

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej



Autoreferat rozprawy doktorskiej

System wspomagania decyzji fizjoterapeutów
w ocenie postawy ciała ludzkiego na podstawie
analizy taśm anatomicznych

mgr inż. Mirosława M. Długosz

Promotor:

prof. dr hab inż. Ryszard Tadeusiewicz

Kraków 2016

Rozdział 1

Wstęp

1.1 Wprowadzenie

Łańcuchy mięśniowo-powięziowe (ŁMP) to pojęcie szeroko wykorzystywane przez specjalistów różnych dziedzin, m.in. fizjoterapeutów, osteopatów czy terapeutów Integracji Strukturalnej (metody rehabilitacji łączącej techniki manualne z reedukacją ruchową). ŁMP biorą udział w szeregu czynności organizmu, w tym w szczególności w utrzymaniu prawidłowej postawy ciała. Wskutek nieprawidłowego działania niektórych łańcuchów lub ich fragmentów powstaje wiele urazów lub dolegliwości bólowych narządu ruchu. Istnieje szereg różnorodnych koncepcji opisujących ŁMP, różnice wynikają głównie z różnych założeń teoretycznych oraz odmiennych podejść terapeutów omawiających to zagadnienie (fizjoterapeutów, terapeutów Integracji Strukturalnej, osteopatów i innych). Wśród nich wyróżnia się teoria taśm anatomicznych (AT - Anatomy Trains) według Thomasa W. Myersa, która ze względu na swój całościowy charakter pozwala na analizę statyki całego ciała.



Rysunek 1.1: Taśmy anatomiczne wg T. Myersa (źródło: <http://anatomytrains.pl>).

Thomas W. Myers opisuje siedem taśm anatomicznych (rys. 1.1), jednak na potrzeby niniejszej pracy doktorskiej wybrano cztery najdłuższe, których wpływ na postawę ciała powinien być największy. W pracy skoncentrowano się na Taśmach Powierzchnowych: Przedniej oraz Tylnej, Taśmie Bocznej oraz Taśmie Spiralnej. Każda z wymienionych taśm w praktyce istnieje podwójnie, po prawej i lewej stronie ciała, chociaż w ich nazewnictwie używa się liczby pojedynczej. Z punktu widzenia terapii istotne są zarówno zaburzenia wzorców obu taśm danego rodzaju, jak i stopień naruszenia ich wzajemnej symetrii.

Do opracowania modeli taśm anatomicznych wykorzystano wyniki pomiarów fotogrametrycznych, uzyskanych przy pomocy systemu Photogrametrical Body Explorer (PBE). System PBE służy do oceny wad postawy ciała człowieka oraz postępów leczenia. Jest także stosowany w analizie zaburzeń statyki. Wyznaczenie położenia wybranych punktów kostnych przeniesionych na powierzchnię ciała jest możliwe dzięki wykorzystaniu pasywnych markerów. Rejestracja obrazu jest dokonywana dwoma aparatami fotograficznymi. Aby możliwy był równoczesny pomiar punktów pomiarowych z przodu i z tyłu pacjenta, wykorzystywane jest odbicie tylnej jego części w lustrze umieszczonym za pacjentem.

1.2 Motywacja

Ocena postawy ciała człowieka (PCC) jest jednym z podstawowych elementów badania przedmiotowego. Jest ona rutynowo stosowana przez klinicystów różnych dziedzin, m.in. lekarzy, fizjoterapeutów, osteopatów czy chiropraktyków, w celu uzyskania informacji odnośnie widocznych wad PCC, ubytków funkcjonalnych czy innych nieprawidłowości.

O istotności badania PCC świadczą liczne doniesienia literaturowe na temat związków określonych typów PCC z dolegliwościami bólowymi oraz o częstości występowania dolegliwości bólowych układu mięśniowo-szkieletowego w stosunku do bólów innego pochodzenia. Jednak pomimo ogromnej liczby specjalistów wykorzystujących ocenę PCC do stawiania diagnoz oraz planowania i kontroli skuteczności prowadzonej terapii, jedyną powszechnie stosowaną metodą badania PCC jest analiza wzrokowa, cechująca się dużym subiektywizmem, a w związku z tym niską wiarygodnością i ograniczoną powtarzalnością. Jednym z powodów ograniczających powszechność stosowania obiektywnych metod diagnostycznych jest skomplikowany i nieintuicyjny dla klinicystów sposób prezentacji wyników. Ponadto brak zasad, protokołów oraz norm oceny PCC sprawia, że dostępne w literaturze definicje prawidłowej oraz wadliwej PCC mają jedynie charakter opisowy. Stąd też pojawia się częsta krytyka postępowania fizjoterapeutycznego, wynikająca w głównej mierze z trudności w dowiedzeniu skuteczności metod stosowanych w korekcji PCC.

1.3 Teza i cel pracy

W prezentowanej rozprawie postawiono i wykazano następującą tezę:

Na podstawie wyników fotogrametrycznych pomiarów geometrii ciała ludzkiego możliwa jest analiza przebiegu powierzchniowych taśm anatomicznych, pozwalająca wskazać, która z taśm jest dominująca w kształtowaniu postawy ciała konkretnego pacjenta

Postawiona teza ma duże znaczenie praktyczne, gdyż problemy związane z oceną postawy ciała konkretnego pacjenta nie są do końca rozwiązane, a zwłaszcza brakuje narzędzi technicznych wspomagających lekarzy w tym zakresie. W związku z tym głównym celem niniejszej pracy było takie opracowanie modeli taśm anatomicznych oraz bazującej na tych modelach metody ich badania, która umożliwi obiektywną ocenę postawy ciała człowieka dla potrzeb praktyki diagnostycznej, terapeutycznej i rehabilitacyjnej. Dodatkowo postawiono zadanie naukowe zweryfikowanie hipotezy o istnieniu związków pomiędzy postawą ciała, opisaną przy użyciu opracowanych modeli taśm anatomicznych, a wybranymi jednostkami chorobowymi, również takimi, których powiązanie z postawą nie jest oczywiste (np. depresją).

1.4 Struktura prezentowanej rozprawy

Niniejsza rozprawa doktorska składa się z siedmiu rozdziałów. Pierwsze trzy składają się na część literaturową, pozostałe stanowią część praktyczną prezentowanej pracy.

W **pierwszym rozdziale** zamieszczono krótkie wprowadzenie do problematyki poruszanej w niniejszej dysertacji. Skrótowo opisano koncepcje łańcuchów mięśniowo-powięziowych, do których zaliczają się AT, wymieniono obecnie stosowane metody klinicznej oceny postawy ciała człowieka oraz scharakteryzowano fotogrametryczny system pomiarowy do badania wad postawy (PBE), z którego pochodzą dane na podstawie których opracowano modele wybranych taśm anatomicznych. Taśmy anatomiczne opisano w **rozdziale drugim**. **Rozdział trzeci** zawiera podstawy teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej oraz zwięzły opis systemów rozmytych, opartych na tej teorii. Zawarto w nim również przykładowe zastosowania w medycynie i rehabilitacji medycznej.

Główną część pracy stanowią rozdziały zawarte w części praktycznej. **Rozdział czwarty** opisuje proces tworzenia modeli taśm anatomicznych. W **rozdziale piątym** przedstawiono zależności pomiędzy PCC a wybranymi jednostkami chorobowymi w oparciu o opracowane modele AT. Opis systemu wspomagania decyzji fizjoterapeutów zawarto w **rozdziale szóstym**. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie osiągnięć pracy, wnioski końcowe oraz propozycje kierunków dalszych badań.

Rozdział 2

Analiza postawy ciała człowieka

2.1 Modele taśm anatomicznych

Modele taśm anatomicznych stworzono na podstawie koncepcji taśm anatomicznych T. Myersa oraz wyników pomiarów fotogrametrycznych pacjentów stojących w postawie swobodnej, zmierzonych przy pomocy systemu PBE. Podstawą do wyznaczenia wzorcowych dla dorosłych ludzi zdrowych wartości parametrów opisujących analizowane taśmy anatomiczne stały się wyniki uzyskane dla grupy kontrolnej.

W ramach pracy wyszczególniono punkty antropometryczne najdokładniej odpowiadające punktom kostnym wchodzącym w skład analizowanych taśm anatomicznych. Następnie dokonano doboru parametrów kątowych wyliczanych w systemie PBE, których ocena może dać istotne informacje na temat prawidłowości w strukturach tych łańcuchów. Hipotetyczne wartości wzorcowe dla poszczególnych parametrów poddano weryfikacji podczas analizy statystycznej wyników uzyskanych dla grupy kontrolnej. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyznaczono wzorce skorygowane, które wykorzystano do określenia wartości parametrów opisujących nieprawidłowości w przebiegu poszczególnych taśm anatomicznych.

Opracowane i opisane w niniejszym rozdziale modele taśm anatomicznych stały się podstawą modułu wnioskowania dla systemu wspomagania decyzji fizjoterapeutów w ocenie postawy ciała człowieka. Jest to więc kluczowe zagadnienie prezentowanej rozprawy doktorskiej.

2.2 Zależności pomiędzy postawą ciała a wybranymi jednostkami chorobowymi

Istotnym elementem prezentowanej pracy doktorskiej było przeprowadzenie analizy porównawczej postawy ciała osób zdrowych i cierpiących na określone schorzenia. W ramach rozdziału przedstawiono poszczególne etapy badania zależności pomiędzy postawą ciała a wybranymi jednostkami chorobowymi oraz różnic pomiędzy postawą ciała ludzi zdrowych i chorych oraz zaprezentowano osiągnięte wyniki.

2.3 Realizacja systemu ekspertowego

Realizacja systemu ekspertowego wspomagającego fizjoterapeutów w ocenie postawy ciała człowieka na podstawie analizy taśm anatomicznych dotyczy ustalenia stopnia nieprawidłowości każdej z czterech głównych taśm anatomicznych oraz wskazania, która z tych taśm ma dominujący wpływ na postawę ciała danego pacjenta.

Na wejście systemu podawany jest plik z danymi pacjenta zawierający wartości liczbowe poszczególnych kątów (zmiennych lingwistycznych) mierzonych systemem PBE oraz informacje o wieku, płci i BMI pacjenta, roku badania i dwóch jednostkach chorobowych odnotowanych u tego pacjenta. Wprowadzane do systemu dane dotyczące wartości parametrów kątowych są przekształcane do postaci zbioru rozmytego. Potrzeba stworzenia dla tych zmiennych reprezentacji w postaci rozmytej wynika z faktu, że wartość parametru znajdująca się w przedziale przejściowym może oznaczać skrócenie danego odcinka taśmy anatomicznej dla jednego pacjenta, a dla drugiego może mieścić się w normie.

Dla każdej z analizowanych taśm anatomicznych zdefiniowano zbiór reguł mających na celu sprawdzenie, które wartości zmiennych opisujących tą taśmę należą do zbioru *skrócona Txx*. Jeżeli stopień przynależności dla choć jednej zmiennej jest niezerowy, wówczas w konkluzji taśma której dotyczyło wnioskowanie jest uznana za skróconą.

W rozdziale zaprezentowano strukturę opracowanego systemu ekspertowego oraz wyniki prowadzonego wnioskowania.

Rozdział 3

Podsumowanie

3.1 Wykazanie tezy oraz oryginalne elementy pracy

W niniejszej pracy konsekwentnie zmierzano do udowodnienia przedstawionej w rozdziale 1 tezy. Jej brzmienie jest następujące:

Na podstawie wyników fotogrametrycznych pomiarów geometrii ciała ludzkiego możliwa jest analiza przebiegu powierzchniowych taśm anatomicznych, pozwalająca wskazać, która z taśm jest dominująca w kształtowaniu postawy ciała konkretnego pacjenta.

Dowodzenie tezy rozpoczęto od opracowania modeli głównych taśm anatomicznych na podstawie wyników pomiarów fotogrametrycznych, uzyskanych za pomocą systemu PBE. Proces tworzenia modeli AT opisano w rozdziale 4. W przypadku idealnym - u zdrowego człowieka - wszystkie taśmy anatomiczne są zrównoważone i utrzymują prawidłową PCC. O wystąpieniu, a w szczególności dominacji danej taśmy świadczą pojawiające się na całej jej długości bądź na niektórych odcinkach skrócenia, będące wynikiem nadmiernego napięcia tej taśmy czy też jej fragmentu. Dlatego istotnym elementem pracy było opracowanie wzorców dla ludzi zdrowych poszczególnych parametrów wybranych przez autorkę do opisu AT. Odchylenia od wyznaczonych wartości wzorcowych świadczą o występowaniu skrócenia na odpowiadającym im odcinku jednej z dwóch współpracujących ze sobą taśm. Dla każdego parametru zdefiniowano:

- wzorec dla ludzi zdrowych - wartość średniej arytmetycznej uzyskanej z pomiarów dla grupy kontrolnej,
- wzorec rozszerzony - wyznaczony jako przedział ufności dla wartości oczekiwanej (średniej) danego parametru i przyjętego poziomu ufności 95%
- przedziały przejściowe - przedziały liczbowe wyznaczone w oparciu o regułę trzech sigm (wartość średnia parametru ± 3 * odchylenia standardowe)

- skrócenia - wartości odpowiednio powyżej maksymalnej lub poniżej minimalnej wartości przedziału przejściowego

Wymienione przedziały wartości dla poszczególnych parametrów stały się podstawą do opracowania reguł stworzonego systemu wspomagania decyzji fizjoterapeutów, opisanego w rozdziale 6. System ten został zaprojektowany przez autorkę pracy w oparciu o logikę rozmytą. Jego głównym zadaniem jest na podstawie uzyskanych wyników wskazanie która z rozważanych taśm anatomicznych jest dominująca w przypadku konkretnego pacjenta. Istotną, z punktu widzenia fizjoterapeuty, informacją jest wskazanie dodatkowo odcinków danej AT, na których wystąpiło skrócenie. System podaje dla każdej zmiennej odbiegającej od wyznaczonych wzorców wartość niepewności, na podstawie wartości funkcji przynależności. Niepewność jest podawana w procentach, przy czym przyjęto, że wartość 100% oznacza wartość zmiennej całkowicie odbiegającą od wzorca.

Opracowane modele taśm anatomicznych pozwoliły również na porównanie PCC osób zdrowych oraz cierpiących na określone schorzenia. Porównywane jednostki chorobowe to:

- depresja,
- dyskopatia,
- koksartroza,
- skolioza,
- zespół przewlekłego zmęczenia (ZPZ).

Wyniki uzyskane dla wymienionych grup pacjentów zestawiono dodatkowo z grupą pacjentów, u których, stwierdzono istnienie, ale nie zidentyfikowano rodzaju jednostki chorobowej, oznaczoną w pracy jako *njch*. Zależności te badano analizując macierze korelacji dla parametrów opisujących AT oraz przeprowadzając analizę skupień. Przeprowadzoną analizę opisano w rozdziale 5.1. W efekcie tych rozważań potwierdzono hipotezę o istnieniu związków pomiędzy postawą ciała, opisaną przy użyciu opracowanych modeli taśm anatomicznych, a wybranymi jednostkami chorobowymi, również takimi, których powiązanie z postawą nie jest oczywiste (np. depresją). Uzyskane wyniki, które zaprezentowano podczas międzynarodowej konferencji Cybernetic Modelling of Biological Systems MCSB 2015, mają istotne znaczenie praktyczne, potwierdzając tym samym istotność badań nad PCC w kontekście diagnostyki chorób. Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że postawiona teza została udowodniona oraz cel pracy został osiągnięty.

Jako najważniejsze, w przekonaniu autorki, rezultaty pracy należy wskazać:

- utworzenie modeli taśm anatomicznych, będących dotychczas nie zweryfikowaną w sposób naukowy, a szeroko stosowaną w praktyce koncepcją,

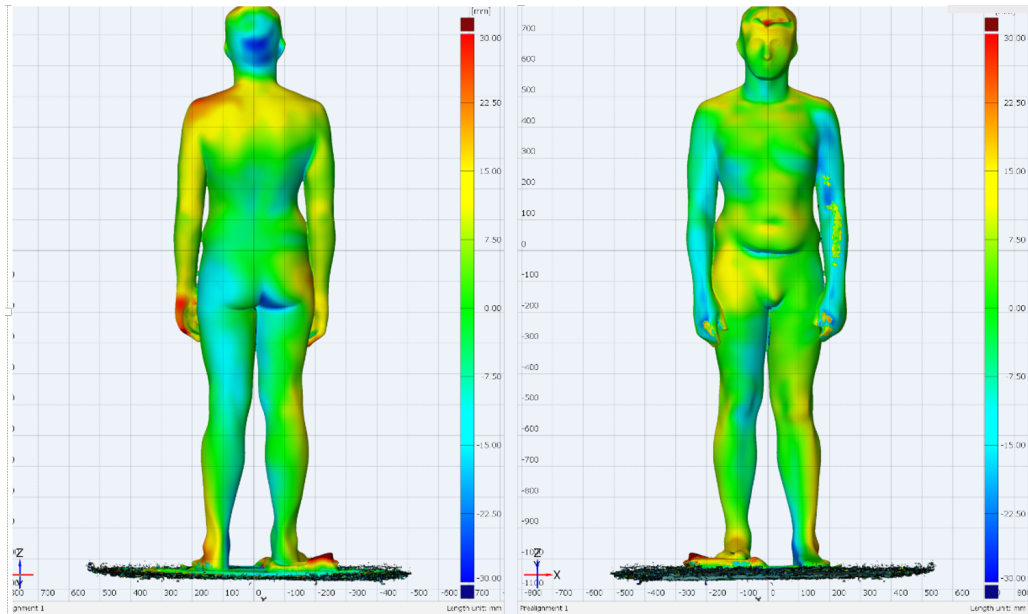
- potwierdzenie hipotezy o istnieniu związków pomiędzy postawą ciała człowieka, a wybranymi jednostkami chorobowymi,
- opracowanie idei oraz zgromadzenie wstępnych doświadczeń, które mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych prac badawczych i wdrożeniowych, dotyczących wykorzystania metod eksploracji danych i sztucznej inteligencji we wspomaganiu diagnostyki medycznej opartej o ocenę postawy ciała człowieka.

Przedstawione w niniejszej pracy rozwiązania, poza kodem źródłowym systemu ekspertowego, są w całości oryginalnym dokonaniem autorki.

3.2 Sugerowane kierunki dalszych badań

Rozwiązanie będące przedmiotem niniejszej pracy posiada kilka słabych punktów, które warto poddać dyskusji. Badania prowadzone w ramach prezentowanej pracy doktorskiej są w całości oparte o wyniki pomiarów fotogrametrycznych pacjentów stojących w postawie swobodnej. W przyszłości warto je rozszerzyć o analizę dodatkowych pozycji ciała, np. na wdechu, wydechu, z uniesionym prawym lub lewym barkiem, z podparciem prawej lub lewej kończyny dolnej, itp.

Tworzenie modeli taśm anatomicznych opisanych w niniejszej dysertacji opiera się o markerową metodę oceny postawy ciała człowieka, która jest czasochłonna i obciążona ryzykiem błędu wynikającym z niedokładnego umiejscowienia markerów na skórze człowieka. W przypadku systemu PBE dochodzi jeszcze kwestia możliwości dokonania przez lekarza zmiany położenia badanych punktów z pozostawieniem nazwy markera - przykładowo punkty RP i RL wyznaczające położenie stawu kolanowego były oznaczane markerem umiejscowionym na rzepecie lub w dole podkolanowym. Znacznie lepsze rezultaty można uzyskać przy użyciu metod powierzchniowych, które nie wymagają doświadczenia i umiejętności manualnej lokalizacji punktów antropometrycznych, co znacznie skraca czas i obniża koszty badania. Rozpoczęto już prace nad wprowadzeniem tego rozwiązania. Do oceny PCC wykorzystywana jest metoda rekonstrukcji powierzchni ciała bazująca na zbudowanym skanerze 3d, działającym w oparciu o sensory światła strukturalnego typu Microsoft Kinect. Dzięki takiemu rozwiązaniu rejestrowana jest cała powierzchnia ciała, co pozwala na znacznie dokładniejszą analizę (np. śledzenie zmian kształtu klatki piersiowej pod wpływem oddychania). Otrzymywane tym sposobem wyniki w postaci map warstwicznych (rysunek 3.1) są bardziej intuicyjne, a tym samym znacznie łatwiejsze do interpretacji dla klinicystów.



Rysunek 3.1: Przykład zobrazowania kompensacji zachodzących w ciele pacjenta przy użyciu skanera 3d.

Uzyskane wyniki wstępnie zaprezentowano podczas międzynarodowej konferencji 5th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning Technologies, będącej wiodącą na świecie platformą wymiany doświadczeń w zakresie technologii 3D wykorzystywanych do skanowania ciała człowieka, gdzie spotkały się z dużym zainteresowaniem.