

Cefalometria w diagnostyce ortodontycznej – historia i terażniejszość

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

Ewa Sobieska¹ **A B D E F** (ORCID ID: 0000-0001-6217-6851)

Anna Widmańska-Grzywaczewska² **B D E** (ORCID ID: 0000-0002-7142-2513)

Wkład autorów: **A** Plan badań **B** Zbieranie danych **C** Analiza statystyczna **D** Interpretacja danych
E Redagowanie pracy **F** Wyszukiwanie piśmiennictwa

Authors' Contribution: **A** Study design **B** Data Collection **C** Statistical Analysis **D** Data Interpretation
E Manuscript Preparation **F** Literature Search

^{1,2} Zakład Ortodoncji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Orthodontics, Medical University of Warsaw

Streszczenie

Szczegółowe badania ludzkiej czaszki zapoczątkowali antropolodzy i anatomowie, którzy dokonywali różnych pomiarów na starożytnych szkieletach. Pomiary wykonywane na czaszkach z użyciem punktów kostnych, nazywane kranioometrią, były przeprowadzane również wśród osób żywych. Metoda z odnajdowaniem palpacyjnym punktów kostnych przez ucisk tkanek miękkich na głowie pacjenta została nazwana cefalometrią. Wśród zdjęć cefalometrycznych można wyróżnić cefalogramy dwuwymiarowe, boczne, tylnoprzodnie i osiowe oraz trójwymiarowe, które wykorzystują obrazy tomografii komputerowej i ukazują struktury twarzowej części czaszki w trzech wymiarach. Wiele badań jest poświęconych porównaniu konwencjonalnego cefalogramu uzyskanego z CBCT. Dowiedziono, że liczne punkty referencyjne są łatwiejsze do oceny w cefalogramie 2D uzyskanym z CBCT, niż w cefalogramach konwencjonalnych.

Abstract

Detailed research of the human cranium was initiated by anthropologists and anatomists who took various measurements on ancient skeletons. Measurements made on skulls using bone points, called craniometry, were also carried out in living subjects. The technique of finding bone points by palpation by pressing soft tissues on the patient's head was called cephalometry. With regard to cephalograms, there are two-dimensional, lateral, anterior-posterior and axial and three-dimensional cephalograms that use computed tomography images and show structure of the facial skeleton in three dimensions. Many studies have been devoted to comparing conventional and CBCT cephalograms. It has been proven that numerous reference points are easier to assess in 2D cephalograms from CBCT compared to conventional ones. Examinations of the airways in classic and CBCT 3D cephalometry performed

¹ Dr n. med., specjalista ortodonta / DDS, PhD, specialist in orthodontics

² Lek. stom., specjalista ortodonta / DDS, specialist in orthodontics

Dane do korespondencji/Correspondence address:

Ewa Sobieska

Zakład Ortodoncji WUM

ul. Nowogrodzka 59

02-006 Warszawa

e-mail: ortodoncja@wum.edu.pl

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

Badania dróg oddechowych w klasycznej cefalometrii i CBCT 3D, wykonane w krótkim odstępie czasu, wykazały wysoką korelację, choć podkreśla się, że to tomografia komputerowa jest przyszłością w pełnej diagnostyce problemów oddechowych. **Cel.** Celem pracy było przedstawienie rysu historycznego i współczesnego zastosowania cefalometrii, jako narzędzia diagnostycznego w ortodoncji. **Materiał i metody.** Dokonano przeglądu piśmiennictwa z lat 1939–2018, używając słów kluczowych. **Dyskusja.** Współcześnie trwa dyskusja dotycząca przewagi korzyści nad ryzykiem stosowania tomografii komputerowej. Wielu badaczy jest zgodnych, że nie powinno być to badanie z wyboru u każdego pacjenta ortodontycznego. Jednakże są sytuacje kliniczne, w których obrazowanie 3D jest doskonałym narzędziem diagnostycznym. **Podsumowanie.** Wykonanie i analiza zdjęcia cefalometrycznego jest ważnym elementem diagnostyki ortodontycznej. Jednakże przed skierowaniem pacjenta na to badanie należy rozważyć korzyści z niego wynikające i wziąć pod uwagę narażenie go na promieniowanie rentgenowskie kumulujące się w organizmie. **(Sobieska E, Widmańska-Grzywaczewska A. Cefalometria w diagnostyce ortodontycznej – historia i terażniejszość. Forum Ortod 2019; 15: 120-39).**

Nadesłano: 10.12.2018

Przyjęto do druku: 03.06.2019

Słowa kluczowe: antropometria, CBCT, cefalogram, cefalometria, tomografia komputerowa

Wstęp

Rys historyczny

Pierwsze opisy różnych form czaszek można znaleźć już w V wieku p.n.e u Hipokratesa z Kos (460–356 p.n.e), który jest uznawany za pioniera antropologii fizycznej. Od czasów starożytności nie tylko medycy, ale również artyści, rzeźbiarze i malarze zgłębiali anatomie ludzkich czaszek. Wszechstronny Leonardo da Vinci (1452–1519) także poszukiwał idealnych proporcji u człowieka, a jego szkice zawierają ciągi poziomych i pionowych linii tworzących siatkę dzielącą twarz. On też jest twórcą cyrkla do pomiarów tzw. złotych proporcji (1) (Ryc. 1).

W tym samym czasie Albrecht Dürer (1471–1528) – niemiecki malarz, grafik, rysownik i teoretyk sztuki uważany za najwybitniejszego artystę niemieckiego renesansu – zwrócił uwagę na to, jak proste pomiary kątowe między osią pionową i poziomą jego systemu charakteryzują różne typy twarzy – wąską i szeroką. Wskazywał także, że kontur twarzy w proklinacji (wychyleniu) różni się od konturu w retroklinacji (cofnięciu) (1, 2) (Ryc. 2).

Szczegółowe badania ludzkiej czaszki zapoczątkowali antropolodzy i anatomowie, którzy dokonywali różnych pomiarów na starożytnych szkieletach. Pomiary wykonywane na czaszkach z użyciem punktów kostnych, nazywane

in a short interval of time showed high correlation, although it is emphasised that computed tomography is the future tool in full diagnostics of respiratory problems. **Aim.** The aim of the study was to present historical background and contemporary applications of cephalometry as a diagnostic tool in orthodontics. **Material and methods.** A review of the literature from the years 1939–2018 was conducted using specific key words. **Discussion.** Nowadays, there is a discussion about the benefit-risk ratio of using computed tomography. Many researchers agree that it should not be an examination of choice for each orthodontic patient. However, there are clinical cases where 3D imaging is an excellent diagnostic tool. **Summary.** Regarding orthodontic diagnostics, it is extremely important to perform and analyse a cephalogram. However, before referring a patient for this examination, its benefits should be considered and the exposure to cumulative X-ray doses should be taken into account. **(Sobieska E, Widmańska-Grzywaczewska A. Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present. Orthod Forum 2019; 15: 120-39).**

Received: 10.12.2018

Accepted: 03.06.2019

Key words: anthropometry, CBCT, cephalogram, cephalometry, computed tomography

Introduction

Historical background

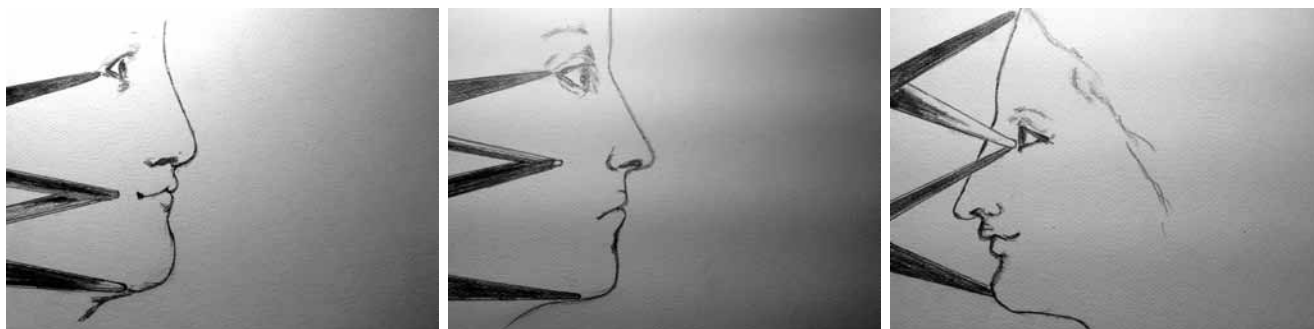
First descriptions of various forms of the cranium can be found as early as in the 5th century BC in Hippocrates of Kos (460–356 BC) who is considered a pioneer in physical anthropology. Since ancient times, not only physicians but also artists, sculptors and painters have studied human cranial anatomy. The versatile Leonardo da Vinci (1452–1519) also sought ideal proportions in man, and his sketches contain sequences of horizontal and vertical lines forming a grid dividing the face. He is also the creator of a compass for measurements of the so-called golden ratio (1) (Fig. 1).

At the same time, Albrecht Dürer (1471–1528), a German painter, graphic artist, illustrator and art theoretician considered to be the most outstanding artist of the German Renaissance, pointed out how simple angular measurements between the vertical and horizontal axes of his system could be used to characterise different types of faces – narrow and wide. He also indicated that the facial contour in proclination (inclination forward) differed from the contour in retroclination (protrusion) (1, 2) (Fig. 2).

Detailed research of the human cranium was initiated by anthropologists and anatomists who took various measurements on ancient skeletons. Measurements made

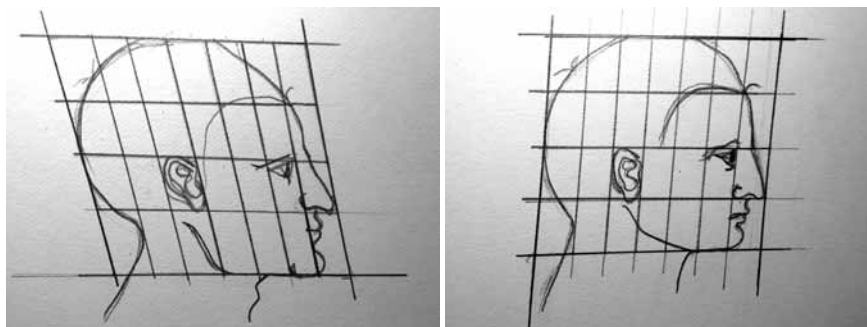
kranioometrią, były przeprowadzane również wśród osób żywych. Technika z odnajdowaniem palpacyjnym punktów kostnych przez ucisk tkanek miękkich na głowie pacjenta została nazwana cefalometrią. Jednakże pomiary cefalometryczne nie były precyzyjne ze względu na trudną do oceny grubość tkanek miękkich, różną u poszczególnych pacjentów. Zaprojektowany przez antropologów kraniostat, mający utrzymywać czaszkę w określonej pozycji, stał się prototypem cefalostatu. Dzisiaj cefalometria to rentgenocefalometria, której wynikiem jest cefalogram (cephalometric radiogram). Ta nazwa jest używana w piśmiennictwie amerykańskim, w Europie – to telerentgenografia.

on skulls using bone points, called craniometry, were also carried out in living subjects. The technique of finding bone points by palpation by pressing soft tissues on the patient's head was called cephalometry. However, cephalometric measurements were not precise because soft tissue thickness was difficult to assess as it differs from patient to patient. A craniostat was designed by anthropologists to hold the cranium in a certain position, and it became a prototype of a cephalostat. Today, cephalometry means a roentgen cephalometric analysis which provides a cephalogram (cephalometric radiogram). This name is used in American literature, whereas in Europe its name is telerentgenography.



Rycina 1. Ocena proporcji twarzy i cyrkiel – rysunek wykonany przez Annę Widmańską na podstawie ryciny Leonarda da Vinci.

Figure 1. Assessment of facial proportions and a compass – a drawing by Anna Widmańska based on a drawing by Leonardo da Vinci.

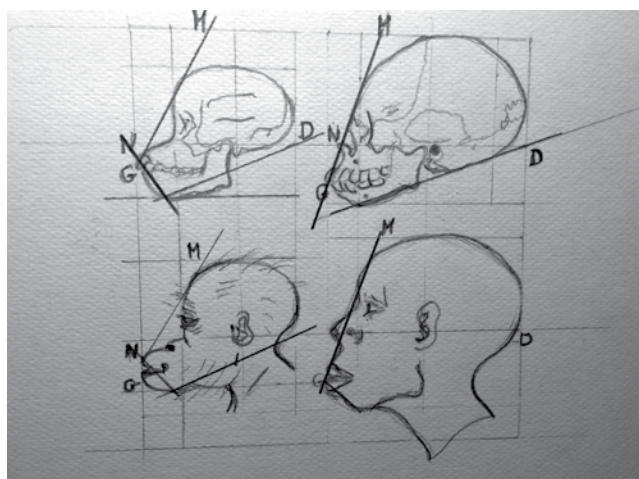


Rycina 2. Pomiary kątowe różnych typów twarzy – rysunek wykonany przez Annę Widmańską na podstawie ryciny Albrechta Dürera.

Figure 2. Angular measurements of various facial types – a drawing by Anna Widmańska based on a drawing by Albrecht Dürer.

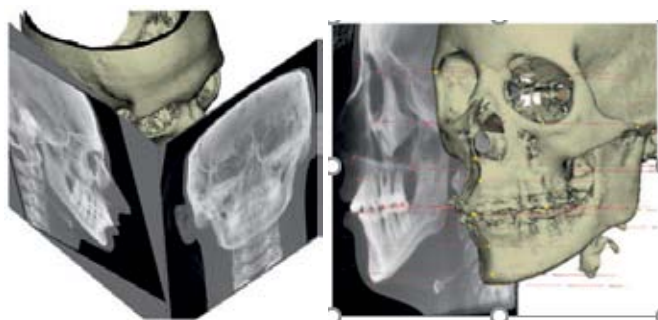
Prawdopodobnie jako pierwszy pomiary kątowe do analizy twarzy wprowadził Petrus Camper (1722–1789) – holenderski lekarz, anatom i malarz. Jego *linea facialis* stała się pierwszym uniwersalnym pomiarem w badaniach ludzkiej twarzy. Do pomiarów relacji pomiędzy częścią twarzową i mózgową czaszki wprowadził kąt twarzowy (facial angle), który był stosowany do początku XX wieku (Ryc. 3). Zarówno badacz, jak i kąt wzbudzały wiele kontrowersji, ze względu na pseudonaukowy i rasistowski charakter (uznawał odmianę czarną jako niższą, bliższą małpie człekokształtnej) (3).

Probably the first angular measurements for a facial analysis were introduced by Petrus Camper (1722–1789) – a Dutch doctor, anatomist and painter. His *linea facialis* became the first universal measurement in studies of the human face. He introduced a facial angle to measure the relationship between the facial and cerebral parts of the cranium, and it had been used until the beginning of the 20th century (Fig. 3). Both the researcher and the angle aroused much controversy because of their pseudoscientific and racist character (he considered the black ethnicity to be inferior, closer to the great apes) (3).



Rycina 3. Kąt twarzowy wg Campera wykreślony na podłożu anatomii porównawczej – rysunek Anna Widmańska.

Figure 3. Facial angle by Camper drawn based on comparative anatomy – a drawing by Anna Widmańska.



Rycina 5. Wirtualny cefalogram boczny w relacji z obrazem 3D twardych tkanek twarzoczaszki i wyznaczonymi w 3D kostnymi punktami pomiarowymi: MS-CT i CBCT.

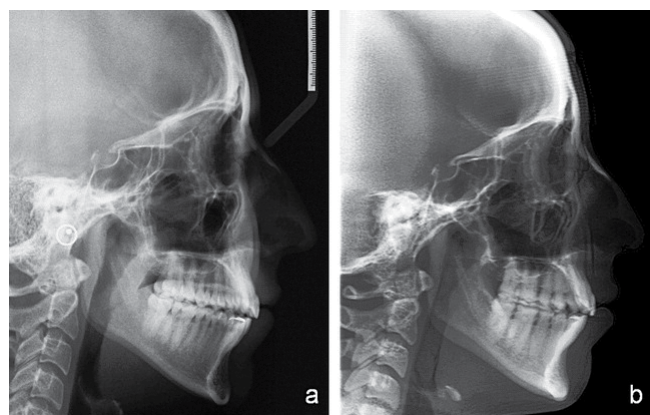
Figure 5. Virtual lateral cephalogram in relation with a 3D image of hard tissues of the facial skeleton and bone measurement points determined in 3D: MS-CT and CBCT.

W roku 1882 we Frankfurcie, w trakcie międzynarodowego kongresu anatomów i antropologów, wybrano poziomą płaszczyznę referencyjną służącą do orientacji przestrzennej czaszek, nazwaną płaszczyzną frankfurcką. Wcześniej, w 1859 roku, płaszczyzna pozioma była przeprowadzana według sugestii kranjologa Karla von Beara (1792–1876) przez łuki jarzmowe. Później von Ihering sprecyzował jej położenie i zdefiniował jako linię przechodzącą przez środki obu otworów słuchowych i punkty na dolnych brzegach oczodołów. Zgromadzenie we Frankfurcie zmodyfikowało definicję Iheringa i ustaliło, że płaszczyzna frankfurcka przebiega przez prawy i lewy porion oraz lewy punkt orbitale, w celu uniknięcia problemu w jej wyznaczaniu na asymetrycznych czaszkach (4). Płaszczyzna początkowo



Rycina 4. Obrazy tkanek twardych i miękkich czaszki uzyskane w badaniu MS-CT.

Figure 4. Images of hard and soft tissues of the skull obtained in MS-CT.



Rycina 6. Różnice w kontraście i nakładaniu poszczególnych struktur w konwencjonalnym cyfrowym cefalogramie (a) i cefalogramie wygenerowanym z CBCT (b).

Figure 6. Differences in contrast and overlapping of various structures in a conventional digital cephalogram (a) and a cephalogram generated from CBCT (b).

In Frankfurt, in 1882, during an international congress of anatomists and anthropologists a horizontal reference plane, called the Frankfurt plane, was selected for spatial orientation of the cranium. Earlier, in 1859, the horizontal plane was measured at the level of zygomatic arches as suggested by the craniologist Karl von Bear (1792–1876). Later, von Ihering clarified its position and defined it as a line passing through the midpoints of both auditory foramina and points at the lower edges of the orbital cavities. The Frankfurt congress modified the Ihering's definition and established that the Frankfurt plane passed through the right and left porion and the left orbitale point in order to avoid problems in its determination on asymmetric skulls (4). The plane was initially used to position the

była stosowana do ustawiania głowy pacjenta w cefalostacie i do dziś jest używana w ortodontcji – w badaniu klinicznym i analizach cefalometrycznych.

Pod koniec XIX wieku do analizy tkanek miękkich zaczęto stosować fotografię. Na przykład brytyjski antropolog Francis Galton (1822–1911) nakładał fotografie różnych twarzy w celu uzyskania wizerunku twarzy przeciętnej.

Początek XX wieku to badania gnatostatyczne i fotostatyczne niemieckiego ortodonta Paula Simona (1883–1957). W 1919 roku wprowadził płaszczyznę Simona, jako płaszczyznę oczodołową, która wraz z frankfurcką poziomą i strzałkową pośrodkową służyła do analizy twarzy, zgryzu i czaszki w trzech płaszczyznach przestrzennych. Teoria Simona była odrzucona przez Broadbenta i innych współczesnych mu badaczy, jednakże gnatostatyka odegrała ważną rolę w rozwoju diagnostyki ortodontycznej, zwracając uwagę na znaczenie harmonii twarzy, płaszczyzny zgryzowej, inklinacji płaszczyzny żuchwy czy asymetrii łuku zębowego. Ostatnimi czasy wprowadzenie techniki 3D odzwierciedliło wizje Simona (1).

Wykrycie promieni X przez niemieckiego fizyka Wilhelma Roentgena (1845–1923) w 1895 roku zrewolucjonizowało również ortodontję. Radiografia głowy ukazująca struktury kostne w dwóch wymiarach umożliwiła dalsze badania nad rozwojem i wzrostem części twarzowej czaszki.

Pierwotny cefalometr – reserve craniostat (nazwa pochodzi od Western Reserve University) – był zaprojektowany przez Anglika Thomasa W. Todda (1885–1938). Todd, który nie był dentystą, ale chirurgiem zainteresowanym anatomią, a szczególnie rozwojem szkieletowym, miał znaczący wpływ na rozwój ortodontcji. Na podstawie dojrzałości szkieletowej kości ręki i nadgarstka opracował „Atlas wzrostu, dojrzewania szkieletowego”, a także podkreślił znaczenie pierwszych trzonowców w morfologii twarzy oraz znaczenie skoku pokwitaniowego. Przeprowadził z użyciem promieniowania X około 4 tys. dzieci z Cleveland, co pozwoliło mu na szczegółową analizę wzrostu poszczególnych składowych twarzowej części czaszki u dzieci od najmłodszych lat (5). To dzięki niemu statyczna anatomia stała się nauką dynamiczną, badającą wzrost i rozwój (6).

Cefalometrię w ortodontcji prawdopodobnie jako pierwszy zastosował w roku 1915 Justus A.W. van Loon (1876–1940), który zajmował się badaniami nad wzrostem twarzy metodą antropometrii.

Technika teleroentgenograficzna z wykorzystaniem bocznego ustawienia głowy pacjenta została wprowadzona przez Augusta Johna Paciniego (1888–1938) w 1922 roku. W tej metodzie rozmiar obrazu był zmniejszony z powodu wydłużenia odległości ogniska od filmu do 2 m i zniekształcony ze względu na możliwy ruch głowy w czasie wydłużonej ekspozycji na naświetlanie.

Standaryzowaną technikę cefalometryczną z użyciem maszyny o dużej mocy promieniowania X i ustawienia głowy w cefalostacie (cefalometr) zaprezentowali jednocześnie

patient's head in a cephalostat and is still used today in orthodontics – during a clinical examination and cephalometric analyses.

At the end of the 19th century, photography was started to be used to analyse soft tissues. For example, Francis Galton (1822–1911), British anthropologist, overlapped photographs of different faces in order to obtain an image of an average face.

The beginning of the 20th century is associated with gnathostatic and photostatic research of a German orthodontist, Paul Simon (1883–1957). In 1919, he introduced Simon's plane as an orbital plane, and together with the Frankfurt horizontal and median sagittal plane it was used to analyse the face, occlusion and cranium in three spatial planes. The Simon's theory was rejected by Broadbent and other contemporary researchers, but gnathostatics played an important role in the development of orthodontic diagnostics, highlighting the importance of facial harmony, occlusal plane, maxillary plane inclination and dental arch asymmetry. Recently, the introduction of 3D technology has reflected Simon's visions (1).

The discovery of X-rays by Wilhelm Roentgen (1845–1923), a German physicist, in 1895 revolutionised orthodontics as well. Cephalic radiography showing bone structures in two dimensions allowed to continue studies on growth and development of the facial skeleton.

The first cephalometer – reserve craniostat (the name comes from the Western Reserve University) – was designed by Thomas W. Todd (1885–1938) from England. Todd, who was not a dentist but a surgeon interested in anatomy, especially skeletal development, had a significant influence on the development of orthodontics. On the basis of skeletal maturity of hand and wrist bones, he developed “Atlas of growth, skeletal maturity”, and emphasised the importance of first molars in facial morphology and the importance of the growth spurt. Using X-ray radiation, he examined about 4 thousand children from Cleveland which allowed him to analyse in detail the growth of individual components of the facial skeleton in children from an early age (5). Thanks to him static anatomy has become a dynamic science that studies growth and development (6).

Cephalometry in orthodontics was probably used for the first time in 1915 by Justus A.W. van Loon (1876–1940) who was engaged in research on facial growth by anthropometry.

In 1922, August John Pacini (1888–1938) introduced teleroentgenography with a lateral position of the patient's head. In this method, image dimensions were reduced as the distance between a focus and film was increased to 2 m and were deformed due to possible head movements during prolonged exposure to radiation.

In the same year, 1934, Holly B. Broadbent (1894–1977) in the USA and Herbert Hofrath (1889–1952) in Germany

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

w 1934 r. Holly B. Broadbent (1894-1977) w USA i Herbert Hofrath (1889-1952) w Niemczech. Według Broadbenta głowa pacjenta była ustawiona precyzyjnie za pomocą prętów umieszczonych w przewodach słuchowych zewnętrznych. Na poziomie ich górnego brzegu znajdowały się markery umieszczone na dolnym brzegu kostnym lewego oczodołu. Pionowy pręt był ustawiany na górnej części grzbietu nosa. Odległość ogniska od filmu została zmniejszona do 152,4 cm (5 stóp), co minimalizowało zniekształcenie obrazu. Jednocześnie można było wykonywać dwa zdjęcia głowy w dwóch pozycjach: bocznej i przednio-tylnej, przy zastosowaniu dwóch lamp emitujących promienie X. Cefalometr wprowadzony do diagnostyki nie był jednak w pełni akceptowany w środowisku medycznym. Milo Hellman (1872-1947) nazywał jego zwolenników „pseudoantropologami”, jednakże Broadbent, przekonany o wartości pomiarów, kontynuował badania niezależnie od Todda. W 1929 roku założył The Bolton Study. Miał też szczęście, że matka jednego z pacjentów, członkini kongresu, Frances Payne Bolton, zainteresowała się jego projektem i założyła fundację, aby kontynuować badania. Jej syn, Charles Bingham Bolton, po osiągnięciu dorosłości wziął w nich czynny udział. Badania objęły 4309 dzieci i doprowadziły do zebrania najlepszej kolekcji standaryzowanych cefalogramów na świecie. W 1937 r. Broadbent opublikował wyniki analizy 5-letniego zbioru zdjęć dokumentujących ponad 1000 przypadków klinicznych. Najbardziej zaskakującym odkryciem było stwierdzenie, że u normalnie rozwijającego się dziecka twarzowa część czaszki rośnie w uporządkowany sposób, do dołu i do przodu. Wykazano również, że wzór wzrostu czaszki i twarzy wytworzony we wczesnym dzieciństwie, poniżej 3. roku życia, zmienia się w bardzo niewielkim stopniu lub wcale. Odkryto również, że protruzja dwuszcękowa jest spowodowana w większym stopniu niewłaściwym wzrostem kości twarzowej części czaszki, które są położone doprzecdnio w stosunku do podstawy czaszki, niż złą pozycją zębów (7). Pod przewodnictwem syna Broadbenta, Holly Jr, badania były kontynuowane i stały się prawdziwą kopalnią materiału badawczego. W 1970 roku wszystkie materiały zostały połączone w jednym miejscu, nazwanym Bolton-Brush Growth Study Center (1).

W 1968 roku Arne Björk (1911-1996) zaprojektował specjalny unit cefalometryczny umożliwiający kontrolowanie na monitorze ustawienia głowy pacjenta, co znacznie poprawiło powtarzalność jej pozycji, a także mogło służyć do obserwacji funkcji jamy ustnej na monitorze, z jednoczesnym nagrywaniem filmu.

W 1988 roku Beni Solow (1934-2000) i Sven Kreiborg (1949) unowocześnili aparaturę do cefalometrii, poprawiając kontrolę pozycji głowy pacjenta i ekspozycji na promieniowanie rentgenowskie (8).

Obecnie zostało opisanych ponad 100 różnych analiz cefalometrycznych z zastosowaniem ponad 200 punktów

presented a standardised cephalometric technique using a high-performance X-ray system and head positioning in a cephalostat (cephalometre). According to Broadbent, the patient's head was precisely aligned with rods placed in the external auditory canals. At the level of their upper edge, there were markers placed on the lower bone edge of the left orbital cavity. The vertical rod was placed on the upper part of the nasal ridge. The distance between the focus and the film was reduced to 152.4 cm (5 ft), minimising image distortion. At the same time it was possible to take two photos of the head in two positions: lateral and anterior-posterior, using two lamps emitting X-rays. However, the cephalometre introduced into the diagnostics was not fully accepted in the medical environment. Milo Hellman (1872-1947) called his followers “pseudo anthropologists”, but Broadbent, convinced of the value of the measurements, continued his research independently of Todd. In 1929, he founded The Bolton Study. He was also lucky enough because a mother of one of his patients, a member of the Congress, Frances Payne Bolton, became interested in his project and established a foundation to continue his research. Her son, Charles Bingham Bolton, took an active part in this research after he reached adulthood. The research involved 4309 children and accumulated the best collection of standardised cephalograms in the world. In 1937 Broadbent published the results of a 5-year collection of photographs documenting more than 1,000 clinical cases. The most surprising discovery was that in a normally developing child the facial skeleton grew in an orderly manner, downward and forward. It was also shown that the pattern of cranial and facial growth in early childhood, below 3 years of age, changed very little or not at all. It was also found that bimaxillary protrusion is caused more by improper growth of bones of the facial skeleton located anteriorly in relation to the cranial base than by an incorrect position of teeth (7). Under the leadership of Broadbent's son, Holly Jr., research was continued and became a true resource of research material. In 1970, all materials were combined in one place, called the Bolton-Brush Growth Study Center (1).

In 1968, Arne Björk (1911-1996) designed a special cephalometric unit to control the position of the patient's head on a monitor, and it significantly improved the repeatability of this position, and could also be used to observe the functions of the oral cavity on a monitor while recording a film.

In 1988, Beni Solow (1934-2000) and Sven Kreiborg (1949) upgraded their cephalometric equipment, improving the control of the patient's head position and X-ray exposure (8).

Currently, more than 100 of various cephalometric analyses using more than 200 measurement points have

pomiarowych. Najpowszechniej znane i wykorzystywane analizy (w kolejności powstania) przedstawiono w tabeli 1.

been described. The most widely known and used analyses (in order of origin) are presented in table 1.

Tabela 1. Najpowszechniej znane i wykorzystywane analizy cefalometryczne

Table 1. The most common and used cephalometric analyses

Analiza Analysis	Rok powstania Year of origin	Cechy analizy Features of the analysis
Tweeda <i>Tweed</i>	1946	wprowadza trójkąt diagnostyczny umożliwiający ocenę stopnia wychylenia dolnego zęba siecznego <i>introduces a diagnostic triangle to assess a degree of inclination of the lower incisor</i>
Björka <i>Björk</i>	1947	wprowadza metodę strukturalną do prognozowania wzrostu twarzy <i>introduces a structural method to predict facial growth</i>
Wylie'a <i>Wylie</i>	1947	zawiera pomiary liniowe pomiędzy rzutami punktów cefalometrycznych na płaszczyznę frankfurcką <i>includes linear measurements between projections of cephalometric points on the Frankfurt plane</i>
Downsa <i>Downs</i>	1948	analiza wprowadzająca punkt A i B <i>introduces A and B points</i>
Riedela <i>Riedel</i>	1952	podaje normy dla dzieci i dorosłych <i>provides standards for children and adults</i>
Steinera <i>Steiner</i>	1953	analiza całościowa, jedna z pierwszych porównująca z wartościami standardowymi <i>complete analysis, one of the first ones that provides comparisons with standard values</i>
Sassouniego <i>Sassouni</i>	1955	pierwsza metoda opisu zarówno pionowych jak i poziomych relacji i proporcji, do opisu proporcji twarzy służy wzajemne nachylenie płaszczyzn: przedniego dołu czaszki, frankfurckiej, podniebiennej, zgryzowej i żuchwy <i>first descriptive method for both vertical and horizontal relations and proportions, mutual inclination of the following planes is used to describe facial proportions: Frankfurt, palatal, occlusal and mandibular planes</i>
Coben <i>Coben</i>	1955	analiza basion horizontal <i>basion horizontal analysis</i>
Rickettsa <i>Ricketts</i>	1957	wprowadza wizualne cele leczenia (VTO) <i>introduces visual treatment outcomes (VTO)</i>
Schwarza <i>Schwarz</i>	1958	analiza kranio- i gnatometryczna <i>cranio- and gnathometric analysis</i>
Hasunda <i>Hasund</i>	1969	indywidualna, dynamiczna analiza prognostyczna <i>individual, dynamic prognostic analysis</i>
Di Paolo <i>Di Paolo</i>	1969	analiza czworokątna (quadrilateral) <i>quadrilateral analysis</i>
Rickettsa <i>Ricketts</i>	1970	analiza komputerowa <i>computed analysis</i>
Jarabaka <i>Jarabak</i>	1972	oparta na analizach Björka, Downsa, Holdaway'a, Rickettsa, Steinera i Tweeda, uwzględnia wzorzec wzrostu twarzowej części czaszki <i>based on Björk's, Downs', Holdaway's, Ricketts', Steiner's and Tweed's analyses, includes the growth standard of the facial skeleton</i>
Bimlera <i>Bimler</i>	1973	wykorzystywał korelometr – przyrząd do pomiarów kątowych i liniowych <i>he used a correlometer – a device for angular and linear measurements</i>

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

Analiza Analysis	Rok powstania Year of origin	Cechy analizy Features of the analysis
Harvolda <i>Harvold</i>	1974	wykorzystuje punkt TMJ – temporomandibular joint do oceny długości szczęki i żuchwy, ustawienie zębów nie ma wpływu na pomiary <i>uses the TMJ point – temporomandibular joint for the assessment of the maxillary and mandibular length, teeth position does not affect measurements</i>
Kima <i>Kim</i>	1974	wprowadza ODI – overbite depth indicator i APDI – anteroposterior dysplasia indicator <i>introduces ODI – overbite depth indicator and APDI – anteroposterior dysplasia indicator</i>
Jacobsona <i>Jacobson</i>	1975	ocena WITS <i>WITS assessment</i>
Broadbenta <i>Broadbent</i>	1975	normy pomiarów na podstawie wieloletnich badań standaryzowanych cefalogramów <i>measurement standards based on studies of standardised cephalograms conducted for many years</i>
Wormsa i wsp. <i>Worms et al.</i>	1976	analiza profilu dla chirurgii ortognatycznej <i>profile analysis for orthognathic surgery</i>
Delaire'a <i>Delaire</i>	1978	dla chirurgii – nazywana analizą architektoniczną i strukturalną – wykorzystuje punkty położone na sklepieniu czaszki <i>for surgery – called an architectonic and structural analysis – uses points on the calvaria</i>
Burstona i wsp. <i>Burston et al.</i>	1979	analiza dla chirurgii ortognatycznej <i>analysis for orthognathic surgery</i>
Ackermanna <i>Ackermann</i>	1979	analiza biorąca pod uwagę paradygmat tkanek miękkich <i>analysis including a paradigm of soft tissues</i>
Bella, Proffita i White'a <i>Bell, Proffit and White</i>	1980	linia referencyjna – płaszczyzna frankfurcka, normy osobne dla kobiet i mężczyzn <i>reference line – Frankfurt plane, individual standards for women and men</i>
Legana i Burstona <i>Legan and Burston</i>	1980	analiza tkanek miękkich dla chirurgii ortognatycznej <i>analysis of soft tissues for orthognathic surgery</i>
Holdawaya <i>Holdaway</i>	1983	analiza tkanek miękkich <i>analysis of soft tissues</i>
Bütowa <i>Bütow</i>	1984	analiza cefalofotometryczna <i>cephalophotometric analysis</i>
Farkasa i wsp. <i>Farkas et al.</i>	1985	analiza inklinacji (nachylenia) profilu twarzy, <i>analysis of inclination of the facial profile</i>
McNamary <i>McNamara</i>	1984	łączy elementy analizy Harvolda i Rickettsa z oryginalnymi pomiarami, wprowadza linię nasion perpendicular <i>combines elements of the Harvold's and Ricketts' analysis with original measurements, introduces the nasion perpendicular line</i>
Viazisa <i>Viazis</i>	1991	analiza oparta na NHP – natural head position <i>analysis based on NHP – natural head position</i>
Rakosiego <i>Rakosi</i>	1992	wykorzystywana do oceny kierunku wzrostu przed leczeniem czynnościowym <i>used to assess a direction of growth prior to functional treatment</i>
Arnetta <i>Arnett</i>	1999	zawiera precyzyjną analizę tkanek miękkich wykorzystywaną w chirurgii ortognatycznej <i>includes a precise analysis of soft tissues used in orthognathic surgery</i>

Cele analizy cefalometrycznej

Zdjęcie cefalometryczne (cefalogram) boczne jest dwuwymiarowym obrazem czaszki, ukazującym relacje pomiędzy zębami, kośćmi, tkankami miękkimi i przestrzeniami powietrznymi czaszki w płaszczyźnie poziomej i pionowej (8). Aby uzupełnić diagnostykę o ocenę płaszczyzny poprzecznej, konieczne jest wykonanie zdjęcia rtg w pozycji tylnoprzodniej głowy pacjenta.

Wśród zdjęć cefalometrycznych można wyróżnić cefalogramy dwuwymiarowe (2D) – boczne (profil), tylnoprzodnie (PA) i dwa rodzaje zdjęć osiowych (dawniej: szczytowo-podbródkowe i podbródkowo-szczytowe, obecnie: podbródkowo-ciemieniowe, SMV) oraz trójwymiarowe (3D), które wykorzystują obrazy tomografii komputerowej (CT) i ukazują struktury twarzowej części czaszki w trzech wymiarach.

Cefalometria osiowa służy do obrazowania podstawy czaszki, pozycji wyrostków kłykciowych, zatoki klinowej oraz diagnostyki złamań łuku jarzmowego (9). W trakcie wykonywania zdjęcia w projekcji osiowej, tj. podbródkowo-ciemieniowej, pacjent stoi tyłem do detektora promieniowania, z głową odchyloną ku tyłowi, a linia oczodołowo-uszna przebiega poziomo, równoległe do płaszczyzny detektora promieniowania. Promień centralny pada w linii pośrodkowej przedniej, w połowie odległości między otworami słuchowymi przednimi i jednocześnie między wyniosłością kraniową i bródkową. Obecnie zdjęcia osiowe są zastępowane CBCT.

Zdjęcia trójwymiarowe są bardzo precyzyjne, pozwalają uniknąć błędów wynikających z nakładania się struktur kostnych na zdjęciach dwuwymiarowych, a identyfikacja punktów cefalometrycznych jest stosunkowo łatwa (Tab. 2). Nie mogą one jednak zastąpić całkowicie konwencjonalnej cefalometrii, ze względu na wysokie koszty aparatury radiologicznej potrzebnej do wykonania takiego obrazu, a także z uwagi na dawkę zastosowanego promieniowania rentgenowskiego. CBCT obejmujące całą czaszkę to dawka promieniowania 30–1079 μSv , CT szczęki – 100–3324 μSv , CT żuchwy – 364–1202 μSv (dla porównania pantomogram to dawka 3,85–30 μSv , a zdjęcie cefalometryczne boczne – 2–3 μSv). Powszechnie znany jest fakt zwiększenia ryzyka powstawania nowotworów w obrębie głowy i szyi (głównie mózgu, ślinianek i tarczycy) pod wpływem zdjęć radiologicznych stosowanych w stomatologii, dlatego należy zmniejszyć liczbę zlecanych radiogramów do niezbędnego minimum. Jest to szczególnie ważne dla pacjentów w okresie wzrostu, u których ryzyko mutacji DNA pod wpływem promieni rentgenowskich jest większe (10).

W ortodoncji powszechnie wykorzystywana jest analiza cefalogramu bocznego, która pozwala na analizę morfologiczną, z oceną strzałkowych i pionowych stosunków pomiędzy zębami, kośćmi części twarzowej czaszki i tkankami miękkimi profilu twarzy, a zatem różnicowanie wad zgryzów szkieletowych (zmiany dotyczą podstaw kostnych szczęki i/lub żuchwy) od zębowych (problem dotyczy uzębienia i/

Objectives of a cephalometric analysis

A lateral cephalogram is a two-dimensional image of the cranium showing relationships between teeth, bones, soft tissues and air spaces in the cranium in horizontal and vertical planes (8). In order to supplement diagnostic tools with an assessment of the transverse plane, it is necessary to perform an X-ray scan in the posterior-anterior position with regard to the patient's head.

Among cephalometric images we can distinguish two-dimensional (2D) cephalograms – lateral (profile), posterior-anterior (PA) and two types of axial scans (formerly: submentovertical, SMV now: submentoparietal) and three-dimensional (3D) cephalograms which use computed tomography (CT) images and show structures of the facial skeleton in three dimensions.

Axial cephalometry is used to visualise the cranial base, the position of the condylar processes, the sphenoid sinus and to diagnose fractures of the zygomatic arch (9). When taking a scan in the axial projection, namely submentovertical projection, the patient is facing the radiation detector with his back and his head tilted backwards, and the orbito-auricular line is horizontal, parallel to the radiation detector plane. The central radius falls in the anterior midline, halfway between the anterior auricular foramina and at the same time between laryngeal and mental protuberance. Currently, axial photos are being replaced by CBCT.

Three-dimensional images are very precise, they allow to avoid errors resulting from overlapped bone structures in two-dimensional images, and identification of cephalometric points is relatively easy (Tab. 2). However, they cannot replace conventional cephalometry completely, due to the high costs of the radiological equipment necessary to produce such an image and the dose of X-rays used. CBCT covering the entire cranium provides a radiation dose of 30–1079 μSv , CT of the maxilla – 100–3324 μSv , CT of the mandible – 364–1202 μSv (for comparison, a panoramic radiograph provides a dose of 3.85–30 μSv and a lateral cephalogram – 2–3 μSv). It is well known that there is an increased risk of head and neck cancer (mainly of the brain, salivary glands and thyroid glands) associated with radiological images used in dentistry, therefore the number of recommended radiograms should be reduced to the necessary minimum. This is particularly important for patients during the growth period who have a higher risk of DNA mutations due to X-rays (10).

In orthodontics, a lateral cephalogram analysis is commonly used, because it allows for a morphological analysis, with evaluation of sagittal and vertical relations between teeth, bones of the facial skeleton and soft tissues of the facial profile, and thus differentiation of skeletal malocclusions (changes are observed in the bones of the maxillary and/or mandibular bases) from dental malocclusions (the problem concerns the dentition and/

*Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present***Tabela 2. Porównanie cefalogramu 2D i 3D.****Tabela 2. Comparison of 2D and 3D cephalograms.**

	Cefalogram konwencjonalny Conventional cephalogram	CBCT CBCT
wymiar <i>dimension</i>	2D	3D
skala <i>scale</i>	zazwyczaj obraz powiększony – wymaga kalibracji <i>the image is usually enlarged – calibration is necessary</i>	obraz rzeczywisty <i>real image</i>
jakość <i>quality</i>	zależna od aparatury – gorsza dla zdjęcia analogowego niż cyfrowego <i>depends on the device – poorer for an analogous image compared to a digital one</i>	bardzo dobra <i>very good</i>
efektywna dawka promieniowania <i>effective radiation dose</i>	2–3 μSv	20 sek. skan/29 μSv 40 sek. skan/68 μSv <i>20 sec scan/29 μSv</i> <i>40 sec. scan/68 μSv</i>
czas naświetlania <i>irradiation time</i>	1-2 sekundy <i>1–2 seconds</i>	kilka-kilkanaście sekund – zależnie od wielkości pola <i>several to less than 20 seconds – depending on the field size</i>
obraz <i>image</i>	płaski obraz, zbudowany z pikseli <i>flat image, made of pixels</i>	obraz trójwymiarowy, złożony z wielu przekrojów, podstawowa jednostka – woksel, reprezentujący fragment obrazowanej objętości <i>three-dimensional image consisting of many cross-sections, basic unit – voxel representing a fragment of the scanned volume</i>
artefakty <i>artefacts</i>	rzadko, wynikające z poruszenia pacjenta (czas badania krótki, kilka sekund) <i>rare, associated with patient's movements (short examination duration, several seconds)</i>	ze względu na czas trwania badania artefakty wynikające z oddychania, ruchów powiek, ruchów głowy <i>artefacts resulting from respiration, eyelid movements, head movements, due to prolonged examination duration</i>
precyzja <i>precision</i>	nakładanie struktur – trudna jednoznaczna identyfikacja punktów <i>structure overlapping – unambiguous point identification is difficult</i>	punkty izolowane w poszczególnych warstwach, brak nakładania struktur <i>points isolated in individual slices, no structure overlapping</i>
pozycja głowy <i>head position</i>	w NHP (natural head position), w przypadku niewłaściwego ustawienia możliwe uzyskanie podwójnego zarysu żuchwy, który nie wynika z asymetrii jej budowy <i>in NHP (natural head position), in case of an improper position it is possible to obtain double outlines of the mandible that is not associated with its asymmetry</i>	NHP
błąd pomiaru <i>measuring error</i>	duży, zarówno między dwoma badaczami, jak i jednym wykonującym pomiary w odstępie czasu (11) <i>large, both between two researchers and for one person performing measurements at intervals of time (11)</i>	porównanie punktów na czaszkach i CBCT nie wykazało różnic istotnych statystycznie (12) <i>comparison of points on skulls and CBCT did not show any statistically significant differences (12)</i>

	Cefalogram konwencjonalny <i>Conventional cephalogram</i>	CBCT <i>CBCT</i>
ocena drożności dróg oddechowych <i>assessment of airway patency</i>	tylko w wymiarze przednio-tylnym <i>only in the anteroposterior dimension</i>	we wszystkich płaszczyznach <i>in all planes</i>
możliwość przesyłania w celu konsultacji <i>possibility to send for a consultation</i>	brak dla cefalogramu analogowego, możliwe dla cyfrowego <i>no for analogue cephalograms, yes for digital ones</i>	jest możliwe <i>it is possible</i>
obróbka obrazu przez lekarza <i>image processing by a doctor</i>	niemożliwa w cefalogramie analogowym/ na kliszy, możliwe powiększanie/ pomniejszanie, wyostanie, zmiana odcieni szarości, kontrastu <i>not possible for analogue cephalograms/on a film, zooming in/out, sharpening, changing the grey scale, contrast is possible</i>	zaawansowane oprogramowania komputerowe umożliwiające powiększanie/ pomniejszanie, wyostanie, zmianę odcieni szarości, kontrastu, ostrości obrazu <i>advanced computer software allows for zooming in/out, sharpening, changing the grey scale, contrast, image focus</i>
tkanki miękkie <i>soft tissues</i>	widoczne tkanki miękkie profilu (słabo na zdjęciach analogowych) <i>soft tissues of the profile are visible (poorly on analogue images)</i>	słabe kontrastowanie tkanek miękkich <i>poor contrast of soft tissues</i>
dostępność, koszt badania <i>availability, examination costs</i>	stosunkowo łatwa dostępność, niski koszt badania <i>relatively easy availability, low examination costs</i>	mniejsza dostępność, wysoki koszt aparatury, dość drogie badanie <i>lower availability, high equipment costs, relatively expensive examination</i>

lub wyrostka zębodołowego szczęki i części zębodołowej trzonu żuchwy). Przez porównanie dwóch lub więcej cefalogramów wykonanych w odstępie czasu (superimpozycja) można też analizować wzrost pacjenta lub oceniać efekt leczenia ortodontycznego na podstawie oceny struktur czaszki przed, w trakcie i po terapii. Możliwe jest też, choć przez niektórych badaczy podważane, kontrolowanie dojrzałości kręgów szyjnych u pacjentów rosnących i możliwość prognozy wzrostu, wystąpienia skoku wzrostowego, zakończenia wzrostu i wybranie optymalnego czasu do rozpoczęcia leczenia ortodontycznego (8, 13, 14).

W przypadku pacjenta, u którego w badaniu klinicznym stwierdza się asymetrię twarzy można wykonać cefalogram tylny-przedni, co pozwala na uzupełnienie diagnostyki o analizę symetrii nosa, szczęki, żuchwy i położenia poszczególnych zębów górnych i dolnych, analizę szerokości szczęki i żuchwy, linii środkowej twarzowej części czaszki oraz górnego i dolnego łuku zębowego oraz ocenę płaszczyzny zwarcia i inklinacji osi zębów. Nowocześniejszym rozwiązaniem u pacjentów z asymetrami jest wykonanie tomografii komputerowej, której trójwymiarowy obraz pozwoli precyzyjnie ustalić nieprawidłowości. Ma to zastosowanie zwłaszcza

or alveolar process of the maxilla and the alveolar part of the mandibular body). By comparing two or more cephalograms performed at an interval of time (superimposition), the patient's growth can also be analysed or the effect of orthodontic treatment can be evaluated by assessing the cranial structures before, during and after therapy. It is also possible, although questioned by some researchers, to monitor cervical vertebral maturity in growing patients and to predict growth, growth spurt, end of growth and to choose the optimal time to start orthodontic treatment (8, 13, 14).

In the case of a patient in whom facial asymmetry is found in a clinical examination, a posterior-anterior cephalogram can be performed, which allows to supplement the diagnosis with an analysis of the symmetry of the nose, maxilla and mandible, and positions of individual upper and lower teeth, analysis of the width of the maxilla and mandible, the median line of the facial skeleton and the upper and lower dental arch, as well as the assessment of the occlusal plane and inclination of the teeth axis. A more modern solution for patients with asymmetries is to perform computed tomography, because its three-dimensional scans will allow determining the abnormalities

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

w chirurgii szczękowo-twarzowej podczas planowania zabiegu ortognatycznego.

W protetyce analiza cefalometryczna jest wykorzystywana do określania przebiegu płaszczyzny protetycznej, a także wyznaczania kąta prowadzenia stawowego i siecznego oraz pozycjonowania zębów przednich i bocznych (15, 16, 17).

Wady konwencjonalnych analiz cefalometrycznych

W celu właściwej oceny struktur części twarzowej czaszki, szczególnie parametrów wertykalnych, konieczne jest ustawienie głowy w cefalostacie w jej naturalnej pozycji (NHP – Natural Head Position), w przeciwnym razie pomiary pionowe mogą być obarczone błędem. NHP jest to pozycja głowy pacjenta patrzącego na wprost w swoje oczy w lustrze po wykonaniu kilku skłonów głową w przód i w tył. Jest to najbardziej naturalna i powtarzalna pozycja głowy (18). Wiele analiz opiera swoje normy na standardach Boltona, w których NHP nie była przestrzegana, teoretycznie więc porównywanie swoich pacjentów z normami ustalonymi na ich podstawie może być obarczone błędem (8). Pozycja głowy w trakcie wykonywania cefalogramu jest szczególnie istotna w przypadkach monitorowania wzrostu pacjenta lub przebiegu leczenia, kiedy warunki wykonania dwóch zdjęć radiologicznych zrobionych w odstępie czasu powinny być takie same, aby można było precyzyjnie określić zaistniałe zmiany.

Również rotacja głowy powyżej 4 stopni skutkuje znaczącymi zmianami w wartościach parametrów cefalometrycznych (19). Według Kustera ponad 10% zdjęć cefalometrycznych jest wykonywanych z rotacją głowy powyżej 10 stopni. Szczególnie wrażliwe na rotację głowy są pomiary oparte o punkty wyznaczone w płaszczyźnie pośrodkowej i punkty położone bocznie od tej płaszczyzny np. kąt N–S–Ar lub długość trzonu żuchwy Ar–Pog. Rotacja głowy przemieszcza punkt Ar (articulare) będący punktem skonstruowanym na przecięciu dwóch struktur i zmienia wyniki pomiaru (20, 21).

Konwencjonalna technika wykonywania zdjęć cefalometrycznych może powodować pojawianie się błędów wynikających z różnej odległości głowy pacjenta od kliszy (od 15 do 30 cm) i tuby aparatu (od 1 do 4 m). Ma to szczególne znaczenie u pacjentów w okresie wzrostu, u których monitoruje się zmiany w obrębie twarzowej części czaszki zachodzące w czasie (20). Zminimalizowanie zniekształceń obrazu związane z wydłużeniem odległości źródła promieniowania rentgenowskiego od obiektu pociąga za sobą zwiększenie czasu ekspozycji i dawki napromieniowania pacjenta, co z kolei niesie zwiększenie ryzyka poruszenia się pacjenta i obciążenie jego organizmu szkodliwymi promieniami X.

Powiększenie lub pomniejszenie uzyskanego obrazu powinno być skorygowane. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu skali milimetrowej, tak aby znalazła się ona na zdjęciu cefalometrycznym i pozwoliła na jego kalibrację. Ma to szczególne znaczenie dla pomiarów liniowych, które powinny być skorygowane według tej skali, bo tylko wówczas

precyzyjnie. This is especially true for maxillofacial surgery when an orthognathic procedure is planned.

In prosthetics, a cephalometric analysis is used to determine the course of the prosthetic plane, as well as to determine the angle of articular and incisal guidance and to position anterior and posterior teeth (15, 16, 17).

Disadvantages of conventional cephalometric analyses

In order to properly assess the structures of the facial skeleton, especially vertical parameters, it is necessary to position the head in a cephalostat in its natural position (NHP – Natural Head Position), otherwise vertical measurements may be subject to an error. NHP is a position of the patient's head when they look straight into their eyes in a mirror after making a few bows with their head forwards and backwards. This is the most natural and reproducible position of the head (18). In many analyses standards are based on Bolton standards where NHP was not complied with, so theoretically comparing one's patients with the standards established on such a basis can be misleading (8). The head position when taking a cephalogram is particularly important in cases when the patient growth or treatment are monitored, when conditions for taking two radiological images taken at an interval of time should be the same in order to be able to determine the changes precisely.

Also, head rotation of more than 4 degrees results in significant changes in cephalometric parameters (19). According to Kuster, over 10% of cephalometric images are taken with the head rotation of more than 10 degrees. Measurements based on points determined in the median plane and points located laterally from this plane, e.g. N–S–Ar angle or Ar–Pog mandibular body length, are particularly sensitive to head rotation. Head rotation moves the Ar point (articulare), namely a point constructed at the intersection of two structures, and changes measurement results (20, 21).

Conventional techniques used to take cephalometric images can result in errors due to different distances between the patient's head and the film (15 to 30 cm) and the camera tube (1 to 4 m). This is particularly important in patients during the growth period in whom changes in the facial skeleton are monitored over time (20). Minimising image distortion associated with extending the distance between the X-ray source and the object results in increased patient exposure time and radiation dose, which in turn increases the risk of the patient moving and exposure of the patient's body to harmful X-rays.

Enlargement or reduction of an image obtained should be corrected. This is possible by using a millimetre scale so that it is included in the cephalometric image to allow for its calibration. This is particularly important for linear measurements, which should be corrected according to

będą wskazywały oryginalną wielkość struktur czaszki. Pomiary kątowe mogą być wykonywane bez kalibracji (8). Z tego powodu większość pomiarów cefalometrycznych jest oparta na analizie kątów i proporcji porównujących dwie struktury, co pozwala wykluczyć nie tylko ryzyko błędu wynikającego z powiększenia, ale również błędów wynikających z różnicy wielkości czaszki u różnych pacjentów. Wskazane jest także opieranie większości pomiarów na strukturach środkowych czaszki, bowiem eliminuje to konieczność uśredniania zarysów kostnych. Struktury kostne po prawej i lewej stronie pacjenta mają różne powiększenia, ponieważ znajdują się w różnej odległości od kliszy i lampy rentgenowskiej (elementy znajdujące się bliżej kliszy będą mniej powiększone). Dotyczy to zwłaszcza trzonu i gałęzi żuchwy (21). Przyjmuje się, że jeżeli na cefalogramie jest widoczny podwójny zarys którejś ze struktur, do celów analizy wykorzystuje się punkt będący środkiem odcinka łączącego te dwa zarysy. Przed analizą niezbędne jest jednak powtórne badanie kliniczne pacjenta w celu potwierdzenia, że podwójny zarys struktur wynika z nieprawidłowego ustawienia głowy pacjenta podczas badania radiologicznego lub obecności grubej blaszki korowej na powierzchni kości czaszki (wybiera się linię zewnętrzną pokrytą okostną), a nie asymetrii jego twarzy. W przypadku wątpliwości konieczne jest rozszerzenie diagnostyki. Podwójny zarys struktur może być również widoczny w okolicy zębów siecznych górnych lub dolnych. Wynika on z różnej pozycji przednio-tylnej tych zębów. W takim przypadku do celów analizy cefalometrycznej wybiera się ząb położony bardziej doprzędno.

Problemem do klinicysty może być również poruszenie się pacjenta podczas ekspozycji na promieniowanie rentgenowskie, które skutkuje obniżeniem jakości zdjęcia. Rozmycie struktur kostnych i brak uwidocznienia tkanek miękkich może sprawiać trudności we właściwym przeprowadzeniu analizy cefalometrycznej (20).

Kolejnym wyzwaniem jest wybór płaszczyzny referencyjnej. Większość analiz oparta jest na horyzontalnej (poziomej) linii referencyjnej wyznaczanej w różny sposób. Uważa się jednak, że najbardziej wiarygodne jest użycie prawdziwej płaszczyzny pionowej prostopadłej do prawdziwej płaszczyzny poziomej, która jest stała.

Również wybór punktów referencyjnych u twórców różnych analiz może być odmienny. Podstawową zasadą jest łatwość odnalezienia punktów i powtarzalność pomiarów, zarówno przez jednego, jak i przez wielu badaczy. Punkty powinny być odpowiednie do wytyczenia określonych linii referencyjnych, a następnie wykonania pomiarów kątowych i liniowych (22). Wiele punktów ze względu na nakładanie się struktur kostnych jest trudnych do odnalezienia. Podkreśla się, że identyfikacja położenia zębów siecznych górnych i dolnych jest szczególnie problematyczna. Precyzyjne odnalezienie ich wierzchołków jest często niemożliwe. Inne punkty, takie jak N (nasion), S (sella) czy Gn (gnathion) są łatwiejsze w oznaczaniu.

this scale, because only then will they indicate the original size of cranial structures. Angular measurements can be made without calibration (8). For this reason, most cephalometric measurements are based on an analysis of angles and proportions comparing two structures to exclude not only the risk of an error due to enlargement, but also errors due to cranium size differences in different patients. It is also advisable to base the majority of measurements on the midline cranial structures, as this eliminates the need to average bone outlines. The bone structures on the patient's right and left side are magnified differently because they are at different distances from the film and the X-ray tube (elements closer to the film will be less enlarged). This is particularly true for the mandibular body and ramus (21). It is assumed that if a double outline of one of the structures is visible on a cephalogram, the point at the centre of the segment joining these two outlines is used for the analysis. However, prior to the analysis, a repeat clinical examination of the patient is necessary to confirm that a double structure outline is due to abnormal positioning of the patient's head during a radiological examination or the presence of a thick cortical plate on the surface of cranial bones (an external line covered with periosteum is selected) rather than asymmetry of the patient's face. In case of doubts, it is necessary to expand the diagnostics. A double outline of a structure may also be visible in the area of upper or lower incisors. It results from a different anterior-posterior position of these teeth. In this case, a tooth which is located more anteriorly is selected for a cephalometric analysis.

Patient's movements during exposure to X-rays may also be a problem for a clinician because it leads to reduced image quality. Blurred bone structures and lack of visibility of soft tissues may make it difficult to conduct a cephalometric analysis properly (20).

Selection of a reference plane is another challenge. Most of the analyses are based on a horizontal reference line determined in different ways. However, using the true vertical plane perpendicular to the true horizontal plane which is constant is considered the most credible.

Also, the selection of reference points by authors of different analyses may be different. The basic principle is that it should be easy to find points and that the measurements are repeatable, both by one and more researchers. The points should be suitable for determining specific reference lines and then taking angular and linear measurements (22). Many points are difficult to find due to overlapping bone structures. It is emphasised that it is particularly problematic to identify the position of upper and lower incisors. It is often impossible to find their apices precisely. Other points, such as N (nasion), S (sella) and Gn (gnathion), are easier to determine.

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

Utrudnieniem dla klinicysty może być również odmienne nazewnictwo. Ten sam punkt może być różnie nazywany w różnych analizach (np. Sp w analizie Segnera i Hasunda odpowiada ANS w analizie Harvolda), lub też tak samo nazywany punkt może być różnie wyznaczany (np. Go – gonion, może być wyznaczany bezpośrednio na zarysie żuchwy lub jako punkt konstruowany na przecięciu linii stycznych do dolnego brzegu trzonu żuchwy i tylnego brzegu gałęzi żuchwy) (8).

Niektóre analizy wymagają skomplikowanego wykreślenia punktów konstrukcyjnych, na przykład wyznaczenie punktu Xi w analizie Rickettsa wymaga narysowania kilku płaszczyzn, na podstawie których powstaje prostokąt obejmujący gałąź żuchwy, z przekątnymi przecinającymi się w poszukiwanym punkcie (23).

Z tego powodu wielu klinicystów stwarza własne analizy cefalometryczne (będące zbiorem wybranych pomiarów) wykorzystywane w diagnostyce swoich pacjentów.

Większość analiz cefalometrycznych zakłada porównanie wartości liczbowych uzyskanych u pacjenta z normami ustalonymi przez twórców analizy. Normy te są wyznaczane na podstawie badania kilkudziesięciu lub kilkuset pacjentów z prawidłowymi parametrami zwarcia i harmonijnymi rysami twarzy dla danej populacji lub podzielonych na grupy ze względu na istniejącą wadę zgryzu. Na przykład analiza Björka opiera się na badaniu 623 osób płci męskiej pochodzących ze Szwecji (342 12-letnich chłopców i 281 poborowych), z bardzo dobrym lub dobrym stanem uzębienia, nieleczonych ortodontycznie, dobranych niezależnie od rodzaju zgryzu; natomiast analiza Downsa dotyczy tylko 10 mężczyzn i 10 kobiet rasy kaukaskiej z idealną okluzją. Ricketts zaś przebadał 1000 pacjentów w wieku od 3 do 44 roku życia, z podziałem na klasy szkieletowe: I, II – podgrupa 1, II – podgrupa 2, III – z wyłączeniem operacyjnych przypadków III klasy szkieletowej, pacjentów po urazach stawu skroniowo-żuchwowego i pacjentów po operacjach korekty rozszczepu podniebienia pierwotnego i/lub wtórnego (8). O analizie Steinera mówi się natomiast, że została opracowana w oparciu o pomiary czaszki tylko jednej hollywoodzkiej aktorki, które okazały się tak idealne, że późniejsze badania wprowadziły tylko nieznaczne poprawki do wersji oryginalnej. Jarabak zaś swoją analizę opracował w oparciu o wyniki badań własnych, ale i przedstawionych przez Björka, Downsa, Holdawaya, Rickettsa, Steinera i Tweeda (24).

Ustalone normy mogą służyć populacji wśród której przeprowadzono badania, jednak mogą być nieodpowiednie dla innych populacji. Z tego powodu Segner i Hasund (22) stworzyli indywidualną cefalometrię (kefalometrię), w której uzyskane wartości nie są porównywane ze średnimi wartościami populacyjnymi, ale z indywidualnymi zmiennymi oczekiwanymi dla typu twarzy danego pacjenta. Podobne założenie ma analiza Sassouniego, oparta na indywidualnym optimum, umożliwiającą ocenę części twarzowej czaszki w trzech wymiarach, po wykonaniu zdjęcia cefalometrycznego boczego i tylnoprzodnego (25, 26, 27).

Different nomenclature may also be a problem for a clinician. The same point can be called differently in different analyses (e.g. Sp in the Segner and Hasund's analysis corresponds to ANS in the Harvold's analysis), or the point with the same name can be determined differently (e.g. Go – gonion, can be determined directly on the outline of the mandible or as a point constructed at the intersection of lines tangent to the lower edge of the mandible body and the posterior edge of the mandibular ramus) (8).

In some analyses, drawing of construction points is complex, for example, to determine the Xi point in the Ricketts' analysis it is necessary to draw several planes to produce a rectangle that includes the mandibular ramus with diagonals that intersect at the point of interest (23).

For this reason, many clinicians create their own cephalometric analyses (which are a set of selected measurements) to be used in diagnostics of their patients.

The majority of cephalometric analyses assume a comparison of numerical values obtained in a patient with the standards set by the authors of such an analysis. These standards are established by examining several dozens or hundreds of patients with normal occlusal parameters and harmonious facial features for a given population or divided into groups stratified by an existing malocclusion. For example, the Björk's analysis is based on a study of 623 males from Sweden (342 12-year-old boys and 281 conscripts) with very good or good dentition, with no history of orthodontic treatment, chosen regardless of the type of occlusion; whereas the Downs' analysis is based on only 10 men and 10 women of the Caucasian race with ideal occlusion. The Ricketts' study included 1000 patients aged between 3 and 44 years, with division into the following skeletal classes: I, II – subgroup 1, II – subgroup 2, III – excluding surgical cases of skeletal class III, patients with temporomandibular joint traumas and patients who had cleft palate and/or secondary palate correction surgeries (8). On the other hand, the Steiner's analysis is said to be based on measurements of the skull of only one Hollywood actress, and they turned out to be so perfect that later studies made only minor improvements to the original version. Jarabak developed his analysis on the basis of his own research, but also results of studies presented by Björk, Downs, Holdaway, Ricketts, Steiner, and Tweed (24).

Established standards may serve the population where studies were conducted, but may not be appropriate for other populations. For this reason, Segner and Hasund (22) created individual cephalometry (kephalometry) in which the values obtained are not compared to population averages, but to the individual variables expected for the facial type of a given patient. A similar assumption is associated with the Sassouni's analysis, based on an individual optimum, which enables to evaluate the facial

Tradycyjne, ręczne wykonywanie analizy cefalometrycznej jest także obarczone błędami wynikającymi często z braku doświadczenia badającego, dlatego wielu badaczy podkreśla przewagę analizy komputerowej, w której punkty są identyfikowane przez program informatyczny, a zadaniem lekarza jest ewentualna korekta ich położenia (28).

CT

Brytyjski inżynier elektronik Godfrey Hounsfield i amerykański fizyk Allan Cormack otrzymali w 1979 Nagrodę Nobla za wynalezienie i budowę tomografu komputerowego. Urządzenie to pozwala na uzyskanie obrazów tomograficznych (przekrojów) badanego obiektu (2D), jak i przestrzennych (3D). Tomografia komputerowa (TK, CT, computed tomography) to złożenie projekcji obiektu wykonanych z różnych kierunków. Obróbka komputerowa pozwala na przestrzenną rekonstrukcję poszczególnych narządów, im więcej projekcji, tym lepsza rozdzielczość obrazu. EMI scanner (pierwszy tomograf) wykonywał obrazy o rozdzielczości 80×80 pikseli (6400 równań) z 28 800 projekcji, zaś współczesne tomografy wykonują nawet do 2 000 000 projekcji (tomografy IV generacji mogą mieć pierścieni z 4800 detektorami i jedną lampę rentgenowską). Dzięki temu ich rozdzielczość sięga dziesiątków mikrometrów.

Tomografia komputerowa ma różne odmiany. Wśród rentgenowskich znajdują się: CAT (Computerized Axial Tomography) – komputerowa tomografia osiowa z podłużnym (osiowym) ruchem łoża z pacjentem; HRCT (High-Resolution Computed Tomography) – tomografia komputerowa wysokiej rozdzielczości (TKWR); MSCT (Multi-Slice Computed Tomography) lub MDCT (Multi-Row Detector Computed Tomography) – wielorzędowa tomografia komputerowa.

Przyszłością w diagnostyce medycznej są odmiany tomografii inne niż rentgenowska. Wykorzystują one promieniowanie gamma powstające wskutek rozpadu izotopów promieniotwórczych z emisją pozytonów, jak np. PET (Positron Emission Tomography), czyli pozytonowa tomografia emisyjna. Z technik tomograficznych korzystają również urządzenia do badania rezonansem magnetycznym MRI (Magnetic Resonance Imaging).

MS CT

Wielorzędowa tomografia komputerowa MSCT (Multi-Slice Computed Tomography), MDCT (Multi-row-Detector Computed Tomography) została wprowadzona do diagnostyki medycznej w 1999 roku. Jest to technika oparta na tomografii komputerowej, lecz posiada znacznie więcej elementów odbierających obraz. Ponadto wykorzystuje do badania dwie lampy rentgenowskie, co pozwala na skrócenie czasu badania, zmniejszenie dawki promieniowania, a uzyskany obraz jest dokładniejszy. Pierwsze aparaty do tego badania naświetlały ciało badanego, co było odwzorowane na kliszy rentgenowskiej, po czym następowało przesunięcie ciała badanego i procedura była powtarzana. Nowsze aparaty

skeleton in three dimensions, after lateral and anterior-posterior cephalograms have been taken (25, 26, 27).

Traditional manual cephalometric analyses are also burdened with errors often resulting from the lack of experience of a researcher, therefore many researchers emphasise the advantage of a computer analysis, because points are identified by IT software and it is the task of a physician to correct their position, if necessary (28).

CT

Godfrey Hounsfield, British electronics engineer, and Allan Cormack, American physicist, received the 1979 Nobel Prize for their invention and construction of a CT scanner. This device allows obtaining tomographic scans (cross-sections) of an examined object that are two-dimensional (2D) as well as spatial (3D). Computed tomography (CT) is the assembly of projections of an object made from various directions. Computer processing allows for spatial reconstruction of individual organs, and the more projections are available, the better the resolution of the image. The EMI scanner (first tomograph) acquired images with the resolution of 80×80 pixels (6400 equations) out of 28,800 projections, while modern tomographs acquire to 2,000,000 projections (4th generation tomographs can have a ring with 4800 detectors and one X-ray tube). Therefore, their resolution reaches tens of micrometres.

Computed tomography has different variations. Regarding X-ray tomography: CAT (Computerized Axial Tomography) – computerised axial tomography with longitudinal (axial) movement of the bed with a patient; HRCT – High-Resolution Computed Tomography; MSCT – Multi-Slice Computed Tomography or MDCT – Multi-Row Detector Computed Tomography.

The future in medical diagnostics lies in varieties of tomography other than X-ray tomography. They use gamma radiation generated by the decomposition of radioactive isotopes with positron emission, such as PET, namely Positron Emission Tomography. MRI (Magnetic Resonance Imaging) scanners also use tomography technology.

MS CT

MSCT (Multi-Slice Computed Tomography), MDCT (Multi-row-Detector Computed Tomography), MDCT (Multi-row-Detector Computed Tomography) have been introduced into medical diagnostics in 1999. It is a technique based on computed tomography, but it has much more image-receiving elements. In addition, it uses two X-ray tubes during an examination, therefore it reduces the examination time, the radiation dose, and the resulting image is more precise. The first devices used for this examination irradiated the body of an examined person, and it was reproduced on an X-ray film, followed by a shift of the body of the examined person and the procedure was

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

zapisują dane cyfrowo w sposób ciągły (spiralny skan objętościowy), a następnie poddają je wtórnym rekonstrukcjom z użyciem różnych technik graficznych: MIP (Maximum Intensity Projection) – projekcja największych natężeń (obrazowanie naczyń krwionośnych); MPR (Multiplanar Reformatted Reconstruction) – rekonstrukcja w dowolnej płaszczyźnie (ocena przekrojów naczyń, mięśnia sercowego, zastawek serca); VR (Volume Rendering) – rekonstrukcja objętościowa (umożliwiająca uzyskanie trójwymiarowych obrazów); SSD (Shaded Surface Display) – rekonstrukcje powierzchniowe oraz wirtualna endoskopia pozwalająca na odwzorowanie narządów od wewnątrz (wirtualna kolonoskopia, bronchoskopia, angioscopia) (29).

Cefalometria MS-CT 3D jako narzędzie do pomiarów twarzowej części czaszki ma zalety i wady. Bardzo dokładnie obrazuje zarówno tkanki miękkie, jak i twarde w rzeczywistym rozmiarze (skala 1 : 1) i czasie, bez nakładania struktur anatomicznych (Ryc. 4). Jednakże leżąca pozycja pacjenta może mieć wpływ na obrazowanie tkanek miękkich i pozycję żuchwy, a liczne artefakty utrudniają dokładną analizę cefalometryczną. Głównymi powodami, dla których MS-CT nie jest badaniem rutynowym w stomatologii, są wysoki koszt badania i duża dawka napromieniania. Jest ono pomostem pomiędzy konwencjonalną cefalometrią i CBCT (2, 30).

CBCT

Odmianą konwencjonalnej tomografii komputerowej stworzoną dla stomatologii jest CBCT (Cone Beam Computed Tomography, stożkowa tomografia komputerowa). Wykorzystuje ona promieniowanie rentgenowskie w postaci wiązki stożkowej i umożliwia obrazowanie twarzowej części twarzowej części czaszki w trakcie tylko jednego obrotu źródła promieniowania, co powoduje zmniejszenie dawki i znaczne skrócenie czasu badania (Ryc. 5).

Badanie cefalometryczne CBCT 3D ma wiele zalet. Nowoczesne aparaty emitują znacznie mniejsze dawki promieniowania rentgenowskiego, a pionowa pozycja głowy w czasie skanowania (pacjent w pozycji siedzącej) pozwala na zachowanie naturalnego kształtu tkanek miękkich i eliminuje ryzyko cofnięcia żuchwy, jakie może mieć miejsce w pozycji leżącej pacjenta. Jest ono również łatwiej dostępne dla pacjentów, ponieważ ze względu na redukcję wymiarów urządzenia może być instalowane w praktyce lekarskiej (Ryc. 6). Jednakże w obecnej chwili ma pewne ograniczenia związane ze zmienną gęstością radiograficzną oraz możliwościami skanera i wielkością pola skanowania.

Rezonans magnetyczny

Obraz trójwymiarowy można również uzyskać za pomocą rezonansu magnetycznego MRI (Magnetic Resonance Imaging), a jego zaletą jest to, że nie naraża pacjentów na promieniowanie rentgenowskie. Jest to dobre narzędzie do oceny tkanek miękkich, ale nie struktur kostnych, dlatego nie może być metodą z wyboru w diagnostyce wszystkich

repeated. Newer devices record data digitally and continuously (spiral volumetric scanning), and then reconstruct it using various graphic techniques: MIP (Maximum Intensity Projection) – imaging used for blood vessels); MPR (Multiplanar Reformatted Reconstruction) – reconstruction in any plane (assessment of cross-sections of vessels, myocardium, heart valves); VR (Volume Rendering) – volumetric reconstruction (allowing to obtain three-dimensional images); SSD (Shaded Surface Display) – surface reconstructions and virtual endoscopy allowing for representation of organs from within (virtual colonoscopy), bronchoscopy, angiography) (29).

MS-CT 3D cephalometry as a tool to measure the facial skeleton has advantages and disadvantages. It provides a very precise representation of both soft and hard tissues in real dimensions (scale 1 : 1) and time, without overlapping of anatomical structures (Fig. 4). However, the patient's lying position may affect the imaging of soft tissues and the position of the mandible, whereas numerous artefacts hinder an accurate cephalometric analysis. The main reasons why MS-CT is not a routine examination in dentistry include its high costs and a high radiation dose. It is a bridge between conventional cephalometry and CBCT (2, 30).

CBCT

CBCT (Cone Beam Computed Tomography) is a variation of conventional computed tomography created for dentistry. It uses cone-beam X-rays and allows imaging of the facial skeleton in just one rotation of a radiation source, reducing the dose and significantly shortening the examination time (Fig. 5).

A CBCT 3D cephalometric examination has many advantages. Modern devices emit much smaller X-ray doses, and the vertical head position during scanning (a patient is in a sitting position) allows maintaining a natural shape of soft tissues and eliminates the risk of mandible retraction that may occur when a patient is in a lying position. Scanners are also more easily accessible for patients, as due to their reduced dimensions they can be installed in medical professional offices (Fig. 6). However, at the moment this technology has some limitations related to variable radiographic density, scanner capabilities and scanning field size.

Magnetic resonance imaging

A three-dimensional image can also be obtained using Magnetic Resonance Imaging (MRI), and its advantage is that it does not expose patients to X-rays. It is a good tool to evaluate soft tissues but not bone structures, therefore it cannot be a method of choice in the diagnosis of all orthodontic patients. It is usually performed in cases of temporomandibular joint dysfunctions in order to visualise the morphology and location of an articular disc.

u pacjentów ortodontycznych. Wykonuje się go zwykle w przypadkach dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych w celu zobrazowania morfologii i położenia krążka stawowego.

Cel

Celem pracy było przedstawienie rysu historycznego i współczesnego zastosowania cefalometrii jako narzędzia diagnostycznego w ortodoncji.

Materiał i metody

Dokonano przeglądu piśmiennictwa z wykorzystaniem bazy PubMed z lat 1939–2018, używając słów kluczowych: antropometria, CBCT, cefalogram, cefalometria, tomografia komputerowa. Wybrano prace najbardziej odpowiadające omawianemu zagadnieniu.

Dyskusja

W trakcie wykładu dla Angle Society w 1959 r. na konieczność wprowadzania cefalometrii do codziennej praktyki ortodontycznej zwrócił uwagę Steiner. Skrytykował jednocześnie tych, którzy nie stosują jej jako podstawowego narzędzia diagnostycznego, zarzucając im brak pełnej informacji o pacjencie, jaką daje analiza cefalometryczna. Jego krytyka może odnosić się także do tych, którzy dziś obawiają się CBCT jako ważnego narzędzia diagnostycznego w wybranej grupie pacjentów (31).

Współcześnie trwa dyskusja dotycząca przewagi korzyści nad ryzykiem stosowania tomografii komputerowej. Wielu badaczy jest zgodnych, że nie powinno to być badanie z wyboru u każdego pacjenta ortodontycznego (32). Jednakże są sytuacje kliniczne (pacjenci z asymetriami twarzowej części czaszki, dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych, obturacyjnym bezdechem sennym, problemami z zatokami, zwężeniem podniebienia, ektopią zębów, po urazach czaszki, z nasilonymi zmianami okołowierzchołkowymi korzeni zębów czy chorobami przyzębia), w których obrazowanie 3D jest doskonałym narzędziem diagnostycznym. W tych przypadkach jedno badanie CBCT 3D, zastąpi kilka innych, tzn. pantomogram, cefalogram profilowy i boczny, zdjęcia zębowe, dając mniejszą lub porównywalną dawkę naświetlania (2, 31, 33, 34, 35, 36).

Podobnie jak Broadbent, po wprowadzeniu w USA cefalometrii w 1931 r., czekał 30 lat na upowszechnienie tego badania, również i teraz wielu klinicystów czeka na akceptację CBCT. W 1958 r. wykonanie cefalogramu narażało pacjenta na dawkę 40 μSv , a pełne badanie potrzebne do diagnostyki ortodontycznej stanowiło 2000 μSv (w 1950 r. dawka dopuszczalna wg Międzynarodowej Komisji do Spraw Ochrony Radiologicznej wynosiła 3000 μSv /tydzień). Być może współcześni przeciwnicy CBCT stosują starszą aparaturę lub ich wiedza na temat dawek jest nieaktualna (31).

Aim

The aim of the study was to present historical background and contemporary applications of cephalometry as a diagnostic tool in orthodontics.

Material and methods

A review of the literature was conducted using the PubMed database from the years 1939–2018 and the following key words: anthropometry, CBCT, cephalogram, cephalometry, computed tomography. The papers which were the most suitable for this subject were selected.

Discussion

Steiner drew attention to the necessity of introducing cephalometry into everyday orthodontic practice during a lecture for the Angle Society in 1959. At the same time, he criticised those who did not use it as a basic diagnostic tool, and accused them of having no complete information about a patient provided by a cephalometric analysis. His criticism may also apply to those who even today fear CBCT as an important diagnostic tool in a selected group of patients (31).

Nowadays, there is a discussion about the benefit-risk ratio of using computed tomography. Many researchers agree that it should not be an examination of choice for each orthodontic patient (32). However, there are clinical situations (patients with asymmetries of the facial skeleton, temporomandibular joint dysfunctions, obstructive sleep apnoea, sinus problems, palatal narrowing, tooth ectopy, with skull traumas, with intensified apical lesions of tooth roots or periodontal diseases) for whom 3D imaging is an excellent diagnostic tool. In these cases, one CBCT 3D examination will replace several others, i.e. a panoramic radiograph, a profile and lateral cephalogram, dental images, providing a smaller or comparable radiation dose (2, 31, 33, 34, 35, 36).

Similarly to Broadbent after the introduction of cephalometry in the USA in 1931, he waited 30 years for this examination to become commonly available, and now many clinicians are waiting for CBCT approval. In 1958, a cephalogram was associated with exposing a patient to the dose of 40 μSv , and a full examination needed for orthodontic diagnostics provided 2000 μSv (in 1950 the allowable dose according to the International Commission on Radiological Protection was 3000 μSv /week). Current CBCT opponents may be using older equipment or their knowledge of doses is outdated (31).

In 2011, the American Association of Physicists in Medicine concluded that the risk of medical imaging using effective doses below 50,000 μSv for a single procedure or 100,000 μSv for a complex procedure in a short time interval was too low to be detectable (37). The International Commission on Radiological Protection recommends

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

Amerykańskie Towarzystwo Fizyków Medycznych (The American Association of Physicists in Medicine) w 2011 roku uznało, że ryzyko obrazowania medycznego wykorzystującego efektywne dawki poniżej 50,000 μSv dla pojedynczej procedury lub 100,000 μSv dla złożonej w krótkim odstępie czasu jest zbyt niskie, żeby było wykrywalne (37). Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (The International Commission on Radiological Protection) rekomenduje natomiast utrzymywanie niezawodowej ekspozycji na poziomie poniżej 1000 μSv na pacjenta na rok, zaś Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) oświadczył, że nie dostrzeżono skutków ubocznych pojawiających się w organizmie dla promieniowania poniżej 100,000 μSv (protektoryjne działanie mechanizmów odnowy komórkowej) (38).

Wiele badań jest poświęcone porównaniu cefalogramu konwencjonalnego i uzyskanego z CBCT. Chen i wsp. dowiedli, że wiele punktów (Me, Gn, Pg, Uia, punkty na dolnych zębach trzonowych) jest łatwiejszych do oceny w cefalogramie 2D uzyskanym z CBCT, niż w cefalogramach konwencjonalnych, ale jedynie położenie dolnego zęba siecznego wykazało różnice istotne statystyczne w obu badaniach (39).

W badaniach Kaliny i wsp. porównywano pomiar kąta nachylenia najbardziej doprzędnie wysuniętego zęba siecznego górnego (IL+) do płaszczyzny podstawy szczęki (NL) (kąt IL+:NL) oraz zęba siecznego dolnego (IL-) do płaszczyzny podstawy żuchwy (ML) (kąt IL-:ML), wykonanego na teleroentgenogramie, z pomiarem najbardziej doprzędnie wysuniętego zęba siecznego szczęki oraz żuchwy na CBCT. Stwierdzono, że ocena inklinacji zębów siecznych szczęki i żuchwy na zdjęciu cefalometrycznym nie jest tożsama z oceną inklinacji zębów siecznych dokonaną na CBCT. Ponadto ze względu na duże różnice w pomiarach kąta nachylenia poszczególnych zębów siecznych szczęki i żuchwy, w celu dokładnej oceny tego parametru wskazane jest wykonanie badania CBCT (36).

Również badania dróg oddechowych w klasycznej cefalometrii i CBCT 3D, wykonanych w krótkim odstępie czasu wykazały wysoką korelację, choć podkreśla się, że to tomografia komputerowa jest przyszłością w pełnej diagnostyce problemów oddechowych (40).

Wskazuje się także na znacznie większe możliwości diagnostyczne badania CBCT przy użyciu nowoczesnych oprogramowań komputerowych w połączeniu ze skanem łuków zębowych pacjenta. Możliwa jest wówczas ocena położenia żuchwy w relacji centralnej i w maksymalnym zaguzkowaniu po wykonaniu tylko jednego badania CBCT z minimalną dyskluzją (41, 42).

Współczesne badania (2014) ukazują, że dziś mniej niż 40% ortodontów wykonuje analizy cefalogramu pacjenta przed leczeniem ortodontycznym. Być może udoskonalenie automatycznej lokalizacji punktów referencyjnych w oprogramowaniu komputerowym (cefalogramu 2D i 3D) sprawi, że analiza cefalometryczna przestanie być czasochłonna i stanie się ważnym elementem diagnostyki ortodontycznej (43).

maintaining non-professional exposure below 1000 μSv per patient per year and the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) stated that no adverse effects of less than 100,000 μSv radiation for the body were observed (protective actions of cellular renewal mechanisms) (38).

Many studies have been devoted to comparing conventional and CBCT cephalograms. Chen et al. proved that it is easier to evaluate many points (Me, Gn, Pg, Uia, points on lower molars) in a 2D cephalogram obtained from CBCT than in conventional cephalograms, but only the position of a lower incisor showed significant statistical differences in both studies (39).

Studies by Kalina et al. compared measurements of the inclination angle of the most anterior upper incisor (IL+) to the maxillary base plane (NL) (IL+ :NL angle), and of the lower incisor (IL-) to the mandibular base plane (ML) (IL- :ML angle) performed in a teleroentgenogram with measurements of the most anterior upper and lower incisors in CBCT. It was concluded that the assessment of inclination of maxillary and mandibular incisors in cephalograms is not identical to the assessment of incisor inclination using CBCT scans. Moreover, due to great differences between measurements of the inclination angle of individual incisors in the maxilla and mandible, CBCT is recommended in order to assess this parameter precisely (36).

Furthermore, examinations of the airways in classic cephalometry and CBCT 3D performed in a short interval of time showed a high correlation, although it is emphasised that computed tomography is the future tool in full diagnostics of respiratory problems (40).

Much greater diagnostic capabilities of CBCT using modern computer software combined with the scan of patient's dental arches are also indicated. It is then possible to assess the position of the mandible in the central relation and in the maximum intercuspation after only one CBCT with minimal disclusion (41, 42).

Modern studies (2014) show that today less than 40% of orthodontists perform cephalogram analyses of patients before orthodontic treatment. Improvements in the automatic location of reference points in computer software (2D and 3D cephalograms) may make a cephalometric analysis no longer time-consuming and it may become an important element of orthodontic diagnostics (43).

Podsumowanie

Wykonanie i analiza zdjęcia cefalometrycznego jest ważnym elementem diagnostyki ortodontycznej, pozwala na bardziej precyzyjne rozpoznanie problemu pacjenta oraz efektywniejsze leczenie, z uzyskaniem bardziej stabilnych wyników. Jednakże przed skierowaniem pacjenta na to badanie należy rozważyć korzyści z niego wynikające i wziąć pod uwagę narażenie go na kumulujące się w organizmie promieniowanie rentgenowskie, które zwiększa ryzyko mutacji DNA, a co za tym idzie, nowotworów w obrębie głowy i szyi (10, 33).

Summary

With regard to orthodontic diagnostics, it is extremely important to perform and analyse a cephalogram as it allows to diagnose a patient's problem more precisely, and more stable outcomes can be obtained. However, before referring a patient for this examination, its benefits should be considered and the exposure to cumulative X-ray doses in the body should be taken into account, because they increase the risk of DNA mutations and thus of head and neck cancer (10, 33).

Piśmiennictwo / References

- Norman W. Orthodontics in 3 millennia. Chapter 7: Facial analysis before the advent of the cephalometer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 293-8.
- Hans EG, Palomo JM, Valiathan M. History of imaging in orthodontics from Broadbent to cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015; 148: 914-21.
- Bergman J. Using facial angle to prove evolution and the human race hierarchy. *J Creat* 2010; 24: 101-5.
- Phulari BS. History of Orthodontics. Jaypee Brothers Medical Publishers 2013; 137.
- Keith A. Thomas Wingate Todd (1885-1938). *J Anat* 1939; 73: 350-3.
- Finaly LM. Craniometry and Cephalometry: A History Prior to the Advent of Radiography. *Angle Orthod* 1980; 50: 312-32.
- Broadbent BH Sr, Broadbent BH Jr, Golden WH. Bolton Standards of Dentofacial Developmental Growth. Mosby 1975.
- Athanasiou AE. Orthodontic Cephalometry. Mosby-Wolfe 1995.
- Nagy D. Anatomia rentgenowska. PZWL 1961.
- European guidelines on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice Issue N° 136. European Commission 2004 Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities 2004.
- Midgard J, Bjork G, Linder-Aronson S. Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances. *Angle Orthod* 1974; 44: 56-61.
- Ludlow JB, Gubler M, Cevitanes L, Mol A. Precision of cephalometric landmark identification: Cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 312.
- Baccetti T, Franchi L, McNamara J. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod* 2002; 72: 316-23.
- Perinetti G, Bianchet A, Franchi L, Contardo L. Cervical vertebral maturation: An objective and transparent code staging system applied to a 6-year longitudinal investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017; 151: 898-906.
- Bassi F, Deregis A, Previgliano V, Bracco P, Preti G. Evaluation of the utility of cephalometric parameters in constructing complete denture. Part I: placement of posterior teeth. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 234-8.
- Bassi F, Rizzatti A, Schierano G, Preti G. Evaluation of the utility of cephalometric parameters in constructing complete denture. Part II: placement of anterior teeth. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 349-53.
- Rajawat I, Venkataramana V, Patil P, Guram G, Gupta N, Lau M, Thakkar P, Shah D, Kaur RK. A cephalometric evaluation for correlation of different facial types with occlusal plane in dentulous and edentulous patients. *Oral Health Dent* 2014; 13: 1188-91.
- Lundstrom A, Lundstrom F, Le Bret LM, Moorrees CF. Natural head position and natural head orientation. Basic considerations in cephalometric analysis. *Eur J Orthod* 1995; 17: 111-20.
- Yoon Y-J, Kim K-S, Hwang M-S. Effect of head rotation on lateral cephalometric radiographs. *Angle Orthod* 2001; 71: 396-403.
- Brandt T, Gunkel C, Buck I. Cephalometrics Without X-Rays. *KN* 2008; 9: 1-7.
- Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements, II: conventional angular and linear measures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1971; 60: 505-17.
- Segner D, Hasund A. Indywidualna kefalometria. Med Tour Press 1996.
- Ricketts RM. Cephalometric Analysis and Synthesis. *Angle Orthod* 1961; 31: 141-56.
- Jarabak JR, Fizzell JA. Technique and treatment with lightwire edgewise appliance. CV Mosby 1972.
- Sassouni V. A classification of skeletal facial types. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1969; 55: 109-23.
- Sassouni V. A roentgenographic cephalometric analysis of cephalofacio-dental relationships. *Am J Orthod* 1955; 41: 735-64.
- Sassouni V. Diagnosis and treatment planning via roentgenographic cephalometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1958; 44: 433-63.
- Muretic Z, Doll GM, Slaj M. Comparative reliability of different traditional and computerized cephalometric analyses. *Acta Stomatol Croat* 1996; 30: 105-10.

Cephalometry in orthodontic diagnostics – past and present

29. Walecki J, Zawadzki M. Postępy w diagnostyce obrazowej w 2005 roku. *Med Prakt* 2006; 7-8: 185-6.
30. Swennen GRJ, Schutyser F. Three-dimensional cephalometry: Spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 130: 410-6.
31. Carlson SK, Graham J, Mah J, Molen A, Paquette DE, Quintero JC. Let the truth about CBCT be known. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 145: 418-9.
32. Greco PM. Let the truth be known. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 788-9.
33. De Grauwe A, Ayaz I, Shujaat S, Dimitrov S, Gbadegbegnon L, Vannet BV, Jacobs R. CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 2018; 1-9.
34. Sun L, Zhang L, Shen G, Wang B, Fang B. Accuracy of cone-beam computed tomography in detecting alveolar bone dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015; 147: 313-23.
35. Servais JA, Gaalaas L, Lunos S, Beiraghi S, Larson BE, Leon-Salazar V. Alternative cone-beam computed tomography method for the analysis of bone dentistry around impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018; 154: 442-9.
36. Kalina E, Sobieska E, Kalina K, Zadurska M. Inklinacja zębów siecznych szczęki i żuchwy – porównanie pomiarów uzyskanych w badaniu telorentgenowskim oraz CBCT. *Forum Ortod* 2017; 13: 89-96.
37. Dezarn WA, Cessna JT, DeWerd LA, Feng W, Gates VL, Halama J. Recommendations of the American Association of Physicists in Medicine on dosimetry, imaging, and quality assurance procedures for 90Y microsphere brachytherapy in the treatment of hepatic malignancies. *Med Phys* 2011; 38: 4824-45.
38. Bertin DM. 2012 report of UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation). Biological mechanisms of radiation actions at low doses. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. *New York* 2012; 5: 12-57831.
39. Chen MH, Chang JZC, Kok SH, Chen YJ, Huang YD, Cheng KY, Lin CP. Intraobserver reliability of landmark identification in cone-beam computed tomography-synthesized two-dimensional cephalograms versus conventional cephalometric radiography: A preliminary study. *J Dent Sci*, 2014; 9: 56-62.
40. Bronoosh P, Khojasrepour L. Analysis of Pharyngeal Airway Using Lateral Cephalogram vs CBCT Images: A Cross-sectional Retrospective Study. *Open Dent J* 2015; 9: 263-6.
41. Wen J, Liu S, Ye X, Xie X, Li J, Li H, Mei L. Comparative study of cephalometric measurements using 3 imaging modalities. *JADA* 2017; 148: 913-21.
42. El-Beialy, El Nigoumi A, Kaddah A, Afify H. Using a single cone-beam computed tomography scan to obtain full occlusal details, with the mandible in centric relation and maximum intercuspation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018; 153: 741-6.
43. Montufar J, Romero M, Scougall-Vilchis RJ. Hybrid approach for automatic cephalometric landmark annotation on cone-beam computed tomography volumes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018; 154: 140-50.