

**Rozwój i wzrost części  
twarzowej czaszki w  
poszczególnych klasach  
szkieletowych w populacji  
ludzkiej.  
Przegląd piśmiennictwa**

***Development and growth of  
the facial skeleton in individual  
skeletal classes in the human  
population.  
Literature review***

**Anahit Hovhannisyan<sup>1</sup> **A B D E F****  
**Jolanta Kostrzewska-Janicka<sup>2</sup> **A B D E****  
**Małgorzata Zadurska<sup>3</sup> **D E****  
**Elżbieta Mierzwińska-Nastalska<sup>4</sup> **D 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

<sup>1,2,4</sup> Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
*Department of Prosthodontic, Medical University of Warsaw*

<sup>3</sup> Zakład Ortodontji, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
*Prosthodontic Department, Medical University of Warsaw*

**Streszczenie**

Badania dotyczące rozwoju części twarzowej czaszki oraz zrozumienie podstaw morfogenetycznych poszczególnych rodzajów klas szkieletowych są ważne nie tylko ze względów poznawczych, ale także klinicznych w aspekcie leczenia pacjentów zgodnie z fenotypem osobniczym. **Cel.** Celem pracy była analiza piśmiennictwa dotycząca rozwoju i wzrostu

**Abstract**

Studies regarding development of the facial skeleton and understanding of morphogenetic background of various types of skeletal classes are important not only from a cognitive point of view, but also from a clinical one, in relation to treatment of patients according to a personal phenotype. **Aim.** This paper aimed to present a review of

<sup>1</sup> Lek. dent./ DDS

<sup>2</sup> Dr hab. n. med., specjalista protetyki stomatologicznej / DDS, PhD, Associate Professor, Specialist in prosthodontic

<sup>3</sup> Dr hab. n. med., specjalista ortodonta, pedodonta, kierownik Zakładu Ortodontji / DDS, PhD, Specialist in orthodontics and paediatrics dentistry, Associate Professor, Head of the Department of Orthodontics

<sup>4</sup> Prof. dr hab. n. med., specjalista protetyki stomatologicznej, kierownik Katedry Protetyki Stomatologicznej WUM / DDS, PhD, Professor, Specialist in prosthodontic, Head of Department of Prosthodontics WUM

Dane do korespondencji/Correspondence address:

Anahit Hovhannisyan

Katedra Protetyki Stomatologicznej

Nowogrodzka 59, 02-006 Warszawa

e-mail: katedraprotetyki@wum.edu.pl

*Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population*

części twarzowej czaszki w aspekcie klas szkieletowych. **Materiał i metody.** Wykonano przegląd piśmiennictwa z lat 2001–2016, z wykorzystaniem bazy PubMed. Słowa kluczowe, na podstawie których wyszukiwano artykuły to: skeletal class development, skeletal class malocclusion development. Kryteria włączenia opierały się na wyborze oryginalnych prac dotyczących rozwoju i wzrostu kości twarzy w okresie przed- i pourodzeniowym. Kryteria wykluczenia zawierały stwierdzenie prac przeglądowych i opisów przypadków. **Wyniki.** Artykuły wybrane na podstawie kryteriów włączenia wskazują na szereg przyczyn oddziałujących na kierunek morfogenezy części twarzowej czaszki oraz występujące korelacje podczas jej rozwoju. Odróżnienie wzrostu oraz rozwoju fizycznego w okresie przed- oraz pourodzeniowym pozwala na zrozumienie zachodzących procesów. Wśród istotnych czynników występujących w okresie przedurodzeniowym można wymienić między innymi oddziaływanie czołowo-nosowej strefy ektodermalnej, białek shh, białek fgf8, sygnalizację BMP. Czynniki oddziałujące w okresie pourodzeniowym zależą od interakcji strukturalnych, funkcjonalnych, anatomicznych, genetycznych oraz wzorców wzrostowych. Poddano analizie czynniki wpływające na kształtowanie klas szkieletowych, wśród których jest wyróżniany dymorfizm płciowy, wpływ mięśni żucia, wyrzynanie zębów stałych, jakość dróg oddechowych. **Wnioski.** Badania dotyczące rozwoju części twarzowej czaszki oraz zrozumienie podstaw morfogenetycznych poszczególnych rodzajów klas szkieletowych przyczyniają się do poprawy klinicznych aspektów leczenia zgodnie z fenotypem osobniczym i zaburzeniami czynnościowymi związanymi z budową kostną. (Hovhannisyan A, Kostrzewa-Janicka J, Zadurska M, Mierzwińska-Nastalska E. **Rozwój i wzrost części twarzowej czaszki w poszczególnych klasach szkieletowych w populacji ludzkiej. Przegląd piśmiennictwa. Forum Ortod 2018; 14: 48-60**)

Nadesłano: 02.11.2017

Przyjęto do druku: 20.03.2018

**Słowa kluczowe:** rozwój klas szkieletowych, rozwój szkieletowych wad zgryzu

## Wstęp

Rozwój i wzrost części twarzowej czaszki stanowi zagadnienie będące kluczem do objaśnienia morfologii oraz czynności narządu żucia w poszczególnych klasach szkieletowych w leczeniu ortodontycznym, protetycznym i chirurgicznym. Obserwacje oraz badania przeprowadzone przez ostatnie 10 lat poszerzają aktualną wiedzę lekarzy dentyków na powyższy temat, a wyciągnięte z nich wnioski skupiają uwagę na odpowiedniej diagnostyce budowy morfologicznej czaszki. Klasa szkieletowa to z definicji relacja położenia części kostnych szczęk w płaszczyźnie strzałkowej (1). Opiera się

literature regarding development and growth of the facial skeleton in the aspect of skeletal classes. **Material and methods.** A review of the literature from the years 2001–2016 was conducted using the PubMed database. Key words used to search for articles included: skeletal class development, skeletal class malocclusion development. Inclusion criteria were based on selection of original papers regarding development and growth of facial skeleton in the prenatal and postnatal period. Exclusion criteria included review papers and case reports. **Results.** Articles selected based on inclusion criteria indicate there are many reasons affecting a direction of morphogenesis of the facial skeleton and mutual correlations during development. It is possible to understand these processes as a result of distinguishing between growth and physical development in the prenatal and postnatal period. Important factors present in the prenatal period include, among others, the following: interactions of the Frontonasal Ectodermal Zone, shh proteins, fgf8 proteins and BMP signalling. Factors present in the postnatal period depend on structural, functional, anatomical, genetic and growth patterns interactions. The following factors affecting development of skeletal classes were analysed: sexual dimorphism, effects of masticatory muscles, permanent tooth eruption, and quality of the respiratory tract. **Conclusions.** Studies regarding development of the facial skeleton and morphogenetic background of various types of skeletal classes contribute to improvement of clinical aspects of treatment, according to a personal phenotype and any dysfunctions associated with the skeletal structure. (Hovhannisyan A, Kostrzewa-Janicka J, Zadurska M, Mierzwińska-Nastalska E. **Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population. Literature review. Orthod Forum 2018; 14: 48-60**)

Received: 02.11.2017

Accepted: 20.03.2018

**Key words:** skeletal class development, skeletal class malocclusion development

## Introduction

Development and growth of the facial skeleton are key to explain morphology and functions of the masticatory organ in individual skeletal classes with regard to orthodontic, prosthetic and surgical treatment. Observations and studies performed within the last 10 years expand current knowledge of dental surgeons in this field, and their conclusions draw attention to appropriate diagnostic tests aimed at morphology of the skull. By definition, a skeletal class is a relationship between skeletal parts of jaws in the sagittal plane (1). It is based on the assessment of the ANB angle in head scans

na ocenie wielkości kąta ANB ze zdjęć głowy w projekcji bocznej. Światowa Organizacja Zdrowia definiuje wadę zgryzu jako stan narządu żucia, który powoduje wyraźne oszpecenie, znacznie ogranicza czynność żucia i oddychania oraz jest odczuwany przez pacjenta jako upośledzenie (2). Wstępne rozpoznanie wady zgryzu jest ustalane w badaniu klinicznym na podstawie odchylenia od normy zgryzowej (1). Istotne jest również uzupełnienie diagnostyki o badania dodatkowe, takie jak zdjęcia radiologiczne oraz ocena modeli diagnostycznych.

Pierwsza klasyfikacja wad zgryzu została opisana w roku 1899 przez Angle'a, wywołując kontrowersje w świecie nauki (3, 4). Ustalenie pozycji pierwszego zęba trzonowego szczęki, jako punktu odniesienia, wydało się wielu lekarzom niesłuszne. Kontrowersyjne było twierdzenie Angle'a opierające się na tezie, że szczęka jest odpowiednia w swoich rozmiarach i ułożeniu przestrzennym, natomiast zaburzenia występują w obrębie żuchwy (5). Z tego powodu w piśmiennictwie są spotykane także inne klasyfikacje wad zgryzu w zależności od wybranej płaszczyzny referencyjnej (6, 7). Większość z nich jest jednak oparta na wzajemnym położeniu górnych i dolnych pierwszych stałych zębów trzonowych. Klasyfikacja powszechnie obowiązująca w Polsce od 1958 roku, przedstawiona przez Orlik-Grzybowską, jako normę biologiczną definiuje zespół cech morfologicznych, rozwojowych oraz czynnościowych, wpływających na prawidłowy rozwój narządu żucia (8). Wady zgryzu są definiowane w trzech płaszczyznach przestrzennych. W odniesieniu do płaszczyzny oczodołowej – przednio-tyłne zaburzenia szczękowo-zgryzowe (przodozgryz, tyłozgryz), w odniesieniu do płaszczyzny poziomej – pionowe zaburzenia szczękowo-zgryzowe (zgryz otwarty, zgryz głęboki) oraz w odniesieniu do płaszczyzny strzałkowej – zwężenia, rozszerzenia, asymetrie w łukach zębowych oraz rysach twarzy (zgryz krzyżowy, boczne przemieszczenie żuchwy, zgryz przewieszony). Obecnie jest powszechnie stosowana klasyfikacja Ackermana i Proffita, oparta na diagramie Venna. Wady zgryzu są przedstawione jako odrębne zbiory, które mogą wzajemnie korelować. Rozpoznanie ortodontyczne jest stawiane po analizie pięciu etapów problemów ortodontycznych. Oceniana jest twarz, jej profil oraz ekspozycja górnych zębów siecznych w spoczynku i podczas uśmiechu. Analizowany jest kształt łuków zębowych oraz struktur kostnych w wymiarze strzałkowym, poprzecznym i pionowym. Badana jest czynność narządu żucia (9).

Pomimo postępującego rozwoju genetyki oraz dokładnej znajomości dywergencji twarzy przyczyny powstawania wad zgryzu nie są w pełni wyjaśnione. Badania dotyczące rozwoju części twarzowej czaszki oraz zrozumienie podstaw morfogenetycznych poszczególnych rodzajów klas szkieletowych przyczyniają się do poprawy klinicznych aspektów leczenia, zgodnie z fenotypem osobniczym i ewentualnie występujących zaburzeń czynnościowych związanych z budową kostną.

in the lateral view. The World Health Organisation defines a malocclusion as a condition of the masticatory organ which causes visible disfigurement, significantly impedes masticatory and respiratory functions, and is an obstacle to the patient (2). An initial diagnosis of a malocclusion is determined during a clinical examination based on the intensity of occlusal abnormality (1). It is also important to supplement diagnostic tests with additional tests such as radiological scans and an assessment of diagnostic models.

The first classification of malocclusions was described in 1899 by Angle, and it caused many controversies in the world of science (3, 4). A reference point defined as a position of the first maxillary molar seemed to be inappropriate to many physicians. The Angle's statement saying that the maxilla has appropriate size, dimensions and spatial position, whereas abnormalities are present in the mandible was controversial (5). Therefore there are other classifications of malocclusions present in the literature that are based on another reference plane (6, 7). However, the majority of them is based on a mutual position of upper and lower permanent first molars. The classification which has been common in Poland since 1958 was presented by Orlik-Grzybowska, and in this classification a biological standard is a set of morphological, developmental and functional features that affect normal development of the masticatory organ (8). Malocclusions are defined in three spatial planes. In relation to the orbital plane – anteroposterior maxillo-occlusal abnormalities (anterior bite, posterior bite), in relation to the horizontal plane – vertical maxillo-occlusal abnormalities (open bite, deep bite), and in relation to the sagittal plane – narrowing, widening, asymmetry of dental arches and facial features (cross bite, lateral mandibular deviation, lingual bite). Currently, the classification by Ackerman and Proffit based on a Venn diagram is commonly used. Malocclusions are presented as individual sets that can correlate with each other. An orthodontic diagnosis is made after the analysis of five stages of orthodontic problems. The face, its profile and exposure of upper incisors are assessed at rest and while smiling. The shape of dental arches and bone structures in the sagittal, transverse and vertical dimensions is analysed. The functions of the masticatory organ are studied (9).

Despite advances in genetics and detailed knowledge of facial divergence reasons for malocclusions are not fully known. Studies regarding development of the facial skeleton and understanding of morphogenetic background of various types of skeletal classes contribute to improvement of clinical aspects of treatment, according to a personal phenotype and any dysfunctions associated with the skeletal structure.

*Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population***Cel**

Celem poniższej pracy jest przegląd aktualnego piśmiennictwa dotyczącego rozwoju części twarzowej czaszki w aspekcie klas szkieletowych.

**Metody i materiał**

Elektroniczne wyszukiwanie odpowiednich artykułów zostało przeprowadzone w bazie Medline z dostępem przed PubMed. Do analizy wybrano artykuły zamieszczone w latach 2001–2016 oraz publikacje istotne w rysie historycznym dla omawianego zagadnienia. Słowa kluczowe, na podstawie których wyszukiwano artykuły to: skeletal class development, skeletal class malocclusion development. W wyniku kwerendy powstała lista 3001 artykułów, spośród których na podstawie tytułów wyselekcjonowano teksty dotyczące morfogenezy części twarzowej czaszki oraz wzajemnych korelacji zachodzących podczas jej rozwoju. Kryteria selekcji opierały się na wyborze oryginalnych prac dotyczących wzrostu kości twarzy w okresie przed- i pourodzeniowym. Wykluczone zostały badania stanowiące opisy przypadku, przeglądy piśmiennictwa oraz odbiegające od tematyki pracy. Zakwalifikowano 305 abstraktów, z których wybrano 49 artykułów, jako treści przeglądowe do niniejszej pracy.

**Wyniki****Rozwój i wzrost twarzy w okresie przedurodzeniowym**

Zrozumienie procesów rozwojowych oraz wzrostowych części twarzowej czaszki stało się możliwe dzięki wynikom badań histologicznych, embrionalnych, cefalometrycznych oraz doświadczalnych (3, 10). Z definicji, rozwój fizyczny należy rozumieć jako przemiany jakościowe, które z prostej konstrukcji komórkowej doprowadzają do ukształtowania złożonego organizmu dorosłego człowieka (11). Według Wolańskiego do cech rozwoju fizycznego zaliczamy kinetykę rozwoju opisującą poziom, na jakim przebiega rozwój danego osobnika, tempo rozwoju dotyczące wielkości zmian badanych cech przypadających na określoną jednostkę czasu oraz rytmiczność rozwoju, czyli różne tempo rozwoju w poszczególnych okresach ontogenezy. Sformułowana przez Wolańskiego teoria limitowanego ukierunkowania rozwoju opisuje rozwój osobnika przebiegający według własnego szlaku rozwojowego w określonym genetycznie kanale rozwojowym. Kanał rozwojowy danego osobnika zależy od stopnia heterozygotyczności jego genotypu, który determinuje granice zakresu zmienności (12).

Odmienny opis dotyczy wzrostu, który określa zmiany ilościowe polegające na zwiększeniu wymiarów i masy ciała. Z tego powodu wzrost rozważa mechanizmy opierające się na trzech zasadniczych zjawiskach. Pierwsze dotyczy ilościowego zwiększania wymiarów i masy tkanek,

**Aim**

This paper aims to present a review of current literature regarding development of the facial skeleton in the aspect of skeletal classes.

**Material and methods**

Appropriate articles were searched electronically using the PubMed Medline database. The analysis included articles published in 2001–2016 and publications of historical significance for this subject. Key words used to search for articles included: skeletal class development, skeletal class malocclusion development. The query resulted in a list of 3001 articles and using article titles papers regarding morphogenesis of the facial skeleton and mutual correlations during its development were selected. Selection criteria were based on selection of original papers regarding growth of facial skeleton in the prenatal and postnatal period. Studies presenting case reports, literature reviews and papers showing other subjects were excluded. 305 abstracts were qualified, and from this group 49 articles were selected to prepare a review for this paper.

**Results****Development and growth of the face in the prenatal period**

Results of histological, embryonic, cephalometric and experimental studies provided understanding of developmental and growth processes of the facial skeleton (3, 10). By definition, physical development is understood as qualitative changes that lead to a complex body of an adult human from simple cellular structures (11). According to Wolański, features of physical development include developmental kinetics that describes a level of development of a given person, rate of development in relation to values of changes of parameters studied per a given unit of time, and developmental rhythmicity, namely a varied rate of development in individual stages of ontogenesis. Wolański formulated the theory of limited developmental targeting, and it describes personal development according to an individual developmental path in a genetically specified developmental channel. A developmental channel of a given person depends on the rate of heterozygousness of their genotype that determines limits of variation (12).

A different description is valid for growth that describes quantitative changes including increased body dimensions and weight. Therefore growth includes mechanisms based on three main phenomena. The first concerns a quantitative increase of the size and mass of tissues, understood as expansion; the second defines development of structural changes related to cell remodelling; the third phenomenon

rozumianego jako rozbudowa; drugie określa rozwój zmian strukturalnych związany z przebudową komórek; trzecie zjawisko to doskonalenie funkcji, które stanowi ostatni etap tych procesów (13).

Według publikacji Lieberman i wsp. populacja ludzka objawia ewolucyjne tendencje do zmniejszenia części twarzowej oraz podstawy czaszki we wszystkich trzech wymiarach (14). Wzrost oparty na wyliczonych wcześniej mechanizmach (rozbudowa, przebudowa, doskonalenie) jest kontynuacją procesów rozwojowych, zależnych od wielu czynników obejmujących poszczególne wymiary. Wśród nich należy wymienić wpływ hormonów, ekspresję genów, pierwotny rozmiar wyrostków twarzowych, oddziaływanie podczas wzrostu mięśni twarzy oraz pourodzeniowy kierunek wzrostu części twarzowej czaszki (15, 16).

Na podstawie badań przeprowadzonych przez Marcucio i wsp. zdefiniowano w mózgu ośrodek odpowiedzialny za kierunek wzrostu oraz morfogenezę szczęki (17). Znajduje się on na powierzchni głowowej ektodermy u ssaków i ptaków, a jego centrum stanowi czołowo-nosowa strefa ektodermalna CNE (ang. FEZ – Frontonasal Ektodermal Zone). CNE indukuje rozwój szkieletu, określa kierunek wzrostu bazowych komórek mezenchymalnych oraz kontroluje morfogenezę szczęki (17, 18). Te zjawiska zachodzą przez aktywujący wpływ CNE na białka shh (ang. sonic hedgehog homolog, w języku polskim dosłownie ‘szlak sygnałowy jeży’) oraz fgf8. Aktywacja białek shh indukuje symetryczny rozwój żuchwy oraz wyznacza kierunek wzrostu kości (19), który może powodować rozwój klas szkieletowych oraz kształtować wady morfologiczne. Blokada powyższych białek doprowadza do grzbietowego wzrostu przodomózgowia i w konsekwencji deformacji części twarzowej czaszki (20). Ciekawe badania przedstawili Young i wsp. którzy odnotowali, że zmniejszenie oddziaływania białek shh prowadzi do redukcji CNE, a tym samym skutkuje między innymi powstaniem hipoteloryzmu (zmniejszenie odległości między gałkami ocznymi) oraz przyśrodkowej rotacji szczęki (21). Odmienne efekty występują przy zwiększeniu sygnałów powyższych białek, co wiąże się z poszerzeniem środkowego odcinka twarzy, niedorozwojem czołowo-nosowym oraz bocznymi rozbieżnościami w budowie szczęki i żuchwy.

Funkcje CNE wynikają również z ekspresji genów oraz indukcji białek morfogenetycznych kości Bmp2, Bmp4, Bmp7 (ang. Bone Morphogenetic Protein) (18) następującej w bazowej mezenchymie. Białka te stanowią strefę regulacyjną rozwoju chondroblastów i osteoblastów (22, 23). Niedostateczna ekspresja białek Bmp podczas wzrostu szczęki doprowadza do zmniejszenia proliferacji komórkowej oraz powstania wad, takich jak rozszczep wargi bądź podniebienia u kurzych embrionów (24).

Kierunek kostnienia żuchwy w życiu płodowym wyznacza chrząstka Meckela (1, 25). Niedawno przeprowadzone badania sugerują, że sygnalizacja Bmp uczestniczy w jej degeneracji. Zmniejszenie stężenia tych białek prowadzi do

is improvement of functions, which is the last stage of these processes. (13).

According to a publication by Lieberman et al., the human population shows evolutionary tendencies to reduce the facial part and cranial base in all three dimensions (14). Growth based on previously described mechanisms (expansion, remodelling, improvement) is continuation of developmental processes that depend on many factors including particular dimensions. These include the effects of hormones, gene expression, primary size of facial processes, interaction during facial muscle growth, and postnatal growth direction of the facial skeleton (15, 16).

On the basis of research conducted by Marcucio et al. the centre responsible for the direction of growth and the morphogenesis of the maxilla has been defined in the brain (17). It is found on the surface cephalic ectoderm in mammals and birds, and the Frontonasal Ectodermal Zone (FEZ) is its centre. The FEZ induces skeletal development, determines the direction of growth of basal mesenchymal cells and controls maxillary morphogenesis (17, 18). These phenomena can be observed thanks to stimulating effects of the FEZ on shh (sonic hedgehog homolog) and fgf8 proteins. Activation of shh proteins induces symmetric development of the mandible and determines the direction of bone growth (19) that can result in development of skeletal classes and shape morphological defects. Inhibition of the above proteins leads to dorsal growth of the forebrain and consequently to deformations of the facial skeleton (20). Interesting research was presented by Young et al. who observed that reducing the effects of shh proteins lead to reduction in the FEZ, and thus resulted in hypotelorism (reduced distance between eyeballs) and medial maxillary rotation (21). A different effect occurs when signals of the above proteins are increased, which is related to the widening of the middle part of the face, frontonasal underdevelopment and lateral divergences in the structure of the maxilla and the mandible.

Functions of the FEZ are also results of gene expression and induction of bone morphogenetic proteins like Bmp2, Bmp4, Bmp7 (18) occurring in the basal mesenchyme. These proteins constitute a regulatory zone of the development of chondroblasts and osteoblasts (22, 23). Insufficient expression of Bmp proteins during maxillary growth leads to reduced cell proliferation and formation of such defects like cleft lip or palate in chicken embryos (24).

Meckel's cartilage is responsible for the direction of maxillary ossification in the foetal life (1, 25). Recent studies suggest that Bmp signalling participates in its degeneration. When levels of these proteins are reduced, it leads to increased proliferation of Meckel's cartilage (26). This hypothesis is based on studies by Wang et al. who observed a higher mandibular structure in mice without complete degeneration of Meckel's cartilage (26). In addition, the authors tend to believe that Meckel's cartilage controls the course of ossification and is a scaffold for endochondrial and

*Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population*

większej proliferacji chrząstki Meckela (26). Powyższa hipoteza została przedstawiona na podstawie badań przeprowadzonych przez Wang i wsp., którzy zaobserwowali większą budowę żuchwy u myszy, u których nie doszło do pełnej degeneracji chrząstki Meckela (26). Dodatkowo autorzy skłaniają się ku teorii, że chrząstka Meckela steruje przebiegiem oraz stanowi rusztowanie dla kostnienia śródchrzęstnego oraz chrzęstnego żuchwy. Trzon i gałąź żuchwy powstają na skutek kostnienia śródchrzęstnego, natomiast wyrostek dziobiasty oraz kłykiowy podlegają kostnieniu chrzęstnemu.

Kolejnym czynnikiem mogącym wpływać na wzrost żuchwy jest wielkość języka. Jak wynika z badań Hutchinson i wsp. istnieje ścisłe powiązanie rozmiarowe oraz kompozycyjne między żuchwą a językiem w okresie od 20. tygodnia życia płodowego do 24. miesiąca po urodzeniu (27).

W piśmiennictwie można odnaleźć publikacje dotyczące rozwoju i wzrostu części twarzowej czaszki w okresie przedurodzeniowym u zwierząt. Wszyscy autorzy podkreślają dużą korelację między rodzajem zachodzących oddziaływań podczas kształtowania czaszki u ludzi, a tym występującym u zwierząt. Autorzy Boughner i wsp. przeprowadzili badania określające tendencje wzrostowe części twarzowej czaszki w zależności od rozmiaru mózgu u myszy (16). Wyniki jednoznacznie wskazywały, że odmiana genu *Crf4* jest odpowiedzialna za mniejszy wymiar wysokościowy części twarzowej czaszki oraz mniejszy objętościowo rozmiar mózgu. Gen ten powoduje wcześniejsze dojrzewanie i proliferację tkanek. Autorzy wskazują, że w populacji ludzkiej występują analogiczne zależności.

Należy mieć na uwadze, że wymienione czynniki są tylko niektórymi potencjalnie przyczyniającymi się do morfogenezy części twarzowej czaszki, a ostateczna budowa jest wynikiem wielu nakładających się zdarzeń rozwojowych i wzrostowych (28).

**Rozwój i wzrost twarzy w okresie pourodzeniowym**

Już w pierwszej połowie XX wieku wykazano, że niektóre tkanki ciała posiadają osobniczy, charakterystyczny dla danej jednostki pourodzeniowy kierunek wzrostu. Typowe kierunki wzrostu mogą obejmować wzrost neuronalny, którym definiujemy wzrost czaszki. Charakteryzuje się on wzorcowym, szybkim (ponad 80 proc. ostatecznego rozmiaru) tempem wzrostu w pierwszych pięciu latach życia. Część twarzowa czaszki wykazuje wzrost typu somatycznego oraz ogólnego, charakteryzujący się gwałtownym, jednak osiagającym tylko od 25 proc. do 40 proc. ostatecznego wzrostu w pierwszych pięciu latach życia. Wzrost kompleksu czaszkowo-twarzowego kształtuje się przez strukturalne oraz funkcjonalne relacje pomiędzy poszczególnymi jego częściami (29). W obrębie wyrostka kłykiowego ma miejsce neutralny typ wzrostowy, wynikający przede wszystkim z pełnionej przez niego funkcji oraz strukturalnego połączenia z czaszką. Wzrost

perichondrial ossification of the mandible. The mandibular body and ramus are a result of endochondrial ossification, and the coronoid and condylar processes undergo perichondrial ossification.

The size of the tongue is another factor that may affect the growth of the mandible. As it results from the studies carried out by Hutchinson et al., there is a close dimensional and compositional relationship between the mandible and the tongue between the 20th week of the foetal life and the 24th month after birth (27).

In the literature one can find publications concerning the development and growth of the facial skeleton in the prenatal period in animals. All authors emphasise a high correlation between a type of interactions occurring during skull formation in humans and those occurring in animals. Boughner et al. carried out studies to determine the growth trends for the facial skeleton depending on the size of the brain in mice (16). The results clearly indicated that a variant of the *Crf4* gene was responsible for a smaller height dimension of the facial skeleton and for a smaller brain size in terms of volume. This gene causes early maturation and proliferation of tissues. The authors point out that there are similar relationships in the human population.

One should remember that these factors are only some of potential contributors to the morphogenesis of the facial skeleton, and that the final structure is a result of many overlapping developmental and growth events (28).

**Development and growth of the face in the postnatal period**

As early as in the first half of the 20th century it was shown that some body tissues had an individual, characteristic postnatal growth direction that was typical of a given unit. Typical growth directions may include neuronal growth which is defined as skull growth. It has an exemplary, fast (over 80% of its final size) growth rate in the first five years of life. The facial skeleton shows somatic and general type of growth, characterised by rapid, but reaching only 25% to 40% of the final growth in the first five years of life. The growth of the craniofacial complex is shaped by structural and functional relations between its individual parts (29). A neutral type of growth occurs within the condylar process, resulting mainly from its functions and a structural connection with the skull. The growth of the facial skeleton also depends on structural, functional, anatomical, genetic and growth patterns interactions.

Replacement of cartilage by bone is an important growth factor, both in the cranial base which connects the facial skeleton with the cerebral part, and in the condylar processes and the facial skeleton. This interaction is made possible by coordinated growth through resorption and apposition. This is the main mechanism of growth in the postnatal period.

części twarzowej czaszki zależy również od interakcji strukturalnych, funkcjonalnych, anatomicznych, genetycznych oraz wzorców wzrostowych.

Zastąpienie tkanki chrzęstnej przez kostną jest istotnym czynnikiem wzrostu, zarówno podstawy czaszki, która łączy część twarzową czaszki z częścią mózgową, jak również wyrostków kłykciowych oraz części twarzowej czaszki. Tego rodzaju oddziaływanie jest możliwe dzięki skoordynowanemu wzrostowi przez resorpcję i apozycję. Jest to główny mechanizm wzrostu w okresie pourodzeniowym.

### **Wzrost pourodzeniowy szczęki**

Formowanie szczęki w kierunku strzałkowym jest wypadkową trzech kierunków wzrostu (30, 31). Pierwszy kierunek wzrostu zachodzi w tylnej części podstawy czaszki przez chrząstkozrost klinowo-potyliczny; drugi kierunek wzrostu odbywa się w obrębie przedniej części podstawy czaszki przy udziale szwów klinowo-sitowych, czołowo-sitowych oraz zwiększeniu wymiarów zatoki czołowej i klinowej; trzeci to ukierunkowany wzrost szczęki przez apozycję w jej przedniej części w miejscu szwu międzyszczękowego, którego kostnienie następuje między pierwszym a drugim rokiem życia (1). Dodatkowo, połączenie szwu środkowej części twarzy z podstawą czaszki daje możliwość wzrostu w kierunku pionowym w dół na wysokość.

W obrębie tylnej części podstawy czaszki przez chrząstkozrost klinowo-potyliczny dochodzi do wydłużania odcinka Basion-Sella (30). Ważne jest, że ten proces może zachodzić nawet po ukończeniu etapu dojrzewania u obu płci. Jej wynikiem jest doprzednio górny wzrost w obrębie czaszki i w konsekwencji – wzrost twarzy w kierunku pionowym, który dominuje podczas wzrastania środkowego piętra twarzy (interakcja wzrostu w kierunku strzałkowym oraz pionowym).

W przypadku przedniej części podstawy czaszki wzrost odbywa się na odcinku Sella-Nasion, a jego zakończenie jest ustalone na etapie całkowitego wykształcenia mózgu oraz oczu, które zachodzą po 7. roku życia (32). Wzrost w obrębie przedniej części podstawy czaszki może nastąpić po ukończeniu etapu wzrostu w chrząstkozroście klinowo-potylicznym, jednakże nie później, niż przed zakończeniem wzrostu tylnej części podstawy czaszki. Przedstawione zależności wzrostowe określają wartość kąta SNA (ang. Sella-Nasion-Subspinale) nieulegającego zmianom, pomimo dalszego wzrostu środkowego piętra twarzy.

Opisane procesy prowadzą do wzrostu szczęki w kierunku strzałkowym i są ważne w planowaniu leczenia ortodontycznego. W diagnostyce istotne jest uwzględnienie komponenty szkieletowej i wyrostkowo-zębowej oraz zależności pomiędzy budową kości czaszki i stanem okluzji

### **Postnatal growth of the maxilla**

The formation of the maxilla in the sagittal direction is the result of three growth directions (30, 31). The first growth direction occurs in the posterior part of the cranial base through the spheno-occipital synchondrosis; the second growth direction occurs within the anterior part of the cranial base with the participation of sphenoethmoidal, frontoethmoidal sutures and increased dimensions of the frontal and sphenoid sinuses; the third is targeted growth of the maxilla by apposition in its anterior part at the site of the intermaxillary suture, which becomes ossified between the first and the second year of life (1). In addition, the combination of the middle facial suture with the cranial base enables vertical growth downward in relation to height.

In the posterior part of the cranial base the Basion-Sella section becomes elongated thanks to spheno-occipital synchondrosis (30). It is important to note that this process can take place even after maturation has been completed in both sexes. It results in anterior and upper growth of the skull, namely growth of the face vertically, and it is predominant during growth of the middle face (interaction of growth in the sagittal and vertical dimensions).

In relation to the anterior part of the cranial base growth is visible the Sella-Nasion section, and it is completed at the stage of complete development of the brain and eyes that are observed after the age of 7 years (32). Growth in the anterior part of the cranial base may occur after completion of the growth stage in the spheno-occipital synchondrosis, but not later than before completion of growth of the posterior part of the cranial base. The value of SNA (Sella-Nasion-Subspinale) is determined by these growth interactions, and this value does not change despite further growth of the middle segment of the face.

These processes lead to maxillary growth in the sagittal direction and are important when planning orthodontic treatment. In diagnostics it is important to consider a skeletal and dentoalveolar component as well as correlations between the structure of the cranial skeleton and occlusal conditions when planning orthodontic treatment and combined orthodontic and surgical treatment (8).

### **Postnatal growth of the mandible**

Mandibular growth occurs as a result of resorption along the anterior border of the mandibular ramus (33). Consequently, the space available for teeth undergoing eruption is increased. At the same time apposition on the posterior border of the mandibular ramus occurs. Apposition predominates over resorption, and it results in increased bone accumulation leading to increased bone dimensions. These relationships mainly lead to mandibular growth in the vertical plane, and to a lesser degree, to transverse growth. The mandibular growth centre is located on the head of the mandible. A direction of loading of the apex of the mandibular head leads to varied differentiation of its growth into individual skeletal classes.

*Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population*

podczas ustalania planu leczenia ortodontycznego oraz skojarzonego ortodontyczno-chirurgicznego (8).

**Wzrost pourodzeniowy żuchwy**

Wzrost w obrębie żuchwy zachodzi w wyniku procesów resorpcji na przedniej krawędzi jej gałęzi (33). W ten sposób zwiększa się ilość miejsca dla wyrzynających się zębów. Równocześnie następuje apozycja na tylnej krawędzi gałęzi żuchwy. Proces apozycji przeważa nad procesem resorpcji, co wiąże się ze zwiększonym odkładaniem kości i w efekcie – wzrostem jej wymiarów. Powyższe zależności prowadzą przede wszystkim do wzrostu żuchwy w płaszczyźnie pionowej, a także, w mniejszym stopniu, do wzrostu poprzecznego. Ośrodek wzrostu żuchwy znajduje się na głowie żuchwy. Kierunek obciążenia szczytu głowy żuchwy prowadzi do tendencyjnego różnicowania jej wzrostu w poszczególne klasy szkieletowe.

Wzrost żuchwy w wymiarze poprzecznym zależy od zdolności adaptacyjnych wyrostków kłykciowych do poszerzającego się dołu stawowego. Powyższa czynność umożliwia kompensację niezgodności w płaszczyźnie czołowej (34). Dodatkowo należy zaznaczyć, że struktury w obrębie wyrostka kłykciowego oraz szyjki wyrostka kłykciowego wykazują nierównomierny wzrost podczas pierwszych dwóch dekad życia (29). Autorzy Kellya i wsp. w przeprowadzonych badaniach wykazali, że największy wzrost w obrębie żuchwy w pierwszych pięciu latach życia następuje w płaszczyźnie czołowej (wzrost przednio-tylny) (29).

W leczeniu ortodontycznym istotna jest możliwość przewidzenia osobniczego kierunku wzrostu żuchwy. Wykorzystanie wyłącznie metod metrycznych w pojedynczej fazie wzrostu części twarzowej czaszki w celu przewidzenia dalszego kierunku wzrostu jest niewystarczające. Björk w swojej pracy, opublikowanej w 1969 roku, przedstawił metodę strukturalną posługiwania się zdjęciem cefalometrycznym (35). Kolejne badania odnajdywały związek pomiędzy faktycznym kierunkiem wzrostu żuchwy a kryteriami morfologicznymi określanymi na tym zdjęciu (36). Trudność w oszacowaniu kierunku rotacji żuchwy podczas wzrostu wynika z faktu, że ta ocena nie może być dokonywana z pomiarów na zewnętrznych konturach kości ulegających przebudowie podczas wzrostu.

Zobrazowanie kierunku wzrostu żuchwy można uzyskać, oznaczając położenie punktu Gonion w rozwijającej się żuchwie. Jest on miejscem przecięcia linii stycznej do dolnego brzegu trzonu żuchwy i stycznej do tylnego brzegu gałęzi żuchwy (1). Przed rozpoczęciem opisanego uprzednio procesu wzrostowego, punkt ten znajduje się doprzędnie od wyrostka kłykciowego żuchwy. W trakcie zachodzących zmian (apozycja tylnej części gałęzi żuchwy oraz resorpcja na przedniej części gałęzi żuchwy) przemieszcza się dotylnie, przyjmując ostatecznie pozycję w linii prostej pod głową żuchwy. Równocześnie następuje dotylny wzrost w obrębie

Mandibular growth in the transverse dimension depends on how condylar processes are able to adapt to an enlarging articular cavity. This activity is responsible for compensation of irregularities in the frontal plane (34). Additionally, it should be mentioned that structures inside the condylar process and neck of the condylar process demonstrate uneven growth during the first two decades of life (29). In their studies, Kellya et al. demonstrated that the greatest growth in the mandible within the first five years of life is in the frontal plane (anterior-posterior growth) (29).

In relation to orthodontic treatment it is important to predict individual direction of mandibular growth. It is not sufficient to use only metric methods in a single phase of growth of the facial skeleton in order to predict further growth direction. In his paper published in 1969, Björk presented a structural method how to use cephalometric images (35). Subsequent studies demonstrated a correlation between a real direction of mandibular growth and morphological criteria determined based on scans (36). A difficulty in estimating the direction of mandibular rotation during growth is due to the fact that this assessment cannot be done based on measurements of external contours of the bones that are being remodelled during growth.

Determination of the Gonion point in the growing mandible may be used to visualise the direction of mandibular growth. It is the intersection of a line tangent to the inferior border of the mandibular body and tangent to the posterior border of the mandibular ramus (1). This point is located anteriorly in relation to the mandibular condylar process before the onset of the growth process presented earlier. During changes described (apposition of the posterior part of the mandibular ramus and resorption on the anterior part of the mandibular ramus) it moves posteriorly, and its final position is in the straight line below the head of the mandible. At the same time posterior growth of condylar processes of the mandible can be observed, and it definitely results in mandibular growth towards bottom and front (37).

**Directions of growth of skeletal classes and morphological abnormalities**

Balanced facial growth towards front and bottom leads to occlusal conditions typical of skeletal class I (38). Targeted growth of skeletal class II and III depends on angulation and morphological dimensions of the cranial base (33, 39). In case of skeletal class III the average angle of the cranial base including (reference) points of Nasion-Sella-Basion is the largest compared to other variants of skeletal classes (40). The lowest value of this angle was observed for skeletal class I, whereas in skeletal class II and open bite the values are intermediate. The authors conclude that these studies require further follow-up as differences in values between groups are relatively small.

Stah et al. evaluated the mandibular size and changes inside the mandible during growth, and they did not find



wyrostków kłykciowych żuchwy, co definitywnie skutkuje obserwowanym wzrostem żuchwy w kierunku do dołu i do przodu (37).

### **Kierunki wzrostu klas szkieletowych oraz wad morfologicznych**

Zrównoważony wzrost twarzy ku przodowi oraz dołowi prowadzi do kontaktów zgryzowych w I klasie szkieletowej (38). Ukierunkowany wzrost II i III klasy szkieletowej kształtuje się w zależności od angulacji oraz rozmiaru morfologicznego podstawy czaszki (33, 39). W przypadku występowania III klasy szkieletowej przeciętny kąt podstawy czaszki obejmujący punkty (referencyjne) Nasion-Sella-Basion przyjmuje największą wartość, w porównaniu do pozostałych wariantów klas szkieletowych (40). Najmniejszą wartość opisanego kąta otrzymano w przypadku I klasy szkieletowej, natomiast II klasa szkieletowa oraz zgryz otwarty przyjmują wartości pośrednie. Autorzy zaznaczają, że powyższe badania wymagają dalszych obserwacji ze względu na relatywnie niewielkie różnice w wartościach otrzymanych między grupami.

Stah i wsp., oceniając wielkość żuchwy oraz zmiany zachodzące w niej podczas wzrostu, nie odnajdują dokładnej przyczyny przyjmowania dotylnej pozycji żuchwy w II klasie szkieletowej, wskazując jedynie na mniejszy ogólny rozmiar żuchwy oraz krótszy trzon żuchwy w przypadku II klasy szkieletowej, w porównaniu z I klasą (41, 42). Badania Baccetti'ego i wsp. wskazują dodatkowo na krótszą gałąź żuchwy w przypadku występowania II klasy szkieletowej (43).

Freudenthaler i wsp. w przeprowadzonym badaniu otrzymali porównywalne wyniki w pomiarach odcinka Sella-Nasion w odniesieniu do I oraz II klasy szkieletowej (40). Odnaleziono również podobieństwo w budowie morfologicznej podstawy czaszki w przypadku III klasy szkieletowej oraz zgryzu otwartego (40).

Opisując wady w odniesieniu do płaszczyzny poziomej (pionowe) – zgryz otwarty, zgryz głęboki, należy mieć na uwadze, że są one przyczyną braku równowagi pomiędzy wzrostem żuchwy w kierunku strzałkowym a wzrostem w kierunku pionowym (44). Mechanizm powstania zgryzu otwartego opiera się na nierównomiernym, mniejszym wzroście wyrostków kłykciowych żuchwy w kierunku pionowym, przy większym wzroście szwów w obrębie twarzy. Prowadzi to do dotylnej rotacji żuchwy i w konsekwencji – zgryzu otwartego. Odmienna sytuacja występuje, gdy obserwujemy większy wzrost w obrębie kłykci niż w obrębie szwów twarzy; wówczas dochodzi do doprzedniej rotacji żuchwy i powstania zgryzu głębokiego. Jednak pionowe wady zgryzu mogą być również determinowane takimi czynnikami, jak ukształtowanie wyrostka zębodołowego, kierunek wzrostu szczęki i żuchwy, funkcje języka oraz warg, czynniki zębowe (38). W praktyce klinicznej zaburzenia płaszczyzny zgryzu skutkujące nieprawidłowym ustawieniem oraz wyrzynaniem zębów trzonowych, szczególnie górnych, mogą spowodować

a precise reason for a posterior position of the mandible in skeletal class II; they only observed generally smaller mandibular dimensions and shorter mandibular body in skeletal class II compared to skeletal class I (41, 42). Studies by Baccetti et al. additionally indicate that the mandibular ramus is shorter in skeletal class II (43).

In their study, Freudenthaler et al. obtained comparable results for measurements of the Sella-Nasion section for skeletal class I and II (40). There were also similarities in the morphology of the cranial base in skeletal class III and an open bite (40).

When describing defects in relation to the horizontal plane (vertical defects) such as an open bite, deep bite, one should remember that they are responsible for imbalance between mandibular growth in the sagittal direction and vertical growth (44). A mechanism of an open bite is based on uneven smaller growth of condylar processes in the mandible in the vertical dimension and greater growth of sutures within the face. It leads to posterior mandibular rotation, and consequently, to an open bite. A different situation is observed when growth of condyles is greater than of facial sutures; in such cases anterior mandibular rotation and a deep bite can be observed. However, vertical malocclusions may be also determined by such factors as the shape of the alveolar process, direction of growth of the maxilla and mandible, tongue and lip functions, and dental factors (38). In clinical practice, abnormalities of the occlusal plane leading to an abnormal position and eruption of permanent teeth, especially upper ones, may result in an excessively increased inclination angle of the occlusal plane, leading to formation of an open bite.

Lateral mandibular deviation characterised by asymmetry of facial features, with chin and midline deviation, often coexists with skeletal class III, and it is described in relation to the sagittal plane (in relation to width) (45). This relationship is associated with the formation of jaw bones in this class. Transverse abnormalities may form because of poorly developed maxilla, excessively developed mandible and a low position of the tongue (46). Labiolingual inclinations of anterior teeth in the maxilla and mandible can be observed as compensations of abnormalities in the sagittal plane (47, 48). Transverse compensation is also observed in teeth in the lateral section.

This paper also analysed additional factors that may have significant effects on the growth of the facial skeleton in the postnatal period. They include: sexual dimorphism, effects of masticatory muscles, eruption of permanent teeth, quality of the respiratory tract.

Analysed publications on the effects of sexual dimorphism on the final morphology of the facial skeleton do not provide a clear answer describing its influence on the direction of growth in the postnatal period despite consistency in the results of various authors (29, 49, 50). Coquerelle et al. observed that sexual dimorphism in the mandibular structure

*Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population*

nadmiernie zwiększony kąt nachylenia płaszczyzny okluzji, a w konsekwencji – powstanie zgryzu otwartego.

Wadą rozpatrywaną w odniesieniu do płaszczyzny strzałkowej (na szerokość) jest boczne przemieszczenie żuchwy charakteryzujące się asymetrią rysów twarzy z przesunięciem bródki oraz linii pośrodkowej, często współwystępujące z III klasą szkieletową (45). Ta zależność wynika z ukształtowania szkieletu kości szczęk w tej klasie. Słabo rozwinięta szczęka, nadmierne rozwinięta żuchwa oraz nisko ułożony język dają możliwości kształtowania się rozbieżności poprzecznych (46). Jako kompensację zaburzeń w płaszczyźnie strzałkowej można zaobserwować inklinacje wargowo-językowe zębów przednich szczęki oraz żuchwy (47, 48). Również w obrębie zębów w odcinku bocznym następuje poprzeczna kompensacja.

W niniejszej pracy dokonano również analizy dodatkowych czynników mogących istotnie wpływać na wzrost w obrębie części twarzowej czaszki w okresie pourodzeniowym. Wśród nich wyróżniamy: dymorfizm płciowy, wpływ mięśni żucia, wyrzynanie zębów stałych, jakość dróg oddechowych.

Przeanalizowane publikacje dotyczące wpływu dymorfizmu płciowego na ostateczną morfologię części twarzowej czaszki, pomimo spójności w wynikach różnych autorów, nie dają jednoznacznej odpowiedzi opisującej jego wpływ na kierunek wzrostu w okresie pourodzeniowym (29, 49, 50). Coquerelle i wsp. zauważyli, że dymorfizm płciowy w budowie żuchwy widoczny u dorosłych oraz podczas narodzin w obrębie gałęzi żuchwy i wyniosłości bródkowej, staje się między 4. a 14. rokiem życia mniej zaznaczony (50). Wynika to z szybszego wzrostu żuchwy w tym okresie u płci żeńskiej.

Kolejnym czynnikiem mogącym wpływać na wzrost jest równomierne kształtowanie żuchwy i języka (od 20. do 24. tygodnia życia) przez biomechaniczne interakcje związane z karmieniem, wyrzynaniem zębów mlecznych oraz procesem żucia (27). Najnowsze badania wskazują na istotny wpływ wzrostu mięśni żucia i wzrostu podstawy czaszki na allometrię wzrostu żuchwy i języka. Badania Melink i wsp. wykazały istnienie silnej korelacji pomiędzy wczesnym wyrzynaniem pierwszych zębów stałych bocznych a powstawaniem zgryzu krzyżowego częściowego bocznego (51). Według autorów ten rodzaj wad zgryzu należy nie tylko do najczęściej występujących w odniesieniu do uzębienia mlecznego, lecz także – w przypadku braku odpowiedniej diagnozy – może stać się przyczyną późniejszych zaburzeń w obrębie stawu skroniowo-żuchwowego oraz asymetrii twarzy (51).

Nie mniej istotnym czynnikiem jest szeroko opisane w piśmiennictwie powiązanie jakości dróg oddechowych z powstawaniem poszczególnych wad zgryzowych (52, 53). Zaobserwowano korelację pomiędzy oddychaniem przez usta a ukierunkowanym rozwojem II klasy szkieletowej (38, 53, 54). Jako jeden z czynników powodujących oddychanie przez usta wymienia się przerost migdałka gardłowego (55). Dodatkowo, wielu autorów podaje powiązanie zwiększonej wysokości twarzy z występowaniem

visible in adults and in the mandibular ramus and mental protuberance visible during birth becomes less predominant between the age of 4 and 14 years (50). It is a result of more rapid growth of the mandible in females in this period.

Another factor that may affect growth includes balanced development of the mandible and tongue (between week 20 and 24 of life) as a result of biomechanical interactions associated with feeding, deciduous tooth eruption and mastication (27). The most recent studies indicate significant effects of growth of the masticatory muscles and growth of the cranial base on allometric growth of the mandible and tongue. Studies by Melink et al. demonstrated a strong correlation between early eruption of permanent first lateral teeth and formation of a lateral partial cross bite (51). According to authors this type of malocclusions is not only the most common within the deciduous dentition, but it may also be a reason for future abnormalities of the temporomandibular joint and facial asymmetry in case of a misdiagnosis (51).

A correlation between the quality of the respiratory tract and formation of individual malocclusions is also an important factor widely reported in literature (52, 53). There is a correlation between breathing through the mouth and targeted development of skeletal class III (38, 53, 54). Hypertrophy of the pharyngeal tonsil is reported to be one of factors responsible for breathing through the mouth (55). Additionally, many authors report a correlation between increased facial height and presence of anatomically lower volume of the respiratory tract in the nasopharynx (56–58).

In their studies, Feres et al. do not find a correlation between an anteroposterior position of the jaws and respiratory obstruction due to hypertrophy of lymphoidal tissues (57). Other authors report similar results (59). A correlation of the ANB angle with respiratory tract obstruction is not also reported in study results presented (56, 57). The ANB angle determines a mutual position of the jaws, and its value is lower for the protruded mandible, higher – for the retracted mandible, but it does not affect patency of the upper respiratory tract.

The length of the frenulum is one of suggested diagnostic criteria confirming compatible growth of the tongue and mandible. In the case of a short frenulum the tongue position may be lowered in the oral cavity, and it impairs balance between coordinated growth with the mandible, and may contribute to development of the narrow maxilla in the transverse dimension and shortened in the longitudinal dimension (27, 51). Liu et al. observed significantly reduced anterior length of the mandible and reduced dimensions of the tongue (60). Researchers suggest that reduced tongue size at the stage of intensive growth may contribute to changes in the development of the facial skeleton and the whole stomatognathic system. Similar relationships are observed in the face and mandible. They may be associated with speech, swallowing, chewing and respiration (61–64).

anatomicznie mniejszej objętości dróg oddechowych nosogardzieli (56–58).

Feres i wsp. w badaniach nie odnajdują korelacji pomiędzy przednio-tylną pozycją szczęk a niedrożnością oddechową wywołaną przerostem tkanek limfoidalnych (57). Podobne wyniki przedstawiają inni autorzy (59). Korelacja kąta ANB z obturacją dróg oddechowych również nie występuje w opisanych wynikach badań (56, 57). Kąt ANB wyznacza wzajemne położenie szczęk i przyjmuje mniejszą wartość dla żuchwy wysuniętej, większą – dla żuchwy cofniętej, co nie wpływa na drożność górnych dróg oddechowych.

Jednym z proponowanych kryteriów diagnostycznych, potwierdzającym kompatybilny wzrost języka i żuchwy, jest długość wędzidełka języka. W przypadku krótkiego wędzidełka język może przyjmować obniżoną pozycję w jamie ustnej, co zaburza równowagę pomiędzy skoordynowanym wzrostem z żuchwą i może przyczyniać się do rozwoju szczęki, wąskiej w wymiarze poprzecznym i skróconej w wymiarze podłużnym (27, 51). Liu i wsp. zaobserwowali znaczną redukcję długości przedniej żuchwy przy zmniejszonych rozmiarach języka (60). Badacze sugerują, że zmniejszenie wielkości języka w fazie intensywnego wzrostu może przyczynić się do zmiany w rozwoju kośćca części twarzowej czaszki oraz całego układu stomatognatycznego. W obrębie twarzy i żuchwy zachodzą podobne relacje. Mogą one być związane z mową, połykaniem, żuciem, oddychaniem (61–64). Dla zachowania prawidłowej czynności żucia istotna jest integracja pomiędzy strukturami twarzy i żuchwy.

## Podsumowanie

Badania dotyczące rozwoju części twarzowej czaszki oraz podstawy morfogenetyczne poszczególnych rodzajów klas szkieletowych przyczyniają się do poprawy klinicznych aspektów leczenia zgodnie z fenotypem osobniczym i zaburzeniami czynnościowymi związanymi z budową kostną.

Integration between facial and mandibular structures is important to preserve normal masticatory functions.

## Summary

Studies regarding development of the facial skeleton and morphogenetic background of various types of skeletal classes contribute to improvement of clinical aspects of treatment, according to a personal phenotype and any dysfunctions associated with the skeletal structure.

## Piśmiennictwo / References

- Karłowska I. Zarys współczesnej ortodoncji. PZWL 2016.
- Colonna-Walewska M. Ocena objawów akustycznych występujących w stawach skroniowo-żuchwowych u młodzieży szkolnej ze współistniejącymi wadami zgryzu. *Czas Stomatol* 2008; 61: 260-6.
- Angle EH. Classification of malocclusion. *Dental Cosmos* 1899; 41: 248-64.
- Angle EH. The Upper First Molar as a Basis of Diagnosis in Orthodontia. *Dental Thems of Interest* 1906; 28: 421-39.
- Angle EH. Treatment of malocclusion of the teeth. White Co 1907.
- Piątkowska D, Woźniak K, Lipski M. Systematyczny przegląd częstości występowania wad zgryzu w Polsce na podstawie pierwotnych badań opublikowanych w latach 2000-2010. *Mag Stomatol* 2012; 22: 121-6.
- Kozanecka A, Kawala B. Częstość występowania wad zgryzu a potrzeba leczenia ortodontycznego w populacji młodych dorosłych Polaków – przegląd piśmiennictwa. *Czas Stomatol* 2012; 65: 424-34.
- Orlik-Grzybowska A. Podstawy ortodoncji. PZWL 1976.
- Proffit WR, Fields HW, Server DM. *Ortodoncja współczesna*. Elsevier 2007.
- Graham A, Okabe M, Quinlan R. The role of the endoderm in the development and evolution of the pharyngeal arches. *J Anat* 2005; 207: 479-87.
- Przewęda R. *Rozwój somatyczny i motoryczny*. WSiP 1981.
- Wolański N. *Rozwój biologiczny człowieka. Podstawy auksologii, gerontologii i promocji zdrowia*. PWN 2005.
- Slavicek R. *The Masticatory Organ*. Gamma Medizinisch-wissenschaftliche. Fortbildungs AG 2002.

*Development and growth of the facial skeleton in individual skeletal classes in the human population*

14. Lieberman DE, McBratney BM, Krovitz G. The evolution and development of cranial form in Homo Sapiens. *Proc Natl Acad Sci* 2002; 99: 1134-9.
15. Sears KE, Goswami A, Flynn JJ, Niswander LA. The correlated evolution of Runx2 tandem repeats, transcriptional activity, and facial length in carnivora. *Evol Dev* 2007; 9: 555-65.
16. Boughner JC, Wat S, Diewert VM, Young NM, Browder LW, Hallgrímsson B. Short-faced mice and developmental interactions between the brain and the face. *J Anat* 2008; 213: 646-62.
17. Marcucio RS, Young NM, Hu D, Hallgrímsson B. Mechanisms that Underlie Co-variation of the Brain and Face. *Genesis* 2011; 49: 177-89.
18. Hu D, Marcucio RS. Unique organization of the frontonasal ectodermal zone in birds and mammals. *Dev Biol* 2009; 325: 200-10.
19. Brito JM, Teillet MA, Le Douarin NM. Induction of mirror-image supernumerary jaws in chicken mandibular mesenchyme by Sonic Hedgehog-producing cells. *Development* 2008; 135: 2311-9.
20. Marcucio RS, Cordero DR, Hu D, Helms JA. Molecular interactions coordinating the development of the forebrain and face. *Dev Biol* 2005; 284: 48-61.
21. Young NM, Chong HJ, Hu D, Hallgrímsson B, Marcucio RS. Quantitative analyses link modulation of sonic hedgehog signaling to continuous variation in facial growth and shape. *Development* 2010; 137: 3405-9.
22. Wu P, Jiang TX, Shen JY, Widelitz RB, Chuong CM. Morphoregulation of avian beaks: comparative mapping of growth zone activities and morphological evolution. *Dev Dyn* 2006; 235: 1400-12.
23. Rosen V. BMP and BMP inhibitors in bone. *Ann N Y Acad Sci* 2006; 1068: 19-25.
24. Foppiano S, Hu D, Marcucio RS. Signaling by bone morphogenetic proteins directs formation of an ectodermal signaling center that regulates craniofacial development. *Dev Biol* 2007; 312: 103-14.
25. Parada C, Chai Y. Mandible and Tongue Development. *Curr Top Dev Biol* 2015; 115: 31-58.
26. Wang Y, Zheng Y, Chen D, Chen Y. Enhanced BMP signaling prevents degeneration and leads to endochondral ossification of Meckel's cartilage in mice. *Dev Biol* 2013; 381: 301-11.
27. Hutchinson EF, Kieser JA, Kramer B. Morphometric growth relationships of the immature human mandible and tongue. *Eur J Oral Sci* 2014; 122: 181-9.
28. Hallgrímsson B, Jamniczky H, Young NM, Rolian C, Parsons TE, Boughner JC, Marcucio RS. Deciphering the palimpsest: Studying the relationship between morphological integration and phenotypic covariation. *Evol Biol* 2009; 36: 355-76.
29. Kelly MP, Vorperian HK, Wang Y, Tillman KK, Werner HM, Chung MK, Gentry LR. Characterizing mandibular growth using three-dimensional imaging techniques and anatomic landmarks. *Arch Oral Biol* 2017; 77: 22-38.
30. Martinez-Maza C, Rosas A, Nieto-Diaz M. Postnatal changes in the growth dynamics of the human face revealed from bone modelling patterns. *J Anat* 2013; 223: 228-41.
31. Holton NE, Nicholas CL, Marshall SD, Franciscus RG, Southard TE. The effects of altered maxillary growth on patterns of mandibular rotation in a pig model. *Arch Oral Biol* 2015; 60: 933-40.
32. Lee B, Flores-Mir C, Lagravère MO. Normal orbit skeletal changes in adolescents as determined through cone-beam computed tomography. *Head Face Med* 2016; 10: 32.
33. Enlow DH, Hans MG. Essentials of facial growth. Saunders 1996.
34. Spreber G. Craniofacial development. Decker Inc 2001.
35. Björk A. Prediction of mandibular growth rotation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1969; 55: 585-99.
36. Skieller V, Björk A, Linde-Hansen T. Prediction of mandibular growth rotation evaluated from longitudinal implant sample. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1984; 86: 359-70.
37. Martinez-Maza C, Rosas A, Nieto-Diaz M. Postnatal changes in the growth dynamic of the human face revealed from bone modeling patterns. *J Anat* 2013; 223: 228-41.
38. Ucar FI, Uysal T. Orofacial airway dimensions in subjects with Class I malocclusion and different growth patterns. *Angle Orthod* 2011; 81: 460-8.
39. Melsen B. The cranial base. The postnatal development of the cranial base studied histologically on human autopsy material. *Acta Odontol Scand* 1974; 32: 1-126.
40. Freudenthaler J, Ćelar A, Mitteröcker CRP. Geometric morphometrics of different malocclusions in lateral skull radiographs. *J Orofac Orthop* 2017; 78: 11-20.
41. Stahl F, Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. Longitudinal growth changes in untreated subjects with Class II Division I malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 134: 125-37.
42. Va'squez MJ, Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. Dentofacial features of Class II malocclusion associated with maxillary skeletal protrusion: a longitudinal study at the circumpubertal growth period. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 568.
43. Baccetti T, Stahl F, McNamara JA. Dentofacial growth changes in subjects with untreated Class II malocclusion from late puberty through young adulthood. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 148-54.
44. Chung CH, Mongioli VD. Craniofacial growth in untreated skeletal Class I subjects with low, average, and high MP-SN angles: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 670-8.
45. Wang YC, Ko EW, Huang CS, Chen YR, Takano-Yamamoto T. Comparison of transverse dimensional changes in surgical skeletal Class III patients with and without presurgical orthodontics. *J Oral Maxillofac Surg* 2010; 68: 1807-12.
46. Jaechan A, Sung-Jin K, Ji-Yeon L, Chooryung JC, Kyung-Ho K. Transverse dental compensation in relation to sagittal and transverse skeletal discrepancies in skeletal Class III patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017; 151: 148-56.
47. Kim SJ, Kim KH, Yu HS, Baik HS. Dentoalveolar compensation according to skeletal discrepancy and overjet in skeletal Class III patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 145: 317-24.
48. Kim YI, Choi YK, Park SB, Son WS, Kim SS. Three-dimensional analysis of dental decompensation for skeletal Class III malocclusion on the basis of vertical skeletal patterns obtained using cone-beam computed tomography. *Korean J Orthod* 2012; 42: 227-34.
49. Rosas A, Bastir M. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol* 2002; 117: 236-45.
50. Coquerelle M, Bookstein F, Braga J, Halazonetis D, Weber G, Mitteroecker P. Sexual dimorphism of the human mandible and its association with dental development. *Am J Phys Anthropol* 2011; 145: 192-202.

51. Melink S, Vagner MV, Boltezar I, Ovsenik M. Posterior crossbite in the deciduous dentition with suckling habits, irregular orofacial functions, and otolaryngological findings. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 32-9.
52. de Menezes VA, Leal RB, Pessoa RS, Pontes RM. Prevalence and factors related to mouth breathing in school children at the Santo Amaro project-Recife, 2005. *Braz J Otorhinolaryngol* 2006; 72: 394-9.
53. Neuppmann Feres MF, Muniz TS, de Andrade SH, de Mello Lemos M, Nagata Pignatari SS. Craniofacial skeletal pattern: is it really correlated with the degree of adenoid obstruction? *Dental Press J Orthod* 2015; 20: 68-75.
54. Wysocki J, Krasny M, Skarzyński PH. Patency of nasopharynx and a cephalometric image in the children with orthodontic problems. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2009; 73: 1803-9.
55. Farid M, Metwalli N. Computed tomographic evaluation of mouth breathers among paediatric patients. *Dentomaxillofac Radiol* 2010; 39: 1-10.
56. Freitas MR, Alcazar NM, Janson G, Freitas KM, Henriques JF. Upper and lower pharyngeal airways in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 130: 742-5.
57. Feres MFN, Enoki C, Anselmo-Lima WT, Matsumoto MAN. Dimensões nasofaríngeas e faciais em diferentes padrões morfológicos. *Dent Press J Orthod* 2010; 15: 52-61.
58. Macari AT, Bitar MA, Ghafari JG. New insights on age-related association between nasopharyngeal airway clearance and facial morphology. *Orthod Craniofac Res* 2012; 15: 188-97.
59. Santos-Pinto A, Paulin RF, Melo ACM, Martins LP. A influência da redução do espaço nasofaríngeo na morfologia facial de pré-adolescentes. *Rev Dental Press Orthod Orthop Fac* 2004; 9: 19-26.
60. Liu Z, Shcherbatyy V, Gu G, Perkins JA. Effects of tongue volume reduction on craniofacial growth: a longitudinal study on orofacial skeletons and dental arches. *Arch Oral Biol* 2008; 53: 991-1001.
61. Taylor AB. Diet and mandibular morphology in African apes. *Int J Primatol* 2006; 27: 181-201.
62. Lucas P, Constantino P, Wood BA. Inferences regarding the diet of extinct hominins: structural and functional trends in dental and mandibular morphology within the hominin clade. *J Anat* 2008; 212: 486-500.
63. Bastir M, Rosas A. Cranial airways and the integration between the inner and outer facial skeleton in humans. *Am J Phys Anthropol* 2013; 152: 287-93.
64. Lieberman P. *Toward an evolutionary biology of language*. Harvard University Press 2006.