



Dr inż. Jakub Kamiński

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Rozmowa z autorem pracy:

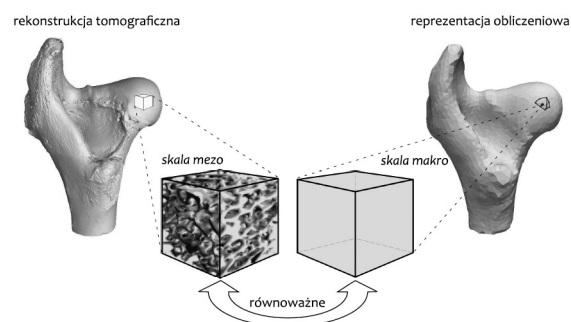
„Komputerowa symulacja własności mechanicznych tkanki kostnej na podstawie biomechanicznego modelu kości w oparciu o pomiary mikrotomograficzne kości zwierzęcych”

Pana praca ma bardzo interdyscyplinarny charakter. Jak wyglądała Pana droga do tego tematu?

Moje zainteresowanie informatyką i programowaniem sięga jeszcze czasów licealnych, ale dopiero podczas studiów zajęłem się ukierunkowanym wykorzystaniem inżynierskiej grafiki komputerowej, w tym metod analizy i wizualizacji danych ze skanerów 3D i obrazowania tomograficznego. Dzięki realizacji kształcenia w toku studiów indywidualnych pod opieką dr. hab. inż. Jacka Tarasiuka i współpracy z dr. hab. Sebastianem Wrońskim, udało mi się spersonalizować drogę na uczelni, co zaowocowało wyróżnionymi projektami naukowymi w ramach corocznych sesji studenckich kół oraz pracami dyplomowymi w tematyce danych 3D. Dzięki temu dołączyłem do prac w obszarze biomechaniki kości, odbywając kilkumiesięczny staż na ENIM w Metz we Francji w ramach programu Erasmus, realizując badania do pracy magisterskiej. W przypadku interdyscyplinarnych działań z innymi ośrodkami naukowymi, dużą rolę odgrywają wspólne dyskusje i omawianie pomysłów, umożliwiając rozwój i pozwalając na łączenie odmiennych doświadczeń. Bogatszy o doświadczenie i wiedzę z tej współpracy, kontynuowałem badania z obszaru modelowania mikrostruktury i właściwości mechanicznych kości w ramach wydziałowych studiów doktoranckich oraz asystentury naukowo-dydaktycznej, korzystając z możliwości badawczych LMINT-AGH oraz infrastruktury Cyfronetu.

Pana badania mają potencjalne zastosowanie w medycynie. Czy mógłby Pan wyjaśnić, w jaki sposób ich wyniki mogą przyczynić się do poprawy sytuacji pacjentów?

Na potrzeby personalizacji terapii medycznych, bardzo istotne jest zwiększenie zastosowań dla modeli komputerowych, które pozwalają przewidywać własności mechaniczne kości na podstawie precyzyjnych pomiarów nieniszczących, tak aby mogły być adaptowane do użycia bezpośrednio w praktyce klinicznej. Metodologia komputerowa z pracy została stworzona z myślą o prognozowaniu zmian w mechanicznych właściwościach kości, które zachodzą podczas przebudowy pod wpływem obciążeń zewnętrznych. Uzyskane dane pomiarowe oraz modele komputerowe mogą posłużyć jako cenne źródło informacji do dalszych specjalistycznych analiz. W szczególności ważna może być adaptacja metodologii do danych pochodzących z nowoczesnego wysokorozdzielczego obrazowania „in vivo” kości ludzkich, pozwalającego precyzyjnie uchwycić ortotropową mikrostrukturę kości gąbczastej. Pacjent obrazowany klasyczną metodą tomograficzną, nawet w przypadku takiej możliwości technicznej i precyzji, byłby narażony w jej przypadku na zbyt duże dawki promieniowania rentgenowskiego. Aby zapewnić lepszą



Modelowanie wieloskalowe kości udowej, na bazie równoważności reprezentacji obliczeniowej i właściwości rzeczywistych dzięki homogenizacji danych z obrazowania tomograficznego

rekonstrukcja tomograficzna

reprezentacja obliczeniowa

skala mezo

skala makro

równoważne

ocenę mechaniki kości gąbczastej „in vivo”, badania skupiają się na urządzeniach i metodach obrazowania stosowanych w celu zwiększenia precyzji pomiaru frakcji objętościowej oraz lepszego uwzględnienia anizotropii kości. Odpowiednie poznanie zachowania kości pod wpływem zróżnicowanych obciążeń pozwala również na usprawnienie projektowania i budowy implantów oraz endoprotez. Kolejne z możliwych zastosowań dla zdefiniowanej metody modelowania wiąże się także z analizą wieloskalową przebudowy kości w przypadku osteoporozy. Analizując współczesne podejścia do modelowania, w tym możliwość wykorzystania klastrów obliczeniowych, można przypuszczać, że symulacje w medycynie spersonalizowanej staną się coraz bardziej użyteczne, opłacalne i dostępne. Rozwój modeli przewidujących właściwości mechaniczne kości na podstawie nieniszczącego obrazowania tomograficznego, wspierany badaniami wypreparowanych kości, może przyczynić się do głębszego zrozumienia ich właściwości oraz procesów zachodzących w organizmie, również w przypadku wszczepionych implantów.

W jaki sposób zasoby udostępniane przez Cyfronet wspomogły Pana obliczenia?

Możliwość dostępu do zasobów Cyfronetu była bezcenna, zarówno w trakcie testowych symulacji Metodą Elementów Skończonych (MES), w tym doboru wielkości i rodzaju siatek obliczeniowych, jak i docelowego modelowania wieloskalowego, uwzględniającego mikro i makro strukturę kości oraz pozostałe elementy (mięśnie, ścięgna, chrząstki, panewkę). Im większy problem numeryczny, tym silniejsza potrzeba wykorzystania klastrów obliczeniowych, które pozwalają na zdecydowane skrócenie czasu symulacji i przetworzenie zasobożernych siatek MES o licznych stopniach swobody, dzięki ogromnej współdzielonej pamięci operacyjnej i zrównoleglonym obliczeniom. W pracy wykorzystałem pakiet Abaqus, w którym zostały wykonane symulacje MES na bazie danych wejściowych w formacie INP. Wykorzystanie unikalnych właściwości pakietu Abaqus oraz możliwości obliczeniowych udostępnianych przez Cyfronet, pozwoliło finalnie na osiągnięcie wszystkich zakładanych celów w mojej pracy doktorskiej.

Jakie ograniczenia napotkał Pan w trakcie swoich badań i jak sobie Pan z nimi poradził?

Podstawowym problemem było uzyskanie danych pomiarowych ze strukturą wewnętrzną kości oraz przeprowadzenie wymagających analiz i symulacji. W przypadku kości ludzkich zazwyczaj uzyskuje się dostęp do struktur, które często są dotknięte w określonym stopniu osteoporozą, ponieważ kości pochodzą z zabiegów endoprotetycznych, wykonywanych najczęściej u starszych ludzi. Użycie w badaniach kości zwierząt ułatwiło dostęp do wielu próbek różniących się pod względem mikrostruktury, ale wymagało opracowania zaawansowanej analizy na bazie wielu różnych narzędzi obliczeniowych. Jednak wysiłek włożony w pracę umożliwił opracowanie podejścia, które nadaje się do zastosowań dla kości ludzkich. Opracowanie metody rejestracji cyfrowej próbek i kości udowych z pomiarów mikrotomograficznych było możliwe dzięki zaadaptowaniu metody na bazie lokalnych deskryptorów. Metodologia została zaplanowana w taki sposób, żeby oprzeć się głównie na standardowych formatach plików, tak żeby można było przetwarzać je potokowo i móc łatwo wykorzystać w dalszej analizie. W przypadku wieloskalowych symulacji będących dużym wyzwaniem obliczeniowym, skorzystałem z możliwości zaawansowanych stacji roboczych i klastrów oraz dedykowanego oprogramowania komercyjnego dzięki przyznanym grantom dziekańskim i licencjom badawczym.