

Streszczenie

Niniejsza praca naukowa koncentruje się na stworzeniu szczegółowego modelu kończyny dolnej człowieka za pomocą metody elementów skończonych (MES) oraz na przeprowadzeniu quasi-statycznej symulacji ruchu bazującego na cyklu normalnego chodu. Wykorzystanie anizotropowego równania konstytutywnego do opisanie właściwości materiałowych macierzy kostnej stanowi wyróżnik pracy. Wynikiem symulacji jest precyzyjne odwzorowanie fizjologicznego stanu obciążenia prawej kości udowej oraz obliczenie jej mechanicznego stanu wewnętrznego podczas ruchu. Przeprowadzona analiza naprężeń i odkształceń ukazała złożony i dynamiczny stan wewnętrzny, który koreluje z mikrostrukturą kości.

Prace rozpoczęto od utworzenia uproszczonego modelu belkowego w MES, bazującego na projekcie Gait2392 z programu OpenSim, odwzorowującego układ mięśniowo-szkieletowy prawej nogi. Model belkowy pozwolił na walidację możliwości i dokładności odwzorowania funkcji z OpenSim. W pracy zastosowano sprężysto-kurczliwy model mięśnia autorstwa V. Creuillot jako alternatywę dla skomplikowanego modelu Thelena z OpenSim. Model sprężysto-kurczliwy wymagał określenia tylko chwilowej długości i siły mięśnia, co znacznie uprościło proces modelowania. Potrzebne dane dla modelu mięśnia zostały uzyskane z obliczeń dynamicznych przeprowadzonych przez M. DeMersa dla Gait2392.

Po przeprowadzaniu walidacji, model MES wzbogacono o objętościowy model kości udowej, stworzony na podstawie danych z mikrotomografii komputerowej. Każdemu elementowi tego modelu przypisano unikalne własności mechaniczne przy użyciu modelu Zysseta-Curniera, łączącego parametry modelu konstytutywnego kości z tensorem struktury. Wykorzystując środowisko Abaqus, przeprowadzono symulację ruchu i obciążenia kończyny, co pozwoliło na uzyskanie szczegółowych informacji o stanie naprężenia i odkształcenia kości udowej w cyklu normalnego chodu. Wyniki pozwoliły zrozumieć, jak kierunek i amplituda ciągnących sił mięśniowych oraz obciążenie masą ciała wpływają na stan naprężeń wewnątrz kości. Zaobserwowano związek pomiędzy orientacją struktury beleczkowej a kierunkami naprężeń głównych. Wnioski płynące z analizy są zgodne z wynikami innych prac literaturowych, ale ich szczegółowość i dokładność stanowią unikalny wkład w tematykę badań nad biomechaniką kości.

Słowa kluczowe:

MES, model konstytutywny, mikrostruktura kości, cykl chodu, kość udowa człowieka