

# XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2022

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

### Wykorzystanie wskaźników gieldowych w analizie zdolności utrzymywania równowagi przez człowieka

Piotr Wodarski<sup>1</sup>, Marta Chmura<sup>1</sup>, Grzegorz Gruszka<sup>1</sup>, Justyna Romanek<sup>1</sup>, Jacek Jurkojc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

email: piotr.wodarski@polsl.pl, marta.chmura@polsl.pl, grzegorz.gruszka@polsl.pl, justyna.romanek@polsl.pl, jacek.jurkojc@polsl.pl

**STRESZCZENIE:** Celem prowadzonych badań było sformułowanie metody obliczeń umożliwiających wykrycie kolejnych zmian trendu położenia COP tak, aby możliwe było określenie składowych cyklicznych oraz zmian, które nie mają charakteru cyklicznego. W badaniach wzięły udział 83 zdrowe osoby. Pomiary prowadzono w środowisku rzeczywistym z otwartymi i zamkniętymi oczami oraz w wirtualnej rzeczywistości, w dwóch scenariach, oscylujących ze stałą częstotliwością 0,2 Hz, 0,5 Hz, 0,7 Hz, oraz 1,4 Hz. Dokonano analiz w oparciu o autorski współczynnik TCI określający liczbę zmian trendu na podstawie algorytmu obliczeń MACD. Umożliwiło to określenie wpływu zastosowanych zaburzeń wirtualnych na liczby zmian trendu dla poszczególnych częstotliwości ruchu COP. Zastosowanie metodyki wyznaczania wskaźników gieldowych w analizie kolejnych położenia COP dostarcza nowych informacji możliwych do wykorzystania podczas oceny zdolności utrzymywania równowagi.

**SŁOWA KLUCZOWE** stabilność posturalna, wirtualna rzeczywistość, center of pressure, wskaźniki gieldowe

#### 1. Wprowadzenie

Utrzymanie stabilnej postawy ciała jest wynikiem ciągłej kontroli i korekt realizowanych poprzez wiele współpracujących ze sobą układów, m. in. układu przedśionkowego czy czucia głębokiego [1]. Układ nerwowy na bieżąco pobudza mięśnie, które kompensują chwilowe zaburzenia [2] i utrzymują środek masy w granicach stabilności [3]. W badaniach stabilności postawy zazwyczaj wyznaczane są wartości oparte na współrzędnych kolejnych położeniach środka nacisku stóp na podłoże (COP). Uzupełnieniem wyżej wymienionych analiz w dziedzinie czasu są analizy w dziedzinie częstotliwości, umożliwiając na przykład stwierdzenie czy cykliczny bodziec wytrącający z równowagi przekłada się na cykliczność ruchów COP lub COM [4]. Innymi metodami analizy zdolności utrzymywania równowagi jest analiza falkowa [5] czy obliczanie entropii [6].

Przedstawione analizy umożliwiają globalną ocenę zdolności utrzymywania równowagi oraz określenie wpływu na tę zdolność cyklicznych zaburzeń zewnętrznych, nie uwzględniają jednak chwilowych, niecyklicznych, zmian pojawiających się podczas całej analizy.

Celem pracy było wykazanie możliwości wykorzystania wskaźnika gieldowego Moving Average Convergence Divergence (MACD) do oceny zdolności do utrzymania równowagi jako uzupełnienia analiz z wykorzystaniem wartości wyznaczonych w dziedzinie czasu i częstotliwości.

#### 2. Metodyka

Grupa badawcza składała się z 83 zdrowych osób (56 kobiet i 27 mężczyzn) w średnim wieku 21 (SD 1,3) lat, o średniej masie ciała 65,1 (SD 12,2) kg oraz o średnim

wzroście 172,2 (SD 8,3) cm. Uczestnicy brali udział w testach w środowisku rzeczywistym – test z oczami otwartymi (EO) oraz zamkniętymi (EC) oraz w wirtualnej rzeczywistości. W środowisku wirtualnym zastosowano dwa rodzaje scenarii – otwartą (krajobraz pustynny) oraz zamkniętą (umeblowane pomieszczenie). Scenerie te, w zależności od pomiaru, oscylowały w kierunku AP z częstotliwościami 0,2 Hz, 0,5 Hz, 0,7 Hz i 1,4 Hz. Podczas pomiarów dokonywano pomiaru kolejnych położenia COP w dla 30 sekundowych przedziałów czasu.

Stanowisko pomiarowe składało się z platformy do pomiaru COP (WinFDM-S, Zebris) oraz zestawu HMD Oculus Rift.

Podczas wykonywania pomiarów osoby badane miały za zadanie stać prosto z rękami skrzyżowanymi na klatce piersiowej, z twarzą skierowaną prosto przed siebie oraz wzroku skupionym na jednym punkcie.

Wartości wskaźnika gieldowego MACD wyznaczono w oparciu o standardową procedurę wyznaczania tego wskaźnika, opisaną również w artykule naszego autorstwa [7]. MACD składa się z linii MACD, którą uzyskuje się poprzez odjęcie wolniejszej (26 próbek) średniej kroczącej od szybszej (12 próbek) oraz linii sygnału, która stanowi średnią krocząca (9 próbek) sygnału MACD. Przecięcia linii MACD i linii sygnału wyznacza zmianę trendu sygnału. Kolejne położenia COP można potraktować jako sygnał dyskretny – wyznaczone zmiany trendu dla takiego sygnału dla kierunku AP lub ML pokazują kolejne zmiany kierunku przemieszczania się COP.

Podczas analiz określono czas przerw pomiędzy kolejnymi, wykrytymi zmianami trendu, a następnie pogrupowano wykryte zmiany trendu w zależności od czasu trwania tej przerwy (tab. 1). Tak pogrupowane

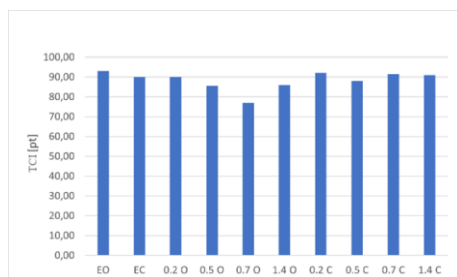
zmiany trendu zsumowano – osobno dla każdego przedziału z tabeli 1 – wyznaczając współczynniki TCI. Wyznaczono również TCI jako całkowitą sumę wszystkich wykrytych zmian trendu dla 30 sekund pomiaru.

Tabela 1. Przedziały czasowe i odpowiadające im przedziały częstotliwości sygnału przemieszczeń COP – przedział czasowy odpowiada połowie okresu

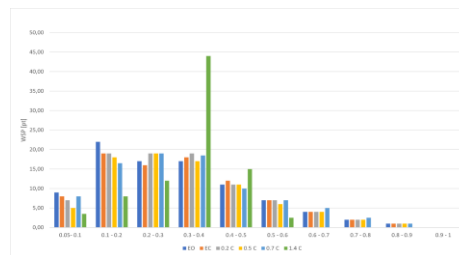
T [s]	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6
f [Hz]	5,0-10,0	2,5-5,0	1,67-2,5	1,25-1,67	1,0-1,25	0,83-1,0
T [s]	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9 – 1,0	0,05-1,0	1,0-30,0
f [Hz]	0,71-1,0	0,63-1	0,56-0,63	0,5-0,56	>0,5	<0,5

### 3. Wyniki

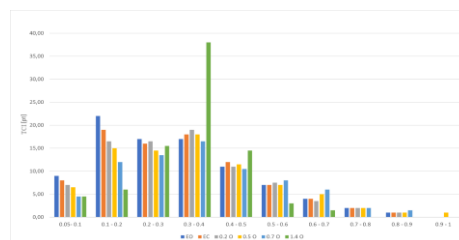
Analiza liczby zmian trendu w kolejnych przedziałach czasowych (rys. 2 i 3) pokazuje, że w przypadku pomiarów przy częstotliwościach oscylacji scenarii równych 0,7 Hz i 1,4 Hz w przedziałach czasowych 0,05-0,2 s w większości przypadków można zaobserwować istotny statystycznie spadek liczby zmian trendu w porównaniu do pomiarów z oczyma otwartymi i zamkniętymi przy równoczesnym wzroście tej liczby tych zmian w przedziałach czasowych odpowiadających częstotliwościom oscylacji scenarii (0,3-0,5 s). W przypadku częstotliwości 1,4 Hz takie spadki liczby zmian trendu notuje się również w przedziale czasowym 0,5-0,9 s. Oznacza to, że zwiększona liczba zmian trendu pojawiająca się przy częstotliwościach zaburzeń (0,7 Hz i 1,4 Hz) wpływa na zmniejszenie liczby zmian trendu przy innych częstotliwościach. Może to oznaczać, że wprowadzenie zaburzeń o częstotliwości z tego przedziału – tu dla przykładu 1,4 Hz – skutkujące zwiększeniem liczby ruchów ciała wykonywanych z tą częstotliwością (podążanie za scenarią jest działaniem mającym zapobiec potencjalnemu upadkowi) wymusza zmniejszenie liczby zmian trendu w innych przedziałach czasowych – sumaryczna liczba wszystkich zmian trendu pozostała w przybliżeniu stała (rys. 1). Spadek liczby zmian trendu w przedziale 0,05-0,2 s które to częstotliwości ruchów COP traktuje się jako związane z propriocepcją [8,9], może nie być obojętna pod względem ilości informacji zbieranej właśnie przez układ proprioceptywny, a co za tym idzie można przypuszczać, że nie pozostanie obojętna na zdolność utrzymywania równowagi przez badaną osobę. Wniosek ten pokazuje, że cykliczne oscylacje otoczenia będą oddziaływać nie tylko na informacje zbierane przez narząd wzroku i układ przedsionkowy, ale mogą również zakłócać informacje pochodzące z układu proprioceptywnego.



Rys. 1. Wartości TCI dla poszczególnych pomiarów



Rys. 2. Wartości TCI dla pomiarów w środowisku rzeczywistym i wirtualnej rzeczywistości – scenaria zamknięta



Rys. 3. Wartości TCI dla pomiarów w środowisku rzeczywistym i wirtualnej rzeczywistości – scenaria otwarta

### 4. Podsumowanie

Podsumowując można stwierdzić, że zastosowanie metodyki wyznaczania wskaźników giełdowych w analizie kolejnych położeń COP dostarcza nowych informacji możliwych do wykorzystania podczas oceny zdolności utrzymywania równowagi. Wartości zaproponowanego wskaźnika mogą posłużyć do określania pobudzenia układów odpowiedzialnych za utrzymywanie równowagi, gdyż stanowią obiektywne narzędzie do określania liczby korekt przemieszczeń COP w jednostce czasu.

### Literatura

- [1] Jurkojc J.: Badania zdolności utrzymywania równowagi ciała przez człowieka w środowisku rzeczywistym i wirtualnym, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018.
- [2] Kanekar N, Aruin AS. Aging and balance control in response to external perturbations: role of anticipatory and compensatory postural mechanisms. Age (Dordr), Vol. 6, No. 3, pp.962, 2014.
- [3] Błaszczak J.W., Czerwosch L., Stabilność posturalna w procesie starzenia, Gerontologia Polska, Vol. 13, No. 1, pp. 25-36, 2005.
- [4] Jurkojc J, Wodarski P, Michnik P, Marszałek W, Słomka KJ, Gzik M. The Use of Frequency Analysis as a Complementary and Explanatory Element for Time Domain Analysis in Measurements of the Ability to Maintain Balance, Journal of Human Kinetics, Vol. 76, pp. 117-129, 2021.
- [5] Keshner E.A., Kenyon R.V., Dhaher Y., Postural Research and Rehabilitation in an Immersive Virtual Environment. Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS 2004, pp.4862-4865, 2004.
- [6] Błażkiewicz M., Kedziorek J., Hadamus A., The Impact of Visual Input and Support Area Manipulation on Postural Control in Subjects after Osteoporotic Vertebral Fracture, Entropy, Vol. 23, No. 3, pp. 375, 2021.
- [7] Wodarski P., Chmura M., Gruszka G., Romanek J., Jurkojc J., The stock market indexes in research on human balance, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 24, No. 2, 2022.
- [8] Bizid R., Jully J.L., Gonzalez G., Francois Y., Dupui P., Paillard T., Effects of fatigue induced by neuromuscular electrical stimulation on postural control, Journal of Science and Medicine in Sport, Vol. 12, pp. 60-66, 2009.
- [9] Micarelli A., Viziano A., Micarelli B., Augimeri I., Alessandrini M., Vestibular rehabilitation in older adults with and without mild cognitive impairment: Effects of virtual reality using a head-mounted display, Archives of Gerontology and Geriatrics, Vol. 83, pp. 246-256, 2019.