

**Wiek zębowy, wiek kostny,
wiek chronologiczny – przegląd
piśmiennictwa*****Dental age, bone age,
chronological age – a literature
review*****Roksana Domańska¹ **A****B****D****F******Iwona Gatkowska² **B****F******Konrad Perkowski³ **A****B****D****F******Magdalena Marczyńska-Stolarek⁴ **B****D******Małgorzata Zadurska⁵ **A****B****E******Wkład autorów:** **A** Plan badań **B** Zbieranie danych **C** Analiza statystyczna **D** Interpretacja danych
E Redagowanie pracy **F** Wyszukiwanie piśmiennictwa**Authors' Contribution:** **A** Study design **B** Data Collection **C** Statistical Analysis **D** Data Interpretation
E Manuscript Preparation **F** Literature Search^{1, 2, 3, 4, 5} Zakład Ortodontcji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
*Department of Orthodontics Medical University of Warsaw***Streszczenie**

Określenie właściwego momentu rozpoczęcia leczenia jest jednym z najistotniejszych aspektów terapii ortodontycznej. Protokół postępowania ortodontycznego jest uzależniony nie tylko od rodzaju wady zgryzu pacjenta, ale również od jego wieku biologicznego. Ocenie podlegają: wiek metrykalny, rozwój fizyczny, dojrzałość szkieletowa, wiek zębowy, obecność drugorzędowych cech płciowych. **Cel.** Celem pracy było przedstawienie zależności między składowymi wieku rozwojowego na podstawie przeglądu piśmiennictwa z lat 1967–2015 (marzec). **Materiał i metody.** Przeprowadzono przegląd piśmiennictwa w języku polskim i angielskim z lat 1967–2015 (marzec), wykorzystując bazę PubMed i używając słów kluczowych: wiek kostny, wiek zębowy, metody oceny

Abstract

One of the most important aspects of orthodontic treatment is to determine correctly the time to start treatment. A protocol of orthodontic treatment depends not only on the type of an occlusal defect but also on the patient's biological age. The following parameters are subject to an assessment: chronological age, physical development, skeletal maturity, dental age, presence of secondary sex characteristics. **Aim.** The paper aimed to present relationships between individual components of the developmental age based on a review of literature from the period 1967–2015 (March). **Material and methods.** A review of literature in Polish and English from the period 1967–2015 (March) was performed using the PubMed database and the following key words:

^{1,2} lek. dent., stażysta specjalizujący się w ortodontcji / *DDS, postgraduate orthodontic resident*^{3,4} dr n. med., specjalista ortodonta / *DDS, PhD, specialist in orthodontic*⁵ dr hab. n. med., kierownik Zakładu Ortodontcji / *DDS, PhD, associate professor, head of the Department of Orthodontics*Dane do korespondencji/*Correspondence address:*Zakład Ortodontcji WUM
ul. Nowogrodzka 59
02-006 Warszawa
e-mail: roksanag3@tlen.pl

wieku kostnego i zębowego, dojrzałość szkieletowa, metody kliniczne i radiologiczne oceny wieku biologicznego. Badania uzupełniono o opracowania autorów polskich i zagranicznych, które nie zostały ujęte w bazie PubMed. Do przeglądu zakwalifikowano 29 prac, których materiał był ściśle związany z założeniem pracy lub dotyczył poszczególnych wskaźników oceny wieku biologicznego. **Wnioski.** Do chwili obecnej nie opracowano metody pozwalającej na bezbłędne określenie momentu skoku pokwitaniowego pacjenta. Wnikliwe badanie podmiotowe i przedmiotowe, wraz z pełną dokumentacją radiologiczną, stanowią podstawę do wyznaczenia optymalnego dla pacjenta okresu rozpoczęcia leczenia ortodontycznego. **(Domańska R, Gatkowska I, Perkowski K, Marczyńska-Stolarek M, Zadurska M. Wiek zębowy, wiek kostny, wiek chronologiczny – przegląd piśmiennictwa. Forum Ortod 2016; 12: 15-28).**

Nadesłano: 30.10.2015

Przyjęto do druku: 29.02.2016

Słowa kluczowe: wiek kostny, wiek zębowy, metody oceny wieku kostnego, zębowego, dojrzałość szkieletowa, metody kliniczne, radiologiczne oceny wieku biologicznego

Wstęp

Określenie właściwego momentu rozpoczęcia leczenia jest jednym z najistotniejszych aspektów terapii ortodontycznej. Ocena rozwoju fizycznego, w tym akceleracji, spowolnienia oraz zakończenia wzrostu stanowią ważny element diagnostyczny, ponieważ od potencjału wzrostowego oraz rodzaju wady zgryzu pacjenta zależy protokół postępowania ortodontycznego. Wzrost pacjenta może wpływać korzystnie na pozytywny wynik leczenia. Próbę leczenia czynnościowego wad czynnościowych podejmuje się w okresie okołopokwitaniowym w celu wykorzystania skoku wzrostowego pacjenta. Z kolei planowanie zabiegów ortognatycznych czy konieczność uzupełnienia braków zębowych za pomocą stałych uzupełnień protetycznych to sytuacje, w których nawet resztkowy wzrost ma negatywny wpływ na efekt leczenia. Dlatego należy je rozpoczynać po zakończeniu wzrostu pacjenta (1, 2, 3, 4). Na tempo wzrostu i dojrzewania dziecka ma wpływ wiele czynników m.in. uwarunkowania genetyczne, rasa, odżywianie, klimat, zaburzenia hormonalne, wpływy środowiskowe (5). Ze względu na zmienność osobniczą i płciową ustalenie indywidualnego wieku biologicznego pacjenta jest niezbędne. Ocenie podlegają: wiek chronologiczny, pomiary zmian wysokości ciała, które umożliwią nam wykreślenie indywidualnej krzywej wzrostu pacjenta, obecność lub brak drugorzędowych cech płciowych, wiek kostny, wiek zębowy. Poszczególne składowe wieku biologicznego scharakteryzowano w dalszej części tekstu (1, 2, 3, 6, 7).

bone age, dental age, methods to assess the bone and dental age, skeletal maturity, clinical and radiological methods to assess the biological age. The studies were supplemented with papers published by Polish and foreign authors that were not included in the PubMed database. The review included 29 papers as their material was strictly associated with the assumptions of this work or regarded individual components of the assessment of the biological age.

Conclusions. Until now a method to allow for flawless determination of an onset of the patient's pubertal growth spurt has not been prepared. A detailed physical examination and medical history combined with a review of complete radiological documentation are basic requirements in order to determine the optimum time when orthodontic treatment should be started in a given patient. **(Domańska R, Gatkowska I, Perkowski K, Marczyńska-Stolarek M, Zadurska M. Dental age, bone age, chronological age – a literature review. Orthod Forum 2016; 12: 15-28).**

Received: 30.10.2015

Accepted: 29.02.2016

Key words: bone age, dental age, methods to assess the bone, dental age, skeletal maturity, clinical methods, radiological methods to assess the biological age

Introduction

One of the most important aspects of orthodontic treatment is to determine correctly the time to start treatment. An assessment of physical development, including growth acceleration, slowing down and completion, is an important diagnostic component as a protocol of orthodontic treatment depends on the growth potential and types of patient's occlusal defects. The patient's growth may have a beneficial effect on the positive treatment outcomes. An attempt of functional treatment of functional defects is undertaken in the peripubertal period in order to take advantage of the patient's growth spurt. On the other hand, orthognathic procedures or procedures to supplement absent teeth with permanent prostheses are such cases where even residual growth negatively affects treatment outcomes. Therefore such procedures should be started after the completion of the patient's growth (1, 2, 3, 4). The child's growth rate and maturation are affected by numerous factors including, among others: genetic background, ethnicity, nutrition, climate, hormonal disturbances, environmental factors (5). It is indispensable to determine the individual biological age of a given patient due to individual and sexual variability. The following parameters are assessed: chronological age, measurements of body height changes in order to draw an individual growth curve for a given patient, presence or lack of secondary sex characteristics, bone age, dental age. Individual components of the biological age are presented in further sections (1, 2, 3, 6, 7).

*Dental age, bone age, chronological age – a literature review***Cel**

Celem pracy było przedstawienie zależności między składowymi wieku rozwojowego na podstawie przeglądu piśmiennictwa w języku polskim i angielskim z lat 1967–2015 (marzec).

Materiał i metody

Przeprowadzono przegląd piśmiennictwa z lat 1967–2015 (marzec), wykorzystując bazę PubMed i używając słów kluczowych: wiek kostny, wiek zębowy, metody oceny wieku kostnego i zębowego, dojrzałość szkieletowa, metody kliniczne i radiologiczne oceny wieku biologicznego. Badania uzupełniono o opracowania autorów polskich i zagranicznych, które nie zostały ujęte w bazie PubMed. Do przeglądu zakwalifikowano 29 prac, których materiał był ściśle związany z założeniem pracy lub dotyczył poszczególnych wskaźników oceny wieku biologicznego.

Wyniki

Pomiary zmian wysokości ciała

Indywidualna krzywa wzrostu przedstawia zależność przyrostu wysokości ciała od wieku pacjenta. Jest ona wykreślana na podstawie regularnych pomiarów w czasie wieloletnich obserwacji i służy do rozpoznania czasu skoku pokwitaniowego. W tym celu na krzywej wzrostu są wyznaczane 3 punkty:

1. Początek skoku wzrostowego – zlokalizowany na krzywej w miejscu, gdzie tempo wzrostu przyspiesza o 10 mm/rok. Od tego momentu tempo wzrostu rośnie w sposób ciągły, aż do punktu szczytu wzrostu.
2. Szczyt wzrostu jest największym rocznym przyrostem ciała (wierzchołek krzywej).
3. Zakończenie skoku wzrostowego – spowolnienie wzrostu charakteryzujące się rocznym przyrostem wysokości poniżej 20 mm.

Do wad wskaźnika należą: konieczność wieloletniej i systematycznej współpracy pacjenta z lekarzem oraz brak możliwości wykrycia skoku pokwitaniowego przed zarejestrowaniem go na krzywej wzrostu (krótki czas akceleracji wzrostu, który może zostać niedostrzeżony).

Szczyt wzrostu szczęki i żuchwy występuje w tym samym czasie lub nieznacznie po szczycie wzrostu ciała na wysokość – wcześniej u dziewcząt niż u chłopców (różnica wynosi 18 +/- 3 miesiące). Stanowi to ważną wskazówkę diagnostyczną dla lekarza (8, 9, 10).

Monitorowanie wzrostu jest prowadzone nie tylko w celu wykrycia akceleracji wzrostu, ale także kontroli prawidłowego rozwoju pacjenta. Wykresy percentylowe stosunku wzrostu i masy ciała od wieku dziecka ilustrują zmiany wzrostu i wagi w czasie jego życia. Te standardy są międzynarodowe, stworzone przez Światową Organizację Zdrowia. Zakres uznany za normę mieści się w granicach 3–97 na wykresie

Aim

The paper aimed to present relationships between individual components of the developmental age based on a review of literature in Polish and English from the period 1967–2015 (March).

Material and methods

A review of literature from the period 1967–2015 (March) was performed using the PubMed database and the following key words: bone age, dental age, methods to assess the bone and dental age, skeletal maturity, clinical and radiological methods to assess the biological age. The studies were supplemented with papers published by Polish and foreign authors that were not included in the PubMed database. The review included 29 papers as their material was strictly associated with the assumptions of this work or regarded individual components of the assessment of the biological age.

Results

Measurements of the body height changes

An individual growth curve presents a relationship between an increase in the body height and the patient's age. It is drawn based on regular measurements performed during observations lasting for many years and it is used to determine the onset of the growth spurt. In order to do that 3 points are indicated on the curve:

1. Start of the growth spurt – located on the curve at the point where the growth rate accelerates by 10 mm/year. Since that point the growth rate increases continuously until the growth peak.
2. The growth peak is the largest annual body height increase (the peak of the curve).
3. End of the growth spurt – growth slowdown with an annual increase in the height below 20 mm.

Disadvantages of this index include the following: need for regular cooperation between a patient and a physician for many years and no possibility to detect the growth spurt before it has been registered on the growth curve (a short period of growth acceleration that can remain unnoticed).

The growth peak of the maxilla and mandible is observed at the same time or slightly later compared to the peak body height growth – earlier in girls than in boys (a difference is 18 +/- 3 months). It is an important diagnostic tip for physicians (8, 9, 10).

Growth is monitored not only to detect growth acceleration but also to control normal development of the patient. Percentile charts presenting the ratio of the body height and weight to the child's age demonstrate changes in the height and weight in the whole life. These standards are international and have been prepared by the World Health Organisation. The range considered to be normal is 3–97 on a percentile chart. The middle of the norm for a given population is the

percytylowym. Środek normy dla danej populacji odpowiada wartości 50. Zarówno bardzo powolny jak i gwałtowny wzrost tych parametrów może oznaczać ciężkie zaburzenia genetyczne, przewlekłe choroby, stan niedożywienia lub inne zaniedbania związane ze środowiskiem, w którym żyje dziecko. Na wykresie zaznacza się punkty odpowiadające wartości wysokości ciała lub masy ciała w danym wieku, a następnie dokonuje się odczytu wartości percytylowej. Wartość percytylowa nie powinna ulegać znacznym zmianom wraz z wiekiem dziecka. Na tej podstawie może zostać przewidziany wzorzec wzrostu danego pacjenta. Jeśli wartość percytylowa ulega znacznej zmianie – zwykle świadczy o wystąpieniu zaburzenia. Wartości powyżej 97 i poniżej 3 centyla wskazują na potrzebę dalszej diagnostyki (11, 12, 13).

Wiek kostny

Idealny wskaźnik dojrzałości szkieletowej powinien się charakteryzować dokładnością w określeniu momentu skoku wzrostowego oraz okresu tuż przed nim, ograniczać konieczność wykonywania dodatkowych zdjęć rentgenowskich, cechować się łatwością i powtarzalnością interpretacji wyników oraz możliwością ich zapisu i gromadzenia (2).

Istnieje wiele metod oceny wieku szkieletowego, jednak najczęściej dokonuje się jej na podstawie oceny kręgów szyjnych na zdjęciu cefalometrycznym oraz analizy zdjęcia dłoni i nadgarstka.

Metody oceny wieku szkieletowego:

- Analiza zdjęcia dłoni i nadgarstka lub tylko środkowego palca lewej dłoni.
- Ocena kręgów szyjnych na zdjęciu cefalometrycznym.
- Automatyczna ocena wieku kostnego.
- Wizualizacja nasady kości promieniowej i łokciowej za pomocą ultradźwięków.
- Tomografia komputerowa lub rezonans magnetyczny obojczyków.
- Zdjęcie radiologiczne kości biodrowej.
- Ocena głowy kości udowej.

Pierwsza z metod często jest określana jako „złoty standard”, ze względu na wysoką niezawodność. Wzór ossyfikacji kości dłoni i nadgarstka jest ściśle określony, przewidywalny i charakterystyczny dla danego etapu rozwoju szkieletowego. Na jednym zdjęciu radiologicznym widocznych jest wiele kości, które reprezentują znaczny procent całego szkieletu człowieka (14, 15).

System wg Björka i wsp. ocenia zarówno kości dłoni, nadgarstka, kość promieniową (obecność jąder kostnienia, progres mineralizacji, zmiany kształtu) i chrząstki nasadowe (kształt, szerokość, zespolenie z trzonem). Wyróżnia się 9 stadiów oznaczonych symbolami od PP2 do Ru. Szczyt skoku wzrostowego przypada na fazę 5, czyli MP3cap-PP1cap-Rcap, kiedy to trzon kości paliczka środkowego trzeciego palca, bliższego paliczka kciuka oraz kości promieniowej jest pokryty przez nasadę w kształcie czapeczki. Okres

value of 50. Both, extremely slow and sudden growth of these parameters may indicate a severe genetic abnormality, chronic diseases, malnutrition or other negligence issues associated with the conditions a child lives in. The chart includes points corresponding to values of the body height or weight at a given age, and then a percentile value is read. The percentile value should not change significantly with the child's age. This may be used to predict a growth pattern for a given patient. If the percentile value has changed significantly – it usually indicates an abnormality. The values above the 97th centile and below the 3rd centile have to be diagnosed further (11, 12, 13).

Bone age

An ideal indicator of the skeletal maturity should be precise in order to determine the onset of the growth spurt and a period just before, to limit the need for additional X-rays; interpretation of the results should be easy and reproducible, and it should be possible to record and collect them easily (2).

There are many methods to determine the skeletal age, but the most frequently the age is determined based on the assessment of the cervical vertebrae on a cephalogram and an analysis of hand and wrist images.

Methods to assess the skeletal age:

- Analysis of images of the hand and wrist or only of the middle finger of the left hand.
- Assessment of the cervical vertebrae on a cephalogram.
- Automatic assessment of the bone age.
- Visualisation of the epiphysis of the radial and ulnar bones with ultrasounds.
- Computed tomography or magnetic resonance imaging of the clavicles.
- X-ray of the iliac bone.
- Assessment of the femoral head.

The first method is often determined to be a “gold standard”, due to its high reliability. The pattern of ossification of the hand and wrist bones is precisely determined, predictable and typical of a given stage of skeletal development. One radiological scan demonstrates numerous bones that represent a significant percentage of the whole human skeleton (14, 15).

The system by Björk et al. makes it possible to assess bones of the hand, wrist, radial bone (presence of ossification nuclei, mineralisation progress and shape changes) and epiphyseal cartilage (shape, width and fusion with the shaft). There are 9 stages in this system, from PP2 to Ru. The peak growth spurt is observed in phase 5, namely MP3cap-PP1cap-Rcap, when the shaft of the middle phalanx of the third finger, proximal phalanx of the thumb and the radius are covered by a cap-shaped epiphysis. The prepubertal period covers phases 1–4, whereas the postpubertal period includes phases 6–9 (1).

In order to narrow down an observation field a method involving an assessment of only the middle phalanx of the third finger was introduced. It includes 5 phases, and the

Dental age, bone age, chronological age – a literature review

przedpokwitaniowy obejmuje fazy 1–4, natomiast popokwitaniowy fazy 6–9 (1).

W celu zawężenia pola obserwacji wprowadzono metodę opierającą się na ocenie tylko trzeciego paliczka środkowego palca. Zawiera ona 5 faz, z których początek skoku wzrostowego przypada na fazę MP3-F, w której nasada jest takiej samej szerokości jak trzon paliczka. Faza MP3-I świadczy o zakończeniu maksymalnego przyrostu ciała na wysokość i charakteryzuje się pełną fuzją nasady paliczka z trzonem (16).

Do obliczenia wieku kostnego na podstawie analizy zdjęcia dłoni i nadgarstka można posłużyć się atlasem skonstruowanym przez Greulich i Pyle (GP). Jest to najczęściej używany atlas służący do oceny wieku szkieletowego ze względu na łatwość, szybkość oraz niezawodność. Zawiera serie zdjęć lewej dłoni i nadgarstka, poczynawszy od narodzenia aż do 18. roku życia kobiety i 19. roku życia mężczyzny. Zdjęcia oznaczone są odpowiadającą im wartością wieku kostnego. Odszukanie zdjęcia analogicznego lub najbardziej zbliżonego do zdjęcia radiologicznego badanego pacjenta (14) pozwala obliczyć ten parametr.

Metoda Tannera i Whitehousa jest metodą skomplikowaną i czasochłonną, jednak zdecydowanie bardziej dokładną i powtarzalną niż przedstawiona powyżej. Bazuje na stopniu dojrzałości 20 charakterystycznych regionów (tzw. ROI) zlokalizowanych w obrębie dłoni, nadgarstka, kości łokciowej oraz promieniowej. Każdy z nich jest oceniany osobno (oznaczenia od A do I), a następnie jest mu przypisywana wartość punktowa. Suma punktów odpowiada określonemu wiekowi kostnemu (5, 14).

Atlas Gislanza i Ratibina został opracowany na podstawie szczegółowych analiz kształtów, wielkości, cech morfologicznych, lokalizacji centrów kostnienia licznych radiogramów dłoni i nadgarstka zdrowych, prawidłowo rozwijających się dzieci. Charakteryzuje się wysoką precyzją oraz jakością obrazów odpowiadających zdjęciom rentgenowskim wykonywanym co 6 miesięcy dla dzieci w wieku 2–6 lat oraz corocznym dla 7–17-latków. Wyniki uzyskane tą metodą okazały się porównywalne do osiągniętych za pomocą atlasu GP (14).

W Polsce często korzysta się z atlasu radiologicznego rozwoju kośćca dłoni i nadgarstka Jadwigi Kopczyńskiej-Sikorskiej.

Inną metodą, obecnie najczęściej stosowaną ze względu na spełnianie wyżej wymienionych kryteriów, jest ocena wieku kostnego na podstawie analizy zdjęcia cefalometrycznego. Należą do nich wspomniane wcześniej: dokładność w określeniu momentu skoku wzrostowego oraz okresu tuż przed nim, ograniczenie dodatkowej ekspozycji na promieniowanie jonizujące, łatwość i powtarzalność interpretacji wyników oraz możliwość ich zapisu i gromadzenia (2, 3, 7).

Analizie podlegają zmiany kształtów kręgów szyjnych C2-C6:

- obecność lub brak wklęsłości na dolnej granicy kręgów,
- kształt kręgów (z wyjątkiem C2):

onset of the growth spurt is observed in the phase MP3-F when the epiphysis is of the same width as the shaft of the phalanx. The phase MP3-I indicates that the maximum growth of the body in height is completed and a complete fusion of the phalanx epiphysis with the shaft is visible (16).

An atlas prepared by Greulich and Pyle (GP) can be used to calculate the bone age based on an analysis of hand and wrist scans. This atlas is the most frequently used to determine the skeletal age as it is simple, fast and reliable. It includes a series of radiographs of the left hand and wrist, starting from birth until the age of 18 years for women and 19 years for men. Radiographs are marked with corresponding values of the bone age. It is possible to calculate this parameter by searching for a radiograph which is analogous or the most similar to a radiological image of the patient being examined (14).

The Tanner-Whitehouse method is a complex and time-consuming method; however, it is definitely more precise and reproducible than the one presented above. It is based on the maturity grade for 20 typical regions (regions of interest, ROI) that are located in the hand, wrist, ulnar and radial bones. Each of them is assessed independently (indicated as A to I), and then each one receives its score. The total score corresponds to a specific bone age (5, 14).

The atlas by Gislanz and Ratibin was prepared based on detailed analyses of shapes, sizes, morphological features, location of the ossification centres of numerous radiographs of hands and wrists of healthy children demonstrating normal development. It is highly precise, with high-quality radiographs corresponding to radiographs performed every 6 months in children aged 2–6 years and annual radiographs for 7–17 year olds. The results obtained using this method turned out to be comparable to those obtained with the GP atlas (14).

In Poland, the radiological atlas by Jadwiga Kopczyńska-Sikorska presenting development of the bones in the hand and wrist is used the most frequently.

Another method which is currently used the most often as it complies with the criteria mentioned above is based on an assessment of the bone age using an analysis of cephalograms. These criteria include the ones that have already been mentioned: precise determination of the onset of the growth spurt and a period just before, limiting additional exposure to ionising radiation, easy and reproducible interpretation of results and a possibility to record and store them (2, 3, 7).

The analysis is focused on changes in shapes of the cervical vertebrae C2-C6:

- presence of a concavity on the lower border of the vertebrae or lack of thereof,
- vertebral shape (except for C2):
 - ▶ trapezoid (the upper border of the vertebrae is inclined from the back to the front),

- ▶ trapezoidalny (górną granicę kręgów nachylną od tyłu ku przodowi),
- ▶ prostokątny horyzontalnie (przewaga długości nad wysokością),
- ▶ kwadratowy,
- ▶ prostokątny wertykalnie (dominacja wysokości nad długością) (1, 2, 10).

W metodzie Lamparskiego ocenia się zmiany kształtu 5 kręgów szyjnych (7) i wyróżnia się w niej 6 stadiów: od Cvs1 do Cvs6. Szczyt skoku wzrostowego przypada na interwał między fazą Cvs3 a Cvs4, kiedy pojawia się wklęsłość na dolnej granicy kręgu C3 i C4, a kręgi przyjmują kształt prostokątny.

Modyfikacja według Bacetti i wsp. polega na analizie kształtów tylko trzech kręgów szyjnych: C2, C3, C4. Pojawienie się wyraźnej wklęsłości na dolnej granicy C3 świadczy o zbliżającym się skoku wzrostowym (szczyt wzrostu wystąpi w ciągu roku po tym stadium). Szczyt wzrostu występuje między fazą CVM2 a CVM3 (17).

Podjęmowane są próby opracowania automatycznych metod oceny wieku szkieletowego, które mogłyby wyeliminować błędy związane z oceną subiektywną metodami wspomnianymi powyżej. Trudność jest związana z opracowaniem programu komputerowego zdolnego do precyzyjnej oceny i analizy kształtów, rozmiarów oraz obecności lub braku mineralizacji w wielu centrach kostnienia kości dłoni i nadgarstka. W celu przeprowadzenia analizy obrazu, należy wykonać:

- skanowanie zdjęcia do komputera (jeśli nie jest ono w postaci cyfrowej),
- normalizację obrazu do skali szarości,
- segmentację obrazu (oddzielenie istotnych składowych obrazu od tła),
- analizę obrazu (poszczególnych składowych) za pomocą metody Tannera Whitehousa lub atlasu Greulich i Pyle (14).

Wiek kostny można również ocenić za pomocą ultradźwięków aparatem o nazwie BonAge. Jego głowica generuje fale o częstotliwości 759 kHz, które są kierowane na nasadę dystalnego końca kości łokciowej oraz promieniowej. Badanie składa się z 11 cykli pomiarowych, które trwają łącznie 5 minut (14).

Kolejna metoda – wizualizacja końców mezialnych obojczyków – służy do oceny wieku kostnego u pacjentów między 18. a 22. rokiem życia, czyli wtedy, kiedy inne metody stają się bezużyteczne. To tutaj są zlokalizowane wtórne centra kostnienia wpływające na wzrost i modelowanie kształtu obojczyków aż do momentu ich fuzji, która występuje około 22. roku życia. Ze względu na wady radiologii konwencjonalnej (nakładanie się struktur anatomicznych, takich jak żebra i kręgi, na obraz obojczyków), zalecanym badaniem jest tomografia komputerowa lub rezonans magnetyczny (14).

Metoda kalkulacji wieku szkieletowego na podstawie wizualizacji kości biodrowej oraz głowy kości udowej wymagają nadal dalszych badań na większej grupie pacjentów (14).

- ▶ rectangular horizontal (the length is larger than the height),
- ▶ square,
- ▶ rectangular vertical (the height is larger than the length) (1, 2, 10).

The Lamparski method assesses changes in the shape of 5 cervical vertebrae (7) and includes five stages: Cvs1 to Cvs6. The peak growth spurt is observed in an interval between the Cvs3 and Cvs4 phase when a concavity along the lower border of the C3 and C4 vertebrae appears and the vertebrae become rectangular.

A modification by Bacetti et al. involves an analysis of shapes of only three cervical vertebrae: C2, C3, C4. Presence of a visible concavity along the lower border of C3 indicates that the growth spurt is soon to be observed (the peak growth shall be observed within one year after this stage). The peak growth is observed between the CVM2 and CVM3 phase (17).

There have been attempts to prepare automated methods to assess the skeletal age that could eliminate mistakes associated with a subjective assessment of methods mentioned above. However, it is difficult to prepare software that would be able to assess and analyse precisely shapes, sizes or presence of mineralisation in numerous ossification centres of the hand and wrist bones or lack of thereof. In order to conduct an image analysis it is necessary to:

- scan an image into a computer (unless it is in a digital format),
- normalise the scan to the greyscale,
- perform image segmentation (separate important scan components from the background),
- perform image (individual components) analysis using the Tanner-Whitehouse method or the atlas by Greulich and Pyle (14).

The bone age can also be assessed by ultrasounds with the device called BonAge. Its head generates waves at the frequency of 759 kHz, and they are targeted at the distal epiphysis of the ulnar and radial bones. The examination includes 11 measuring cycles that last 5 minutes in total (14).

Another method – visualisation of the medial ends of the clavicles – is used to assess the skeletal age in patients aged 18 to 22 years, namely in the period when other methods can no longer be used. This is the place where secondary ossification centres are located and they affect growth and modelling of the shape of clavicles until their fusion around the age of 22 years. Due to disadvantages of conventional radiology (overlapping of anatomical structures such as ribs or vertebrae on the anatomy of clavicles) computed tomography or magnetic resonance imaging is a recommended method (14).

The method to calculate the skeletal age based on the visualisation of the iliac bone and femoral head has to be examined further in a larger group of patients (14).

*Dental age, bone age, chronological age – a literature review***Wiek zębowy**

Wyróżniamy dwa rodzaje metod oceny wieku zębowego – kliniczne i pantomograficzne (18, 19).

Metody kliniczne, czyli ocena obecności poszczególnych zębów lub grup zębowych u pacjenta, pozwalają na określenie wieku zębowego w trakcie rutynowego badania stomatologicznego. Do ich zalet można zaliczyć łatwość i szybkość techniki, natomiast do wad – niedokładność ze względu na okres między pojawieniem się danego zęba w jamie ustnej a osiągnięciem przez niego płaszczyzny zwarciowej. Nie można w niej również wykluczyć możliwości obecności czynników miejscowych zaburzających czas wyrzynania zębów, jak np. przedwczesna utrata zęba mlecznego, ankyloza, brak miejsca w łuku zębowym, stłoczenie zębów stałych czy występowanie zębów nadliczbowych.

Większą precyzją charakteryzują się metody radiologiczne, z których najbardziej popularna jest metoda według Demirjiana. Jest ona powszechnie stosowana do oceny wieku zębowego dla pacjentów między 3. a 17. rokiem życia. Za pomocą zdjęcia pantomograficznego ocenia się takie zmiany rozwojowe jak: kształt komory, kanału, stopień formowania szkliwa, zębiny (odmienne dla zębów jedno- i wielokorzeniowych), na które nie mają wpływu wspomniane powyżej czynniki miejscowe. Ocenie podlega 7 zębów żuchwy (18, 19). Rozmiar zębów nie jest analizowany, ponieważ zdjęcia pantomograficzne wykazują powiększenie rzędu 3–10%. Wyróżnia się 8 stadiów oznaczonych literami od A do H, z których pierwsza rozpoczyna się od pojawienia punktu mineralizacji, a ostatnia prowadzi do całkowitego zamknięcia się wierzchołka korzenia zęba. Każdy z zębów jest oceniany indywidualnie, wartości zostają zsumowane, natomiast odczyty z tabeli są dokonywane osobno dla chłopców i dziewcząt w celu zamiany wyniku punktowego na wartość wieku zębowego. Zęby ocenia się w następującej kolejności: drugi ząb trzonowy, pierwszy ząb trzonowy, drugi ząb przedtrzonowy, pierwszy ząb przedtrzonowy, kieł, siekacz boczny, siekacz centralny (18).

Innym sposobem radiologicznym oceny wieku zębowego jest metoda Schoura i Masselera (14). Autorzy, na podstawie badań rozwoju zarówno zębów mlecznych jak i stałych, skonstruowali chronologiczny schemat rozwoju wszystkich zębów. Opisuje on 21 etapów – od 4. miesiąca do 21. roku życia pacjenta. Jest to metoda atlasowa, oparta na analizie zdjęcia pantomograficznego. Stadia mineralizacji zębów są dopasowywane do odpowiednich dla danego wieku obrazów, przypisanych w atlasie dla dziewcząt i chłopców. Jest to metoda holistyczna, oceniająca wszystkie zęby jednocześnie (14, 20).

Moore's Fanning i Hunt (14, 20) analizowali zdjęcia pantomograficzne oraz cefalometryczne i na ich podstawie wyróżnili 14 faz mineralizacji rozwijających się zębów jedno- i wielokorzeniowych. Dla każdej z nich jest przypisany wiek biologiczny.

Kolejny sposób oceny wieku zębowego to metoda Nolli, która dotyczy uzębienia stałego i może być wykorzystana do oceny poszczególnych zębów w szczęce i żuchwie.

Dental age

There are two methods to assess the dental age – clinical methods and panoramic radiography (18, 19).

Clinical methods, including an assessment of individual teeth or dental groups in a patient, allow to determine the dental age during a routine dental examination. With regard to their advantages, they are easy and fast, but regarding their disadvantages they are imprecise as it takes some time between appearance of a tooth in the oral cavity and the time when it achieves the occlusal plane. Additionally, it is also necessary to consider local factors that might affect the time of tooth eruption such as for example preliminary loss of a deciduous tooth, ankylosis, lack of space for a tooth in the dental arch, permanent teeth crowding or presence of supernumerary teeth.

Radiological methods are more precise, and the Demirjian method is the most popular. It is commonly used to determine the dental age in patients aged between 3 and 17 years. Based on panoramic radiographs the following developmental changes are evaluated: shape of the chamber and canal, degree of formation of enamel and dentin (they vary for single-rooted and multi-rooted teeth), and they are not affected by local factors mentioned above. 7 mandibular teeth are assessed (18, 19). The size of teeth is not analysed because panoramic radiographs are usually associated with magnification of 3–10%. There are 8 stages marked with letters from A to H, and the first stage starts with appearance of a mineralization centre, and the last is associated with complete closure of the apex of a tooth root. Each tooth is assessed individually, values are added, and readings from a table are made separately for boys and girls in order to convert a score into the dental age. Teeth are assessed in the following order: second molar, first molar, second premolar, first premolar, canine, lateral incisor, central incisor (18).

The method by Schour and Masseler is another method of a radiological assessment of the dental age (14). These authors used developmental studies of both deciduous and permanent teeth and developed a chronological diagram for the development of all teeth. It includes 21 stages – from 4 months to 21 years of age. It is an atlas method based on the analysis of panoramic radiographs. Stages of teeth mineralization are assigned to radiographs corresponding to a given age that are provided in the atlas for boys and girls. It is a method presenting a holistic approach as it assesses all teeth at the same time (14, 20).

Moore's Fanning and Hunt (14, 20) analysed panoramic radiographs and cephalograms, and based on these data distinguished 14 phases of mineralisation during development of single-rooted and multi-rooted teeth. Each stage has been assigned with the biological age.

Another method to assess the dental age is the method by Nolli and it regards permanent dentition and may be used to assess individual teeth in the maxilla and mandible. Each tooth is assigned with a specific stage (1 to 10), the score is

Każdemu z zębów jest przypisywane określone stadium (od 1 do 10), wynik zostaje zsumowany dla całego uzębienia, a odczyty wieku są dokonywane z tabeli, również z podziałem na płeć dziecka (20).

Metoda oceny wieku na podstawie otwartych wierzchołków rozwijających się zębów opiera się na wyliczeniu proporcji długości komory miazgi opona do długości jego korony (tylko dla zębów przedtrzonowych i trzonowych żuchwy), i na tej podstawie odczytuje się wiek pacjenta (20).

Stosuje się również ocenę rozwoju trzeciego zęba trzonowego szczęki, która jest szczególnie przydatna po 17. roku życia, kiedy inne metody stają się bezużyteczne. Metoda Harris i Nortje'a wyróżnia 5 faz rozwoju zęba mądrości. Pierwsza charakteryzuje się rozwojem 1/3 korzenia tego zęba i przypisuje się jej wiek 15,8 +/- 1,4 lat, a ostatnia jest definiowana jako zbieżność ścian kanału i odpowiada wiekowi chronologicznemu 19,2 +/- 1,2 lat (20).

System van Heerdena wyróżnia również 5 stadiów, ale ocenie podlega jedynie korzeń mezialny trzeciego zęba trzonowego (20).

Drugorzędowe cechy płciowe

Dokładne badanie podmiotowe i przedmiotowe pozwala na ocenę drugorzędowych cech płciowych, a tym samym na uzyskanie odpowiedzi, w jakim punkcie na krzywej wzrostu znajduje się pacjent. Czas wzrostu pokwitaniowego, obejmujący szczyt wzrostu ciała na wysokość, się jest różny u dziewcząt i chłopców. U dziewcząt zaczyna się wcześniej, według autorów około 10. roku życia i trwa 3,5 roku, natomiast u chłopców występuje 2 lata później i trwa około 5 lat.

U dziewczynki jest on podzielony na 3 etapy. Pierwszy charakteryzuje pojawienie się piersi oraz pierwszych włosów łonowych. Drugi występuje około roku później, obejmuje maksymalną akcelerację wzrostu oraz wyraźny rozwój piersi, owłosienia łonowego i pod pachami. Trzeci charakteryzuje terminację skoku pokwitaniowego, wystąpienie menstruacji, poszerzenie bioder, z charakterystycznym rozmieszczeniem tkanki tłuszczowej i występuje od roku do półtora po ukończeniu poprzedniego stadium.

U chłopców czas wzrostu pokwitaniowego dzieli się na 4 fazy. Pierwsza z nich rozpoczyna się wraz ze zwiększeniem masy ciała i z żeńskim rozkładem tkanki tłuszczowej. Druga faza (około roku później) charakteryzuje się przyspieszeniem wzrostu, zmianą rozmieszczenia tkanki tłuszczowej, pojawieniem się włosów łonowych i wzrostem męskich narządów płciowych. Trzeci etap, 8–12 miesięcy po poprzednim, to maksymalne przyspieszenie wzrostu, wraz z ukazaniem się owłosienia nad górną wargą, pod pachami, wzrostem mięśni oraz zamiany głosu na głos pokwitaniowy (mutacja). Ostatnia faza, 15–24 miesięcy później, to zakończenie skoku pokwitaniowego, pojawienie się zarostu na brodzie i w otoczeniu warg, osiągnięcie kształtu sylwetki typowego dla mężczyzny oraz męskiego głosu (8, 9, 13).

added for the whole dentition and readings of age are made from tables, separate for two sexes (20).

The method to assess the age based on open apices of developing teeth is based on the calculation of the ratio of the length of the dental pulp chamber to the length of its crown (only for mandibular premolars and molars) and this value is used to read the patient's age (20).

Additionally, the method to assess development of the third molar in the maxilla is used and it is especially useful in patients older than 17 years when other methods can no longer be used. The Harris and Nortje method distinguishes 5 phases of development of the third molar. The first stage includes development of 1/3 of a root of this tooth and it is observed at the age of 15.8 +/- 1.4 years, whereas the last stage is defined as convergence of the canal walls and it corresponds to the chronological age of 19.2 +/- 1.2 years (20).

The van Heerden system also distinguishes 5 stages but only the mesial root of the third molar is assessed. (20).

Secondary sex characteristics

A detailed physical examination combined with a medical history makes it possible to assess secondary sex characteristics, and to obtain an answer where the patient is on the growth curve. The time of the post-pubertal growth including the peak growth in height varies in girls and in boys. In girls it starts earlier, according to the authors around the age of 10 years and last for 3.5 years, whereas in boys it is observed 2 years later and lasts for approximately 5 years.

In girls it is divided into 3 stages. The first stage is associated with breast development and the first pubic hair. The second stage is observed one year later, and it consists of maximum growth acceleration and visible development of breasts, pubic hair and underarm hair. The third stage completes the growth spurt and is associated with menstruation, hip widening, characteristic distribution of the fat tissue and can be observed one year to one and a half year after the previous stage.

In boys the period of pubertal growth spurt can be divided into 4 phases. The first one is associated with a body weight increase and female distribution of the fat tissue. The second phase (approximately one year later) is associated with growth acceleration, change in the distribution of the fat tissue, appearance of pubic hair and development of male genital organs. The third phase, 8–12 months after the previous one, is associated with maximum growth acceleration, development of hair on the upper lip, underarm hair, muscle growth and a voice change (a voice mutation). The last phase, 15–24 months later, includes termination of the growth spurt, development of beard hair and hair around lips, a body change into a typical male silhouette and male voice (8, 9, 13).

The majority of these characteristics are not assessed by an orthodontist. The assessment of the development of secondary sex characteristics is mainly associated with

Dental age, bone age, chronological age – a literature review

Większość tych cech nie podlega ocenie przez lekarza ortodontę. Ocena rozwoju drugorzędowych cech płciowych dotyczy więc przede wszystkim pytania o menstruację u dziewcząt oraz głosu pokwitaniowego u chłopców. Pierwsza miesiączka występuje średnio w wieku 13–17 lat \pm 2,5 miesiąca po maksymalnym skoku wzrostowym (punkt zakończenia skoku wzrostowego na krzywej). Głos pokwitaniowy pojawia się 0,2 roku przed, natomiast głos męski – 0,9 roku po maksymalnym przyroście sylwetki na wysokość (głos pokwitaniowy lub męski występuje u 85% chłopców w najwyższym punkcie krzywej wzrostu). U wszystkich stwierdza się głos męski w punkcie zakończenia skoku wzrostowego. Pytania dotyczące menstruacji u dziewcząt powinny rutynowo pojawiać się podczas wizyt ortodontycznych począwszy od 10. roku życia, natomiast na temat zmiany głosu u chłopców – po 11. roku życia (8, 9).

Dyskusja**Korelacja wskaźników biologicznych**

Wielu autorów badało zależności między wiekiem metrykalnym, zębowym a kostnym, a w szczególności możliwość wyznaczenia na ich podstawie wspomnianych powyżej trzech strategicznych punktów okresu okołopokwitaniowego na krzywej wzrostu pacjenta. Oceniano również dokładność oraz kliniczną przydatność wskaźników.

Najczęściej stosowanymi metodami oceny wieku szkieletowego jest analiza kręgów szyjnych na zdjęciu cefalometrycznym oraz kości na zdjęciu dłoni i nadgarstka. Przeprowadzono wiele badań mających na celu porównanie obu metod. Rasool i wsp. (1) badali korelację między wiekiem szkieletowym obliczanym na podstawie analizy zdjęcia dłoni i nadgarstka metodą Björka oraz kręgów szyjnych zmodyfikowaną metodą Baccettiego. Wykazano wysoką współzależność między nimi (wyższa u dziewcząt oraz w młodszych grupach wiekowych). Według autorów można je stosować zamiennie.

CVMS1 odpowiada stadium 1–3 wg Björka (stadium poprzedzające przyspieszenie wzrostu ciała).

CVMS2 – stadium nr 4 według Björka (akceleracja wzrostu).

CVMS3 – stadium nr 5 według Björka (okres skoku wzrostowego).

CVMS4 – stadium 6–7 według Björka (spowolnienie wzrostu).

CVMS5 – stadium 8–9 według Björka (zakończenie wzrostu) (1).

Te same zależności badali Gandini i wsp., uzyskując identyczne wyniki (21). Rekomendują oni stosowanie metody oceny morfologii kręgów szyjnych jako wskaźnika dojrzałości szkieletowej, który jest tak samo dokładny, jak analiza zdjęcia dłoni i nadgarstka (zgodność 83,3%), a nie wymaga dodatkowej ekspozycji pacjenta na promieniowanie rentgenowskie (21).

Belt i wsp. (22) badali kompatybilność metod oceny wieku szkieletowego: morfologii kręgów szyjnych oraz dłoni

questions about menstruation in girls and a voice change in boys. The first menstruation is usually observed at the age of 13–17 years \pm 2.5 months after the maximum growth spurt (a point of the completed growth spurt on a curve). The pubertal voice appears 0.2 years before and the male voice 0.9 years after the maximum body growth in height (a pubertal or male voice is observed in 85% of boys at the highest point of the growth curve). In all subjects a male voice is observed on completion of the growth spurt. Questions regarding menstruation in girls should be routinely asked during orthodontic visits since the age of 10 years, whereas regarding a voice mutation in boys – after the age of 11 years (8, 9).

Discussion**Correlation of biological indices**

Many authors studied correlations between the chronological, dental and bone age, and especially whether it was possible to calculate it based on three strategic points in the peripubertal period on a patient's growth curve mentioned above. Additionally, the precision and clinical applicability of such indices were assessed.

The most common methods to determine the skeletal age include an analysis of the cervical vertebrae on a cephalogram and an analysis of bones on radiographs of the hand and wrist. There have been many studies performed to compare these methods. Rasool et al. (1) studied a correlation between the skeletal age calculated using an analysis of radiographs of the hand and wrist with the Björk method and of the cervical vertebrae with the modified Bacetti method. A high mutual correlation between these methods was demonstrated (higher in girls and in younger age groups). According to the authors they may be used interchangeably.

CVMS1 corresponds to the stage 1–3 by Björk (a stage preceding the acceleration of the body height growth).

CVMS2 – stage 4 by Björk (growth acceleration).

CVMS3 – stage 5 by Björk (period of the growth spurt).

CVMS4 – stage 6–7 by Björk (growth slow down).

CVMS5 – stage 8–9 by Björk (growth completion) (1).

The same correlations were studied by Gandini et al. who achieved identical results (21). They recommend to use a method to assess morphology of the cervical vertebrae as an index of skeletal maturity as it is as precise as an analysis of radiographs of the hand and wrist (compliance of 83.3%), but it is not associated with any additional patient's exposure to X-rays (21).

Belt et al. (22) studied compatibility of methods to assess the skeletal age: morphology of the cervical vertebrae and of the hand and wrist (according to Greulich and Pyle), and their conclusions were different as differences between methods were significant: \pm 3.5 years for boys, \pm 3.3 years for girls (22).

i nadgarstka (wg Greulich i Pyle), wysnuwając inne wnioski, ponieważ różnice między metodami okazały się znaczące: $\pm 3,5$ roku dla chłopców, $\pm 3,3$ roku dla dziewcząt (22).

Największą zaletą oceny wieku szkieletowego za pomocą analizy zdjęcia cefalometrycznego jest brak dodatkowej ekspozycji pacjenta na promieniowanie rentgenowskie. W pracy Patcasa i wsp. (3) stwierdzono, że dawka efektywna dla konwencjonalnego zdjęcia cefalometrycznego, wykonywanego bez ochrony na tarczycę, wynosi 5,03 μsv . Tarczyca jest organem niezmiernie wrażliwym na promieniowanie rentgenowskie. Jednak ze względu na jej położenie, zastosowanie kołnierza ochronnego uniemożliwia ocenę wieku kostnego za pomocą analizy kręgów szyjnych, ponieważ kołnierz zmniejsza dawkę efektywną promieniowania do 1,73 μsv , natomiast konwencjonalne zdjęcie dłoni i nadgarstka to zaledwie 0,16 μsv . Oznacza to, że wykonanie zdjęcia cefalometrycznego z kołnierzem ochronnym na tarczycę oraz zdjęcia dłoni i nadgarstka generuje dawkę efektywną promieniowania mniejszą o 31% niż wykonanie zdjęcia telerentgenograficznego, bez ochrony na ten promienioczuły organ (3).

W badaniach Nestmana i wsp. (23) zarejestrowano inne niedoskonałości metody oceny kręgów szyjnych. Kilku praktykujących ortodontów z długoletnim stażem (7–40 lat), i po odpowiednim przeszkoleniu, oceniało obecność wklęsłości na dolnej granicy C2, C3, C4, klasyfikowało kształt C3 i C4 jako trapezoidalny, prostokątny horyzontalnie, wertykalnie lub kwadratowy, przypisując obraz radiologiczny odpowiedniemu stadium rozwoju kostnego. Zauważono dużą powtarzalność wyników w ocenie wklęsłości na dolnych granicach kręgów, natomiast trudności i niską powtarzalność w ocenie kształtów C3 i C4 (23).

W analogicznych badaniach Gabriel i wsp. (24) odnotowali umiarkowaną zgodność wyników między lekarzami (poniżej 50%), jak również między wynikami uzyskanymi przez tego samego ortodontę po powtórnych badaniach w 3 tygodnie po pierwszej obserwacji (62% zgodności). W przypadku rozbieżności odnośnie do danego stadium, jej zakres był szeroki (różnica 2 lub więcej stadiów) w 25% przypadków (24).

Ze względu na wspomniane powyżej wady, metodą rekomendowaną i miarodajną do oceny wieku szkieletowego wydaje się być ocena wieku kostnego na podstawie konwencjonalnych zdjęć radiologicznych dłoni i nadgarstka (22, 23, 24, 25).

Przydatność oceny wieku chronologicznego do wyznaczenia okresu okołopokwitaniowego jest kontrowersyjna. Według Melliona i wsp. (25) początek skoku wzrostowego ciała, twarzy i żuchwy przypada średnio na 10. rok życia dla dziewcząt, natomiast 12. rok życia dla chłopców. Szczyt wzrostu ciała, twarzy i żuchwy odnotowano w wieku 12 lat u dziewcząt i 14,0 u chłopców. Wiek chronologiczny okazał się być dobrym wskaźnikiem dla płci męskiej, ale wykazywał wartości zawyżone o około 6–12 miesięcy dla płci żeńskiej (25).

The greatest advantage of the method to assess the skeletal age using an analysis of cephalograms is lack of additional patient's exposure to X-rays. The paper by Patcas et al. (3) demonstrated that an effective dose for a conventional cephalogram performed without a thyroid shield is 5.03 μsv . The thyroid is an organ that is highly sensitive to X-rays. However, due to its location, the use of a protective shield makes it impossible to assess the bone age using an analysis of the cervical vertebrae because a shield reduces the effective dose of radiation to 1.73 μsv , and a conventional X-ray of the hand and wrist is only 0.16 μsv . It means that taking a cephalogram with a protective thyroid shield and a radiograph of the hand and wrist is associated with the effective dose of radiation which is by 31% lower than a teleradiograph without a shield of this organ sensitive to radiation (3).

The studies by Nestman et al. (23) reported other disadvantages of this method to assess the cervical vertebrae. Several orthodontic practitioners with many-year experience (7–40 years) and after specialised training assessed concavities present on the lower border of C2, C3, C4, classified the shapes of C3 and C4 as trapezoid, horizontal or vertical rectangular, square, and assigned a radiograph to a specific stage of bone development. It was observed that results regarding concavities along the lower borders of the vertebrae were reproducible, whereas the assessment of shapes of C3 and C4 was difficult and poorly reproducible (23).

In similar studies Gabriel et al. (24) reported moderate compliance of results between physicians (below 50%), and between results obtained by the same orthodontist after an examination repeated 3 weeks after the first observation (62% of compatibility). In case of discrepancies regarding a given stage, the range was wide (a difference of at least 2 stages) in 25% of cases (24).

Taking into account disadvantages mentioned above a method which is recommended and reliable with regard to an assessment of the skeletal age should include an assessment of the bone age based on conventional radiographs of the hand and wrist (22, 23, 24, 25).

It is controversial whether the assessment of the chronological age to determine the peripubertal period is useful. According to Mellion et al. (25) the onset of the growth spurt for the body, face and mandible is usually observed at the age of 10 years in girls and 12 years in boys. The peak growth of the body, face and mandible was observed at the age of 12 years in girls and 14.0 years in boys. The chronological age turned out to be a good index in boys but was associated with values that were overestimated by 6–12 months in girls (25).

The same mean values of the chronological age for the growth spurt, namely 12 years in girls and 14 years in boys, were demonstrated by Lewis. According to the author, it is possible to detect this period in the majority of patients using these data (22).

Dental age, bone age, chronological age – a literature review

Te same wartości średnie wieku metrykalnego dla skoku wzrostowego, tj. 12 rok życia u dziewcząt i 14 rok życia u chłopców, wykazano w pracy Lewisa. Według autora, bazując na tych danych, u przeważającej części pacjentów istnieje możliwość detekcji tego okresu (22).

Zbliżone przedziały wiekowe podają Hagg i wsp. (9) – początek skoku wzrostowego zanotowano u 10-letnich dziewcząt i 12,1-letnich chłopców. Szczyt wzrostu występował 2 lata później (odpowiednio 12 rok życia i 14,1 rok życia), natomiast zakończenie skoku wzrostowego to 14,8 rok życia dla płci żeńskiej i 17,1 rok życia dla płci męskiej. Zanim późno dojrzewający pacjenci wchodzili w fazę przyspieszenia wzrostu, wcześniej dojrzewający kończyli skok wzrostowy. Różnice sięgały nawet 6 lat dla dziewcząt i 8 lat dla chłopców (9).

Franchi i wsp. (10) uznali, że wiek chronologiczny nie może być precyzyjnym wskaźnikiem dojrzałości biologicznej. Skok wzrostowy przypada na okres między fazą Cvs3 a Cvs4, co dotyczyło 100% chłopców i 87% dziewcząt (średnio 93,5% pacjentów). Stadium trzecie odpowiada wiekowi chronologicznemu: dziewczęta od 8 lat 6 miesięcy do 11 lat 5 miesięcy, chłopcy 10–14 lat (10).

Innym wskaźnikiem dojrzałości biologicznej jest ocena wieku zębowego. Wielu autorów badało ten parametr za pomocą najpopularniejszej metody Demirjiana, dokonując porównania z wiekiem chronologicznym oraz szkieletowym pacjenta. Wg Bagheriana i wsp. (26) wiek zębowy oceniany metodą Demirjiana różnił się od wieku chronologicznego o średnio 0,19 +/- 0,5 roku (0,15 +/- 0,51, tj. 55 dni wśród chłopców; 0,21 +/- 0,49, tj. 77 dni u dziewczynek). U chłopców wiek zębowy dominował nad chronologicznym w przypadku młodszych grup wiekowych, natomiast u starszych chłopców sytuacja ulegała konwersji. U dziewcząt wiek zębowy prawie zawsze wyprzedzał chronologiczny (wyjątek grupa 7,5–8,5-letków). Poniżej 8,5 roku życia u chłopców rejestrowano wyższe lub równe wartości wieku zębowego w porównaniu do dziewcząt, jednak po tym okresie sytuacja ulegała odwróceniu. Prawdopodobnie jest to związane z wcześniejszym dojrzewaniem płci żeńskiej (26).

W badaniach Lewisa wiek zębowy również wyprzedzał wiek chronologiczny nawet o 36 miesięcy, ale w ponad 40% przypadków o mniej niż 6 miesięcy (41,6% – chłopcy, 44,4% – dziewczęta) (27).

Lewis (27) dokonał również porównania wieku zębowego oraz kostnego. Wiek zębowy był określany metodą Boltona (analiza zdjęcia P-A i bocznego cefalometrycznego), natomiast wiek szkieletowy za pomocą atlasu Greulich i Pyle. Różnica między nimi sięgała nawet 36 miesięcy (bardziej zaawansowany był wiek zębowy). Tylko w poniżej 40% pacjentów (35,7% – chłopcy, 37,7% – dziewczęta) różnica wynosiła mniej niż 6 miesięcy (27).

Surendran i wsp. (19) badali użyteczność metody oceny wieku szkieletowego (ocena paliczka środkowego trzeciego palca) na podstawie wieku zębowego (ocenie podlegał kiel,

Similar age ranges are reported by Hagg et al. (9) – the onset of the growth spurt was observed at the age of 10 years in girls and 12.1 years in boys. The peak growth was observed 2 years later (12 years and 14.1 years, respectively), on the other hand, the end of the growth spurt is observed at the age of 14.8 years in girls and 17.1 years in boys. Before subjects with delayed puberty started their growth acceleration phase, subjects with early puberty completed their growth spurt. Differences were even 6 years for girls and 8 years for boys (9).

Franchi et al. (10) concluded that the chronological age could not be used as a precise index of biological maturity. The growth spurt is observed in the period between the stage Cvs3 and Cvs4, and it was observed in 100% of boys and 87% of girls (93.5% of patients on average). The third stage corresponds to the chronological age: girls: between 8 years and 6 months to 11 years and 5 months, boys: 10–14 years (10).

An assessment of the dental age is another index of biological maturity. Many authors used to study this parameter with the Demirjian method, which is the most popular, and compared the result with the patient's chronological and skeletal age. According to Bagherian et al. (26) the dental age assessed with the Demirjian method differed from the chronological method by 0.19 +/- 0.5 year on average (0.15 +/- 0.51, namely 55 days for boys; 0.21 +/- 0.49, namely 77 days for girls). In boys, the dental age was higher than the chronological age in younger age groups, whereas it was the opposite in older boys. In girls, the dental age almost always preceded the chronological age (exception: a group of 7.5–8.5-year-olds). In boys younger than 8.5 years the values of the dental age were higher or equal than the values in the girls; however, after this period a situation was reversed. It is probably associated with earlier puberty of girls (26).

In the studies by Lewis the dental age also preceded the chronological age even by 36 months, but in more than 40% of cases by less than 6 months (41.6% – boys, 44.4% – girls) (27).

Lewis (27) also compared the dental and bone age. The dental age was determined with the Bolton method (an analysis of PA radiographs and lateral cephalograms), whereas the skeletal age was assessed with the atlas by Greulich and Pyle. A difference between these values was even 36 months (the dental age was more advanced). Only in below 40% of patients (35.7% – boys, 37.7% – girls) a difference was below 6 months (27).

Surendran et al. (19) studied the utility of a method to assess the skeletal age (an assessment of the middle phalanx of the third finger) based on the dental age (an assessment of the canine, first and second premolars, second molar in the mandible according to the Demirjian method). The authors concluded that the assessment of the dental age made it possible only to determine the prepubertal phase (stage E for the first premolar and a combination of phases

pierwszy i drugi ząb przedtrzonowy, drugi ząb trzonowy w żuchwie metodą Demirjiana). Autorzy stwierdzili, że ocena wieku zębowego pozwala zaledwie na określenie fazy przedpokwitaniowej (stadium E pierwszego zęba przedtrzonowego oraz kombinacja faz: FEED dla kła, pierwszego zęba przedtrzonowego, drugiego zęba przedtrzonowego, drugiego zęba trzonowego) i popokwitaniowej (stadium H dla drugiego zęba trzonowego), bez możliwości wskazania szczytu wzrostu (19).

Podobne badania przeprowadzili Perinetti i wsp. (28), tym razem oceniając wiek szkieletowy na podstawie morfologii kręgów szyjnych, natomiast zębowy – metodą Demirjiana. Zauważono, że poziom rozwoju kła, pierwszego i drugiego zęba przedtrzonowego oraz drugiego zęba trzonowego w żuchwie może służyć jedynie do diagnozy przedpokwitaniowej fazy wzrostu. Natomiast żaden z zębów nie okazał się być odpowiednim wskaźnikiem okresu popokwitaniowego (tylko drugi ząb trzonowy uzyskiwał wyniki zbliżone do satysfakcjonujących), a tym bardziej – okresu skoku wzrostowego (28).

Nieco inne wyniki uzyskali Uysal i wsp. (ocena wieku zębowego metodą Demirjiana, szkieletowego – metodą Björka), którzy uznali wiek zębowy jako klinicznie użyteczny wskaźnik dojrzewania. Zakończenie formowania się korzenia kła oraz pierwszego zęba przedtrzonowego przypadało na fazę MP3cap u większości badanych pacjentów (15).

W pracy Baccettiego i wsp. oceniano korelację między czasem wyrzynania się kła szczęki (przeciętnie 12. rok życia u dziewcząt, 13. rok życia u chłopców) a dojrzałością szkieletową na podstawie morfologii kręgów szyjnych. Erupcja stałego kła występowała w każdej z faz w okresie przedpokwitaniowym i skoku wzrostowym (fazy CS1-CS4), ale nie później (jeżeli ząb nie pojawił się w tym czasie, świadczyło to o jego impakcji, która występuje średnio w 0,8–3,6% przypadków). W przeważającej części (56,6%) kiel wyrzynał się w fazie przedpokwitaniowej (29).

Wnioski

W celu określenia optymalnego momentu rozpoczęcia leczenia ortodontycznego można posłużyć się następującymi wskaźnikami:

1. Wiek dziecka. Nie jest to wskaźnik precyzyjny, ale zakłada się, że szczyt skoku wzrostowego przypada przeciętnie na wiek 12 lat u dziewcząt i 14 lat u chłopców (9, 10, 22, 25).
2. Indywidualna krzywa wzrostu pacjenta, siatki centylowe. Jest to metoda dokładna, ale jej wadą jest konieczność regularnych, wieloletnich pomiarów wysokości ciała, detekcja szczytu skoku wzrostowego zwykle po jego wystąpieniu (wierzchołek krzywej) oraz niewielkie wartości skoku wzrostowego u części dziewcząt, czyniące go klinicznie niezauważalnym (8, 9, 10).

FEED for the canine, first premolar, second premolar, second molar) and postpubertal phase (stage H for the second molar); however, it was not possible to determine the peak growth (19).

Similar studies were performed by Perinetti et al. (28) who assessed the skeletal age based on the morphology of the cervical vertebrae, and the dental age with the Demirjian method. It was observed that the degree of development of the canine, first and second premolar and second molar in the mandible may be used only to diagnose the prepubertal growth phase. However, it turned out that none of the teeth could be used as an appropriate indicator of the postpubertal period (the results were only close to satisfactory only for the second molar), or the period of growth spurt (28).

Uysal et al. (an assessment of the dental age with the Demirjian method, of the skeletal age – with the Björk method) obtained slightly different results and they considered the dental age to be a clinically useful indicator of maturation. The end of formation of a canine root and the first premolar was in the phase MP3cap in the majority of studied patients (15).

The paper by Bacetti et al. assessed a correlation between the time of eruption for the maxillary canine (usually 12 years in girls, 13 years in boys) and skeletal maturity based on the morphology of the cervical vertebrae. The eruption of the permanent canine was observed in each phase in the prepubertal period and growth spurt (phases CS1-CS4), but not later (if a tooth had not appeared in this time it would have indicated its impaction that is usually observed in 0.8–3.6% of cases). In the majority (56.6%) the canine eruption was observed in the prepubertal phase (29).

Conclusions

In order to determine the optimum onset of orthodontic treatment the following indicators can be used:

1. Child's age. It is not a precise indicator, but it assumes that the peak growth spurt is usually observed at the age of 12 years in girls and 14 years in boys (9, 10, 22, 25).
2. Patient's individual growth curve, centile charts. It is a precise method but its disadvantage includes the need to perform regular measurements of the body height for many years; detection of the peak growth spurt is usually possible after it happened (a peak of the curve) and due to low values of the growth spurt in some girls, it can be missed clinically (8, 9, 10).
3. Skeletal age. Sometimes a "gold standard" included determination of the bone age based on radiographs of the hand and wrist. Currently, the most common method is an assessment of the maturity of the cervical vertebrae on a cephalogram. Its main advantage is the use of routine telerradiographs that are necessary in orthodontic diagnostics. However, many authors claim it is not precise as it is difficult to find subtle

Dental age, bone age, chronological age – a literature review

3. Wiek szkieletowy. Niegdyś „złotym standardem” było określanie wieku kostnego na podstawie zdjęcia dłoni i nadgarstka. Obecnie najpopularniejszą metodą jest analiza dojrzałości kręgów szyjnych na zdjęciu cefalometrycznym. Jej główną zaletą jest wykorzystanie rutynowo wykonywanych zdjęć teleroentgenograficznych niezbędnych w diagnostyce ortodontycznej. Jednak wielu autorów kwestionuje jej dokładność, ze względu na trudności w odszukaniu subtelných różnic między poszczególnymi fazami. Ponadto zdjęcie cefalometryczne wykonywane bez kołnierza na tarczycę generuje wyższe dawki promieniowania niż zdjęcie dłoni i nadgarstka plus zdjęcie boczne głowy z osłoną na ten promienioczuły organ (2, 3, 7, 14, 15, 23, 24).
4. Wiek zębowy. Najprostsze metody kliniczne są bardzo niedokładne ze względu na wpływ czynników miejscowych na proces wyrzynania zębów. Najpopularniejszą metodą radiologiczną jest metoda Demirjiana, ale ponieważ pomaga wskazać jedynie okres przedpokwiatniowy, to nie ma ona większego znaczenia klinicznego (15, 18, 19, 28).
5. Ocena drugorzędowych cech płciowych. Pytanie o wystąpienie menstruacji u dziewcząt oraz głosu pokwitaniowego lub męskiego u chłopców pozwala na orientacyjne określenie wystąpienia szczytu skoku wzrostowego. Odpowiedź pozytywna oznacza, że ten okres dziecko ma już za sobą (8, 9).

Nie ma idealnej metody, która bezbłędnie umożliwiłaby wyznaczenie szczytu skoku wzrostowego pacjenta. Lekarz ortodonta rutynowo powinien zadawać pytanie odnośnie aktualnego wieku pacjenta, wystąpienia menstruacji u dziewcząt od 10 roku życia, natomiast w przypadku chłopców – o pojawienie się głosu pokwitaniowego i męskiego od 11 roku życia, a także wykonywać pomiary wysokości ciała pacjenta podczas badania klinicznego w odstępach 6–12 miesięcznych. Dokumentacja radiologiczna w postaci zdjęcia pantomograficznego i cefalometrycznego umożliwia określenie wieku zębowego oraz szkieletowego. Dopiero wszystkie uzyskane w ten sposób informacje pozwalają określić optymalny moment rozpoczęcia terapii ortodontycznej.

differences between various phases. Additionally, a cephalogram taken without a thyroid shield is associated with higher doses of radiation than a radiograph of the hand and wrist plus a lateral radiograph of the head with protection of the thyroid, an organ so sensitive to radiation (2, 3, 7, 14, 15, 23, 24).

4. Dental age. The simplest clinical methods are extremely imprecise due to the effects of local factors on tooth eruption. The Demirjian method is the most common radiological method, but it only helps indicate the prepubertal period, therefore its clinical significance is low (15, 18, 19, 28).
5. Assessment of secondary sex characteristics. Questions regarding menstruation in girls and a pubertal or male voice in boys help determine the presence of the peak growth spurt to some extent. A positive answer indicates this period has already passed (8, 9).

There is no ideal method to determine the patient's peak growth spurt without any errors. An orthodontist should ask routine questions regarding the patient's current age, presence of menstruation in girls since the age of 10 years, and in case of boys, questions about the postpubertal and male voice since the age of 11 years, as well as they should perform body height measurements during a clinical examination at 6–12-month intervals. Based on radiological documentation including panoramic radiographs and cephalograms it is possible to determine the dental and skeletal age. It is possible to determine the optimum time to start orthodontic therapy only when all such information has been obtained.

Piśmiennictwo / References

1. Rasool G, Bashir U, Kundi IU. Comparative evaluation between cervical vertebrae and hand- wrist maturation for assessment of skeletal maturity orthodontic patients. *Pak Oral Dental J* 2010; 30: 85-95.
2. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. The Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Optimal Treatment Timing in Dentofacial Orthopedics. *Semin Orthod* 2005; 11: 119-29.
3. Patches R, Signorelli L, Peltomäki T, Schätzle M. Is the use of the cervical vertebrae maturation method justified to determine skeletal age? A comparison of radiation dose of two strategies for skeletal age estimation. *Eur J Orthod* 2013; 35: 604-9.
4. Łysiak-Seichter M. Ocena dojrzałości szkieletowej w ortodoncji – przegląd piśmiennictwa, *Forum Ortod* 2007; 3: 6-14.
5. Haiter- Neto F, Kurita LM, Menezes AV, Casanova MS. Skeletal age assessment: A comparison of 3 methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthod* 2006; 130: 435.e15-20.

6. Sobieska E, Fester A, Nieborak M, Zadurska M. Metody oceny wieku zębowego u pacjentów w wieku rozwojowym – przegląd piśmiennictwa. *Forum Ortod* 2015; 11: 36-48.
7. Klimas Z, Nowotoczyński M, Flieger R. Diagnostyka wieku szkieletowego dzieci z normą zgryzową i dzieci z hipodoncją. *Now Lek* 2010; 79: 163-6.
8. Bjork A, Helm S. Prediction of the age of maximum pubertal growth in body height. *Angle Orthod* 1967; 37: 134-43.
9. Hägg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod* 1982; 82: 299-309.
10. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA. Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118: 335-40.
11. Natale V, Rajagopalan A. Worldwide variation in human growth and the World Health Organization growth standards: a systematic review. *BMJ Open* 2014; 4: e003735.
12. Aburawi E, Nagelkerke N, Deeb A, Abdulla S, Abdulrazzaq YM. National Growth Charts for United Arab Emirates Children With Down Syndrome From Birth to 15 Years of Age. *J Epidemiol* 2015; 25: 20-9.
13. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. *Ortodoncja współczesna* Elsevier 2010; 29-33 i 172-3.
14. Mughal AM, Hassan N, Ahmed A. Bone age assessment methods: A critical review. *Pak J Med Sci* 2014; 30: 211-15.
15. Uysal T, Sari Z, Ramoglu SI, Basciftci FA. Relationships between dental and skeletal maturity in Turkish subjects. *Angle Orthod* 2004; 74: 657-64.
16. Hegde DY, Baliga S, Yeluri R, Munshi AK. Digital radiograph of the middle phalanx of the third finger (MP3) region as a tool for skeletal maturity assessment. *Indian J Dent Res* 2012; 23: 447-53.
17. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod* 2002; 72: 316-23.
18. Demirjian A. A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 1973; 45: 211-27.
19. Surendran S, Thomas E. Tooth mineralization stages as a diagnostic tool for assessment of skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 145: 7-14.
20. Panchbhai AS. Dental radiographic indicators, a key to age estimation. *Dentomaxillofac Rad* 2010; 40: 199-212.
21. Gandini P, Mancini M, Andreani F. A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *Angle Orthod* 2006; 76: 984-9.
22. Beit P, Peltomäki T, Schätzle M, Signorelli L, Patcas R. Evaluating the agreement of skeletal age assessment based on hand-wrist and cervical vertebrae radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 838-47.
23. Nestman TS, Marshall SD, Qian F, Holton N, Franciscus RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 182-8.
24. Gabriel DB, Southard KA, Qian F, Marshall SD, Franciscus RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method: poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 478-80.
25. Mellion ZJ, Behrents RG, Johnston LE Jr. The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 143: 845-54.
26. Bagherian A, Sadeghi M. Assessment of dental maturity of children aged 3.5 to 13.5 years using the Demirjian method in an Iranian population. *J Oral Sci* 2011; 53: 37-42.
27. Lewis AB. Comparison between dental and skeletal ages. *Angle Orthod* 1990; 61: 87-92.
28. Perinetti G, Contardo L, Gabrieli P, Baccetti T, Di Lenarda R. Diagnostic performance of dental maturity for identification of skeletal maturation phase. *Eur J Orthod* 2012; 34: 487-92.
29. Baccetti T, Franchi L, De Lisa S, Giuntini V. Eruption of the maxillary canines in relation to skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133: 748-51.