

The Relationship Between Dental and Skeletal Maturity

Die Beziehung zwischen dentaler und skelettaler Reife

Aynur Medine Şahin Sağlam¹, Ümit Gazilerli²

Abstract

Object: The purpose of this investigation was to evaluate the relationships between dental and skeletal maturity, primarily whether it is possible to assess skeletal maturity by dental maturity without reference to hand-wrist radiographs.

Patients and Methods: Research was carried out with a representative sample of 422 children (276 girls, 146 boys) aged 91–168 months. The investigated materials included a pre-treatment left hand-wrist radiograph plus dental panoramic and periapical radiographs.

Results: Spearman rank-order correlation analysis showed that a rho value of 0.588 between skeletal maturity level and lower first premolars was the lowest, and a rho value of 0.800 between skeletal maturity level and body height the highest in girls. In boys, a rho value of 0.474 between skeletal maturity level and upper canine was the lowest, and a rho value of 0.761 between skeletal maturity level and body height the highest.

Conclusion: The relationship between dental maturity and skeletal maturity is not sufficient for dental maturity to be used as a substitute for skeletal maturity.

Key Words: Dental age · Skeletal age · Tooth mineralization · Dental maturity · Skeletal maturity · Hand-wrist radiograph

Zusammenfassung

Gegenstand: Durch Beurteilung der Relationen zwischen dentalem und skelettalem Reifungsprozess wurde der Frage nachgegangen, ob die skelettale Reife ohne Anfertigung von Handröntgenaufnahmen anhand des dentalen Entwicklungsstandes beurteilt werden kann.

Patienten und Methoden: Die Studie wurde an einem repräsentativen Kollektiv von insgesamt 422 Kindern (276 Mädchen, 146 Jungen) im Alter von 91 bis 168 Monaten durchgeführt. Von jedem Probanden standen für die Auswertung eine vor Behandlungsbeginn angefertigte Röntgenaufnahme der linken Hand sowie eine Panoramaschichtaufnahme und dentale Kleinröntgenbilder zur Verfügung.

Ergebnisse: Nach Bestimmung des Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten war bei Mädchen die Beziehung zwischen skelettaler Reife und Entwicklungsstand der unteren ersten Prämolaren am niedrigsten ($\rho = 0,588$), die zwischen Knochenreife und Körpergröße am höchsten ($\rho = 0,800$). Bei Jungen bestand der geringste Zusammenhang zwischen skelettaler Reife und Entwicklung der oberen Eckzähne ($\rho = 0,474$), während die Relation zwischen Körperlängen- und skelettaler Entwicklung am engsten war ($\rho = 0,761$).

Schlussfolgerung: Der Zusammenhang zwischen dentalem und skelettalem Reifungsprozess ist nicht eng genug, um die skelettale durch die dentale Altersbestimmung ersetzen zu können.

Schlüsselwörter: Dentales Alter · Skelettales Alter · Zahnmineralisation · Dentaler Reifungsprozess · Skelettaler Reifungsprozess · Handröntgenaufnahme

¹ Department of Orthodontics, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey,

² Department of Orthodontics, Atatürk University, Erzurum, Turkey.

Received: May 16, 2000; accepted: March 19, 2002

J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop 2002;63:454–62

DOI 10.1007/s00056-002-0029-1

Introduction

Orthodontics includes the study of the growth and development of the body and of the dentofacial complex. Overall growth and development should be recognized as one of the most important factors in orthodontics. For the orthodontist, it is of great significance to know a child's growth and developmental status, timing being especially important in orthodontic diagnosis and treatment planning [1, 2, 8, 9, 16–18, 39, 42].

The concept of physiological age is based upon the degree of maturation of different tissue systems. Various biological ages such as skeletal age, morphological age, secondary sex character age, menarche age, and dental age have been proposed for this purpose [17, 18, 30–32, 36]. These criteria can be applied separately or together to assess the degree of physiological maturity of a growing child. The technique for assessing skeletal age consists of visual inspection of bone. Various areas of the skeleton such as the hand and wrist, the foot, the ankle, the hip, the elbow and cervical vertebrae have been used.

Many researchers have attempted to determine whether there is a relationship between the level of skeletal maturity and the maturation of the permanent dentition [1, 3–5, 8, 9, 14, 19, 25, 26, 29, 35, 38, 40, 41]. Lilliequist & Lundberg [28] reported a high correlation between dental and skeletal ages, and similar correlations were reported by Lauterstein [24], Engström et al [11] and Sierra [35]. Lewis & Garn [27], Green [18], Steel [38], and Demirjian et al [9] on the other hand reported low or insignificant correlations between the level of skeletal maturation and dental eruption.

Table 1. Distribution of children by age and sex.

Tabelle 1. Anzahl der Kinder in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht.

Age groups (months)	Number of subjects		Total
	Girls	Boys	
91–96	4	2	6
97–102	4	5	9
103–108	7	4	11
109–114	11	2	13
115–120	12	3	15
121–126	20	7	27
127–132	16	12	28
133–138	30	10	40
139–144	37	15	52
145–150	39	24	63
151–156	25	22	47
157–162	43	23	66
163–168	28	17	45
Total	276	146	422

Einleitung

Das Fach Kieferorthopädie schließt Kenntnisse über die allgemeinen somatischen Reifevorgänge wie speziell auch über Entwicklung und Wachstum des dentofazialen Komplexes ein. Diese Vorgänge zählen mit zu den wichtigsten zu berücksichtigenden Faktoren in unserem Fachgebiet. Die Bestimmung des individuellen Wachstums- und Entwicklungsstandes eines Kindes ist für den Kieferorthopäden von signifikanter Bedeutung, da die Zeitplanung innerhalb der kieferorthopädischen Diagnostik und Behandlungsplanung eine herausragende Rolle spielt [1, 2, 8, 9, 16–18, 39, 42].

Der Begriff „physiologisches Alter“ basiert auf der Beurteilung des Reifegrades unterschiedlicher Gewebestrukturen. Daher sind verschiedene Verfahren zur biologischen Altersbestimmung entwickelt worden (skelettales Alter, morphologisches Alter, Alter bei Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale, Alter zum Zeitpunkt der Menarche und dentales Alter) [17, 18, 30–32, 36]. Diese Kriterien können einzeln oder gemeinsam eingesetzt werden, um bei einem heranwachsenden Kind den Grad der physiologischen Reife zu bestimmen. Die skelettale Altersbestimmung beruht auf einer röntgenologischen Beurteilung der Knochenreife. Dabei werden verschiedene Areale des Skeletts zur Auswertung in Betracht gezogen: die Hand, das Handgelenk, der Fuß, der Knöchel, die Hüfte, der Ellenbogen und die Halswirbelsäule.

Viele Untersuchungen haben bis heute versucht, eine Beziehung zwischen skelettaler Reife und Entwicklung des bleibenden Gebisses nachzuweisen [1, 3–5, 8, 9, 14, 19, 25, 26, 29, 35, 38, 40, 41]. Lilliequist & Lundberg [28] beschreiben eine enge Korrelation zwischen dentalem und skelettalem Alter. Ähnliche Zusammenhänge finden sich auch bei Lauterstein [24], Engström et al. [11] und Sierra [35]. Lewis & Garn [27], Green [18], Steel [38] und Demirjian et al. [9] konnten dagegen nur eine geringe bzw. eine nicht signifikante Beziehung zwischen skelettaler Reife und Zahndurchbruch nachweisen.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Beurteilung der Relation zwischen skelettaler und dentaler Reife. Insbesondere wurde der Frage nachgegangen, ob aufgrund der Bestimmung des dentalen Alters unter Verzicht auf Handröntgenaufnahmen eine Beurteilung der skelettalen Reife möglich ist.

Patienten und Methoden

Die Probanden dieser Untersuchung wurden aus der Patientenkartei der Poliklinik für Kieferorthopädie, Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Atatürk-Universität, Erzurum, Türkei, ausgewählt. Bei insgesamt 422 Patienten (276 Mädchen, 146 Jungen) im Alter von 91 bis 168 Monaten lagen eine Röntgenaufnahme der linken Hand, eine Panoramaschichtaufnahme und dentale Kleinröntgenbilder vor, die alle am selben Tag angefertigt worden waren. Die Geschlechts- und Altersverteilung des Kollektivs ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Kinder mit akuten oder vorausgegangenen systemischen endokrinen Erkrankungen, Ernährungs-

The purpose of this investigation was to evaluate the relationships between dental and skeletal maturity, primarily whether it is possible to assess skeletal maturity by dental maturity without reference to hand-wrist radiographs.

Patients and Methods

The subjects of this investigation were selected from patient files of the Department of Orthodontics, School of Dentistry, Atatürk University, Erzurum, Turkey. A total of 422 patients (276 girls, 146 boys) aged 91–168 months had a left hand-wrist radiograph, a panoramic radiograph and periapical radiographs taken on the same day. Distribution by sex and age is shown in Table 1.

Children suffering from or with a history of systemic endocrine disorders, nutritional disturbances, chronic infectious diseases or widespread dental deficiency were excluded. All radiographs were taken with the same X-ray equipment at the same distance and intensity, and were evaluated by the same specialist (Dr. Şahin Sağlam).

Skeletal maturity was determined by hand-wrist radiographs according to methods described by Fishman [13] (Figures 1a to 1c). The panoramic and periapical radiographs were examined, and dental maturation on the left side was evaluated according to the method described by Demirjian et al [10], in which eight stages of calcification from A to H are described for each tooth. The range of the stages ascribed to the state of development of the teeth used in the present study was between C and H. Each of these stages may be recognized by the following criteria (Figure 2). If the development of a tooth was found to be between two stages, a half-value was assigned.

Stage C: Enamel formation has been completed at the occlusal surface, and dentine formation has commenced. The pulp chamber is curved, and no pulp horns are visible.

Stage D: Crown formation has been completed to the level of the cemento-enamel junction. Root formation has commenced. The pulp horns are beginning to differentiate, but the walls of the pulp chamber remain curved.

Stage E: The root length remains shorter than the crown height. The walls of the pulp chamber are straight, and the pulp horns have become more differentiated than in the previous stage. In molars, the radicular bifurcation has started to calcify.

Stage F: The walls of the pulp chamber now form an isosceles triangle, and the root length is equal to or greater than the crown height. In molars, the bifurcation has developed sufficiently to give roots a distinct form.

Stage G: The walls of the root canal are now parallel, but the apical end is partially open. The distal root is rated only in the molars.

Incisors and first molar teeth were not rated because apical closure had already taken place in all the subjects selected. Third molars were also excluded from the study.

Störungen, chronischen Infektionen und ausgeprägter Zahnunterzahl wurden von der Studie ausgeschlossen. Alle Röntgenaufnahmen wurden unter standardisierten Bedingungen mit dem gleichen Röntgengerät angefertigt und von nur einem Untersucher (Dr. Şahin Sağlam) ausgewertet.

Die skeletale Reife wurde anhand der Handröntgenaufnahme nach der Methode von Fishman [13] bestimmt (Abbildungen 1a bis 1c). Die dentale Reifebestimmung erfolgte anhand der Panoramaschichtaufnahme und der Kleinröntgenbilder nach dem von Demirjian et al. [10] beschriebenen Verfahren, bei dem für jeden Zahn acht Mineralisationsstadien von A bis H angegeben werden. Die Auswertung beschränkte sich auf die linke Kieferhälfte. In der vorliegenden Studie schwankte die Streubreite der Zahnentwicklung nach dem o.g. Auswertungsverfahren zwischen den Stadien C bis H. Jedes Stadium ist durch charakteristische Kriterien definiert (Abbildung 2):

Stadium C: Die okklusale Schmelzbildung der Zahnkrone ist abgeschlossen und die Dentinablagerung hat eingesetzt; die Pulpahöhle hat einen bogenförmigen Verlauf, die Ausbildung von Pulpahörnern ist noch nicht sichtbar.

Stadium D: Die Kronenbildung ist bis zur Schmelz-Zement-Grenze abgeschlossen und die Wurzelbildung hat eingesetzt. Die Differenzierung der Pulpahörner beginnt unter Erhalt des bogenförmigen Verlaufs der Pulpahöhle.

Stadium E: Die Wurzellänge ist kürzer als die Kronenhöhe. Die Wände der Pulpahöhle haben sich begradigt und die Pulpahörner sind differenzierter als im vorangegangenen Stadium. Bei Molaren beginnt die Kalzifizierung der Bifurcation radialis.

Stadium F: Die Wände der Pulpahöhle bilden ein gleichschenkeliges Dreieck. Die Wurzellänge ist gleich groß oder größer als die Kronenhöhe. Bei Molaren ist die Bifurcation so weit ausgebildet, dass die weitere Wurzelbildung sichtbar wird.

Stadium G: Die Wände des Wurzelkanals verlaufen jetzt parallel. Das Foramen apicale ist teilweise noch offen, dabei wird bei Molaren nur die distale Wurzel beurteilt.

Auf eine Beurteilung der Inzisivi und ersten Molaren wurde verzichtet, da an diesen Zähnen bei allen Probanden das Foramen apicale bereits geschlossen war. Ebenso wurden die dritten Molaren nicht in die Bewertung einbezogen. Die Beurteilung beschränkte sich somit auf die Analyse der oberen und unteren Eckzähne, der oberen und unteren ersten und zweiten Prämolaren sowie der unteren zweiten Molaren.

Zur Bestimmung des methodischen Fehlers wurden die Röntgenbilder von 40 Probanden, 20 Mädchen und 20 Jungen, nach einem Zeitintervall von mehreren Wochen von demselben Untersucher ein zweites Mal ausgewertet. Die Differenzen zwischen der ersten und zweiten Analyse wurden mit dem t-Test für verbundene Stichproben überprüft und waren nicht signifikant. Die Zusammenhänge zwischen den elf Mineralisationsstadien des Handskeletts und den jeweils vergleichbaren Entwicklungsstadien der acht Einzelzähne wurden mit dem

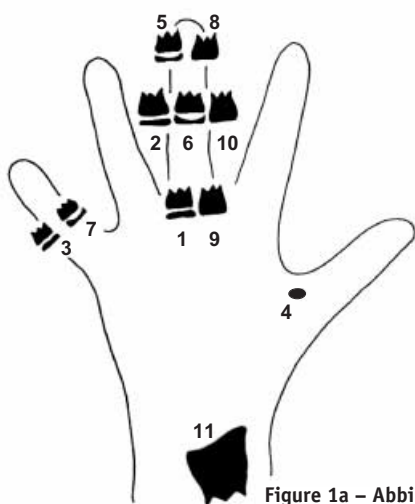


Figure 1a – Abbildung 1a

Figures 1a to 1c. Radiographic evaluation of skeletal maturation according to Fishman [13]. a) Sites of bone maturation. b) Skeletal maturation indicators. c) Hand-wrist observation scheme.

Abbildungen 1a bis 1c. Radiologische Beurteilung des skelettalen Reifungsprozesses nach Fishman [13]. a) Lokalisation der charakteristischen Knochenreifungsprozesse im Handskelett. b) Reifeindikatoren zur Beurteilung des skelettalen Alters. c) Auswertungsschema zur Beurteilung der Handröntgenaufnahme.

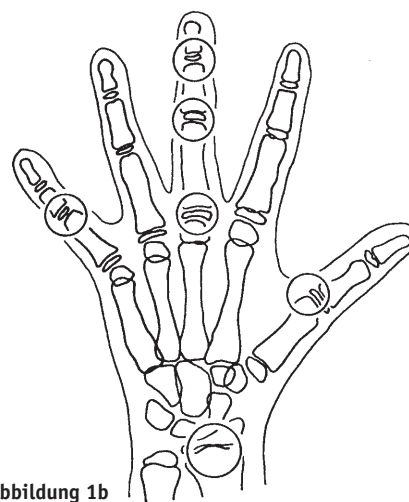


Figure 1b – Abbildung 1b

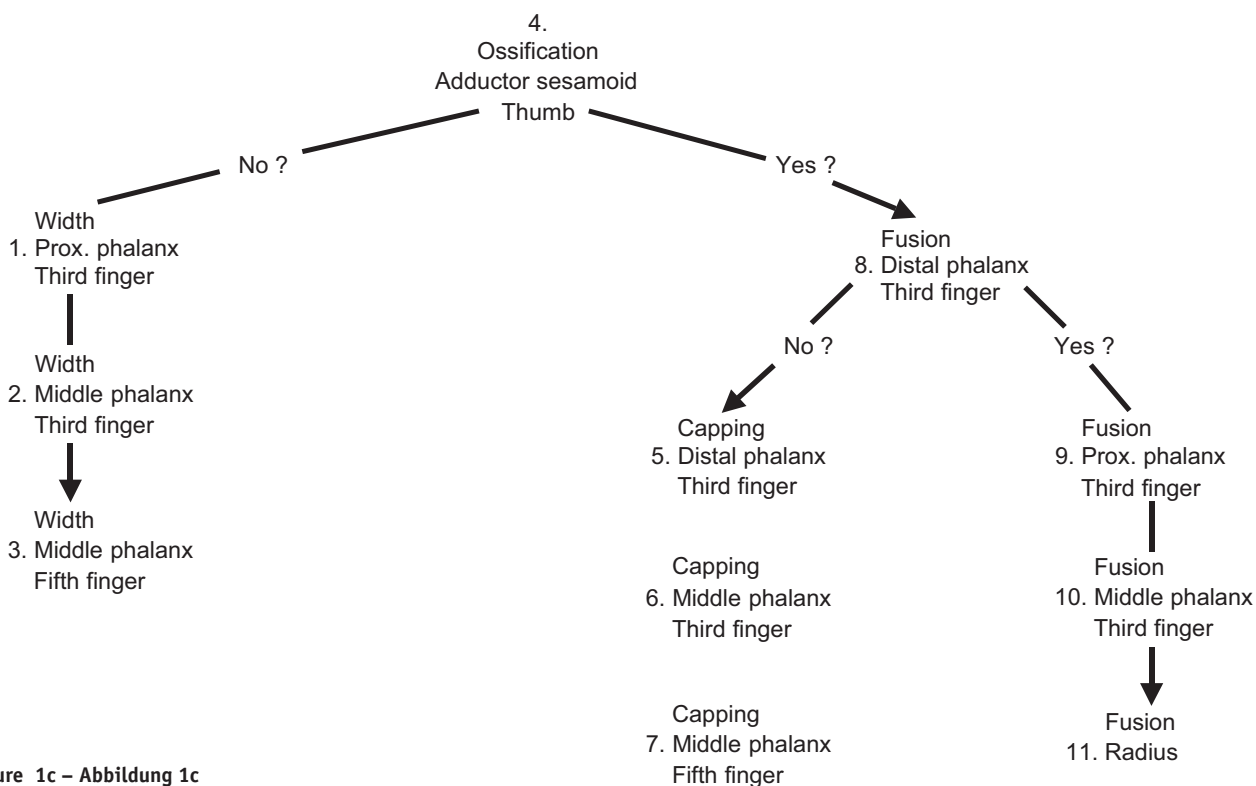


Figure 1c – Abbildung 1c

The teeth examined were thus the maxillary and mandibular canines, maxillary and mandibular first and second premolars, and mandibular second molars.

In order to determine observer replicability, 40 subjects, 20 boys and 20 girls, were evaluated a second time after a lapse of several weeks. A paired t-test was applied to the first and second measurements. The difference between the first and second measurements of the 40 subjects was found to be insignificant. The Spearman rank-order correlation coefficient of the developmental stages was

Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten beurteilt. Anschließend wurde mit einer multiplen Regressionsanalyse die Abhängigkeit der skelettalen Reife von den Einflussgrößen Körperlänge und Entwicklungsstadien der Zahnwurzeln geprüft.

Ergebnisse

Nach der Spearman'schen Rangkorrelationsanalyse bestand bei Mädchen mit einem Rho-Wert von 0,588 der geringste Zusammenhang zwischen skelettaler Reife und Entwick-

compared for each of the eleven maturation centers, with comparative stages of development of the eight individual teeth. The relationship was then investigated by means of multiple regression analysis, with the height measurements being added to the maturation stages of the root.

Results

Spearman rank-order correlation analysis showed that a rho value of 0.588 between skeletal maturity level and lower first premolars was the lowest, and a rho value of 0.648 between skeletal maturity level and upper first premolars was the highest in girls (Table 2).

In boys, a rho value of 0.474 between skeletal maturity level and upper canines was the lowest, and a rho value of 0.550 between skeletal maturity level and lower second molars the highest (Table 2).

Spearman rank-order correlation analyses between height measurements and skeletal maturity level yielded rho values of 0.800 for girls and 0.761 for boys (Table 2).

Multiple regression analyses performed according to importance degrees yielded R² values of 0.420 for upper first premolars, 0.482 for lower second molars, 0.509 for upper canines, and 0.529 for lower second premolars in girls (Table 3).

Table 2. Spearman rank-order correlation between dental and skeletal maturity.

Tabelle 2. Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizienten zwischen den Parametern dentale und skelettale Reife.

Characteristics	Girls (rho)	Boys (rho)
Upper 3 and skeletal maturation	0.644	0.474
Upper 4 and skeletal maturation	0.648	0.527
Upper 5 and skeletal maturation	0.639	0.491
Lower 3 and skeletal maturation	0.621	0.522
Lower 4 and skeletal maturation	0.588	0.488
Lower 5 and skeletal maturation	0.640	0.529
Lower 7 and skeletal maturation	0.647	0.550
Body height and skeletal maturation	0.800	0.761

Table 3. Skeletal maturity developmental analysis in girls. Y = skeletal maturity.

Tabelle 3. Analyse des skelettalen Reifungsprozesses bei Mädchen. Y = skelettale Reife.

	SSR	R ²	R ² difference	F	P
Upper 4, girls	1183.999	0.420	0.420	170.112	< 0.001
Lower 7, girls	1043.248	0.482	0.062	26.981	< 0.001
Upper 3, girls	959.643	0.509	0.027	9.848	< 0.001
Lower 5, girls	899.668	0.529	0.020	7.476	< 0.001



Figure 2. Developmental stages of the permanent dentition according to Demirjian et al [9].

Abbildung 2. Mineralisationsentwicklungsstadien der bleibenden Zähne nach Demirjian et al. [9].

lungsstand der unteren ersten Prämolaren, der größte hingegen zwischen Knochenreife und Ausbildungsgrad der oberen ersten Prämolaren (rho = 0,648) (Tabelle 2).

Bei Jungen war die Beziehung zwischen skelettalem und dentalem Reifegrad bei den oberen Eckzähnen (rho = 0,474) am geringsten, während die Korrelation zwischen skelettaler Reife und dem Entwicklungsstand der unteren zweiten Molaren (rho = 0,550) am engsten war (Tabelle 2).

Der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient für den Zusammenhang zwischen Körpergröße und skelettaler Reife belief sich bei Mädchen auf rho = 0,800 und bei Jungen auf rho = 0,761 (Tabelle 2).

Bei der multiplen Regressionsanalyse mit Bestimmung des Signifikanzniveaus der Einflussgrößen betragen bei Mädchen die R²-Werte in aufsteigender Reihe für den oberen ersten Prämolaren, den unteren zweiten Molaren, den oberen Eckzahn und den unteren zweiten Prämolaren 0,420, 0,482, 0,509 und 0,529 (Tabelle 3).

Bei Jungen wurden für den unteren zweiten Molaren, den unteren zweiten Prämolaren und den unteren Eckzahn die folgenden R²-Werte bestimmt: 0,239, 0,265 und 0,295 (Tabelle 4).

In boys, the R² values were 0.239 for the lower second molars, 0.265 for the lower second premolars, and 0.295 for the lower canines (Table 4).

With the body height added to the maturation stages of the root, multiple regression analysis performed according to importance degrees yielded R² values of 0.595 for body height, 0.638 for the upper first premolars, and 0.655 for the lower second premolars in girls (Table 5). In boys, the R² value for body height was determined as 0.548 (Table 6).

Discussion

In orthodontic diagnosis and treatment planning, hand-wrist radiographs involve additional material expense and chairside time, and give rise to certain problems in private orthodontic offices. Thus, hand-wrist radiographs are subject to certain limitations. To overcome these difficulties, other criteria than hand-wrist radiographs have long been investigated to determine the level of skeletal maturity. Having panoramic and periapical radiographs for each orthodontic patient enables orthodontists to focus on the dental age.

Two methods are commonly used to assess dental age: evaluation of tooth eruption, and analysis of the mineralization of teeth. Posen [33] reported that tooth eruption may be influenced by local factors: ankylosis, early or delayed extraction of the deciduous tooth, impaction and

Bei zusätzlicher Einbeziehung der Körperlängenmessungen zu den Entwicklungsstadien der Zahnwurzeln im Rahmen der multiplen Regressionsanalyse ergaben sich für Mädchen in aufsteigender Reihenfolge für den oberen ersten Prämolaren, den unteren zweiten Molaren, den oberen Eckzahn und den unteren zweiten Prämolaren R²-Werte von 0,595, 0,638 bzw. 0,655 (Tabelle 5). Für Jungen wurde für die Körperlänge ein R²-Wert von 0,548 bestimmt (Tabelle 6).

Diskussion

Die Anfertigung von Handröntgenaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik und Therapieplanung verursacht zusätzlichen Material- und Zeitbedarf und kann in der Praxis des niedergelassenen Kollegen auf einige Schwierigkeiten stoßen, d.h. das Vorliegen einer solchen Röntgenaufnahme unterliegt gewissen Limitationen. Um diese Problematik zu umgehen, wurde nach anderen Kriterien zur Beurteilung der skelettalen Reife gesucht. Dabei konzentrierte sich die Kieferorthopädie auf die Bestimmung des dentalen Alters, da in der Regel von jedem Patienten eine Panoramaschichtaufnahme bzw. dentale Kleinröntgenbilder vorhanden sind.

Bei der Zahnalterbestimmung kommen in der Regel zwei Verfahren zur Anwendung: die Beurteilung des Zahndurchbruchs und die Analyse der Zahnmineralisation. Nach Posen [33] kann der Zahndurchbruch durch lokal einwirkende Faktoren beeinflusst werden wie z.B. Ankylose, vorzeitigen oder verzögerten Verlust des Milchzahns, eine Zahnkeimverlagerung oder Engstand der bleibenden Zähne. Die Methode von Demirjian et al. [10] erfasst die Zahnentwicklung, die im Vergleich zum Zahndurchbruch ein verlässlicheres Merkmal der dentalen Reife darstellt. Die Bewertung erfolgt ohne absolute Längenmessungen allein anhand von Formkriterien und relativen Werten. Ein Nachteil bei dem Verfahren nach Demirjian et al. [10] ist die geforderte Beurteilung von sieben Zähnen, da Nichtanlagen beider unterer zweiten Prämolaren häufiger auftreten.

Die Relation zwischen Knochen- und Zahnentwicklung wurde bereits durch zahlreiche Untersuchungen analysiert [1, 3–5, 8, 9, 14, 15, 19, 25, 26, 34, 35, 37, 38, 40, 41]. Wie in den Arbeiten von Sierra [35], Chertkow [6] und Steel [37] wurden die Schneidezähne und ersten Molaren, die ihren Mineralisa-

Table 4. Skeletal maturity developmental analysis in boys. Y = skeletal maturity.

Tabelle 4. Analyse des skelettalen Reifungsprozesses bei Jungen. Y = skelettale Reife.

	SSR	R ²	R ² difference	F	P
Lower 7, boys	369.550	0.239	0.239	43.259	< 0.001
Lower 5, boys	353.273	0.265	0.026	4.669	< 0.05
Lower 3, boys	323.919	0.295	0.030	2.771	< 0.05

Table 5. Skeletal maturity developmental analysis in girls. Y = skeletal maturity.

Tabelle 5. Analyse des skelettalen Reifungsprozesses bei Mädchen. Y = skelettale Reife.

	SSR	R ²	R ² difference	F	P
Body height	754.035	0.595	0.595	338.809	< 0.001
Upper 4, girls	596.807	0.638	0.043	13.428	< 0.001
Lower 5, girls	553.912	0.655	0.017	7.142	< 0.001

Table 6. Skeletal maturity developmental analysis in boys. Y = skeletal maturity.

Tabelle 6. Analyse des skelettalen Reifungsprozesses bei Jungen. Y = skelettale Reife.

	SSR	R ²	R ² difference	F	P
Body height	190.819	0.548	0.548	146.473	< 0.001

crowding of the permanent teeth. The method of Demirjian et al [10] is based on shape criteria and relative values rather than on absolute lengths and tooth formation, which is a more reliable indicator of dental maturity than eruption. In cases of aplasia of both lower second premolars, which is not uncommon, the method proposed by Demirjian et al [10], i.e. assessing seven teeth, seems to be disadvantageous.

The relation between bone development and tooth formation has been examined by many researchers [1, 3–5, 8, 9, 14, 15, 19, 25, 26, 34, 35, 37, 38, 40, 41]. In their studies, Sierra [35], Chertkow [6] and Steel [37] did not include incisors and first molars in cases where calcification was completed before puberty. Like the present authors, Sierra [35] and Chertkow & Fatti [7] investigated all teeth with the exception of the two types stated above and found relations at various levels between tooth and bone development, a finding supported by the results of the present study.

Lauterstein [24], Countinho et al [8], Engström et al [11], and Lacey et al [23], who performed their studies on only one or a few teeth, found a significant relationship between the dental and the skeletal age. However, most of these researchers agreed that it was not appropriate to use dental age instead of skeletal age.

In view of all these considerations we decided, despite the significant relationship between dental and skeletal development, to apply multiple regression analysis to obtain more reliable results.

The values yielded by the highest rho values in the bulk of correlations are shown in Table 2 according to genders. In girls, only 53% of the changes in skeletal age were revealed when upper first premolars, lower second molars, upper canines and lower second molars respectively were added to the equation. In boys, only 30% of this change was revealed by the lower second molars, lower second premolars and lower canines.

Lewis [26] reported that the difference between dental and skeletal age showed up to 36 months' variability, although he recorded R^2 values of 63% in girls and 67% in boys between dental age and skeletal age. When growth levels need to be determined for orthodontic treatment purposes, he suggests that it is appropriate to determine both dental and skeletal age.

The R^2 values of only 53% for girls and 30% for boys recorded in the present study show that dental age is not an adequate reflection of changes in skeletal age. This confirms previous findings [9, 12, 18, 23, 26, 38, 42].

Green [18], Hunter [22], Gürsel [20], and Onat & Ertem [32] reported a significant relationship between height and skeletal age. In the present study, the rho values representing skeletal age and height age were 0.800 for girls and 0.761 for boys (Table 2), confirming this relationship and supporting previous observations.

tionsprozess vor der Pubertät abgeschlossen haben, nicht in die Analyse einbezogen. Mit Ausnahme dieser beiden Zahntypen wurden von den o.g. Autoren sowie von Chertkow & Fatti [7] und von uns alle anderen Zähne in der Auswertung berücksichtigt. Diese Verfahrensweise deckte zwischen Zahn- und Knochenentwicklung Korrelationen unterschiedlicher Ausprägung auf, ein Befund, der auch durch die Ergebnisse unserer Untersuchung bestätigt wird.

Lauterstein [24], Countinho et al. [8], Engström et al. [11] und Lacey et al. [23], die in ihren Studien nur einen einzelnen Zahn oder nur wenige Zähne betrachteten, bestimmten eine signifikante Beziehung zwischen dentalem und skeletalem Alter. Die meisten Untersucher stimmen jedoch in der Ansicht überein, dass die Bestimmung des Knochenalters nicht durch die Beurteilung des Zahnalters ersetzt werden kann.

Unter diesem Aspekt entschieden wir uns, trotz der berechneten engen Korrelationen zwischen Knochen- und Zahnentwicklung eine multiple Regressionsanalyse durchzuführen, um die Reliabilität unserer Daten zu verbessern.

Tabelle 2 zeigt die geschlechtsspezifischen Zahlenangaben für die höchsten Rho-Werte, die den Hauptanteil der Korrelationen darstellten. Wenn bei Mädchen der Reihe nach die ersten oberen Prämolaren, die zweiten unteren Molaren, die oberen Eckzähne und die zweiten unteren Prämolaren in die Gleichung hinzugefügt werden, können durch das Zahnalter nur 53% der Änderungen im skelettalen Alter erfasst werden. Bei Jungen zeigen die unteren zweiten Molaren, die unteren zweiten Prämolaren und die unteren Eckzähne nur 30% dieser Veränderungen an.

Trotz seiner R^2 -Wertberechnungen von 63% für Mädchen und 67% für Jungen zwischen Knochen- und Zahnentwicklung stellte Lewis [26] eine Schwankungsbreite von 36 Monaten zwischen beiden Variablen fest. Daher empfiehlt er für den Fall, daß im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung die Bestimmung des skelettalen Reifezustands wichtig ist, sowohl das dentale als auch das skelettale Alter zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung der in dieser Studie erhobenen R^2 -Werte von nur 53% bei Mädchen und nur 30% für Jungen wird deutlich, dass das Zahnalter als Parameter unzulänglich ist, um die Veränderungen der Knochenreife zu erfassen. Diese Aussage bestätigen die Ergebnisse anderer Untersucher [9, 12, 18, 23, 26, 38, 42].

Green [18], Hunter [22], Gürsel [20], Onat & Ertem [32] beschrieben eine signifikante Korrelation zwischen Körpergröße und Knochenalter. Diese Abhängigkeit beider Variablen wurde auch in unserer Studie beobachtet. Der determinierte Rho-Wert zwischen Knochen- und Körpergrößenalter betrug bei Mädchen 0,800 und bei Jungen 0,761 und weist auf eine enge Wechselbeziehung hin.

Das Einbeziehen dieser Daten in die multiple Regressionsanalyse zeigt, dass durch die gemeinsame Berücksichtigung der drei Variablen Körperlängenmessung, Entwicklungsstand der ersten oberen und der zweiten unteren Prämolaren bei Mädchen 66% der Knochenveränderung definiert werden

When these values were included in the multiple regression analysis, we observed that the body height in girls can define only 66% of the change observed in the skeleton and in the upper first premolar and lower second premolar. In boys, however, the effects of adding rho values of teeth to values between body height and skeletal age were insignificant. Height age can reveal only 55% of the change seen in skeletal age.

Akyüz et al [1] concluded that, because of environmental, genetic and familial influences, height age measurements alone cannot be used. Nevertheless, Chertkow [6], Björk & Helm [4], and Hägg & Taranger [21] stated that the relationship between pubescent growth spurt and craniofacial dimensions could be determined by the annual height increase.

Chertkow [6] believed that, as the determination of height increase is a retrospective event, the pubescent growth spurt is restricted but the assessment obtained from the hand-wrist radiograph is not. In the light of these considerations, we assume our R^2 values of below 66% to be insufficient for the determination of skeletal age.

Conclusion

Various studies including the present one have reported a number of significant relations between skeletal age and dental age. However, the tooth development criteria are not sufficiently reliable to indicate the pubescent growth spurt. Orthodontists should continue to take hand-wrist radiographs in the interests of more precise growth and development determination.

Acknowledgement

The authors would like to thank Professor Dr. Fatin Sezgin from the Faculty of Agriculture, Atatürk University, Erzurum, Turkey, for his help in statistical procedures.

References

1. Akyüz S, Yarat A, Oktay C, et al. Dental ve iskeletsel gelişimi belirlemede kullanılan bazı parametrelerin tükürük ve serum kalsiyum düzeyi ile ilişkisinin araştırılması. *Dışhekimliğinde Klinik* 1991;3:105-10.
2. Becker A, Chaushu S. Dental age in maxillary canine ectopia. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:657-62.
3. Boulanger G. La calcification des prémolaires et molaires et ses relations avec l'âge chronologique et squelettique chez les enfants de 6 à 11 ans. Zurich: Doctoral thesis, Medical Faculty, University of Zurich, 1958.
4. Björk A, Helm S. Prediction of the age of maximum pubertal growth in body height. *Angle Orthod* 1967;37:134-43.
5. Çelenk P. 4-12 yaş grubu çocuklarda diş yaşı, kemik kaşı ve kronolojik yaşın karşılaştırılmasına ilişkin bölgesel bir çalışma. (Doktora Tezi) Erzurum: Atatürk Üniversitesi Dishekimliği Fakültesi Oral Diagnoz ve Radyoloji Bilim Dalı, 1985.
6. Chertkow S. Tooth mineralization as an indicator of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod* 1980;77:79-91.
7. Chertkow S, Fatti P. The relationship between tooth mineralization and early radiographic evidence of the ulnar sesamoid. *Angle Orthod* 1979;49:282-8.
8. Coutinho S, Buschang PH, Miranda F. Relationships between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:262-8.

können. Im Gegensatz dazu hatte die Addition der zahnbezogenen Rho-Werte zu den vergleichbaren Daten zwischen Körperlänge und Knochenalter bei Jungen keinen signifikanten Effekt. Das Körpergrößenalter ließ hier nur 55% der Veränderung im Knochenalter erkennen.

Nach Akyüz et al. [1] kann aufgrund von Umwelteinflüssen, genetischen und familiären Besonderheiten das Körpergrößenalter nicht als Einzelparameter verwendet werden. Dennoch sind Chertkow [6], Björk & Helm [4] sowie Hägg & Taranger [21] der Überzeugung, dass die Beziehung zwischen pubertärem Wachstumsspur und kraniofazialen Wachstumsvorgängen durch Bestimmung der jährlichen Zuwachsrate an Körperlänge determiniert werden kann. Die messtechnische Erfassung einer Körperlängenzunahme stellt für Chertkow [6] dabei die Erfassung eines zurückliegenden Ereignisses dar. Im Gegensatz zur Analyse der Handröntgenaufnahme ist daher diese Messung zur Bestimmung des pubertären Wachstumspurts von eingeschränkter Validität. Unter Berücksichtigung dieser Aussagen gehen wir davon aus, dass die in unserer Studie erhobenen R^2 -Werte, die unter 66% lagen, keine ausreichende Korrelation erkennen lassen, um über die Bestimmung der Körpergröße das skeletale Alter eines Individuums zu determinieren.

Schlussfolgerung

In zahlreichen Studien einschließlich der eigenen Untersuchung wurden viele signifikante Korrelationen zwischen skeletalem und dentalem Alter aufgedeckt. Die Entwicklungsstadien der Odontogenese sind jedoch nicht ausreichend zuverlässig, um den Zeitpunkt des pubertären Wachstumsschubs erkennen zu lassen.

Danksagung

Die Autoren danken Prof. Dr. Fatin Sezgin, Agrarwissenschaftliche Fakultät der Atatürk Universität, Erzurum, Türkei, für seine Unterstützung bei der statistischen Datenauswertung.

9. Demirjian A, Buschang PH, Tanguay R, et al. Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am J Orthod* 1985;88:433–8.
10. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Human Biol* 1973;45:211–27.
11. Engström C, Engström H, Sagne S. Lower third molar development in relation to skeletal maturity and chronological age. *Angle Orthod* 1983;53:97–106.
12. Erverdi N. Diş yaşı, kemik yaşı, kronolojik yaş arası ilişkisinin araştırılması. *Türk Ortod Derg* 1988;1:30–41.
13. Fishman LS. Radiographic evaluation of skeletal maturation A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod* 1982;52:88–112.
14. Fleischer-Peters A. Handskelettanalyse und ihre klinische Bedeutung. *Fortschr Kieferorthop* 1976;37:375–85.
15. Fritsch R. Korrelationsuntersuchungen von maximalem Längenwachstum und Durchbruchzeit der Zwölfjahrmolaren mittels Handskelettröntgenaufnahmen. *Fortschr Kieferorthop* 1975;36:173–82.
16. Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Mönting J, et al. Dental age in Southwest Germany. *J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop* 2000;61:318–29.
17. Grave KC, Brown T. Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *Am J Orthod* 1976;69:611–9.
18. Green LJ. The relationships among height, weight and chronological, dental and skeletal ages. *Angle Orthod* 1961;31:189–93.
19. Gupta DS. The relationship between skeletal maturation, malocclusion, and dentition. *Aust Dent J* 1976;21:217–20.
20. Gürsel M. Boy ve ağırlık artmaları ile kemik yaş ve kronolojik yaş arasındaki ilişkileri (Doktora Tezi) Ankara: Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, 1977.
21. Hägg U, Taranger J. Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand* 1980;38:187–200.
22. Hunter CJ. The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence. *Angle Orthod* 1966;36:44–54.
23. Lacey KA, Parkin JM, Steel GH. Relationship between bone age and dental development. *Lancet* 1973;29:736–7.
24. Lauterstein AM. The cross-sectional study in dental development and skeletal age. *J Am Dent Assoc* 1961;62:161–7.
25. Lee MMC, Low CWD, Chang KSF. The relationship between dental and skeletal maturation in Chinese children. *Arch Oral Biol* 1961;10:883–91.
26. Lewis AB. Comparisons between dental and skeletal ages. *Angle Orthod* 1990;61:87–91.
27. Lewis AB, Garn SM. The relationship between tooth formation and other maturational factors. *Angle Orthod* 1960;30:70–7.
28. Liliequist B, Lundberg M. Skeletal and tooth development. *Acta Radiol* 1971;11:97–112.
29. Mappes MS, Harris EF, Behrents RG. An example of regional variation in the tempos of tooth mineralization and hand-wrist ossification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:145–51.
30. Moorrees CFA, Fanning EA, Hunt EE. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res* 1963;42:1490–502.
31. Onat T. Prediction of adult of girls based on the percentage of adult height at onset of secondary sexual characteristics, at chronological age, and skeletal age. *Human Biol* 1975;47:117–30.
32. Onat T, Ertem B. İstanbul kız çocuklarında puberte başlangıcından sonra büyüme ve gelişmenin kemik gelişmesi ile ilgisi. *Cerrahpaşa Tıp Bülteni* 1968;2:1–251.
33. Posen AL. The effect of premature loss of deciduous molars on premolar eruption. *Angle Orthod* 1965; 35:249–52.
34. Shumaker DB. A comparison of chronologic age and physiologic age as predictors of tooth eruption. *Am J Orthod* 1974;66:50–7.
35. Sierra AM. Assessment of dental and skeletal maturity. A new approach. *Angle Orthod* 1987;57:194–207.
36. Simmons K, Greulich WW. Menarche age and the height, weight and skeletal age of girls age 7 to 17 years. *J Pediat* 1943;22:518–48.
37. Skrobols MG. Correlation of skeletal maturation indicators (SMI's) and tooth formation stages (TFS's). *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:292.abstract.
38. Steel GH. The relation between dental maturation and physiological maturity. *Dent Practit* 1965;16:23–34.
39. Suda N, Ishii-Suzuki M, Hirose K, et al. Effective treatment plan for maxillary protraction: Is the bone age useful to determine the treatment plan? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:55–62.
40. Sutow WW, Terasaki T, Ohwada K. Comparison of skeletal maturation with dental status in Japanese children. *Pediatrics* 1954;14:327–33.
41. Talmers DA. Time of eruption of second permanent molar and relationship to body size and alveolar development; Preliminary report. *NY State Dent J* 1952;18:314–5.
42. Yiğit MD, Kurdoğlu S. Kronolojik yaş, diş yaşı ve kemik yaşı arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi. İstanbul: Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi 1990;24:21–8.

Correspondence Address

Aynur Medine Şahin Sağlam, DDS, PhD,
Assistant Professor
Department of Orthodontics
Faculty of Dentistry
Süleyman Demirel University
32200 Isparta
Turkey
Phone (+90/246) 2113316, Fax 2370607
e-mail: aasaglam@hotmail.com