

dr inż. Jacek Jurkojć  
Katedra Biomechatroniki  
Wydział Inżynierii Biomedycznej  
Politechnika Śląska

## **Streszczenie pracy**

Analiza dostępnej literatury oraz badania własne autora wykazały, że wykorzystanie technologii wirtualnej rzeczywistości w pomiarach zdolności utrzymywania równowagi znacznie poszerza możliwości diagnostyczne. Wprowadzenie poruszającego się, trójwymiarowego, wirtualnego otoczenia przy zachowanym nieruchomym podłożu umożliwia przeprowadzenie pomiarów w warunkach konfliktu bodźców sensorycznych. Badana osoba musi skonfrontować sprzeczne informacje płynące z różnych receptorów, stwierdzić, które z nich stanowią realne zagrożenie dla procesu utrzymywania równowagi, a następnie zignorować te nieistotne. Jednak zawsze pierwszą reakcją jest wprowadzenie ciała w ruch, którego częstotliwość w przybliżeniu odpowiada częstotliwości ruchu scenarii, a czas trwania i amplituda są zmienne osobniczo. Ma to na celu zapobieżenie potencjalnemu upadkowi, ponieważ ruch scenarii traktowany jest jako potencjalne zagrożenie. Ten dodatkowy ruch ciała powoduje, że standardowo wykorzystywane analizy zdolności utrzymywania równowagi – pomiar długości ścieżki jaką przebywa środek nacisku stóp na podłoże (COP) lub pole elipsy zawierającej kolejne położenia COP – mogą prowadzić do błędnych wniosków. W związku z powyższym należy stwierdzić, że wprowadzenie pomiarów wykonywanych w warunkach konfliktu bodźców sensorycznych do diagnostyki medycznej wymaga między innymi:

- opracowania metodyki prowadzenia tego typu pomiarów
- określenia jak poszczególne parametry zaburzeń generowanych w postaci poruszającego się otoczenia wpływają na badane osoby
- opracowanie nowych metod obiektywnej analizy wyników pomiarów.

W celu zrealizowania postawionych celów zdecydowano, że standardowo prowadzoną ocenę zdolności utrzymywania równowagi, wykonywaną w oparciu o wielkości wyznaczone w dziedzinie czasu, należy poszerzyć o analizy prowadzone w dziedzinie częstotliwości. Opracowana została metodyka wykorzystania szybkiej transformaty Fouriera (FFT) oraz krótkookresowej transformaty Fouriera (STFT) do interpretacji zmian położenia COP. W tym celu kolejne położenia COP potraktowano jako sygnał, dla którego wyznaczono wykresy FFT oraz STFT. Tak otrzymane wykresy umożliwiły wskazanie składowych cyklicznych, występujących w analizowanym sygnale, jak również jakim zmianom składowe te podlegają podczas prowadzonego pomiaru.

Dla tak prowadzonej analizy opracowano współczynnik, wyznaczany na podstawie wykresów FFT, umożliwiający, w zależności od wariantu obliczeń, proste określenie wpływu wprowadzanych zaburzeń na badaną osobę oraz stwierdzający w jakim stopniu badana osoba została wytrącona z równowagi. Wykorzystanie wykresów STFT pozwala na określenie zmian wartości współczynnika w trakcie prowadzonych pomiarów. Tak prowadzona analiza ma

umożliwić prowadzenie obiektywnej, ilościowej analizy zdolności utrzymywania równowagi nie tylko w dziedzinie czasu, ale również w dziedzinie częstotliwości.

Opracowaną metodykę analizy wyników pomiarów zdolności utrzymywania równowagi prowadzoną w dziedzinie czasu i częstotliwości, wykorzystano w przeprowadzonych badaniach, wykonanych w warunkach konfliktu bodźców sensorycznych z wykorzystaniem technologii wirtualnej rzeczywistości. Celem prowadzonych pomiarów było określenie wpływu różnych parametrów oscylującej, wirtualnej scenarii na sposób utrzymywania równowagi przez człowieka. Badania przeprowadzono przy udziale 83 osób (56 kobiet i 27 mężczyzn). Dokonywano pomiaru współrzędnych kolejnych położeń COP podczas:

- nieruchomego stania z oczyma zamkniętymi i otwartymi (środowisko rzeczywiste)
- nieruchomego stania z założonym systemem Oculus Rift, który posłużył do generowania trójwymiarowych scenarii (środowisko wirtualne). Prezentowane scenerie były nieruchome lub oscylowały wzdłuż kierunku AP z częstotliwościami 0,2 Hz, 0,5 Hz, 0,7 Hz i 1,4 Hz.

W badaniach wykorzystano dwa rodzaje scenarii – z przedmiotami znajdującymi się blisko (pokój) oraz daleko (otwarta przestrzeń). Do pomiarów położeń COP posłużył system FDM-S firmy Zebris.

Otrzymane kolejne położenia COP posłużyły do wyznaczenia wielkości w dziedzinie czasu (wielkości standardowo analizowane podczas pomiarów zdolności utrzymywania równowagi) oraz w dziedzinie częstotliwości. W dziedzinie częstotliwości wyznaczone zostały przebiegi wykresów FFT oraz STFT. W ramach pracy wskazano w jakim stopniu ruchy scenarii realizowane z poszczególnymi częstotliwościami wpływają na sposób utrzymywania równowagi. Stwierdzono, że oscylująca sceneria powoduje zmiany położenia COP następujące z częstotliwością równą częstotliwości ruchów scenarii. Zauważono również, że poza składowymi cyklicznymi odpowiadającymi częstotliwości oscylującej scenerii występują dodatkowe składowe cykliczne, które świadczą o większym lub mniejszym wytrąceniu badanej osoby z równowagi. Analiza przebiegów wykresów STFT pozwoliła dodatkowo na określenie jakim zmianom w czasie podlega oddziaływanie poruszającej się scenerii na badane osoby. Analiza statystyczna wykazała różny wpływ zastosowanych częstotliwości oscylacji scenerii oraz rodzaju scenerii.

Przeprowadzone badania wykazały, że analiza wyników pomiarów zdolności utrzymywania równowagi, wykonywanych w warunkach konfliktu bodźców sensorycznych, powinna być prowadzona nie tylko w oparciu o wielkości wyznaczone w dziedzinie czasu, ale również w dziedzinie częstotliwości. Tak prowadzona interpretacja umożliwia nie tylko stwierdzenie faktu zwiększenia bądź zmniejszenia wartości wielkości otrzymanych w dziedzinie czasu, ale również wskazuje jakiego rodzaju przemieszczenia COP – jakie składowe cykliczne – wpływają na te zmiany. Natomiast zastosowanie opracowanego współczynnika zaburzeń równowagi pozwala na proste określenie jak duży jest wpływ oscylującej scenerii oraz w jakim stopniu zaburzona została równowaga badanej osoby.