

Mgr inż. Małgorzata Otrębska,  
Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn  
e-mail: malgorzata.otrebska@polsl.pl

Lek. dent. Bartłomiej Szczodry  
Klinika Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej,  
Chirurgii Jamy Ustnej i Implantologii w Warszawie  
Kierownik Kliniki: Dr hab. n. med. Danuta Samolczyk -Wanyura  
e-mail: bartszczodry@gmail.com

Danuta Samolczyk-Wanyura  
Klinika Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej,  
Chirurgii Jamy Ustnej i Implantologii w Warszawie  
Kierownik Kliniki: Dr hab. n. med. Danuta Samolczyk-Wanyura  
e-mail: danuta\_wanyura@op.pl

## **PLANOWANIE ZABIEGU RESEKCJI I REKONSTRUKCJI ŻUCHWY Z UŻYCIEM KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA ORAZ TECHNOLOGII GENERATYWNYCH**

**Streszczenie:** Wspomaganie komputerowe i technologia generatywna umożliwia precyzyjne, szybkie i stosunkowo tanie zaplanowanie zabiegu chirurgicznego. Wirtualne zrekonstruowanie trójwymiarowego modelu organu, wykonanie go z użyciem technologii generatywnych i wykorzystanie go w planowaniu przedoperacyjnym znacznie skraca czas operacji (a co za tym idzie skraca czas trwania znieczulenia ogólnego, zmniejsza utratę krwi), ułatwia przeprowadzenie zabiegu operacyjnego oraz pozwala na dobranie optymalnej metody do indywidualnego przypadku.

**Słowa kluczowe:** komputerowo wspomagane planowanie zabiegu, chirurgia szczękowo-twarzowa, rekonstrukcja żuchwy, technologia generatywna

## **PRE-OPERATIVE PLANNING FOR MANDIBULAR RESECTION AND RECONSTRUCTION USING COMPUTER AIDED AND GENERATIVE TECHNOLOGIES**

**Abstract:** The computer aided and generative technologies provided a precise, fast and cheap mandibular reconstruction. Producing virtual and printing technology FDM, and using them for preoperative planning substantially reduces operative time (decreased exposure time to general anesthesia, decreased blood loss, and shorter wound exposure time) and difficulty of the operation.

**Keywords:** computer-assisted surgery planning, cranio-maxillofacial surgery, mandibular reconstruction, generative technology

### **1. WPROWADZENIE**

Nieustanny rozwój technik komputerowych (technologie generatywne) oraz metod obrazowania medycznego (tomografia komputerowa) pozwala na uzyskanie i wykorzystanie coraz większej ilości informacji otrzymanych podczas badań diagnostycznych. Komputerowo wspomagane przetwarzanie pozyskanych danych oraz wykorzystanie technik generatywnych, pozwala na precyzyjne zaplanowanie procesu leczenia. Wykorzystanie wymienionych metod pozwala między innymi na wytworzenie wirtualnego i fizycznego modelu tkanek kostnych objętych badaniem obrazowym.

Jedną z wielu dziedzin medycyny, w których opisywane rozwiązania znajdują szerokie zastosowanie jest chirurgia szczękowo-twarzowa. Twarz, jako najbardziej indywidualna część ciała, jest ważnym elementem tożsamości człowieka, a jej wygląd odgrywa ogromną rolę w kontaktach z innymi ludźmi, dlatego szczególnie istotne wydaje się prawidłowe odtworzenie kształtu i symetrii struktur kostnych twarzowej części twarzy [8][2]. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie możliwości i zalet wykorzystania wyżej wymienionych technik w procesie planowania resekcji i rekonstrukcji ubytku kości żuchwy.

## **2. PLANOWANIE ZABIEGU**

Inżynierskie planowanie zabiegu polega na ścisłej współpracy inżyniera z lekarzem. Jest to zaplanowanie i zobrazowanie technik lub metod operacji za pomocą oprogramowań inżynierskich.

Po zakwalifikowaniu pacjenta do operacji, poddawany jest wielu badaniom. Pacjentowi opisanemu w tym artykule, wykonano m.in. tomografię komputerową z wiązką promieniowania w kształcie stożka (rodzaj badania obrazowania medycznego), która posłużyła do dalszej pracy.

### **2.1. TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA Z WIĄZKĄ PROMIENIOWANIA W KSZTAŁCIE STOŻKA**

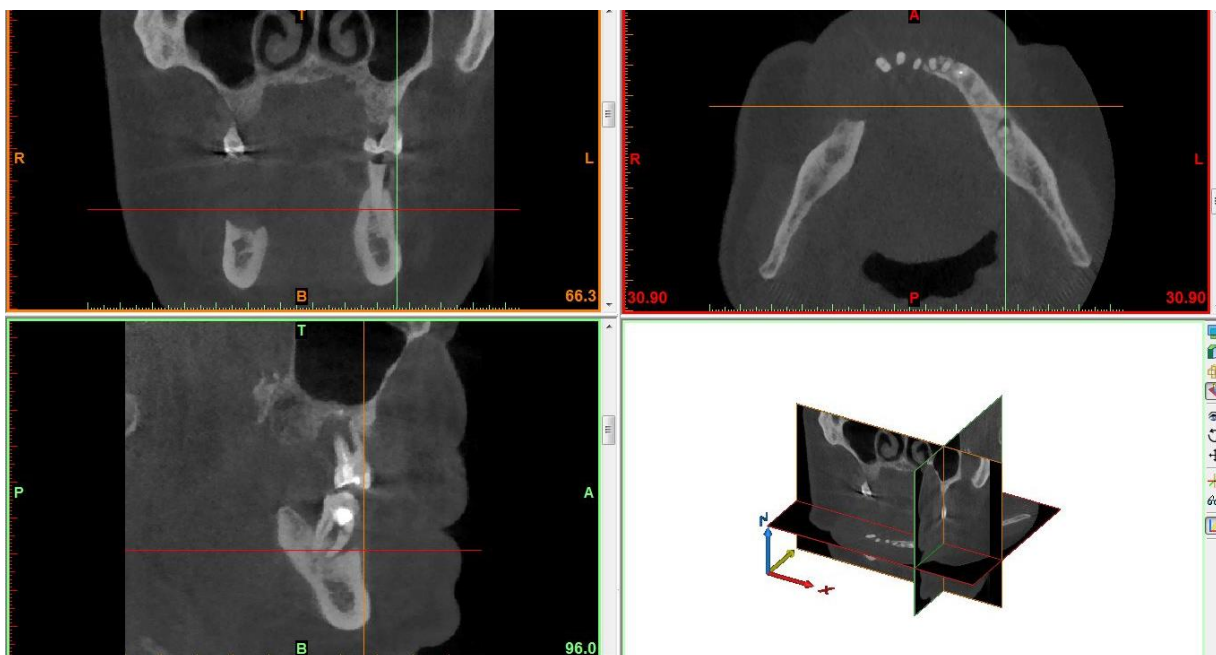
Tomografia komputerowa z wiązką promieniowania w kształcie stożka (CBCT) znalazła szerokie zastosowanie w stomatologii oraz chirurgii twarzowo-szczękowej. Jej zaletami w porównaniu z klasyczną tomografią komputerową jest przede wszystkim zmniejszenie dawki promieniowania, kilkukrotne skrócenie czasu badania oraz możliwość uzyskania obrazu struktur tkanek miękkich i twardych. Dodatkowym plusem tomografii stożkowej jest uzyskanie wyniku badania po pojedynczym obrocie lampy wokół pacjenta [7].

Tomografię CBCT różnicuje od tomografii klasycznej postać strumienia promieni rentgenowskich, która jest w kształcie stożka i pada na dwuwymiarowy detektor, w odróżnieniu od strumienia w kształcie wachlarza, padającego na detektor liniowy w tomografii klasycznej.

### **2.2. OBRÓBKA PROGRAMOWA OBRAZÓW DICOM**

Wynikiem Tomografii Komputerowej są cyfrowe obrazy, reprezentujące przekroje danego organu, zapisane w normie DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine - Obrazowanie Cyfrowe i Wymiana Obrazów w Medycynie). Jest to norma opracowana przez ACR/NEMA (American College of Radiology/National Electrical Manufacturers Association) by ujednolicić na całym świecie zapis danych medycznych. Obrazy zapisane w rozszerzeniu DICOM zawierają oprócz danych graficznych, informację o pacjencie i parametry wykonanego badania [5].

Obrazy DICOM z tomografii CBCT pacjenta wczytano do specjalistycznego programu Mimics firmy Materialise. W oknie programu widoczne są przekroje w trzech płaszczyznach: czołowej (górne lewe okno, Rys. 1), poprzecznej (górne prawe okno, Rys. 1) oraz strzałkowej (dolne lewe okno, Rys. 1).



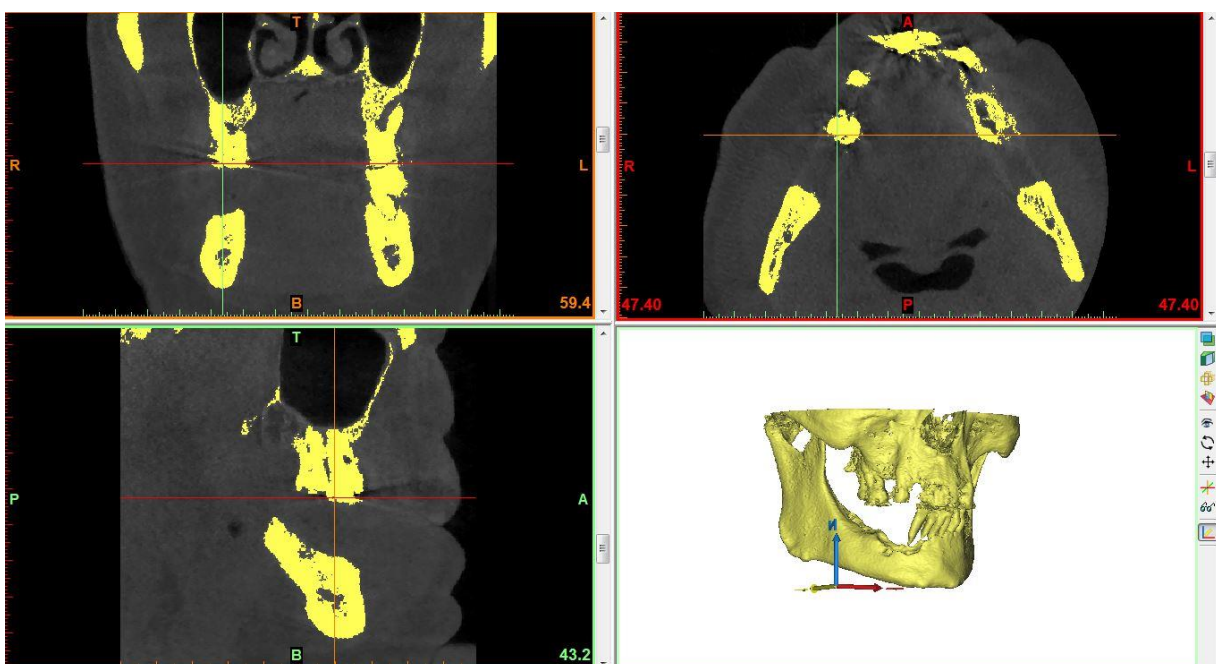
Rys. 1. Wczytane obrazy DICOM pacjenta do programu Mimics

Na Rys. 1 można zaobserwować tkanki miękkie oraz twarde fragmentu twarzoczaszki pacjenta. Rozpoczynając pracę nad tym przypadkiem, ustawiono skalę Hounsfielda odpowiadającą gęstości kości. W wyniku tego działania, na maskach zostały zaznaczone obszary odpowiadające kościom pacjenta.

Skala Hounsfielda jest to ilościowa skala opisująca gęstość radiologiczną, odpowiadającą współczynnikowi absorpcji promieni rentgenowskich przez dany organ. Zależność jednostki Hounsfielda od współczynnika absorpcji przedstawia wzór (1) [4].

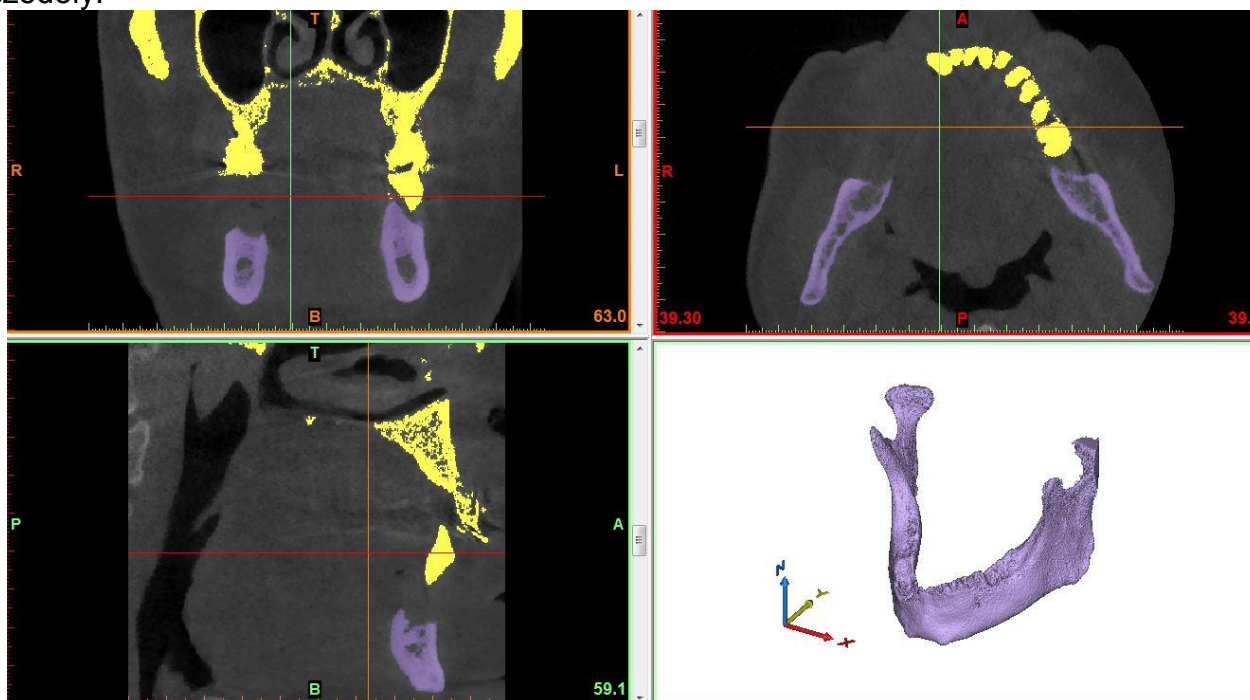
$$(HU) = \frac{\mu_{tkanki} - \mu_{wody}}{\mu_{wody}} \times 1000 \quad (1)$$

Skala Hounsfielda przyjmująca wartość 0 (HU) oznacza wodę, wartość ok. -1000 (HU) odpowiada powietrzu (kolor czarny na obrazach), a wartości w granicach 400÷1000 (HU) odpowiada kości (obrazy jasne/białe na obrazach) [6].



Rys. 2. Zaznaczenie fragmentów kostnych poprzez ustawienie skali Hounsfielda

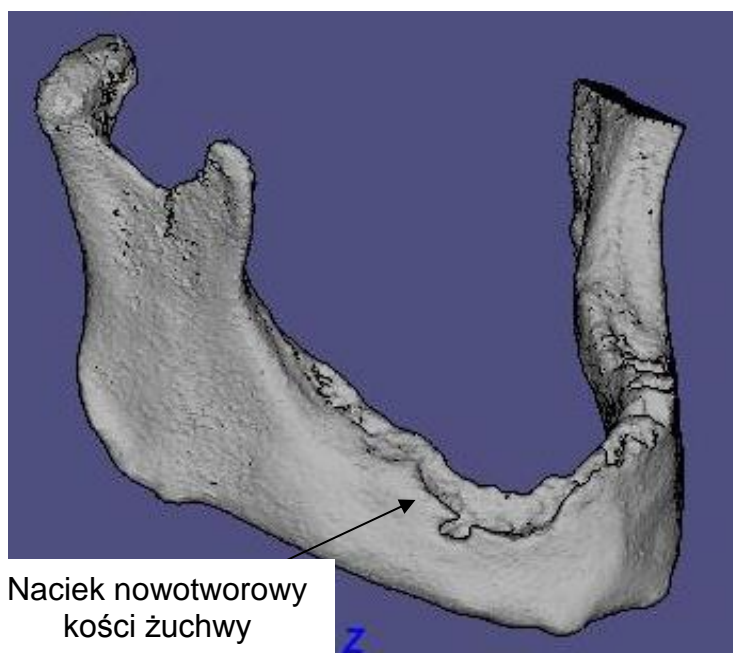
Kolejnym krokiem, było wysegmentowanie samej żuchwy (kolor fioletowy na Rys. 2), poprzez usunięcie z maski pozostałych obszarów kostnych takich jak szczęka, czy oczodoły.



Rys. 3. Wysegmentowanie żuchwy pacjenta

Do zaplanowania zabiegu, wymagany był model żuchwy z usuniętymi zębami. Plan zabiegu zakładał odcinkową resekcję żuchwy po stronie prawej, dlatego generowanie modelu nie wymagało uzyskania całej struktury kostnej żuchwy. Odcięcie struktur wyrostka kłykciowego żuchwy po stronie lewej znacznie ułatwiło wygenerowanie modelu rzeczywistego.

Wynik końcowy, wygenerowanego, dopracowanego trójwymiarowego modelu pokazano na Rys. 4. Na obrazie dokładnie widać tkanki objęte zmianami chorobowymi.



Rys. 4. Trójwymiarowy model żuchwy pacjenta

Wygenerowano model żuchwy, który został zapisany w standardzie STL. Format ten umożliwia m.in. wykonanie elementu z użyciem technologii generatywnych.

Wirtualny model odpowiada rzeczywistej żuchwie pacjenta, czyli kształt, wielkość oraz wszystkie parametry geometryczne są zachowane względem struktury kostnej pacjenta.

### 2.3. TECHNOLOGIA GENERATYWNA

Do skonstruowania rzeczywistego trójwymiarowego modelu wykorzystano technologię generatywną.

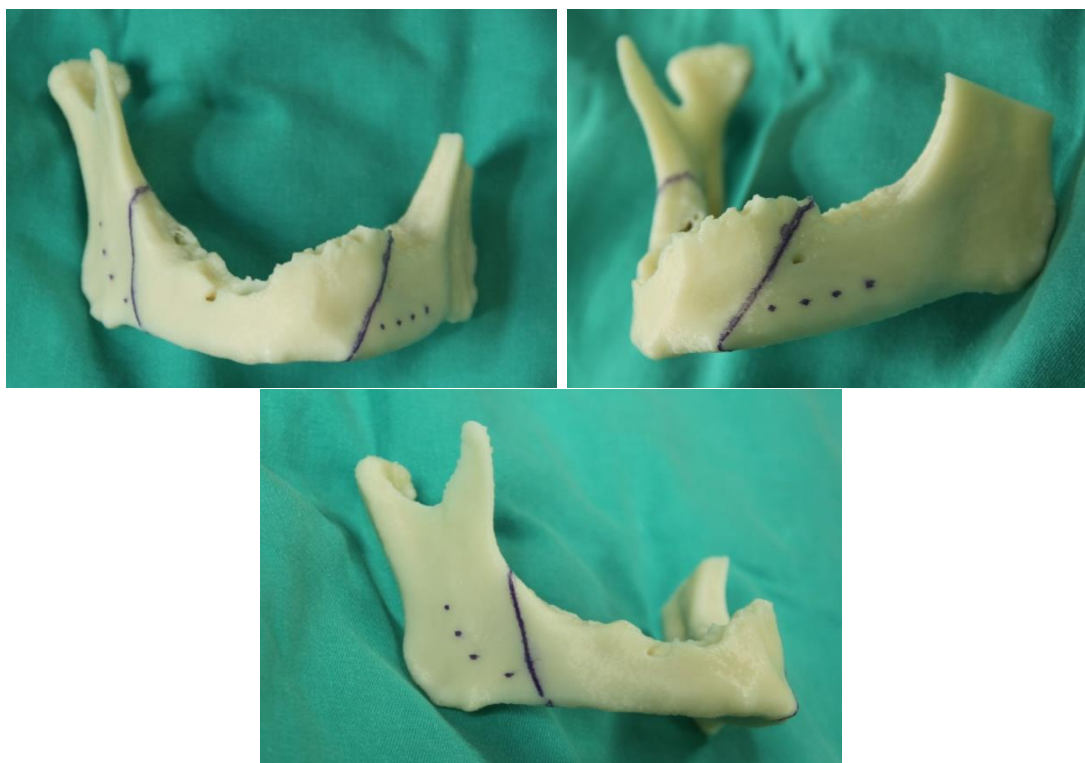
Technologia generatywna jest to wytwarzanie docelowych elementów i prototypów o praktycznie dowolnym stopniu złożoności postaciowej. Różne technologie opierają się na jednej ogólnej zasadzie: utworzone, w systemach klasy CAx, przestrzenne modele geometryczne przedmiotu są programowo dzielone na warstwy o danej grubości, co powoduje ich redukcję do struktury dwuwymiarowej.

W większości technologii generatywnych, tworzywa, z których zostanie wykonany model, są doprowadzane do stanu plastyczności za pomocą ciepła, w celu ich ułożenia za pomocą specjalnych głowic na danej warstwie. Następnie tworzywa te są punktowo utwardzane promieniami lasera lub za pomocą innych źródeł promieniowania. Proces ten powtarza się dla wszystkich warstw tworzonego przedmiotu [1][3].

Omawiany model żuchwy wykonano metodą FDM (fused deposition modeling - osadzanie topionego materiału) z tworzywa termoplastycznego ABS [1].

### 2.4. PLANOWANIE ZABIEGU

Zabieg zaplanowano z użyciem wytworzonego, fizycznego modelu żuchwy. Na modelu zaplanowano linie cięcia żuchwy, wymodelowano kształt płyty rekonstrukcyjnej oraz określono miejsca jej mocowania śrubami tytanowymi.



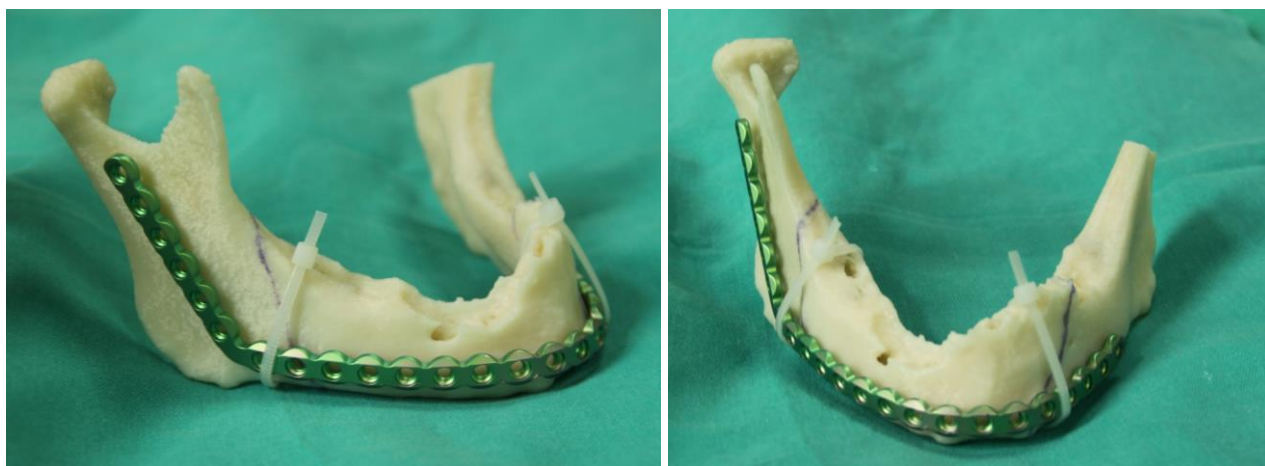
Rys. 5. Zaznaczone linie cięcia na modelu żuchwy

Następnie wstępnie docięto i ukształtowano płytę rekonstrukcyjną.



Rys. 6. Płyta rekonstrukcyjna

Po czym płytkę tę dokładnie dopasowano do fizycznego modelu żuchwy, tak aby do niego przylegała, odpowiadając kształtem i wymiarami żuchwie pacjenta.



Rys. 7. Dopasowanie płytki rekonstrukcyjnej do modelu żuchwy

## 2.5. ZABIEG OPERACYJNY

Pacjent był operowany z powodu raka płaskonabłonkowego (Carcinoma planeoepitheliale) dziąsła dolnego z naciekaniem kości żuchwy. Zabieg polegał na usunięciu masy guza ( dno jamy ustnej, dziąsło dolne, fragment języka, żuchwa) z marginesem zdrowych tkanek wraz z resekcją odcinkową żuchwy i jednostronnym usunięciem węzłów chłonnych szyi.

Ubytek poresekcyjny zrekonstruowano uszypułowanym płatem piersiowym. Ciągłość żuchwy odtworzono przy użyciu tytanowej płyty rekonstrukcyjnej wcześniej ukształtowanej na fizycznym modelu żuchwy.

## 3. WNIOSKI

Metoda inżynierskiego wspomagania zabiegów operacyjnych otwiera nowe możliwości w dziedzinie chirurgii i w przyszłości powinna być powszechnie stosowana przed wykonywaniem skomplikowanych operacji.

Wykonanie trójwymiarowego modelu narządu pozwala lekarzowi na dokładną analizę

przypadku (badania wskazują, że młodzi lekarze są w stanie lepiej ocenić przypadek na modelach trójwymiarowych niż na obrazach 2D).

Na trójwymiarowym modelu narządu pacjenta można przeprowadzić planowanie zbiegu w świecie wirtualnym (w specjalistycznych oprogramowaniach komputerowych) lub na wygenerowanych modelach fizycznych.

Zaplanowanie zabiegu z użyciem komputerowego wspomaganie oraz technologii generatywnych pozwala na:

- Lepsze przygotowanie się lekarza do zabiegu
- Zwiększenie precyzji operacji
- Dobór potrzebnego oprzyrządowania oraz płyt rekonstrukcyjnych
- Możliwość dokładniejszego skonsultowania przypadku z innymi lekarzami przed rozpoczęciem zabiegu (włączenie z możliwością telekonferencji)
- Lepsze przedstawianie i zrozumienie przez pacjenta zakresu zabiegu i omówienie jego przebiegu
- Skrócenie czasu operacji a co za tym idzie:
  - Skrócenie czasu znieczulenia ogólnego
  - Zmniejszenie utraty krwi podczas zabiegu
  - Minimalizację komplikacji śródoperacyjnych

#### 4. LITERATURA

- [1] Chlebus E.: „Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji”, Warszawa 2000.
- [2] Eckardt A. Swennen GR „Virtual planning of composite mandibular reconstruction with free fibula bone graft.” J Craniofac Surg 2005, 16:1137-1140
- [3] Gonera K., Kurzac J., Rysińska M., Dybała B.: Metody CAx w aplikacjach medycznych przy wytwarzaniu technologiami generatywnymi, Mechanik, nr 2, 2010, s. 132
- [4] Nałęcz M., Pawlicki G., Pałko T., Golnik N., Gwiazdowska B., Królicki L.: *Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000. Tom 9. Fizyka medyczna.* Akademicka oficyna wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
- [5] Piętka E.: *Standard DICOM w archiwizacji i transmisji obrazów medycznych*, Sieci komputerowe. Gliwice: Wydaw. Politechniki Śląskiej, 1999, s. 651-660, bibliogr. 12 poz.
- [6] Piotrkowski T. „Wybrane zagadnienia dotyczące planowania leczenia w radioterapii”. Zakład Fizyki Medycznej. Wielkopolskie centrum Onkologii 2005.
- [7] Szczodry B., Kotlarski M., Chomiczki P., Samolczyk-Wanyura D., „The Application of Computed Tomography with Cone-Shaped Radiation in Maxillofacial Surgery in the Group Of Patients with Fractures in the Facial Part of the Skull – Preliminary Report”. Dent. Med. Probl. 2013, 50, 2, 0–0.
- [8] Winder J, Bibb „Medical rapid prototyping technologies: state of the art. And current limitations for application in oral and maxillofacial surgery.” J Oral Maxillofac Surg 2005,63:1006-1015