

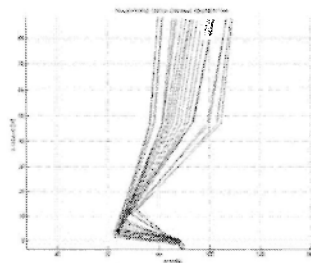
Michalina BŁAŻKIEWICZ Wydział Rehabilitacji, AWF w Warszawie
Andrzej WIT Wydział Rehabilitacji AWF, Wydział Ochrony Zdrowia ALMAMER
w Warszawie

WPLYW ZMIANY POŁOŻENIA CoP NA WARTOŚĆ BŁĘDU MOMENTU SIŁY W STAWIE SKOKOWYM W CHODZIE

Streszczenie. Celem pracy jest przedstawienie analizy błędów oraz wyników symulacji wartości momentów sił w stawie skokowym dla płaskiego modelu kończyny dolnej, wynikających z różnego przebiegu środka parcia stopy na podłoże (CoP - center of pressure). Składowa przednio-tylna CoP była przesuwana o wektory $[a;b]$, gdzie a i b - dowolne liczby rzeczywiste. Wartości uzyskane dla symulacji wskazują, że zmiana położenia CoP może generować bardzo duże błędy w wartościach momentów. Jak wynika z symulacji dla badanego modelu zmiana położenia CoP o wektor np. $[0;7]$ cm, generuje krzywą tożsamą z trajektorią przebiegu momentów w stawie skokowym w chodzie charakterystycznym dla osoby niepełnosprawnej.

1. WSTĘP

Najbardziej popularnym i kompleksowym sposobem pomiaru ruchu człowieka jest kinematografia uzupełniona o siły reakcji podłoża i sygnał EMG. Każdy z sygnałów jest rejestrowany przez osobne urządzenie, a te powinny być zsynchronizowane w celu eliminacji błędów i ułatwienia analizy. Błędy w obliczeniach momentów sił mięśniowych na drodze zagadnienia odwrotnego dynamiki generowane są przede wszystkim w sytuacji, gdy urządzenia pomiarowe nie są zsynchronizowane automatycznie, ale arbitralnie przez osobę wykonującą obliczenia w programie typu MatLab. Wpływ na błędy w obliczeniach będzie miał także system zapisu obrazu video. Jeżeli jest on wyposażony w kamery cyfrowe, wówczas możemy się spotkać z zamazaniem szybko poruszających się obiektów (ghost effect - "efekt ducha"), co powoduje duże trudności z określeniem dokładnego, rzeczywistego miejsca kontaktu badanego z podłożem. Z kolei programowe wprowadzenie rejestracji półobrazów (przeplotów) powoduje, że obserwowany ruch przetworzony do celów symulacji prezentuje się w sposób „podwójny” co oczywiście istotnie odbiega od ruchu rzeczywistego (rys 1).



Rys. 1. Zmiana położenia kończyny dolnej w chodzie z widocznym efektem przeplotów rejestracji ruchu.

Generowanie dodatkowych błędów wpływających na poprawność obliczeń momentów w stawach mają również:

1. Niedokładne oznaczenia środków obrotu stawów, co powoduje szereg błędów dotyczących wyliczeń kinematycznych a mianowicie błędy w wartościach:
 - a. współrzędnych położen poszczególnych stawów,
 - b. długości segmentów,
 - c. kątów stawach i kątów między segmentami ciała.
2. Indywidualna zmienność momentów bezwładności poszczególnych części ciała.
3. Wadliwe wygładzanie przebiegów czasowych.
4. Rozbieżność pomiędzy różnymi układami odniesienia.
5. Błędy pochodzące z niedokładnych pomiarów CoP i odpowiadającym im sił reakcji podłoża.

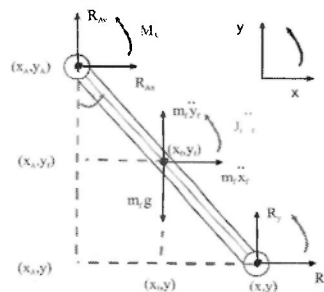
W niniejszym opracowaniu przedmiotem analizy jest oszacowanie wartości jednej z wyżej wymienionych kategorii błędów, jakie występują w analizie mechaniki chodu. Dotyczy ona błędów oraz wyników symulacji wartości momentów sił w stawie skokowym dla płaskiego modelu kończyny dolnej, wynikających z różnego przebiegu CoP.

2. MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

W niniejszym opracowaniu do analiz numerycznych wykorzystano wyniki opublikowane przez Wintera [1]. O wyborze zdecydował fakt, że pomiary wykonane przez ten zespół przeprowadzono przy pełnej synchronizacji platform dynamometrycznych z kamerami video oraz z wykorzystaniem dokładniejszego systemu w porównaniu z tym jakim aktualnie dysponujemy. Nasza ścieżka pomiarowa chodu składa się z systemu APAS i platformy KISTLER. Oba systemy pracują w sposób niezależny a synchronizację przeprowadza się manualnie na podstawie pierwszego kontaktu pięty z podłożem i odpowiadającemu mu pojawieniu się siły reakcji podłoża. W naszych dalszych pracach będziemy korzystali z własnego ciągu pomiarowego po wprowadzeniu odpowiedniego algorytmu synchronizacji.

3. MODEL FIZYCZNY I MATEMATYCZNY UKŁADU

Na potrzeby tej pracy został stworzony model kończyny dolnej, z którego pod uwagę wzięto tylko jeden człon - stopę w płaskim układzie współrzędnych (rys 2). W drodze obróbki numerycznej w środowisku MatLab wyliczono jego długość, pierwszą i drugą pochodną współrzędnych położenia stawów i środek ciężkości segmentu. Jako podstawę do obliczenia „geometrii mas” modelu wybrano model Zaciorskiego. Do środowiska MatLab zostały wprowadzone dwie współrzędne sił reakcji podłoża oraz współrzędne CoP (Center of Pressure) dla fazy podporu w chodzie a na podstawie odpowiednich równań mechanicznych wyliczono momenty w stawie skokowym.



Rys. 2. Model fizyczny stopy

Równania równowagi dynamicznej dla powyższego schematu przyjmują następującą postać:

$$\begin{cases} m_f \cdot \ddot{x}_f = R_A x - R x \\ m_f \cdot \ddot{y}_f = R_A y - R y - m_f \cdot g \\ J_f \cdot \ddot{\theta}_f = M_A + R y \cdot (x - x_f) + R x \cdot (y_f - y) - R_A y \cdot (x_f - x_A) - R_A x \cdot (y_A - y_f) \end{cases}$$

gdzie:

m_f - masa stopy

R_x , R_y - składowa pozioma i pionowa reakcji podłoża

x_f , y_f - współrzędne pozioma i pionowa środka ciężkości stopy

\ddot{x}_f , \ddot{y}_f - przyspieszenie poziome i pionowe dla stopy

J_f - moment bezwładności

θ_f , $\ddot{\theta}_f$ - współrzędna kątowa, oraz przyspieszenie kątowe w płaszczyźnie strzałkowej

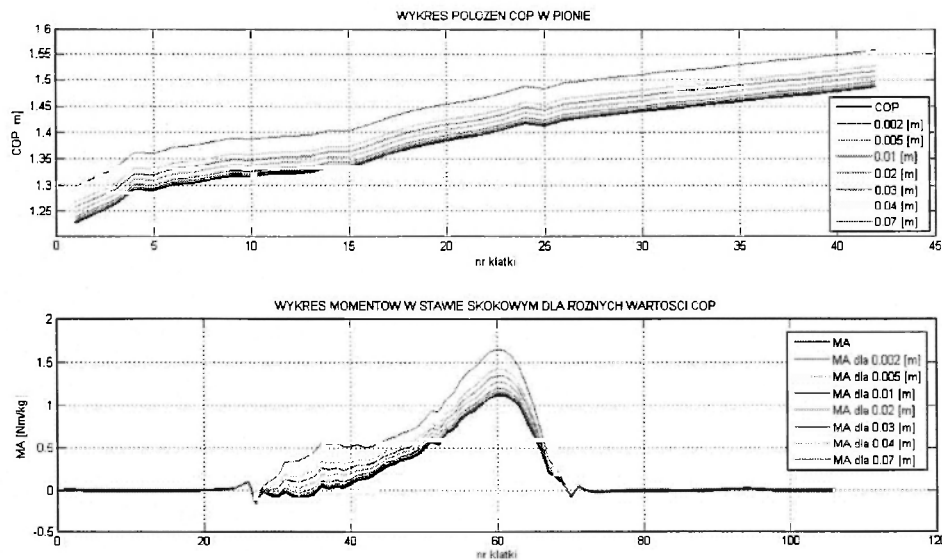
M_A - wypadkowy moment sił mięśniowych w stawie skokowym

x , y - współrzędne CoP

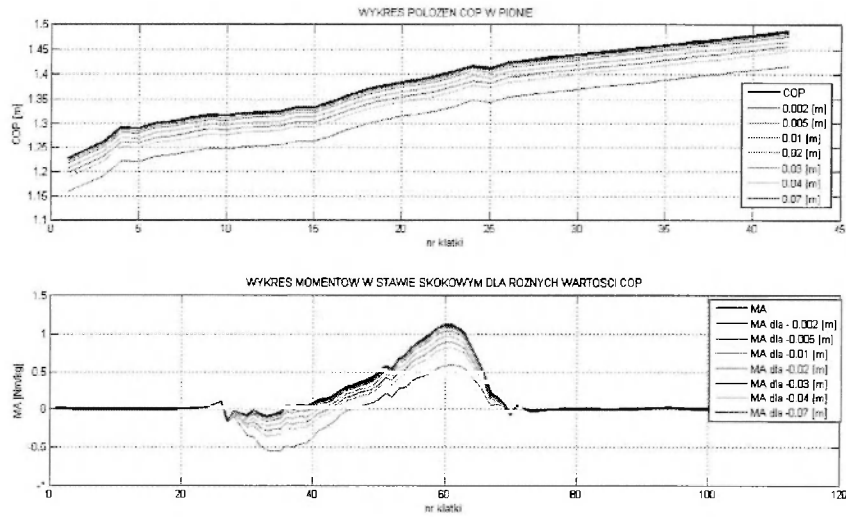
4. WYNIKI I ANALIZA

Symulacje przeprowadzono dla różnych położen krzywej przebiegu środka parcia stopy na podłożu w czasie fazy podparcia w chodzie. Dokonano przesunięć CoP o wektory $[0; a]$, gdzie $a = \pm 0.002, \pm 0.005, \pm 0.01, \pm 0.02, \pm 0.03, \pm 0.04, \pm 0.07$ m (rys 3). Odpowiednio dla nowych wartości CoP zostały policzone momenty w stawie skokowym.

a)



b)



Rys. 3. Przesunięcia krzywych CoP o wektor [0;a], oraz odpowiednie momenty w stawie skokowym: a). dla $a > 0$ b). dla $a < 0$

Ponieważ zebrane wartości miały charakter dyskretny w związku z tym zastosowano wzór na liczenie błędu średniokwadratowego (MSE) liczonego tylko dla fazy podporu:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (MA_{CoP} - MA)^2$$

gdzie:

N – liczebność próbki,

MA_{CoP} – moment w stawie skokowym liczony dla przesuniętych wartości CoP

MA – moment w stawie skokowym

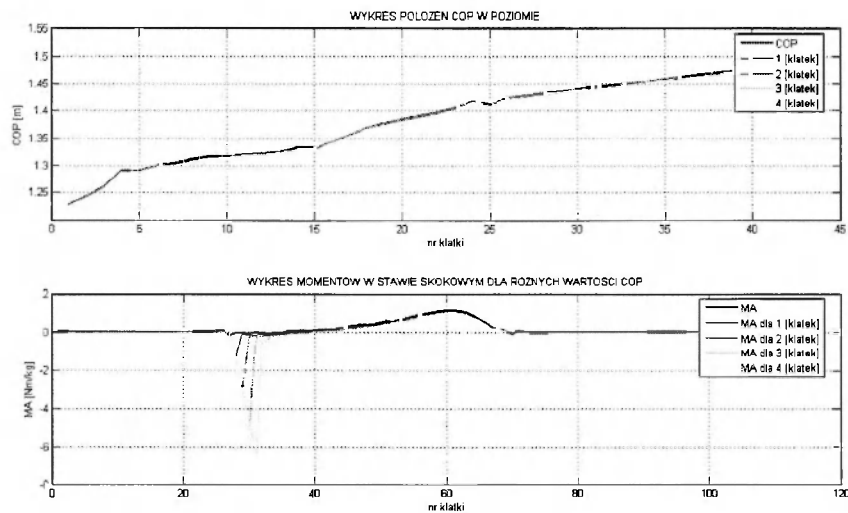
Tabela. 1. Wartości błędów średniokwadratowych dla momentów w stawie skokowym

MA liczone dla	CoP±0.002m	CoP±0.005m	CoP±0.01m	CoP±0.02m	CoP±0.03m	CoP±0.04m	CoP±0.07m
MSE	0.00013	0.00081	0.00326	0.01307	0.02940	0.05227	0.16010

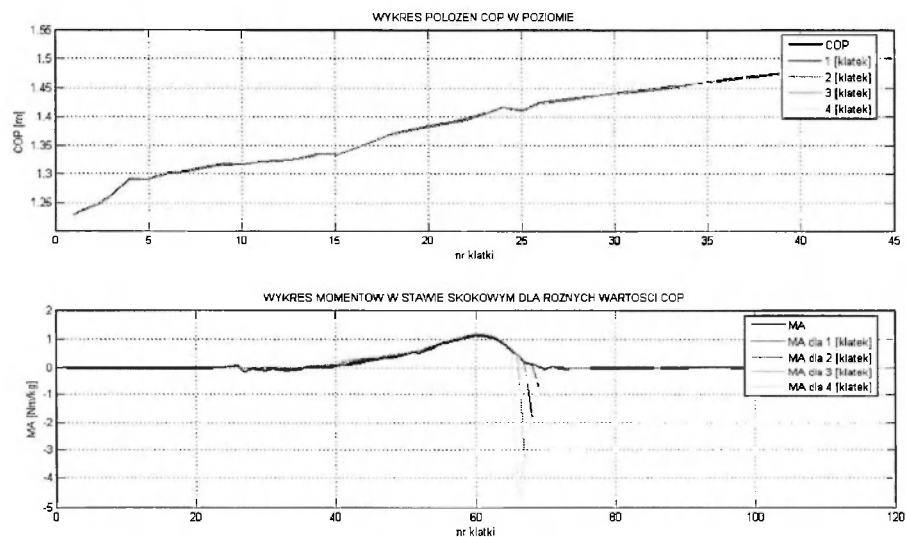
Analizując wyniki przedstawione w powyższej tabeli zauważamy, że największe błędy wynikają z przesunięcia CoP o wektor [0;±0.07] m, dla którego różnica między maksymalnymi wartościami momentów wynosi 0.52 Nm/kg, a krzywa kształtem przypomina trajektorię przebiegu momentów w stawie skokowym charakterystycznym dla osoby niepełnosprawnej. Najmniejsze błędy wynikają dla przesunięć o wektor [0;±0.002] m, a wykresy krzywych praktycznie się pokrywają.

W niniejszej pracy dokonano również przesunięć będących reprezentacją opóźnienia oraz przyspieszenia synchronizacji filmu i platformy odpowiednio o 1, 2, 3, 4 klatki filmowe (rys 4). Okazuje się, że w tym przypadku, wartości momentów sił mięśniowych w stawie skokowym praktycznie nie ulegają zmianie. Największe błędy generowane są odpowiednio na początku i na końcu krzywej, jest to związane z brakiem synchronizacji danych i stąd wynikają też duże wartości błędów przedstawionych w tabeli 2.

a)



b)



Rys. 4. Przesunięcia krzywych CoP odpowiednio o 1, 2, 3, 4 klatki filmowe, oraz odpowiednie momenty w stawie skokowym dla a) opóźnienia (przesunięcia do tyłu) b) przyspieszenia (przesunięcie do przodu)

Tabela. 2. Wartości błędów średniokwadratowych dla momentów w stawie skokowym

	klatka 1	klatka 2	klatka 3	klatka 4
MSE (dla przesunięcia do przodu)	0.04082	0.24180	0.74249	1.67009
MSE (dla przesunięcia do tyłu)	0.01763	0.11205	0.38444	0.95949

W niniejszej pracy pokazano, że największe błędy w obliczaniu momentów sił mięśniowych w stawie skokowym są generowane w przypadku braku synchronizacji filmu z platformą. Natomiast przesunięcia współrzędnych CoP wynikających na przykład z błędnego ustawienia klatki skalującej względem początku układu współrzędnych platformy powodując

znaczące zmiany kształtu krzywej momentu sił mięśniowych w stawie skokowym. Podobne rezultaty są opisane w pracy [2], gdzie rozpatrzono wpływ przesunięć CoP na momenty nie tylko w płaszczyźnie strzałkowej, ale również w czołowej i horyzontalnej w stawach skokowym, kolanowym i biodrowym. Autorzy udowodnili, że wielkość błędu kształtuje się od 16% (kierunek przednio-tylny) do 108% (kierunek boczny) dla przesunięć CoP o ± 10 mm w modelu 3D. W celu realizacji dalszych badań wskazane byłoby uzyskanie odpowiedzi na następujące pytanie: w jaki sposób układa się krzywa CoP na linii łączącej palce i piętę w płaszczyźnie strzałkowej podczas chodu, tak aby nawet dla nie zsynchronizowanych układów współrzędnych platformy i kamer można było policzyć z małymi błędami momenty w stawach?

LITERATURA

- [1] Winter (1987) *The Biomechanics and Motor Control of Human Gait*, p:64
[2] Kim H. Y., Sakurai S., Ahn J. (2007) Errors in the Measurement of Center of Pressure (CoP) Computed with Force Plate Affect on 3D Lower Limb Joint Moment During Gait, *International Journal of Sport and Health Science*, 5(0);71-82.

THE INFLUENCE OF THE CHANGE OF COP ON THE ERRORS IN CALCULATION OF ANKLE JOINT MOMENT DURING GAIT

Summary. The purpose of this study was to investigate the effect of errors in the center of pressure (CoP) locations on two dimensional lower limb joint moment during gait. Kinematics and kinetic data were synchronized in MatLab. Antero – posterior component of CoP was shifted by vectors [a;b], where a and b -real numbers. The study shows that change of the location of CoP can generate very large mistakes in calculation of joint moments. As results from simulation for studied model the change of CoP about the vector e.g. [0;7]cm, generate the curve the same like for the handicap person.