

# Modelowanie i analiza kręgosłupa ludzkiego w kontekście badań wad postawy i klasyfikacji bólów krzyża

Mirosława Długosz

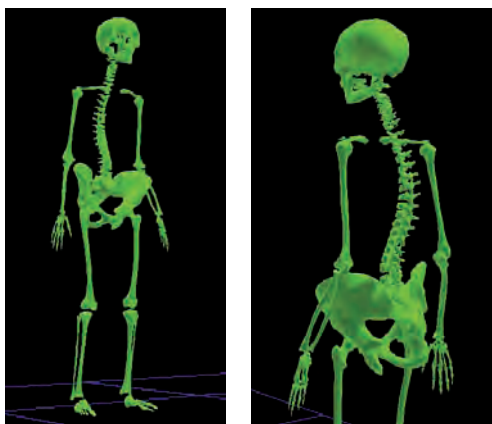
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział EAIiE, Katedra Automatyki

**Streszczenie:** Badania dotyczące kręgosłupa ludzkiego, jego funkcji i schorzeń bądź patologii są prowadzone przez licznych specjalistów z różnych dziedzin nauki, w tym medycyny, biomechaniki czy inżynierii rehabilitacyjnej. Niniejsza praca przedstawia aktualny stan wiedzy na temat metod dynamicznych wykorzystujących sztuczne sieci neuronowe do klasyfikacji i analizy bólów krzyża. W artykule opisano również badania nad stworzeniem precyzyjnego modelu szkieletu człowieka do celów analizy ruchu kręgosłupa przy użyciu systemu Vicon.

**Słowa kluczowe:** system Vicon, motion capture, modelowanie kręgosłupa, biomechanika, sztuczne sieci neuronowe, bóle krzyża

## 1. Wprowadzenie

Kręgosłup ludzki jako jeden z najistotniejszych elementów budowy ciała żywego organizmu, jest przedmiotem licznych badań w wielu dziedzinach nauki. Ze względu na pełnione przez niego funkcje oraz liczne patologie i urazy, którym niejednokrotnie ulega, kręgosłup wzbudził zainteresowanie zarówno medycyny, biomechaniki, czy inżynierii rehabilitacyjnej, jak również dziedzin informatyki, zajmujących się odwzorowywaniem ruchu postaci ludzkiej.



**Rys. 1.** Gotowy model geometryczny kręgosłupa wbudowany do istniejącego szkieletu

**Fig. 1.** Model of the spine based on geometrically correct vertebrae incorporated into the skeleton

Z punktu widzenia biomechaniki istotnym elementem badań jest opracowywanie coraz to bardziej szczegółowych modeli pozwalających na dokładną analizę dynamiki ruchu. Z pomocą przychodzi tu modelowanie matematyczne, gdyż wiele badań układu mięśniowo-szkieletowego jest w rzeczywistości niemożliwe do wykonania [1]. Z kolei wielu ortopedów czy fizjoterapeutów interesuje analiza i klasyfikacja bólowych dysfunkcji kręgosłupa, będących niejednokrotnie jedynie symptomem choroby umiejscowionej w zupełnie innej tkance czy narządzie. Oba powyższe zagadnienia będą szerzej omawiane w dalszej części artykułu.

## 2. Modelowanie i wizualizacja ruchu kręgosłupa na potrzeby systemu Vicon

### 2.1. *Motion capture* jako jedna z najlepszych metod śledzenia i analizy ruchu

Najpowszechniej stosowaną i równocześnie najlepszą techniką rejestracji i analizy ruchu człowieka jest technika *motion capture* w wersji, w której zestaw odpowiednio skalibrowanych kamer rejestruje ruch odbłaskowych znaczników (markerów) przytwierdzonych do ciała pacjenta. Liderem rynku zastosowań profesjonalnych tej metody jest obecnie system Vicon, który dodatkowo oferuje oprogramowanie do trójwymiarowej rekonstrukcji, analizy i wizualizacji ruchu [2, 4].

### 2.2. Model kręgosłupa

Prawidłowa ocena ruchu kręgosłupa (zwłaszcza zdeformowanego) przy użyciu systemów typu *motion capture* jest mocno utrudniona, gdyż markery nakleja się na skórę, a nie bezpośrednio na badanej strukturze. Jednakże metoda ta może być bardzo użyteczna w ocenie wpływu poszczególnych ćwiczeń na ruchomość zdeformowanego, na przykład przez skoliozy, kręgosłupa [4]. Oferowane przez Vicon modele kompletnego szkieletu człowieka mają charakter uproszczony, nie nadają się więc do szczegółowego badania ruchu kręgosłupa. Odpowiadając na potrzeby ortopedów i rehabilitantów pracujących z systemem Vicon, podjęto prace nad stworzeniem precyzyjnego modelu umożliwiającego badania kinematyki kręgosłupa [2, 4]. W wyniku tych prac powstał model, którego wizualizację przedstawiono na rys. 1.

**Tab. 1.** Sztuczne sieci neuronowe w metodach dynamicznych klasyfikacji bólów kręgosłupa [3]**Tab. 1.** Artificial neural networks in dynamic methods of low back pain classification

| Metoda badawcza             | Dynamiczna  |  |  |   |
|-----------------------------|---|--|--|---|
| Zadanie sieci               | Wykazanie związku bólu z ruchem   | Klasyfikacja bólów                           | Identyfikacja pacjentów przed i po rehabilitacji | Wyodrębnienie pacjentów z przewlekłym bólem |
| Typ sieci                   | MLP BP  | MLP RPROP, RBF                               | MLP BP   | MLP BP                                      |
| Struktura sieci             | 32-10-1   | Brak danych                                  | 2-6-1  | 300-1/51/10/15-2                            |
| Liczebność zbioru uczącego  | 157   | 161<br>22                                    | 27   | 36  |
| Liczebność zbioru testowego | 20  | 69<br>11                                     | 27   | 24  |
| Wyniki                      | Silny związek między obserwowanym i przewidywanym poziomem bólu ( $R^2 = 0,997$ ) | 85 % prawidłowo zaklasyfikowanych przypadków | 77,8 % prawidłowo rozpoznanych przypadków        | Swoistość: 79 %, czułość: 80 %              |

### 3. Klasyfikacja i analiza bólów krzyża

#### 3.1. Bóle kręgosłupa lędźwiowego

Bólowe dysfunkcje kręgosłupa można ogólnie podzielić na dwie kategorie. Do pierwszej z nich należą niespecyficzne bóle, które są bardzo trudne do zdiagnozowania, zwłaszcza że w odróżnieniu od bólów specyficznych (objawowych), ustalenie przyczyny i lokalizacji tego rodzaju dolegliwości jest często niezwykle skomplikowane. Wczesne wykrycie przyczyny dolegliwości bólowych ma istotne znaczenie z punktu widzenia zdrowia pacjenta, zwłaszcza w przypadku pacjentów, u których podejrzewa się tętniaka w jamie brzusznej lub wystąpiły objawy ucisku rdzenia kręgowego [3].

#### 3.2. Klasyfikacja i analiza bólów za pomocą sztucznych sieci neuronowych

Ze względu na złożoność problemu, powstało wiele systemów wspomagających lekarza w postawieniu szybkiej i trafnej diagnozy. Wśród nich istnieje również szereg systemów stosujących metody sztucznej inteligencji. Zyskały one sporą popularność dzięki temu, że potrafią tworzyć bardzo dobre odwzorowania rzeczywistego systemu bez uprzedniego deklarowania zależności przyczynowych [3, 5]. Sieci neuronowe, ucząc się na podstawie przykładów, są z powodzeniem wykorzystywane w klasyfikacji pacjentów z bólami krzyża oraz w poszukiwaniach związku między bólem a jego potencjalną przyczyną.

Wśród wielu metod badawczych poszukujących najlepszego rozwiązania powyższych problemów na szczególną uwagę zasługują metody dynamiczne, dokonujące klasyfikacji i analizy dolegliwości bólowych badając związek między bólem krzyża a zaburzeniami układu ruchu. Zestawienie stosowanych w nich sieci neuronowych przedstawiono w tab. 1. Metody te zostały szerzej opisane w [3].

### 4. Podsumowanie

Obecnie bóle i dysfunkcje kręgosłupa, zwłaszcza odcinka lędźwiowego, stały się jednym z najczęstszych dolegliwości społecznych. Dlatego też celem jest kontynuowanie w zespołach interdyscyplinarnych badań dążących do ułatwienia lekarzom i fizjoterapeutom podejmowania trafnych decyzji odnośnie diagnozy i doboru odpowiedniej terapii, co istotnie wpłynie na poprawę zdrowia pacjentów.

W przyszłości planowane są dalsze prace nad rozwojem opisanego modelu do badań nad kinematyką i dynamiką ruchu oraz udoskonalaniem metod klasyfikacji pacjentów z bólem krzyża.

### Bibliografia

- Zazulak M.: *Modelowanie postaci na potrzeby wizualizacji ruchu*, [w:] *Podstawy inżynierii biomedycznej*, red.: Tadeusiewicz R., Augustyniak P., UWND AGH, Kraków 2009, t. 2, 301–304.
- Długosz M., Chwała W., Maciejasz P., Alda W.: *Realistic model of spine geometry in the human skeleton in the Vicon system, Bio-Algorithms and Med-Systems*, (w przygotowaniu).
- Długosz M.: *Klasyfikacja i analiza bólów kręgosłupa przy pomocy sztucznych sieci neuronowych*, [w:] *Sieci neuronowe w zastosowaniach biomedycznych, Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna*, t. 9 (w przygotowaniu).
- Maciejasz P., Chwała W.: *A method of evaluating the kinematics of a spine deformed by scoliosis using a motion capture system*, „Journal of Biomechanics” 2006, vol. 39, supl. 1, 172.
- Szaleniec J., Tadeusiewicz R., Szaleniec M.: *Model choroby jako narzędzie lekarza XXI wieku – przydatność metod sztucznej inteligencji w medycynie na przykładzie sztucznych sieci neuronowych*, [w:] Roterman I.: *Elementy informatyki medycznej*, tom 1, Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2011, 187–191.

## Modeling and analysis of the human spine in the context of the posture study and pain classification

**Abstract:** Research on the human spine, its function and disease or pathology, are conducted by numerous experts from various fields, including medicine, biomechanics and rehabilitation engineering. This paper presents the state-of-the-art of knowledge about dynamic methods using artificial neural networks for low back pain (LBP) classification and analysis. The article also describes research on the development of a precise model of human skeleton for spine motion analysis using Vicon system.

**Keywords:** Vicon system, motion capture, spine modeling, biomechanics, artificial neural networks (ANNs), low back pain (LBP)

### mgr inż. Mirosława Długosz

W 2009 r. ukończyła studia magisterskie na kierunku Fizyka Techniczna, specjalność Fizyka Medyczna i Dozymetria, AGH. Obecnie pracuje na stanowisku asystenta w Laboratorium Biocybernetyki, KA, AGH. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami analizy postawy ciała człowieka, w szczególności patologii kręgosłupa i metod jego wizualizacji.



*e-mail: mmd@agh.edu.pl*