

# Rola tomografii komputerowej w wirtualnym planowaniu zabiegów implantologicznych w stomatologii

## The role of computed tomography in the virtual planning of implantations in dentistry

Wadim Wojciechowski<sup>1, 2</sup>, Andrzej Urbanik<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Radiologii, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński, ul. M. Kopernika 19, 31-501 Kraków, tel./fax +48 12 424 73 91, e-mail: radiologia@su.krakow.pl

<sup>2</sup> Centrum Medyczne iMed24, al. Jana Pawła II 41f, 31-864 Kraków

### Streszczenie

Prawidłowo zaplanowane badanie za pomocą tomografii komputerowej (TK) gwarantuje odpowiednią jakość trójwymiarowych obrazów szczęki lub żuchwy, a następnie poprawność zabiegu implantologicznego. Celem pracy jest przedstawienie roli badania TK w wirtualnym planowaniu zabiegów implantologicznych w stomatologii.

Zastosowanie techniki podwójnego skanu TK pozwala na wirtualne zaplanowanie zabiegu implantologicznego, a następnie poprawne przeprowadzenie zabiegu wszczepienia implantów.

**Słowa kluczowe:** implanty, tomografia komputerowa, planowanie przedzabiegowe, rekonstrukcja trójwymiarowa

### Abstract

The correctly performed CT (*Computed Tomography*) examination guarantees the adequate quality of three-dimensional (3D) reconstructions of the maxilla or mandible and subsequently the virtual planning of dental implant placement. The aim of the study was to explain the role of the computed tomography scanning in the virtual planning of dental implant placement.

The application of double CT scans enables the virtual planning of dental implant placement, and proper implantation procedure.

**Key words:** implants, computed tomography, preoperative planning, three-dimensional imaging

### Wprowadzenie

Wprowadzenie techniki wielorzędowej tomografii komputerowej przyniosło nowe ulepszone możliwości diagnostyczne. Skanery wielorzędowe (MDCT – *Multi-row-Detec-*

*tor Computed Tomography*) pozwalają znacznie ograniczyć artefakty ruchowe. Większa liczba detektorów i zastosowanie wysoko wyspecjalizowanego oprogramowania pozwala uzyskać informacje zarówno o budowie, jak i funkcjach narządów.

Rozwój oprogramowania do przetwarzania danych obrazowych wpłynął na wprowadzenie nowych rozwiązań w zakresie oceny diagnostycznej obrazów. Opracowanie systemów komputerowego wspomaganie diagnozy (CAD – *Computer Aided Detection*) ma na celu ułatwienie i podniesienie dokładności oceny obrazów przeprowadzanej przez lekarza radiologa poprzez wstępne wykrywanie zmian patologicznych. Najszerszy obszar zastosowań CAD dotyczy mammografii, jednak coraz częściej wykorzystywane są one również w badaniu TK – w automatycznej ocenie wielkości zmiany ogniskowej, analizie ewentualnej progresji. Systemy te umożliwiają obiektywizację stawianej diagnozy.

Nowoczesne techniki obrazowania tomograficznego miały bardzo duży wpływ na rozwój implantologii. Od czasu przeprowadzenia pierwszych prób uzupełnienia braków w uzębieniu przez wiele lat eksperymentowano z doбором najlepszych materiałów i sposobów umiejscowienia wszczepów w kości. Cały czas jednak zabiegi miały charakter raczej intuicyjny, gdyż klasyczne techniki obrazowania pozwalały jedynie na ogólną ocenę warunków anatomicznych pacjenta. Badanie TK poprzedzające implantację stomatologiczną dostarcza precyzyjnych danych o stanie wyrostków zębodołowych przygotowanych do zabiegu. Uzyskanie informacji o wszystkich wymiarach kości pozwala na wprowadzenie możliwie najdłuższych wszczepów zapewniających najlepszą stabilizację. Bezpieczeństwo zabiegu znacznie się zwiększa dzięki określeniu umiejscowienia takich struktur, jak zatoki, nerwy i naczynia krwionośne, czy też stwierdzeniu stanów patologicznych w ich obrębie. Od kilku lat podstawą w implantologii są innowacyjne systemy komputerowego planowania zabiegów implantacji, które znacznie zmieniły sposób ich

przeprowadzania. Pierwszym takim systemem był Nobel-Guide™ przedstawiony w 2003 roku przez szwedzką firmę Nobel Biocare [1]. Wykonanie symulacji wszczęcia implantów w tym programie odbywa się na trójwymiarowym obrazie szczęki lub żuchwy (rys. 1).

Po dokładnej analizie i wyznaczeniu optymalnego miejsca implantacji przygotowywane są specjalne szablony chirurgiczne służące do przeprowadzenia zabiegu, zapewniające jego precyzję i minimalizujące możliwość popełnienia błędów chirurgicznych. Systemy wirtualnych implantacji wiążą się z wprowadzeniem technik natychmiastowego obciążenia. Klasyczne postępowanie obejmuje dwa etapy leczenia: najpierw wprowadzenie środkowej części implantów, a po czasie zapewniającym odpowiednią osteointegrację dołączenie części zewnętrznej i przymocowanie odbudowy protetycznej. Za pomocą systemu wirtualnego planowania (bez konieczności pobierania wycisków) uzupełnienie protetyczne projektowane i wykonywane jest jeszcze przed zabiegiem. W przypadku braku przeciwwskazań uzupełnienie jest przytwierdzone od razu po wprowadzeniu wszczepów. Technika ta stanowi wielki przełom w przebiegu zabiegów implantologicznych: skraca czas leczenia, ogranicza inwazyjność i zapewnia znaczne korzyści estetyczne dla pacjenta.

Badanie TK jest ważnym uzupełnieniem badania klinicznego. Ilościowa i jakościowa ocena struktury kostnej pozwala zapewnić stabilne utrzymanie implantu. Możliwość obrazowania trójwymiarowego w TK pozwala również precyzyjnie określić sąsiadujące struktury anatomiczne.

Zwiększenie mocy obliczeniowej komputerów oraz wprowadzenie jeszcze bardziej wydajnych kart graficznych umożliwiło firmom specjalizującym się w tworzeniu specjalistycznego oprogramowania sterowanie przeziernością obrazu kości, zaznaczenie struktur anatomicznych m.in. zatok szczękowych, jamy nosowej, otworów bródkowego i przysiecznego, przebiegu kanału żuchwy (rys. 2, 3). Ocena stanu tkanki kostnej oraz przyległych struktur otaczających we wszystkich trzech wymiarach pozwala na bardzo precyzyjne określenie miejsca, położenia osiowego, rozmiaru oraz liczby implantów.

### **Tomografia komputerowa ze stożkową wiązką promieniowania (CBCT – Cone-Beam Computer Tomography)**

W latach 2001/2002 wprowadzono tomografy, w których wiązka promieniowania uformowana jest w stożek (CBCT – Cone-Beam Computer Tomography). Rozszerzenie panelu detektorów oraz pozyskiwanie podstawowych obrazów podczas jednej rotacji lampy skróciło czasu badania i jednocześnie ograniczyło dawkę promieniowania.

Metoda CBCT najczęściej wykorzystywana jest do obrazowania twarzoczaszki. Potwierdzono to m.in. w pracy Hashimoto i wsp., w której autorzy porównują obrazy z tomografu spiralnego, czterorzędowego i tomografu ze stożkową wiązką promieniowania [2]. Oceniano jakość odwzorowania takich struktur, jak kość gąbczasta, szkliwo, zębina itp. We wszystkich przypadkach obrazy otrzymane za pomocą CBCT były

lepszej jakości niż obrazy z tomografu czterorzędowego.

CBCT jest wykorzystywana przede wszystkim w chirurgii stomatologicznej, także przed zabiegami implantologicznymi [3]. Główną zaletą CBCT jest niższa dawka promieniowania w porównaniu z wielorzędową TK. Średnia dostarczana dawka w przypadku pojedynczego badania 3D wykonanego za pomocą systemu CBCT to 13 do 82 mikrosiwertów ( $\mu\text{Sv}$ ), co jest równe dawce promieniowania tła (pochodzenia naturalnego) otrzymanej w trakcie jednego do trzech dni ekspozycji. Dla porównania, średnia dostarczona dawka w przypadku badania tomograficznego głowy za pomocą tomografu wynosi około 1,1 milisiwerta (mSv) [4].

Inne zalety CBCT w porównaniu do klasycznego aparatu TK, to mniejsze wymiary urządzenia, brak konieczności instalowania zaawansowanego systemu chłodzenia oraz niższa cena.

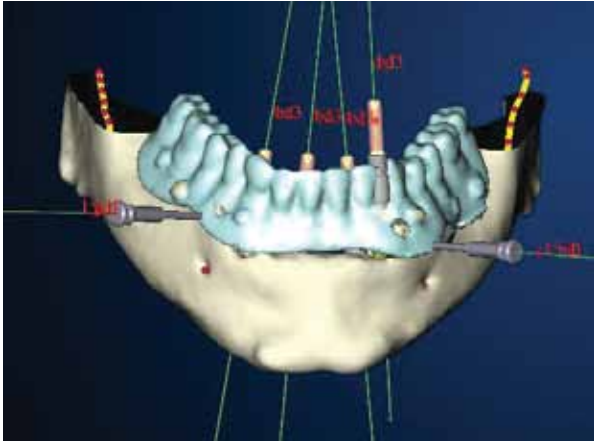
Głównymi ograniczeniami metody są małe pola skanowania, artefakty rozproszeniowe oraz niska rozdzielczość kontrastowa w obszarze tkanek miękkich, przez co jakość otrzymanego modelu 3D jest niższa, jednak w wielu przypadkach akceptowalna i wystarczająca [5]. Podjęto także próbę oceny użyteczności klinicznej CBCT w przedoperacyjnej diagnostyce złamań śródręcza i paliczków, opisaną w pracy Faccioli i wsp. [6]. Autorzy stwierdzili brak możliwości prawidłowego zidentyfikowania bardzo drobnych fragmentów kości, czułość metody ocenili jednak na 100%. Stwierdzono również, że występujące w porównaniu z MSCT (*Multislice Computed Tomography*) efekty objętościowe i artefakty rozproszeniowe są statystycznie nieznaczące.

CBCT zaczęto również wykorzystywać do diagnostyki górnych dróg oddechowych [7], kręgów przed i po weterbroplastyce [8], zatok szczękowych i ucha środkowego (przede wszystkim w przypadkach niedosłuchu) [9]. Zaproponowano także wykorzystanie CBCT do planowania leczenia za pomocą brachyterapii [10].

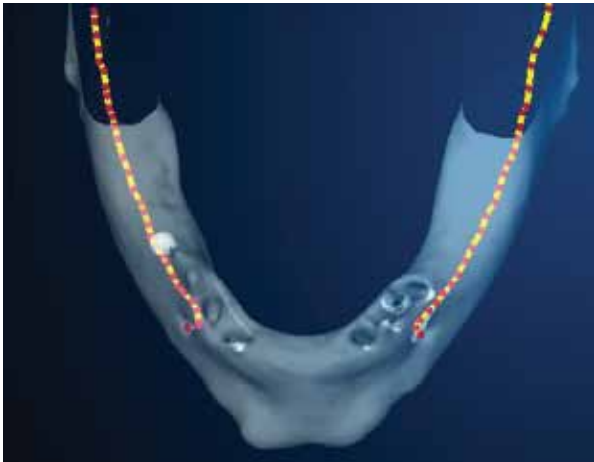
Stożkowa wiązka promieniowania w metodzie CBCT jest obecnie powszechnie wykorzystywana. Metoda pozwala na weryfikację ułożenia pacjenta na stole terapeutycznym przed napromienieniem [11, 12]. Większość nowoczesnych medycznych akceleratorów liniowych wyposażonych jest w system obrazowania CBCT wykorzystujący wiązki stożkową kilo- i megawoltową lub wyłącznie megawoltową. Obrazowanie megawoltowe daje bardzo dobre odzwierciedlenie tkanek kostnych; wiązka kilowoltowa umożliwia dokładną ocenę tkanek miękkich i narządów wewnętrznych.

### **Trójwymiarowa wirtualna prezentacja danych tomograficznych**

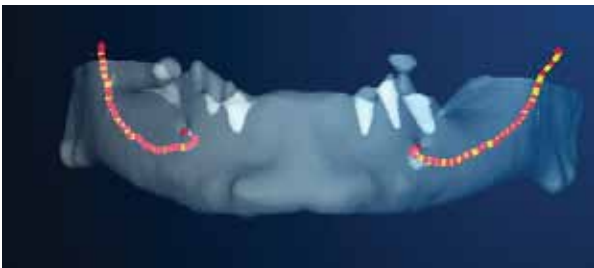
Podstawowy obraz tomograficzny to dwuwymiarowy przekrój przez daną warstwę obiektu, przedstawiający w skali szarości rozkład współczynnika osłabiania promieniowania przez poszczególne struktury tworzące ciało. Dzięki jednoczesnemu rozwojowi aparatury tomograficznej i komputerowych metod analizy obrazu oraz programów graficznych możliwe stało się tworzenie trójwymiarowych rekonstrukcji badanego obiektu na podstawie siatki prze-



Rys. 1 Wirtualne implanty w rekonstrukcji 3D  
 Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2 Markery w kanale żuchwy. Widok od góry  
 Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3 Markery w kanale żuchwy. Widok od przodu  
 Źródło: Opracowanie własne

strzennych elementów objętości (vokseli). W wizualizacji 3D możliwe jest określenie progu wartości współczynnika osłabienia dla struktur, które będą uwidaczniane lub traktowane jako przezroczyste. Pozwala to analizować obrazy tylko wybranych struktur. Tak zwany rendering, czyli komputerowe modelowanie struktury, opiera się na wyznaczeniu pozornego źródła światła i oszacowaniu strumienia światła pochodzącego od tego obiektu. W zależności od potrzeb stosuje się rendering powierzchniowy lub objętościowy. Podczas renderingu powierzchniowego w oparciu o histogram danego obrazu określana jest powierzchnia, która będzie obrazowana (pozostałe struktury będą przezroczyste)



Rys. 4 Rekonstrukcja 3D struktur kostnych części twarzowej czaszki pacjenta  
 Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5 Rekonstrukcja 3D szablonu radiograficznego  
 Źródło: Opracowanie własne

i dobierany jest odpowiedni model rozpraszania światła. Za pomocą renderingu objętościowego otrzymywany jest przestrzenny obiekt uwidaczniający budujące go struktury, charakteryzujące się różnym stopniem osłabiania promieniowania (rys. 4, 5). Wysoka wiarygodność renderingu objętościowego udowodniona została m.in. w pracy Cavalcanti i wsp. Autorzy stwierdzają brak znaczących różnic między informacjami otrzymanymi z trójwymiarowej rekonstrukcji danych tomograficznych a rzeczywistymi pomiarami. Potwierdzają oni również wysoką precyzję i przydatność przeprowadzania tego typu analizy w celu planowania zabiegów implantacji zębowych [13].

## Wnioski

Ocena stanu tkanki kostnej oraz przyległych struktur na podstawie badania tomograficznego pozwala na precyzyjne określenie miejsca, położenia osiowego, rozmiaru oraz liczby implantów. Wprowadzenie stożkowej tomografii komputerowej do praktyki klinicznej pozwoliło na znaczne zmniejszenie dawki promieniowania otrzymywanej przez pacjenta. ■

## Literatura

1. <http://www.nobelbiocare.com>
2. K. Hashimoto, S. Kawashima, S. Kameoka, et al.: *Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography*, Dentomaxillofac Radiol, vol. 36(8), 2007, s. 465-471.

3. P. Worthington, J. Rubenstein, D.C. Hatcher: *The role of cone-beam computed tomography in the planning and placement of implants*, J Am Dent Assoc, vol. 141(3), 2010, s. 19S-24S.
4. M. Loubele, R. Bogaerts, E. Van Dijck, et al.: *Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications*, Eur J Radiol, vol. 71(3), 2009, s. 461-468.
5. X. Liang, I. Lambrichts, Y. Sun, et al.: *A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II: On 3D model accuracy*, Eur J Radiol, vol. 75(2), 2010, s. 270-274.
6. N. Faccioli, G. Foti, M. Barillari, A. Atzei, R. Mucelli: *Finger fractures imaging: accuracy of cone-beam computed tomography and multislice computed tomography*, Skeletal Radiol, vol. 39(11), 2010, s. 1087-1095.
7. F. Osorio, M. Perilla, D.J. Doyle, J.M. Palomo: *Cone-beam computed tomography: an innovative tool for airway assessment*, Anesthesia & Analgesia, vol. 108(6), 2008, s. 1803-1807.
8. A. Hiwatashi, T. Yoshiura, T. Noguchi, et al.: *Usefulness of cone-beam CT before and after percutaneous vertebroplasty*, AJR Am J Roentgenol, vol. 191(5), 2008, s. 1401-1405.
9. R. Cerini, N. Faccioli, M. Barillari, et al.: *Bionic ear imaging*, La Radiologia Medica, vol. 113(2), 2008, s. 265-277.
10. H. Al-Halabi, L. Portelance, M. Duclos, B. Reniers, B. Bahoric, L. Souhami: *Cone-beam CT-based three-dimensional planning in high-dose-rate brachytherapy for cervical cancer*, Int J Radiat Oncol Biol Phys, vol. 77(4), 2010, s. 1092-1097.
11. Z. Zumsteg, J. DeMarco, S.P. Lee, et al.: *Image guidance during head-and-neck cancer radiation therapy: analysis of alignment trends with in-room cone-beam computed tomography scans*, Int J Radiat Oncol Biol Phys, w druku.
12. A.R. Yeung, J.G. Li, W. Shi, et al.: *Tumor localization using cone-beam CT reduces setup margins in conventionally fractionated radiotherapy for lung tumors*, Int J Radiat Oncol Biol Phys, vol. 74(4), 2009, s. 1100-1107.
13. M.G. Cavalcanti, A. Ruprecht, M.W. Vannier: *3D volume rendering using multislice CT for dental implants*, Dentomaxillofac Radiol, vol. 31(4), 2002, s. 218-223.

*otrzymano / received: 10.02.2012*

*wersja poprawiona / revised version: 28.02.2012*

*zaakceptowano / accepted: 06.03.2012*