ergaben sich einige Vorteile. (1) Einen größeren Einfluss auf die Korrektur der Molaren, (2) größere Veränderungen in der totalen Unterkieferlänge und -höhe, (3) sowie eine höhere posteriore Wachstumsrichtung der Kondylen, welches zu größerem Längenwachstum des Unterkiefers und zur Verringerung der Vorwärtsbewegung des Unterkiefers führt.

Somit wird auch hier die Dringlichkeit der biologischen Einordnung der skelettalen Entwicklung bzw. Reife bei der Behandlung von Angle Klasse II Patienten unterstrichen [4].

Da sich nach Fishman [23] die skelettale Reife und die Wachstumsgeschwindigkeit nicht durch das chronologische Alter evaluieren lassen, gibt bei Abweichungen des dentalen vom chronologischen Alter die Analyse der Handröntgenaufnahme im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik Hinweise auf das skelettale Alter und ermöglicht in der Planung die Determinierung des Behandlungsbeginns.

Auch im Hinblick auf das Retentionsende bei der funktionskieferorthopädischen Therapie einer Angle Klasse III Dysgnathie mit differenten Leitsymptomen spielt die Bestimmung des skelettalen Alters eine wichtige Rolle. Wird diese zu früh, d.h. vor Wachstumsende, abgeschlossen, ist ein Wiederauftreten der Dysgnathie im Hinblick auf ein progredientes Unterkieferwachstum möglich. Bishara [5] beschreibt in diesem Zusammenhang ein residuales Wachstum des Unterkiefers bei 18 bis 25 Jährigen.

Im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-chirurgischen Behandlung von Angle Klasse III Dysgnathien spielt die Handröntgenaufnahme eine wichtige Rolle, da sie den frühest möglichen Operationszeitpunkt determinieren kann. Auch die Bestimmung des Retentionsendes kann durch die skelettale Altersbestimmung erfolgen.

Zur Bestimmung des skelettalen Alters werden neben Handröntgenaufnahmen auch andere Aufnahmetypen verwendet: Die Formation der Halswirbel ändert sich im Laufe der Individualentwicklung mit verschiedenen Stadien einer sukzessiven morphologischen Veränderung. Diese kann an Fernröntgenseitenaufnahmen evaluiert werden. Dieser Aufnahmetyp liegt im Rahmen der kieferorthopädischen Standarddiagnostik im Regelfall vor, da sie eine schädelbezügliche Lage- und Größenbestimmung der Kieferbasen, Messung der Achsenstellung der Front- und Seitenzähne, metrische Analyse der Gesichtsschädelstrukturen, Differenzierung skelettaler und dentoalveolärer Anomalien und Entwicklungen sowie eine Bestimmung und Voraussage von Richtung und Ausmaß der wachstums- bzw. therapiebedingten Veränderungen des Gesichtschädels liefern. In der Anfangsdiagnostik werden Fernröntgenseitenaufnahmen mit fallbezüglichen Ausnahmen

als unverzichtbar angesehen [21] und daher im Schnitt ca. 5,8 Aufnahmen pro Patient angefertigt.

In der Literatur werden verschiedene Analysemethoden der Halswirbel aufgeführt, um das skelettale Alter zu bestimmen [2,4,21,23,25,37,40,56,57].

Als weitere Standardröntgenaufnahme werden Orthopantomogramme in der Kieferorthopädie eingesetzt und zählen zu den initialen und verlaufdiagnostischen Aufnahmen. In dem einbezogenen kieferorthopädischen Kollektiv wurden im Durchschnitt ca. 2,9 Aufnahmen pro Patient angefertigt. Diese ermöglichen es, nach Chertkow [15] einen zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Erscheinen der ersten Verknöcherungszeichen des ulnaren Sesamoids und eines bestimmten Entwicklungsgrades des unteren Eckzahnes zu ziehen. Beziehungen zwischen der Entwicklung der Zahnkeime und dem chronologischen Alter finden sich bei Demirjian [19], da die Korrelationen zwischen dem Entwicklungsstadium der Zahnkeime und anderen Reifeindikatoren wie der Stimmbruch oder Einsetzen der Menarche gering ist [9, 15, 20, 51].

7.2 Korrelation zwischen chronologischem und skelettalem Alter bei Fernröntgenseitenaufnahmen und Handröntgenaufnahmen

7.2.1 Fernröntgenseitenaufnahmen

Für den Vergleich und die Bewertung der eigenen und anderen Aufnahmen und der Korrelation zwischen chronologischem und skelettalem Alter wurde differenziert zwischen isoliert angefertigten Fernröntgenseitenaufnahmen oder Fernröntgenseitenaufnahmen, die in der Regel an einem Tag zusammen mit anderen Aufnahmen angefertigt wurden.

Bei letzteren hat der Vergleich beider Variablen des skelettalen Halswirbelalters mit dem chronologischen Alter einen Koeffizient von $r=0,575$ ($p<0,01$) ergeben. Dies bedeutet eine mittlere Korrelation.

Um dies noch deutlicher zu erklären: der Statistiker geht von einer Korrelation zwischen zwei Variablen aus und spricht die Stärke des Zusammenhangs mit einer Maßzahl aus, die als Korrelationskoeffizient bezeichnet wird. Dieser wird mit r symbolisiert und variiert zwischen -1 und $+1$, wobei ein Betrag nahe 1 einen starken und ein Betrag nahe 0 einen schwachen Zusammenhang entspricht. Bei Werten bis $0,5$ spricht man von einer geringen Korrelation und bei Werten bis $0,7$ von einer mittleren Korrelation.

Der Vergleich des skelettalen Halswirbelalters mit dem chronologischen Alter anhand von Fernröntgenseitenaufnahmen Aufnahmen bei Mädchen lieferte in dieser Studie eine hohe Korrelation mit $r= 0,747$ **. Vergleicht man diesen Wert mit Ergebnissen von Mito und Sato [53], finden sich hier ähnliche Werte ($r= 0,705$ **). Diese Übereinstimmung stützt die Aussage, dass eine hohe Korrelation zwischen den skelettalen Halswirbelalter und dem chronologischem Alter bei Mädchen besteht. Das Ergebnis bei allen untersuchten Fernröntgenseitenaufnahmen, die beim gesamten Patientengut angefertigt wurden, bestätigt diese Aussage, da eine hohe Korrelation besteht.

In dieser Studie ist das Ergebnis zwischen skelettalem Halswirbelalter und chronologischem Alter bei den Jungen hoch signifikant ($r=0,475$ ***) bei einer jedoch geringen Korrelation der Aufnahmen, die an einem Tag angefertigt wurden. Bewertet man das Ergebnis aller angefertigten Fernröntgenseitenaufnahmen der Jungen ergibt sich eine hohe Korrelation bei

einem Wert von $r=0,767^{**}$. Dies stimmt mit den Angaben von Baccetti und Franchi [2] und García-Fernandez [27] überein, die von einer hohen Reproduzierbarkeit der Daten sprechen. Diese hohe Reproduzierbarkeit sehen Baccetti und Franchi mit 98,6% [2]

und Pancherz und Szyska [57] sogar mit 91,2% an.

Für sie besteht kein Unterschied in der Bestimmung der Reife zwischen Handaufnahmen und der CVM Methode. Hiermit können kieferorthopädische Diagnosen und Klassifikation von Patienten anhand der skelettalen Reife gestellt werden.

Damit unterstützen die eigenen Ergebnisse an einem repräsentativen Material die Verlässlichkeit dieser Methode und eine klinische Anwendung kann entsprechend als indiziert angesehen werden.

Zu diskutieren sei noch die Stabilität der Ergebnisse im Hinblick auf beide Geschlechter. Baccetti und Franchi [3,4] machen in den Ergebnissen und Aussagen keinerlei Unterscheidung in den Geschlechtern. Die eigene Studie unterstützt die Aussage bei dem untersuchten Patientengut. Die Ergebnisse der Mädchen bezogen auf die Korrelation von chronologischem und skelettalem Alter bei Fernröntgenseitenaufnahmen sind stabil ($r=0,747^{**}$), wohingegen die Ergebnisse der Jungen erst bei steigender Anzahl $n=262$ der untersuchten Aufnahmen stabil werden ($r=0,767^{**}$).

Handröntgenaufnahmen

Diskutiert ist nun die Handaufnahme noch einmal genauer im Hinblick auf die Bestimmung des skelettalen Alters. Bei dem direkten Vergleich von skelettalem Alter und chronologischem Alter bei untersuchten Objekten ergaben sich übereinstimmend mit Grave und Brown [31] folgende Ergebnisse.

Sowohl bei den Jungen, als auch bei den Mädchen fanden sich für die Aufnahmen, die an einem Tag mit den anderen Aufnahmemethoden gemacht wurden hoch signifikante Ergebnisse mit hohen Korrelationen der beiden Variablen ($r=0,783^{**}$ und $r=0,849^{**}$). Auch

die Ergebnisse aller angefertigter Aufnahmen liefert ein zuverlässiges Ergebnis (Jungen $r=0,754^{**}$ und Mädchen $r=0,751^{**}$). Diese hohen Korrelationswerte verdeutlichen, dass die Handaufnahme eine sehr sichere zuverlässige Methode zur skelettalen Altersbestimmung darstellt und im Vergleich zur Halswirbelaufnahme immer noch als Goldstandard angesehen werden kann.

7.3 Korrelation zwischen dentalem und chronologischem Alter bei OPG Aufnahmen

Wie schon zuvor erläutert, werden Orthopantomogramme benutzt, um das dentale Alter zu bestimmen. Demirjian [19] war der erste Autor, welcher das dentale Alter mit dem chronologischen Alter in Zusammenhang brachte und dafür anhand umfangreicher Untersuchungen ein universal einzigartige Punkteskalierung für die Kalzifizierungsstadien der linken sieben Unterkieferzähne, vorlegte, um das chronologische mit dem dentalen Alter in Korrelation zu bringen. Zuvor [20] hatte er erkannt, dass das dentale Alter mit keinem der anderen Reifeindikatoren (sexuell, somatisch und skelettal) in Zusammenhang gebracht werden konnte.

Vergleicht man die Aussagen der Literatur mit den Ergebnissen der Studie zeigt sich eine mittlere Korrelation zwischen chronologischem und dentalen Alter bei Jungen mit $r=0,527^{**}$ ($p<0,01$) und bei Mädchen nur eine geringe Korrelation basierend auf einer Signifikanz mit $p<0,05$ ($r=0,310^*$). Die Ergebnisse aller ausgewerteten OPG Aufnahmen liefern für beide Geschlechter eine mittlere Korrelation mit Werten $r=0,661^{**}$ und $r=0,600^{**}$. Die r -Werte, welche die Korrelation der beiden Variablen chronologisches und dentales Alter widerspiegeln liegen dann jedoch niedriger als die Korrelation der anderen untersuchten Röntgenaufnahmetypen. Diese Ergebnisse der eigenen Studie verdeutlichen, dass die Analyse der Zahnentwicklung zur Bestimmung des skelettalen Alters im Vergleichsspektrum die am wenigsten zuverlässigste Methode ist und bei den errechneten Korrelationswerten ungenaue Angaben zu erwarten sind. Hierzu legt Lewis [51] eine Untersuchung des dentalen Alters nach den Bolton Standards of Dentofacial Developmental Growth vor, wobei der Richtwert das mittlere dentale Alter im Durchschnitt ca. 6 Monate höher eingestuft wird als das chronologische Alter.

7.4 Korrelation aller in dieser Studie einbezogenen Aufnahmemethoden zur Bestimmung des skelettalen Alters

Folgend werden noch einmal die einzelnen Aufnahmemethoden miteinander verglichen und deren Korrelation diskutiert. Die Korrelationsbestimmungen werden dahingehend bewertet, welche Aufnahmemethode am stärksten mit dem Goldstandard der Handaufnahme übereinstimmt, also am ehesten als klinisch geeignet eingeschätzt werden kann.

7.4.1 Korrelation zwischen OPG und Handröntgenaufnahmen

Im Vergleich des dentalen Alters, ermittelt durch die OPG Aufnahme, mit dem skelettalen Alter anhand der Handröntgenaufnahme ergab sich für Jungen eine nur geringe Korrelation mit $r=0,493$. Auch bei den Mädchen konnte nur eine geringe Korrelation mit $r=0,236$ errechnet werden. Die Tendenz geht zu einer geringen Korrelation (bis $r=0,2$). Damit wird die Aussage bestätigt, dass die OPG Aufnahmen eine geringe Korrelation zu den Handröntgenaufnahmen aufweisen und somit die dentale Altersbestimmung anhand der eigenen Ergebnisse nicht als verlässliche Methode zur Bestimmung des skelettalen Alters zu verwenden ist.

7.4.2 Korrelation zwischen OPG und Fernröntgenaufnahmen

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde auch die Korrelation zwischen dem dentalen und dem skelettalen Alter anhand von Fernröntgenaufnahmen untersucht. Bei den Jungen und Mädchen liegt in dieser Studie eine geringe Korrelation zwischen dentalem und skelettalem Alter ($r=0,019$ und $r=0,298^*$) bei der Analyse des skelettalen Alters mit Hilfe der CVMI Methode vor. Das dentale Alter korreliert damit nicht ausreichend mit der Reifung der Halswirbel und kann daher als Methode zur Bestimmung des Reifestadiums als nicht geeignet angesehen werden.

7.4.3 Korrelation zwischen Handröntgen- und Fernröntgenaufnahmen

Es konnte durchschnittlich eine mittlere ($r=0,635^{**}$) bis hohe Korrelation ($r=0,799^{**}$) festgestellt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die Korrelationskoeffizienten der eigenen Studie und aus der Literatur entsprechend gegenübergestellt.

Autor	Jungen r-Wert	Mädchen r-Wert
eigenes Kollektiv	0,635**	0,799**
Hassel&Farman	0,77**	0,84**
Lamparski	0,69**	0,79**

Tabelle 7-1: Korrelation Hand-FRS [73]

Der Korrelationskoeffizient r war in unserer Untersuchung bei Mädchen ($0,799^{**}$) höher als bei Jungen ($0,635^{**}$). Dies stimmt mit den Aussagen von Lamparski überein [50].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten wir ein statistisch hochsignifikantes Ergebnis ($P<0.01$) mit einer mittleren bis hohen Korrelation zwischen den Methoden zur skelettalen Altersbestimmung anhand der Handröntgenaufnahme und Fernröntgenseitenaufnahme.

Chapman [13], Grave&Brown [31] und Fishman [23] hielten die Handröntgenaufnahme für den besten Indikator zur Bestimmung der skelettalen Reife. Die Untersuchung der Handröntgenaufnahme wird immer noch als Goldstandard zur Bestimmung der skelettalen

Reife bezeichnet. Dies wird anhand der eigenen Ergebnisse uneingeschränkt bestätigt $r=0,754^{**}$ und $r=0,751^{**}$.

Die Fernröntgenseitenaufnahmen zur skelettalen Altersbestimmung sind mit einem Koeffizienten von $r=0,575$ in der Bewertung unmittelbar nach der Handröntgenaufnahme einzustufen.

Die Mineralisation der Zähne stellt sich als der am wenigsten zuverlässigste Parameter zur Bestimmung des skelettalen Alters dar, wie unsere Ergebnisse ausweisen.

Die geringste Korrelation zwischen OPG und Hand- bzw. Fernröntgenseitenaufnahmen besteht bei Mädchen ($r=0,236$).

Die höchste Korrelation zwischen chronologischem Alter und skelettalem Alter bietet die Handaufnahme und danach die Fernröntgenseitenaufnahmen bei den Mädchen. Die Korrelationswerte der männlichen Probanden bei den Fernröntgenseitenaufnahmen und den OPG Aufnahmen liegen ungefähr auf einem Niveau.

Die geringste Korrelation besteht zwischen dem chronologischen Alter und den OPG Aufnahmen bei den Mädchen. Jedoch liegen alle Ergebnisse in einem signifikanten Bereich. Es lässt sich feststellen, dass die Bestimmung des Knochenalters nicht durch die Beurteilung des Zahnalters ersetzt werden kann.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Zusammenhänge verschiedener Ossifizierungsarten und -stadien, sowie ihre Beziehung zum chronologischen Alter und Bedeutung für die Bestimmung des skelettalen Alters wurden von zahlreichen Autoren untersucht. Es fehlte jedoch eine Korrelationsbestimmung der drei möglichen Hauptunterlagen und deren Analysen (OPG, Hand und FRS) zueinander, was jedoch ein interessanter Ansatzpunkt ist, um im direkten Vergleich die Rolle der Handröntgenaufnahme als sogenannten Goldstandard zu analysieren und evaluieren zu können.

So bestand die Zielstellung dieser Studie mit den vorgenannten komplexen Vergleichen darin, ob möglicherweise andere routinemäßig angefertigte Röntgenaufnahmen den Goldstandard der Handröntgenaufnahme erfüllen könnten, so dass zur skelettalen Altersbestimmung auf eine Strahlenexposition durch indizierte zusätzliche Röntgenaufnahmen verzichtet werden könnte.

Im Schrifttum wurden hierfür die morphologischen Veränderungen der Halswirbel ausgewertet und in Beziehung zu Handröntgenaufnahmen gebracht, was regelmäßig im Ergebnis bei verschiedenen Autoren eine hohe Korrelation zwischen Handröntgenaufnahmen und der Halswirbelanalyse ergab [2, 23, 26, 27, 37, 50].

Auf Grundlage dieser Literaturangaben wurde die Auswertung der Halswirbel nach der CVMI Methode als zuverlässig reproduzierbar und leicht durchführbar angesehen. Dies gilt für beide Geschlechter.

Die Ergebnisse dieser Studie konnten eine mittlere bis hohe Korrelation bestätigen, was schlussfolgern lässt, dass die Fernröntgenseitenaufnahmen annähernd so zuverlässig wie die Handröntgenaufnahme zur Bestimmung des skelettalen Alters eingesetzt werden können.

Zum Vergleich der dentalen Entwicklung in Bezug auf andere Wachstumsindikatoren entwickelte Demirjian [20] ein Punktesystem in Anlehnung an Tanner und Whitehouse, da er die Zahnentwicklung für den besten Indikator hielt, wenn das chronologische Alter noch nicht bekannt sei. Chertkow [15] hingegen stellte fest, dass eine hohe Korrelation zwischen dem Stadium G der Zahnentwicklung und der Verknöcherung des ulnaren Sesamoids besteht. In dieser Studie ergibt sich im Vergleich mit den anderen Reifeindikatoren für das

dentale Alter eine geringe Korrelation und somit eine nicht geeignete Methode. Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass das dentale Alter keine zuverlässige Variable im Hinblick zur Bestimmung des skelettalen Alters und nicht im Zusammenhang mit anderen skelettalen Entwicklungen zu sehen ist.

Im Vergleich der einzelnen Aufnahmearten untereinander ist der Handröntgenaufnahme uneingeschränkt die Position des Goldstandards zuzumessen. Bei der engen Indikation kann jedoch aufgrund der eigenen Ergebnisse geschlussfolgert werden, dass durchaus die Fernröntgenseitenaufnahme mit der speziellen Analysemöglichkeit ausreichend verlässliche Ergebnisse liefern kann. Diese Schlussfolgerungen aus dem Orthopantomogramm zu entwickeln, ist aufgrund der eigenen Ergebnisse mit einer hohen Fehlerquelle belastet und daher nicht zu empfehlen.

Bei der Korrelationsbestimmung von chronologischem Alter im Vergleich zum skelettalen und dentalen Alter, ergaben sich ähnliche Zusammenhänge.

Die OPG Aufnahmen mit dem dentalen Alter ergaben nur mittlere und geringe Korrelationen im Hinblick auf das chronologische Alter. Die Ergebnisse sind zwar hoch signifikant und auch reproduzierbar, doch auch zu instabil und geschlechterspezifisch, um ausreichende Sicherheit in der klinischen Anwendung zu gewährleisten.

Auch kann man bei den FRS Aufnahmen hohe Korrelationen und mittlere Korrelationen zwischen chronologischem und skelettalen Alter finden, aber auch hier muss man zwischen Mädchen und Jungen differenzieren, da diese unterschiedliche Ergebnisse liefern.

Die Handaufnahmen liefern durchweg konstante Ergebnisse bezogen auf die Korrelation zwischen skelettalem und chronologischem Alter.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der Analyse der Handaufnahmen, die von 1988-2001 (N=279) bei einem Durchschnittsalter von 13,2 Jahren angefertigt wurden stets hoch signifikante und korrelierende Ergebnisse ($r=0,754^{**}$ Jungen, N=142; $r=0,751^{**}$ Mädchen, N=137) zwischen skelettalem und chronologischem Alter erzielt wurden. Obwohl 1,9-fach so viele Fernröntgenseitenaufnahmen und 2,3-fach mehr Orthopantomogramme als Handröntgenaufnahmen angefertigt wurden (FRS=531, OPG=646,

Hand=279), zeigt ihre retrospektive Analyse eine höhere Signifikanz und Korrelation zum chronologischen Alter (FRS J: $r=0,767^{**}$ M: $r=0,696^{*}$; OPG: J: $r=0,661^{**}$ M: $r=0,600^{**}$; HAND: J: $r=0,754^{**}$ M: $r=0,751^{**}$).

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung wird der Goldstandard der Handröntgenaufnahme bestätigt. Dennoch gelten eingeschränkte Indikationen und Empfehlungen für die Anfertigung einer Handröntgenaufnahme. Aufgrund der häufiger mit allerdings anderen Indikationen durchgeführten Fernröntgenaufnahmen (1,9-fach soviel) sind die Analysen der ohne weitere Strahlenbelastung vorliegenden Halswirbel im Ergebnis dieser Studie durchaus geeignet eine Aussage zum skelettalen Alter zu treffen.

Während die am häufigsten durchgeführte entsprechend indizierte Übersichtsaufnahme (OPG) (N=646) in der Literatur eine strukturierte Analyse zur Bestimmung des skelettalen Alters bietet, kann die Evaluierung der eigenen Untersuchungen diese Methode als wenig zuverlässig einstufen.

9 Literaturverzeichnis

1. Anderson D (1975) Interrelationships of dental maturity, skeletal maturity, height and weight from age 4 to 14 years *Growth* 39: 453-462,
2. Baccetti T, Franchi L (2000) Treatment timing for Twin block therapy, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 118: 159-170
3. Baccetti T, Franchi L, McNamara J (2002) An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth, *Angle Orthod* 72: 316-323
4. Baccetti T, Franchi L, McNamara J (2003) The cervical vertebral maturation method: some need for clarification, *Reader's forum: Letters to the editor; Am J Orthod Dentofac Orthop* 123: 19-20
5. Berst M, Dolan L (2001) Effect of knowledge of chronologic age on the variability of pediatric bone age determined using the Greulich and Pyle standards, *AJR Am J Roentgenol* 176: 507-510
6. Bishara SE, Peterson LC, Bishara EC (1984) Changes in facial dimensions and relationships between the ages of 5 and 25 years. *Am J Orthod* 85: 238-252.
7. Björk A, Helm S (1967) Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *Angle Orthod* 37: 134-143
8. Björk A (1972) Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. *Trans Eur Orthod Soc* 48: 61-73
9. Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 8: 307-310
10. Bowden B (1971) Sesamoid bone appearance as an indicator of adolescence. *Aus Orthod J* 2: 242-248

11. Bull R, Edwards P (1999) Bone age assessment: a large scale comparison of the Greulich and Pyle, and Tanner and Whitehouse (TW 2) methods. *Arch Dis Child* 81: 172-173
12. Castriota-Scanderberg A (1998) Skeletal age assessment in children and young adults: comparison between a newly developed sonographic method and conventional methods. *Skeletal Radiol* 27: 271-277
13. Chapman S (1972) Ossification of the adductor sesamoid and the adolescent growth spurt. *Angle Orthod* 42: 236-244
14. Chen F, Terada K (2004) A new method of predicting mandibular length increment on the basis of cervical vertebrae. *Angle Orthod* 74: 630-634
15. Chertkow S (1980) Tooth mineralization as an indicator of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod* 77: 79-91.
16. Chertkow S (1979) The relationship between tooth mineralization and early radiographic evidence of the ulnar sesamoid. 49: 282-288.
17. Coutinho S, Buschang P (1993) Relationships between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 104: 262-268.
18. Crampton CW (1908) Anatomic or physical age versus chronological age. *Paediatric Sem* 15: 230-237
19. Demirjian A (1973) A new system of dental age assessment. *Human Biology* 45: 211-227
20. Demirjian A (1985) Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental and sexual maturity. *Am J Orthod* 88:433-488
21. DGKFO (Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie) (1997) Indikation und Häufigkeit von Röntgenaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie. *J Orofac Orthop / Fortschritte der Kieferorthopädie* 58: 286-287.
22. Fishman LS (1982) Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on handwrist films. *Angle Orthod* 52: 88-112.

23. Fishman LS (1979) Chronological versus skeletal age. an evaluation of craniofacial growth, *Angle Orthod* 49: 181-189
24. Flory C (1936) Osseus development in the hand as an index of skeletal development, Committee on child development. Chicago: University of Chicago press
25. Franchi L, Baccetti T (2000) Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height, *Am J Orthod Dentofac Orthop* 118: 335-40
26. Franchi L, Baccetti, T (2001) The use of maturational indices for the identification of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics, in: Mc Namara JA Jr, Kelly K, editors. Treatment timing: orthodontics in four dimensions. Craniofacial growth series, Vol 39. Ann Arbor: Center for Human Growth and Development; University of Michigan. p.151-70
27. Garcia-Fernandez P, Torre H, Flores L, Rea J (1998) The cervical vertebrae as maturational indicators. *J Clin Orthod* 32: 221-225
28. Garn SM (1967) Radiographic standards of the postnatal ossification and tooth calcification. *Med Radiogr Photogr* 43: 45-66
29. Garn SM (1962) The adductor sesamoid of the thumb. *Am J Phys Anthropol* 20:297-302
30. Garn SM (1960) Variability in the order of ossification of the bony centers of the hand and wrist. *Am J Phys Anthropol* 18: 219-230
31. Grave K, Brown T (1976) Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *Am J Orthod.* 69: 611-619
32. Grave KC (1973) Timing of facial growth: a study of relations with stature and ossification in the hand around puberty. *Aus Orthod J ;* 3: 117-122
33. Greulich WW , Pyle SL (1959) Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist, 2nd ed. Stanford, California, Stanford University Press
34. Groell R, Lindbichler F (1999) The reliability of bone age determination in central European children using the Greulich and Pyle method. *Br J Radiol.* 72: 461-464

35. Hägg U, Taranger J (1980) Menarche and voice change as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand* 38: 179-186
36. Hägg U, Taranger J (1980) Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand* 38:187-200
37. Hägg U, Taranger J (1982) Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod* 82: 299-309
38. Hassel B, Farman A (1995) Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107: 58-66
39. Hellman M (1928) Ossification of epiphysical cartilages in the hand. *Am J Phys Anthropol* 11: 221-243
40. Helsing E (1991) Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15-year old children. *Acta odontol. Scand.* 49: 207-213
41. Hunter S. Skeletal age and peak mandibular growth velocity at puberty. "o.J."
42. Kahl-Niecke B (2001) Handröntgenaufnahme und Bestimmung des Knochenalters. In.: Einführung in die Kieferorthopädie, Urban und Fisher, München Jena
43. Kalmeyer C Das Wachstum liegt auf der Hand, *Zahnärztliche Mitt online* 15/ 01
44. King DG, Steventon DM (1994) Reproducibility of bone ages when performed by radiology registrars: an audit of Tanner and Whitehouse II versus Greulich and Pyle methods. *Br J Radiol* 67: 848-845
45. Koc A (2001) Assessment of bone ages: Is the Greulich and Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatr Int.* 43: 662-665
46. Kopecky G, Fishman L (1993) Timing of cervical headgear treatment based on skeletal maturation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 104: 162-170
47. Krieg WL (1987) Early facial growth accelerations. *The Angle Orthod* 57: 50-62
48. Kuccukeles N (1999) Comparisons between cervical vertebrae and hand wrist maturation for the assessment of skeletal maturity. *J Clin Pediatr Dent* 24: 47-52

49. Kullmann L (1995) Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swedish adolescents. *Forensic Sci Int* 75: 225-236
50. Lamparski D, Nanda S (1972) Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. Pittsburgh, Penn: Department of Orthod, The University of Pittsburgh
51. Lewis A (1991) Comparisons between dental and skeletal ages. *Angle Orthod.* 61: 87-92
52. Medicus H (1971) Reproducibility of rating stages of osseous development (Tanner Whitehouse System). *Am J Phys Anthropol.* 35: 359-372
53. Millner GR, Levick RK (1986) Assessment of bone age: a comparison of the Greulich and Pyle and the Tanner and Whitehouse methods. *Clin Radiol* 37: 119-21
54. Mito T, Sato K (2002) Cervical vertebral bone age in girls, Cervical vertebral bone age in girls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 122: 380-385
55. Mora S, Boechat I (2001) Skeletal age determinations in children of European and African descent: Applicability of the Greulich and Pyle standards. *Pediatr Res* 50: 624-628
56. O'Reilly M, Yaniello G (1988) Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae: a longitudinal cephalometric study. *Angle Orthod* 58: 179-184
57. Ontell F (1996) Bone Age in children of diverse ethnicity. *AJR Am J Roentgenol* 6: 1395-1398
58. Pancherz H, Szyska M (2000) Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife. *Inf Orthod Kieferorthop* 32: 51-61
59. Pasler FA (1991) *Radiologie, Farbatlant der Zahnmedizin*, Thieme, Stuttgart
60. Pasler FA (2003) *Zahnärztliche Radiologie*, 4. unveränderte Auflage, Thieme Stuttgart

61. Poznanski AK, Kuhns LR, Garn SM (1976) Radiologic evaluation of maturation. In Poznanski AK: Practical Approaches to Pediatric Radiology. Chicago, Illinois, Year Book Medical Publishers 291
62. Pryor JW 1907 The hereditary nature of variation in the ossification of bones, Anat Rec 1: 84-8
63. Pyle SI (1975) Skeletal maturation: hand -wrist radiographic assessment. In: Broadbent BH Sr, Broadbent BH Jr, Eds Bolton standards of dentofacial developmental growth, St. Louis: CV Mosby
64. Roche AF, Rohmann CG, French NY (1970) Effect of training on replicability of assessments of skeletal maturity (Greulich-Pyle). Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med 108: 511-515.
65. Roche AF, Davila GH, Eyman SL (1971) A comparison between the Greulich-Pyle and Tanner Whitehouse assessments of skeletal maturity. Radiology 98: 273-280
66. Roche AF, Davila GH, Pasternack BA (1970) Some factors influencing the replicability of assessments of skeletal maturity (Greulich-Pyle). Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med 109: 299-306.
67. Roche AF, Roberts J (1976) Skeletal maturity of youths 12-17 years: Vital and health statistics, National Health Survey 11, No. 160
68. Rossouw PE, Lombard CJ, Harris AM. (1991) The frontal sinus and mandibular growth prediction. Am J Orthod Dentofac Orthop 100: 542-546.
69. Rotch TM (1908) Chronologic and anatomic age in early life, J Am Med Assoc 51: 197-203
70. Ruf S, Pancherz H (1996) Can frontal sinus development be used for the prediction of skeletal maturity at puberty? Acta Odontol Scand 54: 229-234
71. Ruf S, Pancherz H (1996) Frontal sinus development as an indicator for somatic maturity at puberty? Am J Orthod Dentofac Orthop 110: 476-482

72. Saglam G (2002) The relationship between dental and skeletal maturity. *J Orofac Orthop* 63: 454 - 462
73. San Román P (2002) Skelettal maturation determined by cervical vertebrae development. *European Journal of Orthodontics* 24: 303-311
74. Spitzer W, Rücker M (2000) *Zahnärztliche Röntgenologie*, Schwenger-Ehrenfeld, 3.Aufl. Band 1 Allgemeine Chirurgie
75. Suda N (2000) Effective treatment plan for maxillary protraction: is the bone age useful to determine the treatment plan? *Am J Orthod Dentofac Orthop* 118: 55-62
76. Tobias, P.V. (1958) Some aspects of the biology of the Bantu-speaking African. *The Leech* 28: 3-12
77. Todd TW (1937) *Atlas of skeletal maturation, part 1, hand*, London Kimpton
78. Zachmann M (1982) Differenzierte Beurteilung von Wachstumsstörungen durch Bestimmung der Knochenreife und Berechnungen der prospektiven Endgröße *Röntgen-Bl.* 35: 116-20
79. Zerlin J (1991) Approach to skeletal maturation. *Hand Clinics* 7: 53-62.

10 Anhang

10.1 Lebenslauf

Persönliche Daten:	Name:	Erdmann
	Vorname:	Julika Kristin
	Wohnort:	Köln
	Geburtsort:	Münster
	Geburtsdatum:	20.06.1979
	Staatsangehörigkeit:	deutsch
	Familienstand:	ledig
	Eltern:	Dr. med. Elmar Erdmann Facharzt für Orthopädie Monika Erdmann, Lehrerin
Schulausbildung:	08/1985-07/1988	Martin-Luther-Grundschule, Münster
	08/1988-07/1989	Friedrich-Adolf-Krummacher-Grundschule, Tecklenburg
	08/1989-04/1998	Graf-Adolf-Gymnasium, Tecklenburg, Abschluss: Abitur
Studium:	WS 98 - SS 04	Studium der Zahnmedizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
	12/2004	Approbation als Zahnärztin
Assistenzzeit:	seit 04/2007	Zahnarztpraxis M. Bauer und Kollegen, Köln

Danksagung

Besonderer Dank gebührt Herrn OA Priv.-Doz. Dr. med. dent. Carsten Lippold für die Überlassung des Themas. Während der Auswertungen der Studienunterlagen und beim Erstellen meiner Dissertation stand er mir jederzeit kompetent zur Seite.

Frau Univ.-Prof. Dr. med. dent. Ulrike Ehmer danke ich für die Möglichkeit der Promotion an der Poliklinik für Kieferorthopädie der Westfälischen-Wilhelms Universität Münster.

Weiterhin großer Dank gebührt Herrn OA Priv.-Doz. Dr. med. dent. Gholamreza Danesh für die freundliche Unterstützung in statistischen Fragen.

Ausserdem danken möchte ich allen Mitarbeitern der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Münster, sowie den Medizinisch-Technischen Angestellten der Röntgenologischen Abteilung für Ihre Unterstützung bei der Datenrecherche.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, denen ich diese Arbeit widmen möchte. Sie standen mir immer motivierend zur Seite.