

15–18 października 2024

Modelowanie i analiza ruchu kręgosłupa – wyznaczanie charakterystyki kinematycznej

Szymon Saternus¹, Michał Stankiewicz¹, Kamil Sybilski¹, Jerzy Małachowski¹, Jerzy Kwaśniewski²

¹Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: szymon.saternus@wat.edu.pl, michal.stankiewicz@wat.edu.pl, kamil.sybilski@wat.edu.pl, jerzy.malachowski@wat.edu.pl

²Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Inżynierii Maszyn i Transportu, Akademia Górniczo Hutnicza
email: kwasniew@agh.edu.pl

STRESZCZENIE: W pracy omówiono proces modelowania i analizy ruchu kręgosłupa na podstawie markerowej analizy ruchu pacjenta poddanego terapii w podwieszeniu z wymuszonymi schematami ruchów oraz pacjenta wykonującego tożsame ruchy o własnych siłach w pozycji stojącej. Proces obejmował przygotowanie modelu uniwersalnego oraz jego modyfikację do interpretacji importowanych danych z systemu Vicon (wykorzystanego do markerowej analizy ruchu), przeprowadzenie symulacji kinematycznej oraz obróbki i reprezentacji graficznej uzyskanych badań.

SŁOWA KLUCZOWE: AnyBody Modeling System, Kręgosłup, Vicon, Analiza ruchu, Modelowanie

1. Wstęp

Terapia w podwieszeniu to metoda rehabilitacyjna, której głównym celem jest odciążenie stawów, mięśni i tkanek pacjenta w trakcie wykonywania ćwiczeń [1]. Dzięki temu pacjent może wykonywać ruchy, które byłyby trudne lub bolesne do wykonania przy pełnym obciążeniu ciała. Dodatkowo dzięki odpowiedniej konstrukcji linek, pasów lub specjalnych uprząży pacjent może wykonywać ćwiczenia w kontrolowanym zakresie ruchów, co wpływa pozytywnie na ruchomość stawów, elastyczność mięśni oraz ogólną kondycję fizyczną. Umożliwia osiągnięcie trakcji i mobilizacji, co jest kluczowe w leczeniu wielu dolegliwości [2, 3]. Dlatego też metoda ta cieszy się bardzo dużą popularnością wśród fizjoterapeutów.

Zautomatyzowanie terapii w podwieszeniu pozwala na skuteczne wsparcie fizjoterapeuty, pielęgniarki czy rodziny pacjenta (różne osoby mogą być przeszkolone do obsługi urządzenia). Z jednej strony system do zautomatyzowanej terapii odciąża ich fizycznie, ponieważ nie muszą wykonywać własnoręcznie pełnej terapii. Z drugiej strony daje możliwość jednoczesnej pracy z większą liczbą pacjentów, a tym samym więcej osób może szybciej wrócić do zdrowia. Wadą automatyzacji rehabilitacji jest brak bezpośredniego kontaktu operatora z pacjentem. W typowym podejściu poprzez dotyk i czucie siły oraz napięcia fizjoterapeuta wie, co dzieje się wewnątrz ciała. W zautomatyzowanym podejściu potrzebne są inne wskaźniki informujące o przebiegu terapii.

W prototypowym urządzeniu nie ma bezpośredniego połączenia siłowników z kręgosłupem. Konieczne jest zatem dokładne mierzenie wpływu ruchu siłowników na rotację różnych części ciała pacjenta. Tego rodzaju pomiary umożliwiają precyzyjne dopasowanie sprzętu do indywidualnych potrzeb pacjenta i określenie odpowiednich zakresów ruchu niezbędnych do efektywnej rehabilitacji. Obecnie nie ma skutecznej jednej metody na pełną,

jednoczesną analizę ruchu zewnętrznych punktów anatomicznych oraz struktur wewnętrznych człowieka. Stosuje się połączenia wielu metod. W niniejszej pracy jest to połączenie markerowej analizy ruchu oraz systemu do symulacji AnyBody Modeling System.

AnyBody Modeling System to zaawansowane oprogramowanie do modelowania ludzkiego układu mięśniowo-szkieletowego. Umożliwia ono symulację ruchu i analizę biomechaniki ciała, w tym obciążeń działających na stawy i mięśnie. Dzięki możliwości wprowadzania szczegółowych modeli anatomicznych oraz połączenia z wynikami analizy ruchu bazującej na markerach, AnyBody Modeling System pozwala na dokładne odwzorowanie i analizę kinematyki ciała w różnych warunkach [4].

2. Analiza ruchu pacjenta

Pomiary i analiza ruchu zostały zrealizowane na prototypowym, zautomatyzowanym urządzeniu do terapii w podwieszeniu, które w zależności od wybranego spośród wcześniej zaprogramowanych sekwencji, wymusza wzajemne ruchy poszczególnych segmentów ciała (rys. 1). Pacjent jest zawieszony na specjalnych uprzążach, które obejmują głowę, barki, miednicę, kolana oraz stopy, a ruch tych części ciała jest kontrolowany przez siedem elektrycznych siłowników umieszczonych w strategicznych punktach.



Rys. 1 Zautomatyzowane urządzenie do terapii w podwieszeniu

W celu uzupełnienia danych do modelowania, dla tego samego pacjenta została przeprowadzona analiza ruchu w pozycji stojącej samodzielnie wykonującego ćwiczenia, które były wymuszane na urządzeniu. Do pomiarów i analizy ruchu został wykorzystany w obu przypadkach system markerowy Vicon oparty na 10 kamerach. System ten bazuje na markerach pasywnych, które odbijają światło podczerwone. Dla uzyskania jak najbardziej dokładnych wyników, ułożenie markerów zostało dostosowane do warunków pomiarowych. W przypadku badań w podwieszeniu opracowano autorski układ markerów, tak aby możliwe było badanie ruchu ciała i poszczególnych kręgów z kamerami ułożonymi na podłożu, obserwujących pacjenta od spodu (Rys. 2).

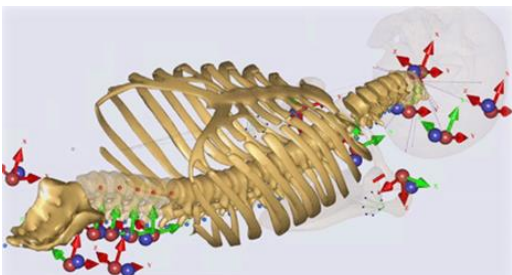


Rys. 2 Stanowisko pomiarowe do pomiarów w podwieszeniu

Do badań wykonywanych na pacjencie w pozycji stojącej układ markerów bazował na podstawowym układzie Full-body, który został zmodyfikowany poprzez dodanie markerów na poszczególnych kręgach kręgosłupa dla zwiększenia dokładności w późniejszym trakcie symulacji.

3. Symulacja kinematyczna

Do wykonania symulacji ruchu ciała i wyizolowania ruchów poszczególnych kręgów kręgosłupa zostało wykorzystane oprogramowanie Anybody Modeling System. Aby przeprowadzić symulację kinematyczną na podstawie analizy ruchu w oparciu o uniwersalny model układu kostnowstawowego, konieczna była jego modyfikacja pod warunki, w jakich badany był pacjent. Konieczne było: usunięcie niepotrzebnych elementów układu kostnego oraz zaprogramowanie punktów pomiarowych dla każdego z segmentów, których przemieszczenie oraz rotacje będą mierzone oraz dodanie do skryptu funkcji mierzących te wartości. Wymagane było przeorganizowanie układu markerów na modelu. Dla symulacji z wykorzystaniem analizy ruchu na urządzeniu do rehabilitacji w podwieszeniu, układ markerów był tworzony od podstaw, dlatego też markery na modelu musiały zostać zaprogramowane od zera, ustalając ich dokładne położenie oraz przypisanie ich do konkretnego segmentu w ciele człowieka (Rys. 3). Natomiast w przypadku modelu do badań wykonywanych na stojącym pacjencie układ markerów wymagał tylko zaprogramowania dodatkowych markerów na kręgosłupie.

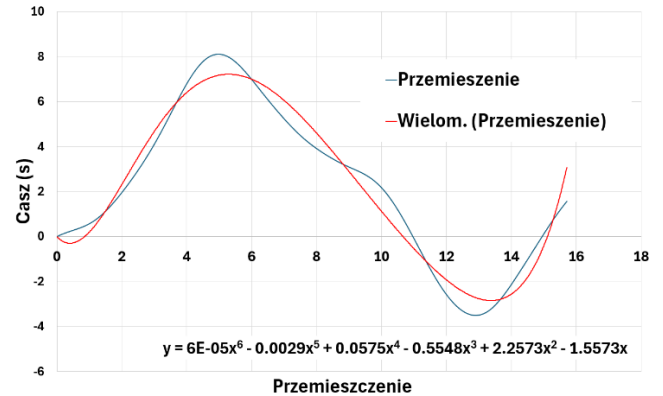


Rys. 3 Model do symulacji z analizy w podwieszeniu

Po odpowiednim przygotowaniu modelu oraz wskazaniu w skrypcie pliku, z którego program ma czerpać dane o położeniu markerów, przeprowadzono pełną symulację ruchu

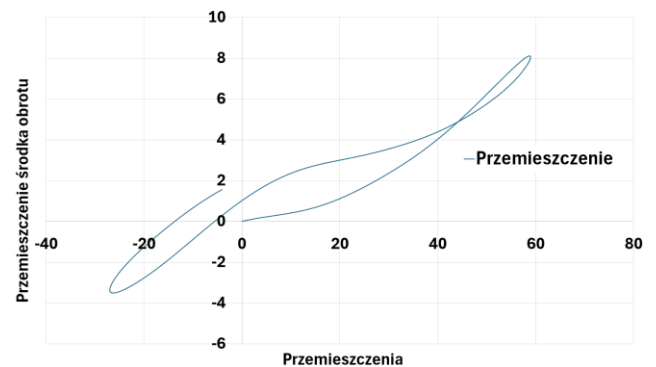
4. Obróbka danych z symulacji

Otrzymane wyniki zostały obrobione i przedstawione w postaci graficznej.



Rys. 4 Przemieszczenie kręgu C1 w funkcji czasu

Dla precyzyjnego przedstawienie danych przemieszczenia środka obrotu i rotacje poszczególnych segmentów zostały wyzerowane i przedstawione zarówno w funkcji czasu (Rys. 4), jak i w funkcji przyrostu przemieszczenia środka obrotu barków (Rys. 5).



Rys. 5 Przemieszczenie kręgu C1 w funkcji Przemieszczenia środka obrotu

Praca została wykonana w ramach projektu nr Rzeczy są dla ludzi/0080/2020.

5. Literatura

- [1] Nasb M., Li, Z.L., *Sling Suspension Therapy Utilization in Musculoskeletal Rehabilitation* Open Journal of Therapy and Rehabilitation, vol 4, pp. 99-116, 2016, <http://dx.doi.org/10.4236/ojtr.2016.43009>
- [2] Jing Liu, et all, Effects of sling exercise therapy on balance, mobility, activities of daily living, quality of life and shoulder pain in stroke patients: a randomized controlled trial, *European Journal of Integrative Medicine*, Vol. 35, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2020.101077>.
- [3] Suhn-Yeop Kim, Chang-Man, Effects of sling-based manual therapy on cervicothoracic junction in patients with neck pain and forward head posture: A randomized clinical trial, *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, Vol 27 pp. 447- 454, 2021
- [4] Damsgaard, M., Rasmussen, J., Christensen, S. T., Surma, E., & de Zee, M. (2006). Analysis of musculoskeletal systems in the AnyBody Modeling System. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14(8), 1100-1111.