

Natalia CHRUŚCICKA, Daniel CIEPIEŁOWSKI, Sylwia ŁAGAN, Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Instytut Mechaniki Stosowanej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

MODELOWANIE ENDOPROTEZY STAWU KOLANOWEGO

1. WSTĘP

Staw kolanowy jest jednym z najbardziej obciążonych biołożysk w organizmie człowieka. Zarazem jest też stawem najczęściej ulegającym uszkodzeniom urazowym oraz podatnym na różne patologie. Wiele schorzeń prowadzi do niszczenia struktur anatomicznych stawu kolanowego. Wśród tych schorzeń można wymienić: chorobę zwyrodnieniową oraz reumatoidalne zapalenie stawów. Dochodzi wówczas do upośledzenia funkcji kolana, a tym samym do zaburzenia poruszania się [1].

W latach 1938 – 1940 do artroplastyki stawów zostały wprowadzone interpozytory oraz inne formy wkładek metalowych. Dało to początek endoprotezom stawów. Powiększająca się wiedza dotycząca biomechaniki kolana oraz doświadczenie kliniczne spowodowały, że alloplastyka stała się metodą operacyjną stosowaną na szeroką skalę [5].

Alloplastyka stawu kolanowego to wprowadzenie elementów obcych do organizmu, które są sztucznymi zamiennikami zniszczonego przegubu kolanowego. Zabieg przede wszystkim ma na celu przywrócenie utraconych czynności strukturom anatomicznym, odtworzenie uszkodzonego stawu po urazie mechanicznym lub chorobie stawów oraz wyeliminowanie bólu [3].

Dobór odpowiedniego przegubu kolanowego zależy od indywidualnych cech pacjenta. Wywiad medyczno-techniczny jest podstawą do określenia elementów protezy. O doborze właściwych elementów i usprawnianiu pacjenta powinien decydować zespół interdyscyplinarny składający się z lekarza specjalisty (ortopedii lub rehabilitacji), technika ortopedy oraz fizjoterapeuty. Przegub kolanowy musi odpowiadać potrzebom pacjenta, być dostosowanym do trybu życia i jego sprawności ruchowej. Przy doborze protezy należy uwzględnić również wiek pacjenta, jego chorobę, rozległość schorzenia, stan więzadeł, łąkotek oraz powierzchni kości. Istotny jest także aspekt wytrzymałościowy danych elementów strukturalnych i funkcjonalnych.

Obecnie obserwuje się wzrost liczby wykonywanych zabiegów alloplastyki kolana. Endoprotezoplastykę stawu kolanowego wykonuje się dwa razy rzadziej niż stawu biodrowego. Spowodowane to jest tym, że technika operacyjna oraz przywrócenie prawidłowej osi kończyny jest trudniejsze [5].

Zapotrzebowanie na tego typu zabiegi jest wysokie. W Polsce na planowany zabieg endoprotezoplastyki czeka się od pół roku do 2 lat [5]. Według badań wszczepiona proteza w 96% przypadków może funkcjonować prawidłowo przez okres od 10 do 15 lat [2].

2. PROCES MODELOWANIA

W procesie modelowania wykonano model kości piszczelowej i udowej bez wyodrębnienia części korowej i gąbczastej oraz model endoprotezy stawu kolanowego składający się z elementu piszczelowego, udowego i wkładki polietylenowej.

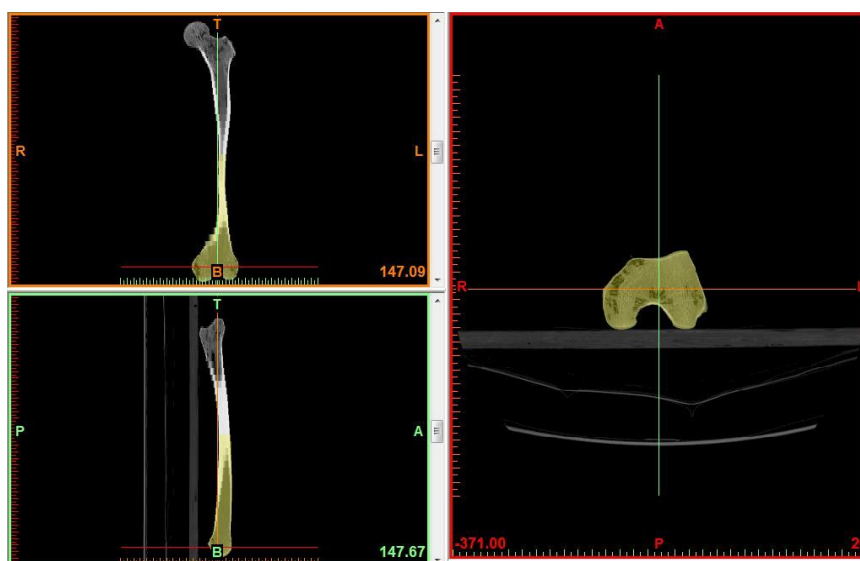
2.1. Założenia w procesie modelowania

Przedstawiony model endoprotezy wraz z kośćmi jest uproszczony w odniesieniu do obiektów rzeczywistych. Przyjęto następujące uproszczenia:

- zostały zamodelowane tylko fragmenty kości potrzebne do dopasowania protezy,
- model kości nie odzwierciedla idealnie anatomicznych kształtów kości udowej oraz piszczeli, a jedynie ich ogólny kształt,
- brak wyróżnienia kości gąbczastej i zbitej,
- brak optymalizacji kształtu wkładki polimerowej w celu minimalizacji sił tarcia,
- zostały pominięte drobne szczegóły endoprotezy.

2.2. Model kości udowej i piszczelowej

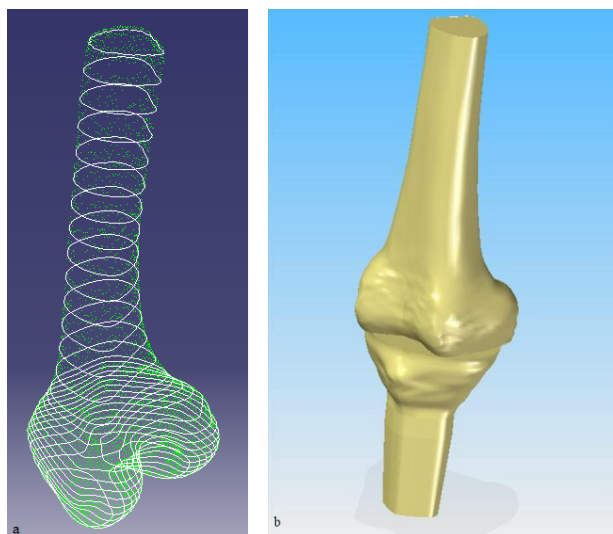
Do budowy modelu kości wykorzystano skany tomograficzne znajdujące się w bibliotece programu MIMICS. Po przeprowadzeniu odpowiednich modyfikacji poszczególnych przekrojów kości uzyskano interesujące fragmenty kości udowej oraz piszczelowej (rys. 1).



Rys.1. Zrzut ekranu z programu MIMICS.

Kolejnym etapem pracy z modelem kości było zaimportowanie chmury punktów do modułu Digitized Shape Editor w programie Catia V5. Na poprzecznych płaszczyznach chmury punktów nałożono krzywe odzwierciedlające przekroje (rys. 2a). Następnie z przekrojów stworzono powierzchnie, z których uzyskano bryły kości udowej i piszczelowej (rys 2b).

Model kości udowej oraz piszczelowej składa się tylko z części korowej kości.



Rys.2. Chmura punktów z otrzymanymi przekrojami (a) model kości udowej i piszczelowej (b).

2.3. Model endoprotezy stawu kolanowego

2.3.1 Opis obiektu modelownia

Wzorem wykorzystanym do projektowania w niniejszej pracy była endoproteza stawu kolanowego NexGen[®] Legacy[®] Constrained Condylar Knee (LCKK) oferowana przez firmę Zimmer[®] (rys. 3).



Rys.3. Endoproteza stawu kolanowego NexGen[®] Legacy[®] Constrained Condylar Knee (LCKK).

Implant ten dostępny jest w 8 rozmiarach oraz dopasowany jest do prawej lub lewej nogi. Przeważnie jako materiał konstrukcyjny wykorzystuje się stop chromu i kobaltu. Wkładka wykonana jest z polietylenu o ultrawysokiej masie cząsteczkowej, o grubości od 10 do 35 [mm].

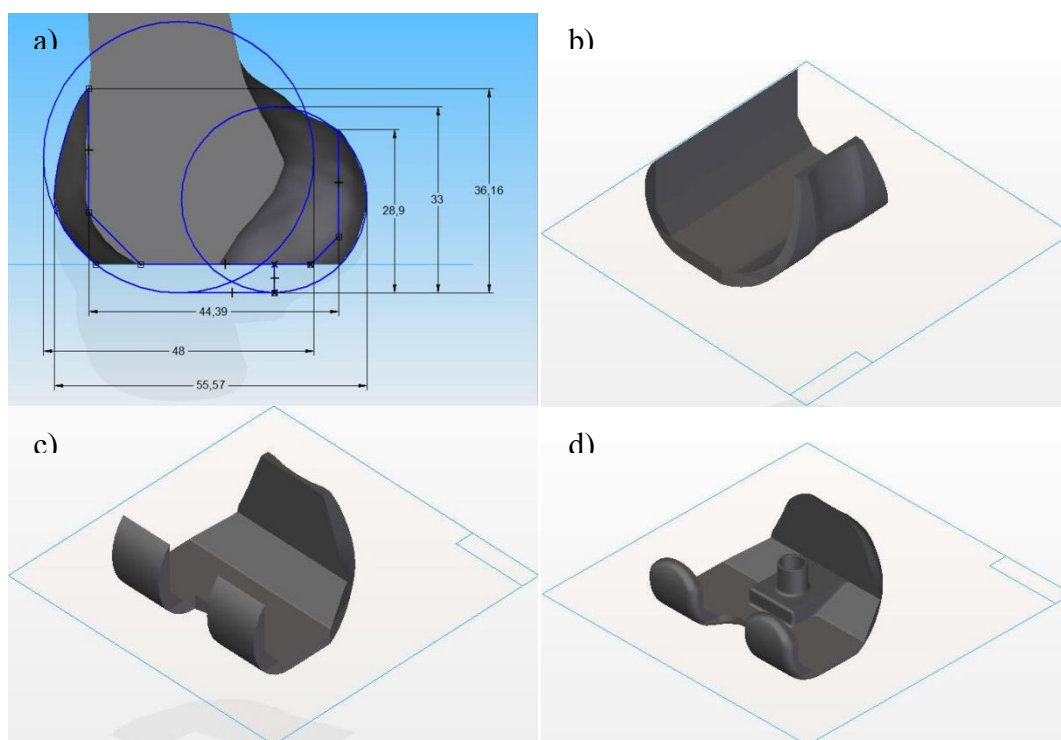
Proteza ta jest wskazana u osób z silnym bólem i niepełnosprawnością spowodowaną: reumatoidalnym zapaleniem stawów, chorobą zwyrodnieniową, urazowym zapaleniem stawów, umiarkowaną szpotawością lub koślawością.

Wszystkie elementy modelowanej endoprotezy stawu kolanowego zostały stworzone w programie SolidEdge V20. Program ten przeznaczony jest do tworzenia parametrycznych modeli 3D pojedynczych elementów, zespołów jak również do sporządzania dokumentacji rysunkowej.

Proces modelowania części polega na stworzeniu płaskiego konturu lub konturów, a następnie na nadaniu trzeciego wymiaru poprzez przesunięcie konturu wzdłuż prostej (lub krzywej), obrót wokół osi lub połączenie kilku konturów w przestrzeni. W Solid Edge istnieje jednak możliwość dynamicznej edycji jednej lub wielu operacji i zmiany parametrów na dowolnym etapie tworzenia modelu, obserwując jednocześnie zmiany zachodzące w geometrii 3D. Tworzenie brył i powierzchni może odbywać się jednocześnie, co daje możliwość uzyskiwania dowolnych kształtów projektowanych modeli.

2.3.2 Komponent udowy

W początkowym etapie modelowania komponentu udowego wykonano pomiary kości udowej, aby otrzymać wymiary oraz kształt potrzebne do wykonania endoprotezy. Kolejnym etapem było uzyskanie ogólnego kształtu implantu poprzez „wyciąganie” brył z poszczególnych szkiców. Następnie nadano odpowiedni kształt kłykcom endoprotezy, stworzono element mocujący trzpień oraz „zaokrąglono” krawędzie protezy (rys. 4).

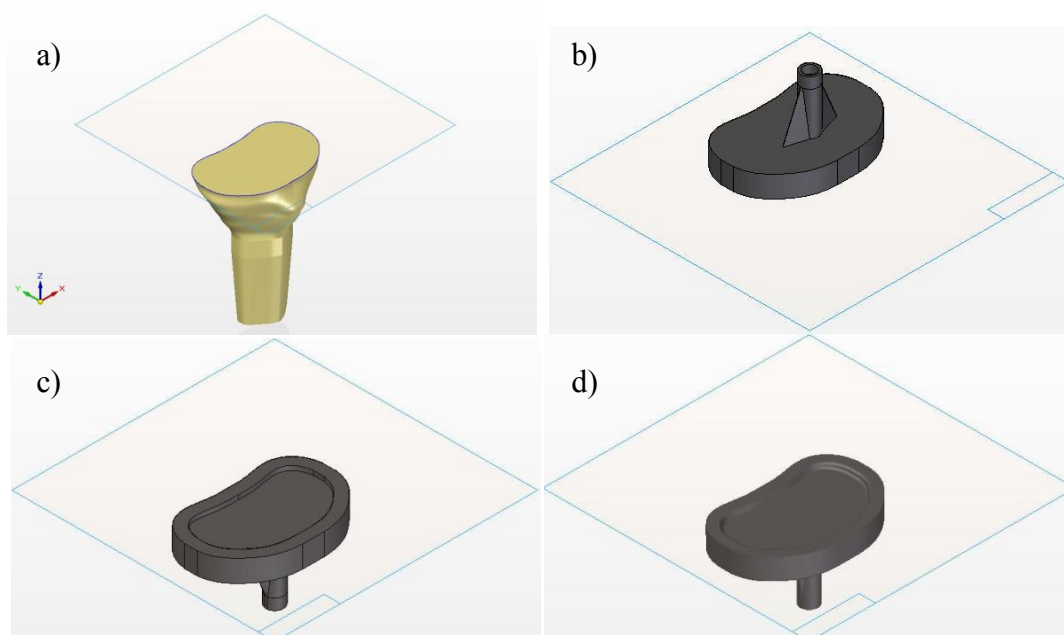


Rys. 4. Poszczególne etapy modelowania komponentu udowego: a) podstawowe wymiary użyte do modelowania, b) ogólny kształt protezy, c) stworzenie kłykci protezy, d) nadanie końcowego kształtu.

2.3.3 Komponent piszczelowy oraz wkładka

Pierwszym etapem tworzenia części piszczelowej implantu było odwzorowanie kształtu kości piszczelowej, na bazie którego w późniejszych etapach powstaje dolna część

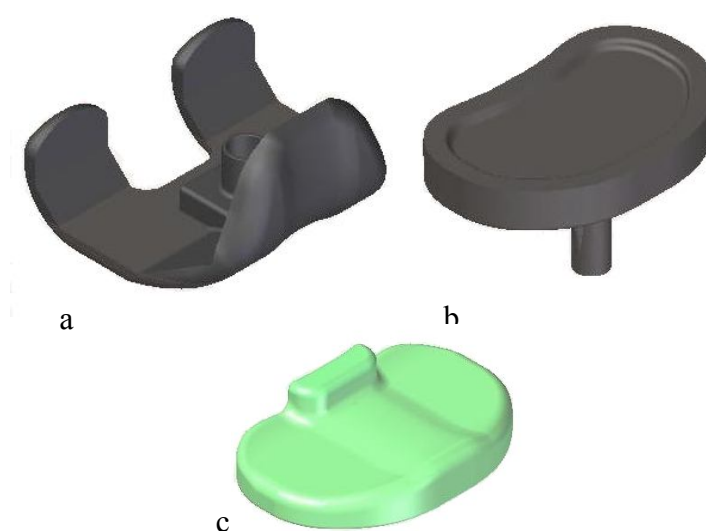
endoprotezy stawu kolanowego. Następnie utworzono element mocujący trzpień, stworzono powierzchnię, do której będzie mocowana wkładka oraz „zaokrąglono” krawędzie (rys. 5).



Rys. 5. Etapy modelowania komponentu piszczelowego: a) odwzorowanie kształtu kości, b) zaprojektowanie elementu mocującego trzpień, c) stworzenie powierzchni mocowania wkładki, d) nadanie końcowego kształtu.

Wkładka polimerowa została zaprojektowana na bazie komponentu piszczelowego, co zapewnia zgodność wymiarów podzespołów protezy.

Modele 3D komponentu udowego i piszczelowego oraz wkładki zostały przedstawione na rysunku 6.



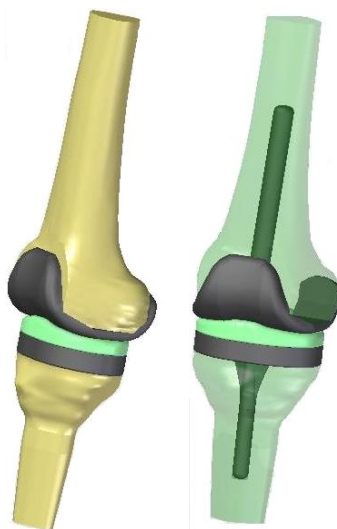
Rys. 6. Model 3D komponentu udowego (a), piszczelowego (b) oraz wkładki (c).

2.4. Model endoprotezy stawu kolanowego z kośćmi

Złożenie poszczególnych elementów modelu endoprotezy stawu kolanowego (rys. 7) zostało przeprowadzone w module Assembly w programie Solid Edge V20. Złożenie modelu

protezy polegało na nadaniu odpowiednich relacji pomiędzy jej elementami. Właściwe nadanie więzów określa położenie wszystkich elementów modelu względem siebie.

W modelu nie uwzględniono cementu, który jest używany do połączenia endoprotezy z kością udową i piszczelową.



Rys. 7. Model 3D protezy stawu kolanowego wraz z kością udową oraz piszczelową.

3. WNIOSKI

Wykorzystane do uzyskania parametrycznego projektu sztucznego stawu współczesne narzędzia inżynierskie jakimi są programy komputerowego wspomaganie projektowania CAD umożliwiają nie tylko wizualizację samej protezy, ale przede wszystkim dostarczają informacji dotyczących formowania i dopasowywania płaszczyzn chirurgicznych do płaszczyzn implantu. Parametryczne modele pozwalają na uruchamianie nie tylko seryjnych produkcji całych szeregotypów implantów, lecz również opracowanie protezy szczególnej uwzględniającej indywidualne parametry anatomiczne struktur kostnych oraz charakterystyczne, osobnicze schematy obciążenia.

Niezwykle cennym efektem współpracy inżynierów z chirurgami, jest również możliwość przeprowadzania symulacji zabiegów chirurgicznych, celem dopasowania parametrów operacji oraz narzędzi niezbędnych go jego wykonania.

4. LITERATURA

- [1] Będziński R.: Biomechanika inżynierska, zagadnienia wybrane. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997
- [2] Jaczewska J. i wsp., Aktywność sportowa pacjentów po całkowitej endoprotezoplastyce stawu kolanowego. *Artroskopia i Chirurgia Stawów*, 2011; 7(3-4): str. 38-49.
- [3] Nałęcz M. (red.), Problemy biocybernetyki inżynierii biomedycznej, Tom V, Biomechanika, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990.
- [4] Tejszerska D., Długoszewski T., Gąsiorek D., Analiza wytrzymałościowa endoprotezy stawu kolanowego.
- [5] Widuchowski J., Kolano. Endoprotezoplastyka – całkowita wymiana stawu. Sport&Med s.c., Katowice 2001.

DESIGNING TOTAL KNEE ENDOPROSTHESIS