

Identyfikacja uszkodzeń chrząstki stawu kolanowego na podstawie sygnałów wibroakustycznych

Robert Karpiński

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki, Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska

Streszczenie:

Choroba zwyrodnieniowa stawów (OA) stanowi jedno z najczęstszych schorzeń układu ruchu, prowadząc do postępującej degradacji chrząstki stawowej, zaburzeń biomechaniki stawu oraz pogorszenia jakości życia pacjentów. Diagnostyka zmian degeneracyjnych pozostaje istotnym wyzwaniem klinicznym, ponieważ standardowe metody obrazowe, takie jak radiografia czy rezonans magnetyczny, często nie pozwalają na uchwycenie subtelnych, wczesnych zmian funkcjonalnych i tribologicznych zachodzących w strukturach stawowych. W związku z tym rośnie znaczenie metod nieinwazyjnych, zdolnych do rejestracji sygnałów odzwierciedlających rzeczywiste właściwości biomechaniczne i dynamiczne pracy stawu, takich jak sygnały wibroakustyczne.

Prezentowane badania dotyczyły wibroakustycznej oceny uszkodzeń chrząstki stawowej w biołożysku stawu kolanowego. Badaniami objęto grupę wolontariuszy, obejmującą zarówno osoby zdrowe, jak i pacjentów zakwalifikowanych do leczenia operacyjnego. Podział na grupy przeprowadzono na podstawie wywiadu medycznego oraz szczegółowych badań fizykalnych wykonanych przez lekarza specjalistę. W ramach badań opracowano dedykowany układ pomiarowy umożliwiający rejestrację sygnałów wibroakustycznych z różnych lokalizacji anatomicznych stawu kolanowego.

Celem było opracowanie skutecznej metody detekcji uszkodzeń chrząstki na podstawie zmian sygnałów związanych z zaburzeniami tarcia i smarowania, towarzyszącymi rozwojowi choroby zwyrodnieniowej. Zastosowana metodyka obejmowała filtrację sygnałów z wykorzystaniem algorytmu EEMD-DFA, dostosowanego do analizy sygnałów nieliniowych i niestacjonarnych, oraz selekcję cech z użyciem algorytmu NCA, co umożliwiło redukcję wymiarowości danych wejściowych. Klasyfikację przypadków przeprowadzono z wykorzystaniem sieci neuronowych typu RBF i MLP.

Uzyskane wyniki potwierdziły trafność przyjętych założeń badawczych oraz skuteczność zaproponowanej metody, osiągając dokładność klasyfikacji przekraczającą 95%. Dodatkowo przeanalizowano wpływ liczby i rozmieszczenia czujników na jakość wyników oraz dokonano porównania zastosowanych podejść klasyfikacyjnych. Wysoka zgodność wyników eksperymentalnych z oceną śródoperacyjną potwierdza adekwatność opracowanej metody oraz jej potencjał aplikacyjny w diagnostyce uszkodzeń chrząstki stawowej.