

Kostnienie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego. Przegląd piśmiennictwa

Ossification of the spheno-occipital synchondrosis. Literature review

Anna Szpinda-Barczyńska¹ **A****B****D****E** (ORCID ID: 0000-0002-8128-0504)
Konrad Perkowski¹ **A****B****D****F** (ORCID ID: 0000-0002-6188-9670)

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 Zakład Ortodontji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Orthodontics, Medical University of Warsaw

Streszczenie

Zamykanie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego postępuje u obu płci od wewnątrz na zewnątrz czaszki. Stosunkowo późne kostnienie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, w porównaniu z innymi chrząstkozrostami podstawy czaszki, ma olbrzymie znaczenie dla wzrostu twarzoczaszki. **Cel.** Celem niniejszej pracy jest przedstawienie danych na temat czasu kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, które uzyskano na podstawie badań makroanatomicznych, CT i CBCT wraz z zaprezentowaniem dymorfizmu płciowego, różnic etnicznych i aspektów klinicznych oraz zademonstrowanie wykorzystania wyników badań w ortodontji. **Materiał i metody.** Korzystając z elektronicznych baz danych (Scopus, ScienceDirect, Web of Science, BIOSIS, EMBASE i PubMed), dokonano przeglądu piśmiennictwa z lat 1960–2019 i podsumowano informacje na temat kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego. Zastosowano następujące

Abstract

Closure of the spheno-occipital synchondrosis is progressing in both sexes from the inside to the outside of the skull. Compared to other cranial base synchondroses, the spheno-occipital synchondrosis ossifies relatively late, and therefore it is of great importance for the growth of the facial skeleton. **Aim.** The aim of this paper is to present data on ossification time of the spheno-occipital synchondrosis based on data obtained from macro-anatomical studies, CT and CBCT scans; to present information on sexual dimorphism, ethnic differences and clinical aspects, as well as to demonstrate the use of results of these studies in orthodontics. **Material and methods.** Electronic databases (Scopus, ScienceDirect, Web of Science, BIOSIS, EMBASE and PubMed) were used in the search of literature from the period 1960–2019 and information on the ossification of the spheno-occipital synchondrosis was summarised.

Adres do korespondencji/*Correspondence address:*
Anna Szpinda-Barczyńska
Zakład Ortodontji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
e-mail: anka.szpinda@gmail.com



Copyright: © 2005 Polish Orthodontic Society. This is an Open Access journal, all articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

kryteria wyszukiwania w języku angielskim: chrząstkozrost klinowo-potyliczny, stopień kostnienia, czas zamknięcia chrząstkozrostu. **Wyniki.** Wyszukano 172 publikacje odnoszące się do użytych słów kluczowych i dokonano przeglądu 38 prac z lat 1960–2019. Chrząstkozrost klinowo-potyliczny kostnieje i zamyka się ok. 1–2 lat później u płci męskiej. Stopień kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego wykazuje duże różnice etniczne. Przedłużający się okres wzrostu i kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego aż do okresu młodzieńczego działa jako mechanizm opóźniający, niezbędny dla względnie późnego wyrzynania się uzębienia stałego. **Wnioski.** Znajomość okresów kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, a zatem jego wpływu na położenie szczęki, pozwala lepiej zaplanować leczenie ortodontyczne, ocenić wpływ wzrostu trwającego po zakończeniu leczenia na długoterminową stabilność uzyskanych wyników oraz pozwala prawidłowo zinterpretować wynik leczenia ortodontycznego. Ponadto ocena stopnia fuzji chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może być wykorzystana do oceny dojrzałości szkieletowej, której ma istotny wpływ na czas rozpoczęcia leczenia ortodontycznego poszczególnych wad zgryzu. **(Perkowski K, Szpinda-Barczyńska A. Kostnienie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego. Przegląd piśmiennictwa. Forum Ortod 2020; 16 (3): 229-38).**

Nadesłano: 16.04.2020

Przyjęto do druku: 19.08.2020

<https://doi.org/10.5114/for.2020.100179>

Słowa kluczowe: chrząstkozrost klinowo-potyliczny, stopień kostnienia, czas zamknięcia, chrząstkozrost

Wstęp

Stosunkowo późne kostnienie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, w porównaniu z innymi chrząstkozrostami podstawy czaszki, ma duże znaczenie dla wzrostu twarzoczaszki i określenia wieku dla potrzeb medycyny sądowej (1–9). Różne czynniki rozwojowe, socjoekonomiczne i etniczne, a także zróżnicowane metody badań – makroanatomiczne, histologiczne, radiograficzne, CT oraz CBCT – skutkują dużymi rozbieżnościami w ocenie stopnia fuzji i kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego w różnych populacjach. Z uwagi na fakt nakładania się struktur oraz niskiej rozdzielczości przy konwencjonalnej radiografii dwuwymiarowej, trójwymiarowe techniki CT są bardziej dokładne i niezawodne. Tomografia wiązki stożkowej znacznie zmniejsza dawkę promieniowania, w porównaniu z konwencjonalnym CT (10, 11). Zamykanie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego postępuje u obu płci od wewnątrz na zewnątrz czaszki. Zostało to potwierdzone na podstawie badań radiograficznych i CT, które ujawniły, że wewnątrzczaszkowa część chrząstkozrostu klinowo-potylicznego była

The following search criteria were used in English: spheno-occipital synchondrosis, ossification degree, synchondrosis closure time. **Results.** 172 publications with keywords of interest were identified, and a review of 38 papers from the years 1960–2019 was conducted. The spheno-occipital synchondrosis ossifies and closes about 1–2 years later in males. The stage of ossification of the spheno-occipital synchondrosis shows significant ethnic differences. The prolonged period of growth and ossification of the spheno-occipital synchondrosis until adolescence acts as a delaying mechanism which is necessary because the permanent dentition erupts relatively late. **Conclusions.** When one knows the periods of ossification of the spheno-occipital synchondrosis and associated effects on the position of the maxilla, it allows better planning of orthodontic treatment, assessment of the effects of growth that is still present after treatment on the long-term stability of results obtained, and it also allows for correct interpretation of outcomes of orthodontic treatment. In addition, the assessment of the degree of fusion of the spheno-occipital synchondrosis can be used to assess skeletal maturation, and this evaluation has a significant impact on the time when orthodontic treatment of individual malocclusions is started. **(Perkowski K, Szpinda-Barczyńska A. Ossification of the spheno-occipital synchondrosis. Literature review. Orthod Forum 2020; 16 (3): 229-38).**

Received: 16.04.2020

Accepted: 19.08.2020

<https://doi.org/10.5114/for.2020.100179>

Key words: spheno-occipital synchondrosis, ossification degree, closure time, synchondrosis

Introduction

Compared to other cranial base synchondroses, the spheno-occipital synchondrosis ossifies relatively late, and therefore it is of great importance for the growth of the facial skeleton and age determination for forensic purposes (1–9). Due to different developmental, socioeconomic and ethnic factors, as well as various research methods – macro-anatomical, histological, radiographic, CT and CBCT – there are significant discrepancies in the assessment of a degree of fusion and ossification of the spheno-occipital synchondrosis in different populations. Because of overlapping structures and low resolution observed with conventional two-dimensional radiography, three-dimensional CT techniques are more accurate and reliable. Cone-beam computed tomography significantly reduces a radiation dose compared to a conventional CT scan (10, 11). Closure of the spheno-occipital synchondrosis is progressing in both sexes from the inside to the outside of the skull. This has been confirmed by radiographic and CT scans which revealed that the

Ossification of the spheno-occipital synchondrosis. Literature review

zamknięta u pacjentów w wieku 9–18 lat (12–16). Okamoto i wsp. ustalili, że u 22 z 40 pacjentów w wieku 8–13 lat w linii pośrodkowej chrząstkozrostu klinowo-potylicznego stwierdzono ośrodek kostnienia w jego części górnej (10 pacjentów) i środkowej (7 pacjentów), wolną dolną połowę z całkowicie zamkniętą górną połową (1 pacjent), skostnienie prawie na całej długości chrząstkozrostu (4 pacjentów). U 20 spośród 22 pacjentów ten pośrodkowy ośrodek kostnienia był uwidoczony jako gęsta kość korowa otoczona hipodensyjną strefą chrząstki szklistej (16).

Cel

Celem niniejszej pracy przeglądowej jest przeanalizowanie danych dotyczących czasu kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego w oparciu o dane uzyskane na podstawie badań makroanatomicznych, tomografii standardowej (CT) i tomografii wiązki stożkowej (CBCT) wraz z uwzględnieniem dymorfizmu płciowego, różnic etnicznych i aspektów klinicznych oraz przedstawienie wykorzystania wyników badań w ortodoncji.

Materiał i metody

Strategia wyszukiwania piśmiennictwa na temat kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego polegała na wykorzystaniu elektronicznych baz danych Scopus, ScienceDirect, Web of Science, BIOSIS, EMBASE i PubMed. Zastosowano następujące kryteria wyszukiwania w języku angielskim: chrząstkozrost klinowo-potyliczny, stopień kostnienia, czas zamknięcia chrząstkozrostu. Kryteriami włączenia były: publikacja w języku angielskim, badania dotyczące czasu kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego. Wykluczono opisy przypadków, abstrakty, artykuły opublikowane w języku innym niż angielski oraz odbiegające tematyką od przedmiotu zainteresowania.

Wyniki i dyskusja

Wyszukano 172 publikacje odnoszące się do użytych słów kluczowych. Dokonano przeglądu 38 prac z lat 1960–2019.

Dymorfizm płciowy

Chrząstkozrost klinowo-potyliczny kostnieje i zamyka się ok. 1–2 lat później u płci męskiej (7, 13, 15, 17–21). Bassed i wsp. nie stwierdzili istotnych różnic płciowych w czasie zamknięcia chrząstkozrostu począwszy od 16 r. życia. Różnice płciowe mogą także wynikać z faktu, że po obu stronach wystąpiły dodatkowe symetryczne ośrodki kostnienia w chrząstkozroście klinowo-potylicznym u 6 z 12 dziewcząt, których brakowało u chłopców (9). Ustalenia Mahona i wsp. różnią się od poglądu ogólnie prezentowanego w piśmiennictwie, że całkowita fuzja występuje najpierw u kobiet.

intracranial part of the spheno-occipital synchondrosis was closed in patients aged 9–18 years (12–16). Okamoto et al. determined that in 22 out of 40 patients aged 8–13 years in the midline of the spheno-occipital synchondrosis there was a centre of ossification in its upper (10 patients) and middle (7 patients) sections, a free lower half with the upper half completely closed (1 patient), and ossification over almost the entire length of the spheno-occipital synchondrosis (4 patients). In 20 out of 22 patients, this midline ossification centre was visible as dense cortical bone surrounded by a hypodense zone of hyaline cartilage (16).

Aim

The aim of this review is to analyse data on ossification time of the spheno-occipital synchondrosis based on data obtained from macro-anatomical studies, standard computed tomography (CT) and cone-beam computed tomography (CBCT), including sexual dimorphism, ethnic differences and clinical aspects, and to present the use of these results in orthodontics.

Material and methods

The search strategy for literature regarding ossification of the spheno-occipital synchondrosis was based on the use of electronic databases such as Scopus, ScienceDirect, Web of Science, BIOSIS, EMBASE and PubMed. The following search criteria were used in English: spheno-occipital synchondrosis, ossification degree, synchondrosis closure time. The inclusion criteria were as follows: publications in English, studies regarding the time of ossification of the spheno-occipital synchondrosis. Case reports, abstracts, articles published in a language other than English and articles with a different subject matter from the subject of interest were excluded.

Results and discussion

172 publications with keywords of interest were identified. A review of 38 papers from the years 1960–2019 was conducted.

Sexual dimorphism

The spheno-occipital synchondrosis ossifies and closes about 1–2 years later in males (7, 13, 15, 17–21). Bassed et al. did not find significant differences between sexes in relation to the synchondrosis closure after the age of 16 years. Sexual differences may also result from the fact that there were additional symmetrical ossification centres on both sides of the spheno-occipital synchondrosis in 6 out of 12 girls, and they were missing in boys (9). The findings of Mahon et al. differ from the general view presented in the literature that complete fusion occurs first in women. According to these

Zdaniem tych autorów całkowite zamknięcie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego wystąpiło u wszystkich osób w wieku powyżej 20 lat, niezależnie od płci (6). Kocasarac i wsp. ocenili korelację między fuzją chrząstkozrostu klinowo-potylicznego (SOS), mineralizacją zębów trzonowych trzecich (TMM), wiekiem chronologicznym i mineralizacją kręgów szyjnych (CVM) za pomocą tomografii komputerowej u 116 tureckich pacjentów w wieku 8–28 lat. Chrząstkozrost klinowo-potyliczny otwarty, półzamknięty i zamknięty występował u mężczyzn i kobiet w wieku odpowiednio 10,58 i 9,75 lat, 18,62 i 15 lat oraz 18,92 i 18,02 lat. Odnotowano silną korelację między wiekiem a fuzją chrząstkozrostu klinowo-potylicznego: $r = 0,810$ dla mężczyzn i $r = 0,643$ dla kobiet. Korelacja między mineralizacją trzecich zębów trzonowych a fuzją chrząstkozrostu klinowo-potylicznego wynosiła 0,759 dla mężczyzn i 0,534 dla kobiet. Mineralizacja kręgów szyjnych była silnie skorelowana z fuzją chrząstkozrostu klinowo-potylicznego u mężczyzn ($r = 0,851$) i kobiet ($r = 0,618$) (22).

Badania makroanatomiczne

Badania makroanatomiczne dotyczące chrząstkozrostu klinowo-potylicznego były przeprowadzone przez Pipaliya i wsp. na 100 autopsyjnych osobnikach hinduskich w wieku 8–26 lat, przez Pate i wsp. – na 198 autopsyjnych osobnikach ze Środkowych Indii oraz przez Mahona i wsp. na wymacerowanych czaszkach 74 mężczyzn i 73 kobiet w wieku 12–30 lat, pochodzących od czarnej populacji Afryki Południowej (6, 7, 19). Pipaliya i wsp. stwierdzili, że chrząstkozrost klinowo-potyliczny zaczynał kostnieć w wieku 13 lat u obu płci i był całkowicie zamknięty u mężczyzn w wieku 18 lat oraz u kobiet w wieku 16 lat (19). Pate i wsp. wykazali, że średni wiek z otwartym chrząstkozrostem klinowo-potylicznym wynosił $11,11 \pm 2,12$ lat u mężczyzn i $9,25 \pm 1,58$ u kobiet. Maksymalny wiek z otwartym chrząstkozrostem wynosił 15 lat dla mężczyzn i 12 lat dla kobiet. Autorzy ci wykazali, że fuzja chrząstkozrostu klinowo-potylicznego rozpoczynała się na początku okresu dojrzewania, czyli u mężczyzn w wieku 14–15 lat, a u kobiet w wieku 11–12 lat. Półzamknięty chrząstkozrost dotyczył mężczyzn w wieku 14–19 lat ($16,8 \pm 1,16$) i kobiet w wieku 11–14 lat ($12,6 \pm 1,14$). Ponadto autorzy stwierdzili statystycznie istotną różnicę między wiekiem a płcią w zamknięciu szwu ($R^2 = 0,81$), przewidując w ten sposób ocenę szwu klinowo-potylicznego. Zamknięty chrząstkozrost występował u mężczyzn w wieku 17–26 lat ($21,48 \pm 2,05$) oraz u kobiet w wieku 14–26 lat. O ile szew klinowo-potyliczny był otwarty lub półzamknięty poniżej 17 r. życia u mężczyzn i poniżej 12 r. życia u kobiet, to pozostawał całkowicie zamknięty w wieku powyżej 21 lat u mężczyzn i powyżej lub w wieku 20 lat u kobiet. Biorąc pod uwagę stopień fuzji (y) versus wiek, autorzy obliczyli następującą analizę regresji: $y = -1,340 + 0,150 \times \text{wiek}$ dla mężczyzn i $y = -0,434 + 0,166 \times \text{wiek}$ dla kobiet. Ponadto zamknięcie szwu było silnie skorelowane

autorów, complete closure of the spheno-occipital synchondrosis occurred in all individuals aged over 20 years, regardless of their sex (6). Kocasarac et al. evaluated the correlation between fusion of the spheno-occipital synchondrosis (SOS), third molar mineralisation (TMM), chronological age and cervical vertebral maturation (CVM) using computed tomography in 116 Turkish patients aged 8–28 years. Open, semi-closed and closed spheno-occipital synchondrosis was found in men and women aged 10.58 and 9.75 years, 18.62 and 15 years, and 18.92 and 18.02 years, respectively. There was a strong correlation observed between the age and fusion of the spheno-occipital synchondrosis: $r = 0.810$ for men and $r = 0.643$ for women. The correlation between third molar mineralisation and fusion of the spheno-occipital synchondrosis was 0.759 for men and 0.534 for women. Cervical vertebral maturation was strongly correlated with fusion of the spheno-occipital synchondrosis in men ($r = 0.851$) and women ($r = 0.618$) (22).

Macro-anatomical studies

Macro-anatomical studies on the spheno-occipital synchondrosis were conducted by Pipaliya et al. on 100 Indian cadavers aged 8–26 years, by Pate et al. – on 198 cadavers from Central India and by Mahon et al. on macerated skulls of 74 men and 73 women aged 12–30 years from the black South African population (6, 7, 19). Pipaliya et al. found that the spheno-occipital synchondrosis started to ossify at the age of 13 years in both sexes, and was completely closed in men at the age of 18 years and in women at the age of 16 years (19). Pate et al. showed that the mean age with open spheno-occipital synchondrosis was 11.11 ± 2.12 years in men and 9.25 ± 1.58 in women. The maximum age with open synchondrosis was 15 years for men and 12 years for women. These authors demonstrated that fusion of the spheno-occipital synchondrosis started at the beginning of puberty, i.e. in men at the age of 14–15 years, and in women at the age of 11–12 years. Semi-closed synchondrosis was observed in men aged 14–19 years (16.8 ± 1.16) and in women aged 11–14 years (12.6 ± 1.14). In addition, the authors found a statistically significant difference between the age and sex in relation to suture closure ($R^2 = 0.81$), therefore it was possible to predict the assessment of the spheno-occipital suture. Closed spheno-occipital synchondrosis was observed in men aged 17–26 years (21.48 ± 2.05) and in women aged 14–26 years. While the spheno-occipital synchondrosis was open or semi-closed at the age below 17 years in men and below 12 years in women, it remained completely closed at the age above 21 years in men and above or at 20 years in women. Taking into account the degree of fusion (y) versus age, the authors calculated the following regression analysis: $y = -1.340 + 0.150 \times \text{age}$ for men and $y = -0.434 + 0.166 \times \text{age}$ for women. In addition, suture closure was strongly correlated with the age: $r = 0.64$ for men and $r = 0.78$ for women (7). On the contrary, given the age at which the

Ossification of the spheno-occipital synchondrosis. Literature review

z wiekiem: $r = 0,64$ dla mężczyzn i $r = 0,78$ dla kobiet (7). Przeciwnie, biorąc pod uwagę wiek, w którym chrząstkozrost klinowo-potyliczny jest otwarty (stopień 1), z trwającą fuzją (stopień 2) i zamknięty (stopień 3), Mahon i wsp. nie stwierdzili statystycznej różnicy między wiekiem a czasem zamknięcia ($p = 0,8$) u obu płci. Najmłodszy mężczyźni i kobiety wykazujący oznaki zamkniętego chrząstkozrostu klinowo-potylicznego byli odpowiednio w wieku 12 i 15 lat, podczas gdy najstarsi mieli 19 lat w przypadku obu płci. Najmłodszy mężczyźni i kobiety, u których wykazano całkowite zamknięcie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, byli odpowiednio w wieku 15 i 16 lat. Oznacza to, że wyniki badania Mahona i wsp. różnią się od ogólnego poglądu w piśmiennictwie, że całkowita fuzja występuje wcześniej u kobiet (6).

Badania CT

Badania CT z 1 mm grubością warstw dotyczące chrząstkozrostu klinowo-potylicznego przeprowadzili Can i wsp. u 399 osób płci męskiej i 139 osób płci żeńskiej w wieku 10–25 lat, Bassed i wsp. u 666 osób w wieku 15–25 lat oraz Hisham i wsp. u malezyjskich 336 mężczyzn i 164 kobiet w wieku 5–25 lat (9, 15, 20). Do oceny stopnia skostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego w badaniu CT autorzy wykorzystali klasyfikację czterostopniową opracowaną przez Powella i Brodiego lub klasyfikację pięciostopniową opracowaną przez Bassed. Warto zauważyć, że w klasyfikacji pięciostopniowej dodano nowy stopień 4, ponieważ w przeciwieństwie do zdjęć rentgenowskich blizna fuzyjna była zidentyfikowana na obrazach CT o wysokiej rozdzielczości. Klasyfikacja czterostopniowa wyróżnia następujące stopnie: stopień 0 (chrząstkozrost całkowicie otwarty i nieskondensowany), stopień 1. (skostnienie na brzegu górnym chrząstkozrostu), stopień 2. (skostnienie w górnej połowie chrząstkozrostu), stopień 3. (całkowite skostnienie chrząstkozrostu). Klasyfikacja pięciostopniowa wyróżnia następujące stopnie: stopień 1. (chrząstkozrost całkowicie otwarty i nieskondensowany), stopień 2. (skostnienie na brzegu górnym), stopień 3. (skostnienie w górnej połowie chrząstkozrostu), stopień 4. (całkowite skostnienie, ale z widoczną blizną fuzyjną), stopień 5. (całkowite skostnienie chrząstkozrostu) (9, 13).

Can i wsp., wykorzystując klasyfikację pięciostopniową, stwierdzili, że chrząstkozrost klinowo-potyliczny był całkowicie otwarty w wieku $11,5 \pm 1,5$ u płci męskiej i $10,7 \pm 0,8$ lat u płci żeńskiej (15). W oparciu o czterostopniowy system oceny chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, Hisham i wsp. stwierdzili, że stopień 0 dotyczył płci męskiej w wieku $10,26 \pm 2,45$ lat i płci żeńskiej w wieku $9,33 \pm 2,69$ lat; stopień 1. – u płci męskiej w wieku $13,74 \pm 1,48$ lat i u płci żeńskiej w wieku $10,82 \pm 2,36$ lat; stopień 2. – u płci męskiej w wieku $14,75 \pm 1,45$ lat i u płci żeńskiej w wieku $13,60 \pm 1,07$ lat; stopień 3. – u mężczyzn w wieku $20,84 \pm 2,84$ lat i u kobiet w wieku $19,78 \pm 3,35$ lat. U mężczyzn i kobiet, chrząstkozrost klinowo-potyliczny był otwarty

spheno-occipital synchondrosis is open (stage 1), with ongoing fusion (stage 2) and closed (stage 3), Mahon et al. did not find a statistical difference between the age and closure time ($p = 0.8$) in both sexes. The youngest men and women showing signs of closed spheno-occipital synchondrosis were 12 and 15 years old, respectively, while the oldest were 19 years old in the case of both sexes. The youngest men and women with complete closure of the spheno-occipital synchondrosis were 15 and 16 years old, respectively. This means that the studies by Mahon et al. differ from the general view presented in the literature that complete fusion occurs first in women (6).

CT scans

CT scans with 1-mm thick layers of the spheno-occipital synchondrosis were performed by Can et al. in 399 men and 139 women aged 10–25 years, Bassed et al. in 666 subjects aged 15–25 years and Hisham et al. in 336 men and 164 women from Malaysia aged 5–25 years (9, 15, 20). The degree of ossification of the spheno-occipital synchondrosis in CT scans was assessed by authors using the four-stage classification developed by Powell and Brodie or the five-stage classification developed by Bassed. It is worth noting that a new stage 4 has been added to the five-stage classification because the fusion scar was identified in high-resolution CT images contrary to X-rays. The four-stage classification distinguishes the following stages: Stage 0 (synchondrosis is fully open and is not condensed), Stage 1 (ossification at the upper edge of synchondrosis), Stage 2 (ossification in the upper half of synchondrosis), Stage 3 (complete ossification of synchondrosis). The five-stage classification distinguishes the following stages: Stage 1 (synchondrosis is fully open and not condensed), Stage 2 (ossification at the upper edge), Stage 3 (ossification in the upper half of synchondrosis), Stage 4 (complete ossification but with a visible fusion scar), Stage 5 (complete ossification of synchondrosis) (9, 13).

Using the five-stage classification, Can et al. found that the spheno-occipital synchondrosis was completely open at the age of 11.5 ± 1.5 years in men and 10.7 ± 0.8 years in women (15). Based on the four-stage system of evaluation of the spheno-occipital synchondrosis, Hisham et al. concluded that stage 0 was observed in males at the age of 10.26 ± 2.45 years and in females at the age of 9.33 ± 2.69 years; stage 1 – in males at the age of 13.74 ± 1.48 years and in females at the age of 10.82 ± 2.36 years; stage 2 – in males at the age of 14.75 ± 1.45 years and in females at the age of 13.60 ± 1.07 years; stage 3 – in males at the age of 20.84 ± 2.84 years and in females at the age of 19.78 ± 3.35 years. In men and women, the spheno-occipital synchondrosis was open at the age of 9 and 10 years, respectively. The average age for stage 1 was by 2 years lower for females than for males. The highest age for stage 2 was 17 years for women and 15 years for men. Complete synchondrosis ossification

odpowiednio w wieku 9 i 10 lat. Średni wiek dla stopnia 1. był o 2 lata mniejszy u płci żeńskiej niż u płci męskiej. Najwyższy wiek dla stopnia 2. wynosił 17 lat u kobiet i 15 lat u mężczyzn. U wszystkich badanych powyżej 18 r.ż. stwierdzono całkowite skostnienie chrząstkozrostu (20). Za pomocą pięciostopniowego systemu Bassed i wsp. ustalili, że w wieku 15 lat u kobiet występował stopień 4., a u mężczyzn – stopień 3. W wieku 16 lat u obu płci występował stopień 4. W 17 r.ż. dla obu płci nie stwierdzono żadnego indywidualnego stopnia poniżej 4., z postępującym wzrostem liczby osobników ze stopniem 5. (9). Z powyższych ustaleń wynika, że stopień zespolenia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może znacząco przyczynić się do oszacowania wieku nieletnich dla potrzeb medycyny sądowej (23). Nieco zaskakujące badania CT donoszą, że chrząstkozrost klinowo-potyliczny zaczyna kostnieć już w 4. r.ż. (24–27).

Badania CBCT

Chrząstkozrost klinowo-potyliczny przy zastosowaniu tomografii komputerowej z wiązką stożkową dokładnie zbadali Sinanoglu i wsp. u 90 mężczyzn i 148 kobiet w wieku 7–25 lat oraz Alhazmi i wsp. u 361 osób płci męskiej i 380 osób płci żeńskiej w wieku 6–20 lat. Do oceny stopnia skostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego w badaniu CBCT autorzy wykorzystali klasyfikację czterostopniową wyróżniającą następujące stopnie: stopień 0 (chrząstkozrost całkowicie otwarty), stopień 1. (kostnienie wewnątrzczaszkowe), stopień 2. (kostnienie zewnątrzczaszkowe), stopień 3. (całkowite skostnienie) (5, 21). Sinanoglu i wsp. stwierdzili, że chrząstkozrost klinowo-potyliczny był całkowicie otwarty (stopień 0) u obu płci, średnio w wieku 10 lat. Kostnienie wewnątrzczaszkowe (stopień 1.) dotyczyło chłopców i dziewcząt w wieku odpowiednio 13 i 12 lat, podczas gdy kostnienie zewnątrzczaszkowe (stopień 2.) było typowe dla chłopców i dziewcząt w wieku 17 lat. Całkowite skostnienie (stopień 3.) chrząstkozrostu następowało w 18. r.ż. u kobiet i w 20. r. życia u mężczyzn. Warto zauważyć, że u jednego mężczyzny w wieku 24 lat i jednej kobiety w wieku 25 lat chrząstkozrost klinowo-potyliczny wciąż był nieskostniały. Autorzy ci stwierdzili statystycznie istotny związek między wiekiem osobnika a wiekiem skostnienia chrząstkozrostu dla obu płci ($r = 0,566$ dla kobiet, $r = 0,841$ dla mężczyzn; $P < 0,001$). Odnośnie stopni kostnienia, różnica istotna statystycznie dla obu płci odnosiła się tylko do wieku 13, 14 i 17 lat (5). Alhazmi i wsp. stwierdzili, że chrząstkozrost klinowo-potyliczny był całkowicie otwarty w wieku 11,07 lat u płci męskiej i 9,75 lat u płci żeńskiej. Warto zauważyć, że chrząstkozrost klinowo-potyliczny był częściowo skostniały w wieku 12,95 lat u płci męskiej i 11,67 lat u płci żeńskiej, w większości skostniały w wieku 14,44 lat u płci męskiej i 13,25 lat u płci żeńskiej oraz całkowicie skostniały w wieku 16,41 lat u mężczyzn i 15,25 lat u kobiet. Najmłodszy wiek dla całkowitego skostnienia (stopień 3.) występował u chłopca w wieku 12,30 lat ($16,41 \pm 1,40$ lat) i u dziewczynki w wieku

was found in all individuals above the age of 18 years (20). Using the five-stage system, Bassed et al. determined that at the age of 15 years stage 4 was observed in women and stage 3 in men. At the age of 16 years stage 4 was observed in both sexes. At the age of 17 years in both sexes, there was no stage below stage 4, and there was a growing number of individuals with stage 5 (9). Based on the findings above it can be concluded that the degree of fusion of the spheno-occipital synchondrosis may significantly contribute to the age estimation of minors for forensic purposes (23). What is slightly surprising, some CT scans report that the spheno-occipital synchondrosis starts to ossify already at the age of 4 years (24–27).

CBCT scans

The spheno-occipital synchondrosis was thoroughly examined using cone-beam computed tomography by Sinanoglu et al. in 90 men and 148 women aged 7–25 years and by Alhazmi et al. in 361 men and 380 women aged 6–20 years. In order to assess the stage of ossification of the spheno-occipital synchondrosis in CBCT scans, the authors used a four-stage classification distinguishing the following stages: Stage 0 (fully open synchondrosis), Stage 1 (intracranial ossification), Stage 2 (extracranial ossification), Stage 3 (complete ossification) (5, 21). Sinanoglu et al. found that the spheno-occipital synchondrosis was completely open (stage 0) in both sexes, on average at the age of 10 years. Intracranial ossification (stage 1) was observed in boys and girls aged 13 and 12 years, respectively, while extracranial ossification (stage 2) was typical for boys and girls aged 17 years. Complete synchondrosis ossification (stage 3) was observed at the age of 18 years in women and 20 years in men. It should be noted that in one man at the age of 24 years and one woman at the age of 25 years, the spheno-occipital synchondrosis was still not completely ossified. These authors found a statistically significant correlation between the age of an individual and the age of spheno-occipital synchondrosis ossification for both sexes ($r = 0.566$ for women, $r = 0.841$ for men; $P < 0.001$). As far as ossification stages are concerned, a statistically significant difference for both sexes referred only to the age of 13, 14, and 17 years (5). Alhazmi et al. found that the spheno-occipital synchondrosis was completely open at the age of 11.07 years in males and 9.75 years in females. It should be mentioned that the spheno-occipital synchondrosis was partially ossified at the age of 12.95 years in males and 11.67 years in females, mostly ossified at the age of 14.44 years in males and 13.25 years in females, and completely ossified at the age of 16.41 years in males and 15.25 years in females. The youngest age for complete ossification (stage 3) was observed in a boy at the age of 12.30 years (16.41 ± 1.40) and in a girl at the age of 10.66 years (15.25 ± 1.89). On the other hand, the oldest age when the spheno-occipital synchondrosis was still completely open (stage 0) was at 15.80 years

Ossification of the spheno-occipital synchondrosis. Literature review

10,66 lat ($15,25 \pm 1,89$ lat). Z kolei najstarszy wiek, w którym chrząstkozrost klinowo-potyliczny pozostawał wciąż całkowicie otwarty (stopień 0) wynosił 15,80 lat ($11,07 \pm 1,91$) dla mężczyzn i 15,40 lat ($9,75 \pm 1,30$) lat dla kobiet. Stwierdzono istotną dodatnią zależność między wiekiem osobnika a stopniem zamknięcia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego dla obu płci: $r = 0,844$ dla płci męskiej i $r = 0,834$ dla płci żeńskiej. Każdy stopień kostnienia u płci żeńskiej pojawiał się istotnie wcześniej o co najmniej rok, niż związany z nim ten sam stopień u płci męskiej. Okazało się, że w wieku 10 lat u płci żeńskiej jest wyższy roczny współczynnik zamknięcia (38,60%) niż u płci męskiej. O ile tempo kostnienia u chłopców wydaje się wolniejsze niż u dziewczynek w wieku 10 lat, to jednak ten proces jest rozciągnięty na 11–14 lat, w zakresie od 22 do 26% rocznie. Warto zauważyć, że autorzy udowodnili statystycznie istotny związek między stopniem kostnienia u kobiet a początkiem dojrzewania. U kobiet po pierwszej miesiączce najmniejszemu udziałowi w stopniu 0 (otwarty chrząstkozrost) towarzyszył najwyższy udział w stopniu 3. (całkowite skostnienie). I przeciwnie, do czasu rozpoczęcia cyklu miesięczkowego stwierdzono najwyższy udział w stopniu 0 i najmniejszy udział w stopniu 3. (21).

Różnice etniczne w kostnieniu chrząstkozrostu klinowo-potylicznego

Zgodnie z profesjonalnym piśmiennictwem stopień kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego wykazuje duże różnice etniczne. Przy użyciu CT wykazano, że jego całkowite skostnienie występowało w wieku 18,62 lat u kobiet i 19,83 u mężczyzn w populacji zachodniej Australii; w wieku 18 lat u Malajów; w wieku 17 lat dla obu płci u wschodnich Australijczyków oraz w zachodniej populacji Turcji; w wieku 16,41 lat u mężczyzn i 15,25 lat u kobiet wśród współczesnych Amerykanów; w wieku 13–17 lat u kobiet i 15–19 lat u mężczyzn w północno-zachodnich Indiach; przed 13 r.ż. w populacji japońskiej (9, 15, 16, 20, 28, 29). Nic więc dziwnego, że Krischan i Kanchan doszli do wniosku, że oszacowanie wieku przez zamknięcie chrząstkozrostu klinowo-potylicznego ma jedynie ograniczoną użyteczność ze względu na dużą zmienność czasu jego zamknięcia. W związku z powyższym czas kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może służyć jedynie jako pomocniczy dowód dla oszacowania wieku, a nie jako kryterium decydujące (30).

Aspekty kliniczne

Według badań Melsen utworzenie pojedynczego mostu kostnego w chrząstkozroście klinowo-potylicznym wskazuje na zakończenie wzrostu na długość tylnego dołu czaszki, pomimo że chrząstka jest nadal obecna (17). Jak stwierdził Rosenberg, chrząstkozrost klinowo-potyliczny może utrzymywać się aż do 18 r.ż., dlatego powinien być różnicowany z innymi chrząstkozrostami albo przetrwałym kanałem

($11,07 \pm 1,91$) for males and 15.40 years ($9,75 \pm 1,30$) for females. There was a significant positive correlation between the individual's age and the stage of closure of the spheno-occipital synchondrosis for both sexes: $r = 0,844$ for males and $r = 0,834$ for females. Each stage of ossification in females was observed significantly earlier by at least one year than the same stage in males. It was observed that at the age of 10 years in females, the annual closure rate is higher (38.60%) compared to males. While the ossification rate in boys seems to be slower than that of girls aged 10 years, this process is extended to the period of 11–14 years, ranging from 22 to 26% per year. It is worth mentioning that the authors have proven a statistically significant relationship between the ossification stage in women and the beginning of puberty. In women after the first menstruation, stage 0 (open synchondrosis) was observed the least frequently, and stage 3 (complete ossification) the most frequently. On the contrary, before the menstrual cycle had started, stage 0 was observed the most frequently and stage 3 was the least common (21).

Ethnic differences in ossification of the spheno-occipital synchondrosis

According to the professional literature, the stage of ossification of the spheno-occipital synchondrosis shows large ethnic differences. Using CT scans it has been shown that its complete ossification was present at the age of 18.62 years in women and 19.83 years in men in western Australia; at the age of 18 years in the Malay population; at the age of 17 years for both sexes in eastern Australia and western Turkey; at the age of 16.41 years in men and 15.25 years in women among modern Americans; at the age of 13–17 years in women and 15–19 years in men in northwest India; before 13 years of age in the Japanese population (9, 15, 16, 20, 28, 29). It is not surprising that Krischan and Kanchan concluded that the estimation of age based on the closure of the spheno-occipital synchondrosis is only of limited use due to the high variability of its closure time. Therefore, the time of ossification of the spheno-occipital synchondrosis can only serve as supporting evidence to estimate age and not as a decisive criterion (30).

Clinical aspects

According to studies by Melsen, the formation of a single bone bridge in the spheno-occipital synchondrosis indicates the end of growth of the posterior cranial fossa in terms of length, even though the cartilage is still present (17). As Rosenberg stated, the spheno-occipital synchondrosis could persist until the age of 18 years; therefore it should be differentiated against other synchondroses or a persistent craniopharyngeal canal (31, 32). The prolonged growth period of the spheno-occipital synchondrosis until adolescence is most likely to act as a delaying mechanism which is necessary because the permanent dentition erupts relatively

czaszkowo-gardłowym (31, 32). Przedłużający się okres wzrostu chrząstkozrostu klinowo-potylicznego aż do okresu młodzieńczego najprawdopodobniej działa jako mechanizm opóźniający, niezbędny dla względnie późnego wyrzynania się uzębienia stałego (33). Wzrost chrząstkozrostu klinowo-potylicznego przemieszcza część przednią podstawy czaszki wraz z kompleksem szczęki ku górze i ku przodowi, w efekcie tworząc przestrzeń niezbędną dla pionowego rozwoju szkieletu twarzy i erupcji uzębienia (34). Warto zauważyć, że wzrost chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może się zatrzymać wcześniej, około 15 r.ż., tuż po wyrznięciu się drugich zębów trzonowych, co skutkuje niewystarczającą przestrzenią do wzrostu trzeciego trzonowca (16). Natomiast przedwczesna fuzja chrząstkozrostu klinowo-potylicznego występująca w zespołach wad wrodzonych tj. achondroplazja, zespół Aperta, zespół obojczykowo-czaszkowy skutkuje niedorozwojem środkowego piętra twarzy (35).

Po całkowitym zespoleniu się kości klinowej z częścią podstawną kości potylicznej po okresie dojrzewania, w tę ostatnią mogą penetrować zatoki klinowe aż do otworu wielkiego, a więc chrząstkozrost klinowo-potyliczny nie jest już dostrzegalny, poza jego sporadyczną pozostałością (16, 36). Jak relacjonują Okamoto i wsp. zatoki klinowe ograniczały się do trzonu kości klinowej zaledwie u 51 pacjentów spośród 195, a penetrowały część podstawną kości potylicznej aż u 144 pacjentów (16). W piśmiennictwie odnotowano sporadyczny przypadek przetrwałego chrząstkozrostu klinowo-potylicznego jeszcze w 20 r.ż. (36). Badacze doszli do wniosku, że jeśli poprzecznie zorientowana strefa hipodensji w obrębie stoku jest widoczna na skanach CT u pacjentów w wieku powyżej 13 lat z urazem głowy, to bardziej prawdopodobne jest złamanie czaszki niż przetrwały chrząstkozrost (16).

Jae-Hee Yang i wsp. na podstawie 262 zdjęć CBCT przeprowadzili ocenę czasu fuzji chrząstkozrostu klinowo-potylicznego w szkieletowych wadach klasy I i III. Jednakże nie wykryli statystycznie istotnej różnicy pomiędzy czasem kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego w wadach tych klas (37).

María José Fernández-Pérez i wsp. wykazali znaczącą korelację pomiędzy stopniem fuzji chrząstkozrostu klinowo-potylicznego a stopniem dojrzałości kręgów szyjnych. Autorzy na zdjęciach CBCT ocenili stopień fuzji chrząstkozrostu klinowo-potylicznego według pięciostopniowej klasyfikacji Bassed oraz stopień dojrzałości kręgów szyjnych według metody Baccettiego. Rozpoczęcie kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego (stopień 1.) wskazuje na początek młodzieńczego skoku wzrostowego, natomiast skostnienie w górnej połowie chrząstkozrostu (stopień 3.) odpowiada stadium CS4 (obecne CVMS III) według metody Baccettiego i wskazuje na szczyt wzrostu na wysokość. Autorzy uznali, że ocena kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może być nową metodą oceny dojrzałości szkieletowej wśród pacjentów, u których istnieją wskazania do diagnostyki CBCT przed rozpoczęciem leczenia ortodontycznego (38).

late (33). The growth of the spheno-occipital synchondrosis moves the anterior part of the cranial base together with the maxillary complex upwards and forwards, creating the space necessary for the vertical development of the facial skeleton and dentition eruption (34). It is worth noting that the growth of the spheno-occipital synchondrosis may be stopped earlier, at the age of about 15 years, just after second molars have erupted, resulting in insufficient space for the development of third molars (16). On the other hand, premature fusion of the spheno-occipital synchondrosis observed in congenital malformation syndromes such as achondroplasia, Apert syndrome, cleidocranial syndrome results in underdevelopment of the middle face (35).

After the complete fusion of the sphenoid bone with the basal part of the occipital bone after adolescence, the latter can be penetrated by sphenoid sinuses up to the foramen magnum, so that the spheno-occipital synchondrosis is no longer visible, except for its occasional remains (16, 36). According to Okamoto et al., sphenoid sinuses were limited to the body of the sphenoid bone only in 51 patients out of 195 and penetrated the basal part of the occipital bone in 144 patients (16). The literature reports a rare case of persistent spheno-occipital synchondrosis as late as at the age of 20 years (36). The researchers concluded that if a laterally oriented zone of hypodensity within the slope was visible in CT scans in patients over the age of 13 years with head trauma, a cranial fracture was more likely than persistent synchondrosis (16).

Based on 262 CBCT scans, Jae-Hee Yang et al. evaluated the time of fusion of the spheno-occipital synchondrosis in class I and III skeletal defects. However, they did not detect a statistically significant difference between the ossification time of the spheno-occipital synchondrosis in defects belonging to these classes (37).

María José Fernández-Pérez et al. demonstrated a significant correlation between the degree of fusion of the spheno-occipital synchondrosis and the degree of cervical vertebral maturation. In CBCT scans, the authors assessed the degree of fusion of the spheno-occipital synchondrosis according to the five-stage Bassed classification and the degree of cervical vertebral maturation according to the Baccetti method. The beginning of ossification of the spheno-occipital synchondrosis (stage 1) indicates the beginning of adolescent growth spurt, while ossification in the upper half of the synchondrosis (stage 3) corresponds to stage CS4 (currently CVMS III) according to the Baccetti method and indicates a peak growth in terms of height. The authors have concluded that the assessment of ossification of the spheno-occipital synchondrosis may be a new method to assess skeletal maturation among patients with indications for CBCT diagnosis before starting orthodontic treatment (38).

Wnioski

Wyniki badań wskazują na dużą zmienność czasu zamknięcia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego. W związku z powyższym czas kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może służyć jedynie jako pomocniczy dowód dla oszacowania wieku nieletnich, których zwłoki uległy rozkładowi. Wzrost chrząstkozrostu klinowo-potylicznego przemieszcza część przednią podstawy czaszki ku górze i ku przodowi, czego wynikiem jest bierna translacja szczęki w tym samym kierunku, która wpływa na sagittalną relację szczęk. Znajomość okresów kostnienia chrząstkozrostu klinowo-potylicznego, a zatem jego wpływu na położenie szczęki, pozwala lepiej zaplanować leczenie ortodontyczne, ocenić wpływ wzrostu trwającego po zakończeniu leczenia na długoterminową stabilność uzyskanych wyników oraz pozwala prawidłowo zinterpretować wynik leczenia ortodontycznego, który u pacjenta w okresie rozwojowym jest efektem nakładania zmian związanych ze stosowaniem aparatów i zmian wynikających ze wzrostu. Ponadto ocena stopnia fuzji chrząstkozrostu klinowo-potylicznego może być wykorzystana do oceny dojrzałości szkieletowej, której ocena ma istotny wpływ na czas rozpoczęcia leczenia ortodontycznego poszczególnych wad zgryzu.

Conclusions

The results of studies indicate a high variability of the closure time of the spheno-occipital synchondrosis. Therefore, the time of ossification of the spheno-occipital synchondrosis can only serve as supporting evidence to estimate the age of minors whose cadavers have decomposed. The growth of the spheno-occipital synchondrosis moves the anterior part of the cranial base upwards and forwards, resulting in passive translation of the maxilla in the same direction, and it affects the sagittal relationship of the maxilla and mandible. When one knows the periods of ossification of the spheno-occipital synchondrosis and associated effects on the position of the maxilla, it allows better planning of orthodontic treatment, assessment of the effects of growth that is still present after treatment on the long-term stability of results obtained; it also allows for correct interpretation of outcomes of orthodontic treatment, as in the patient's developmental period these outcomes include the overlapping effects of changes associated with the use of appliances and changes resulting from growth. In addition, the assessment of the degree of fusion of the spheno-occipital synchondrosis can be used to assess skeletal maturation, and this evaluation has a significant impact on the time when orthodontic treatment of individual malocclusions is started.

Piśmiennictwo / References

- Cendekiawan T, Wong RWK, Rabie ABM. Relationships Between Cranial Base Synchondroses and Craniofacial Development: A Review. *TOANATJ* 2010; 2: 67-75.
- Nie X. Cranial base in craniofacial development: developmental features, influence on facial growth, anomaly, and molecular basis. *Acta Odontol Scand* 2005; 63: 127-35.
- Atkinson M. The skull in: M. Atkinson (ed). *Anatomy for dental students*. 4th edition, Oxford University Press 2013: 210-1.
- Curtin HD, Hagiwara M. Embryology, anatomy and imaging of the central skull base. In: Som PM, Curtin HD (Eds). *Head and neck imaging Elsevier Mosby* 2011; 2: 941.
- Sinanoglu A, Demirturk KH, Noujeim M. Corrigendum to "Age estimation by an analysis of spheno-occipital synchondrosis using cone-beam computed tomography". *Leg Med Tokyo* 2016; 18: 13-9.
- Mahon TJ, Friedling LJ, Gordon GM. Spheno-occipital synchondrosis: Examining the degree of fusion in a South African Black skeletal sample. *Forensic Sci Int* 2017; 278: 408e1-5.
- Pate RS, Tingne CV, Dixit PG. Age determination by spheno-occipital synchondrosis fusion in Central Indian population. *J Forensic Leg Med* 2018; 54: 39-43.
- Hisham S, Flavel A, Abdullah N, Noor MHM, Franklin D. Quantification of spheno-occipital synchondrosis fusion in a contemporary Malaysian population. *Forensic Sci Int* 2018; 284: 78-84.
- Bassed RB, Briggs C, Drummer OH. Analysis of time of closure of the spheno-occipital synchondrosis using computed tomography. *Forensic Sci Int* 2010; 200: 161-4.
- Sezgin OS, Kayipmaz S, Yasar D, Berhan Yilmaz A, Ozturk MH. Comparative dosimetry of dental cone beam computed tomography. *Oral Radiol* 2012; 28: 32-7.
- Chindasombatjaroen J, Kakimoto M, Murakami S, Maeda Y, Furukawa S. Quantitative analysis of metallic artifacts caused by dental metals: comparison of cone-beam and multidetector row CT scanners. *Oral Radiol* 2011; 27: 114-20.
- Irwin CI. Roentgen determination of the time of closure of the spheno-occipital synchondrosis. *Radiology* 1960; 75: 450-3.
- Powell TV, Brodie AG. Closure of the spheno-occipital synchondrosis. *Anat Rec* 1963; 147: 15-23.
- Orion GL. Roentgen determination of the time of closure of the spheno-occipital synchondrosis. *Radiology* 1960; 75: 450-3.
- Can I, Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Sayin I, Kaya K. Forensic Age Estimation by Spheno-Occipital Synchondrosis Fusion Degree: Computed Tomography Analysis. *J Craniofac Surg* 2014; 25: 1212-6.
- Okamoto K, Ito J, Tokiguchi S, Furusawa T. High-Resolution CT Findings in the Development of the Spheno-occipital Synchondrosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 1996; 17: 117-20.
- Melsen B. Time and mode of closure of the spheno-occipital synchondrosis determined on human autopsy material. *Acta Anat* 1972; 83: 112-8.

18. Hoyte DA. A critical analysis of the growth in length of the cranial base. *Birth Defects* 1975; 11: 255-82.
19. Pipaliya KN, Aghera VJ, Dabhi DM, Mangal HM, Manvar PJ, Varu PR. Age determination from macroscopic examination of sphenoid-occipital synchondrosis closure. *Natl J Integr Res Med* 2015; 6: 22-5.
20. Hisham S, Flavel A, Abdullah N, Noor MHM, Franklin D. Quantification of sphenoid-occipital synchondrosis fusion in a contemporary Malaysian population. *Forensic Sci Int* 2018; 284: 78-84.
21. Alhazmi A, Vargas E, Palomo JM, Hans M, Latimer B, Simpson S. Timing and rate of sphenoid-occipital synchondrosis closure and its relationship to puberty. *Plos One* 2017; 21: e0183305.
22. Demirturk Kocasarac H, Altan AB, Yerlikaya C, Sinanoglu A, Noujeim M. Correlation between sphenoid-occipital synchondrosis, dental age, chronological age and cervical vertebrae maturation in Turkish population: is there a link? *Acta Odontol Scand* 2017; 75: 79-86.
23. Shirley NR, Jantz KL. Sphenoid-occipital synchondrosis fusion in modern Americans. *J Forensic Sci* 2011; 56: 580-5.
24. Madeline LA, Elster AD. Suture closure in the human chondrocranium: CT assessment. *Radiology* 1995; 196: 747-56.
25. Mann SS, Naidich TP, Towbin RB, Doundoulakis SH. Imaging of postnatal maturation of the skull base. *Neuroimaging Clin N Am* 2000; 10: 1-21.
26. Lingawi SS. Determination of the chronological age of skull base suture closure using computed tomography. *J Basic Appl Sci* 2012; 8: 247-52.
27. Lottering N, MacGregor DM, Alston CL, Gregory LS. Ontogeny of the sphenoid-occipital synchondrosis in a modern Queensland, Australian population using computed tomography. *Am J Phys Anthropol* 2015; 157: 42-57.
28. Franklin D, Flavel A. Brief communication: timing of sphenoid-occipital closure in modern Western Australians. *Am J Phys Anthropol* 2014; 153: 132-8.
29. Sahni D, Jit I, Neelam, Suri S. Time of fusion of the basisphenoid with the basilar part of the occipital bone in northwest Indian subjects. *Forensic Sci Int* 1998; 98: 41-5.
30. Krishan K, Kanchan T. Evaluation of sphenoid-occipital synchondrosis: a review of literature and considerations from forensic anthropologic point of view. *J Forensic Dent Sci* 2013; 5: 72-6.
31. Rosenberg RN. *The Clinical Neurosciences: Neuroradiology*. Churchill Livingstone 1984; 4: 46.
32. Shopfner CE, Wolfe TW, O'Kell RT. The intersphenoid synchondrosis. *Am J Roentgenol* 1968; 104: 184-93.
33. Standring S. editor. *Gray's Anatomy The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier 2016.
34. Coben E. The sphenoid-occipital synchondroses: the missing link between the profession's concept of craniofacial growth and orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 114: 709-12.
35. McGrath J, Gerety PA, Derderian CA, Steinbacher DM, Vossough A, Bartlett SP, Nah HD, Taylor JA. Differential closure of the sphenoid-occipital synchondrosis in syndromic craniosynostosis. *Plast Reconstr Surg* 2012; 130: 681e-9e.
36. Wackenheim A. Hypoplasia of the basi-occipital bone and persistence of the sphenoid-occipital synchondrosis in a patient with transitory supplementary fissure of the basi-occipital. *Neuroradiology* 1985; 27: 226-31.
37. Jae-Hee Yang, Bong-Kuen Cha, Dong-Soon Choi, Jae Hyun Park, Insan Jang. Time and pattern of the fusion of the sphenoid-occipital synchondrosis in patients with skeletal Class I and Class III malocclusion. *Angle Orthod* 2019; 89: 470-9.
38. María José Fernández-Pérez, José Antonio Alarcón, James A. McNamara, Jr., Miguel Velasco-Torres, Erika Benavides, Pablo Galindo-Moreno, Andrés Catena. Sphenoid-Occipital Synchondrosis Fusion Correlates with Cervical Vertebrae Maturation. *Plos One* 2016; 11: e0161104.