

## STRESZCZENIE

**Wprowadzenie:** Ogromna część badań naukowych dotyczących analizy chodu i stabilności u ludzi skupia się na znaczeniu kończyn dolnych i miednicy w trakcie poruszania się, pomijając często ruch kończyn górnych. Istotną trudnością w parametryzacji ruchu kończyn górnych jest jego duża zmienność i wysoka złożoność. Ponadto sposób prowadzenia badań i analiz nie jest ujednoczony, przez co można dostrzec wyraźne różnice w praktyce badawczej, stosowanej w laboratoriach analizy ruchu na całym świecie. Obecnie nie istnieją zatem normy, pozwalające odróżnić normalny wymach kończynami górnymi od tego, który jest powiązany z działaniem zewnętrznego zaburzenia na organizm człowieka i wynikającym z tego procesem kontroli i odzyskiwania równowagi. Brakuje także norm, które pozwoliłyby dokonać rozróżnienia pomiędzy osobami zdrowymi, a cierpiącymi na schorzenia narządu ruchu. Analiza stabilności u ludzi, nieuwzględniająca ruchu kończyn górnych jest zatem niekompletna. Przytoczone w pracy piśmiennictwo potwierdza, że czynny wymach kończyn górnych pomaga odzyskać równowagę w chwili jej utraty oraz jest ważnym elementem lokomocji.

**Cel pracy:** Głównym celem prowadzonych badań było opracowanie metody do ilościowej oceny ruchu kończyn górnych oraz zidentyfikowanie wzorców ruchu kończyn górnych powiązanych z wysoką stabilnością dynamiczną u ludzi. Wyróżniono także następujące cele szczegółowe:

- 1) Weryfikacja istniejących oraz opracowanie własnych parametrów do oceny stabilności ciała w warunkach dynamicznych z uwzględnieniem ruchu kończyn górnych
- 2) Opracowanie wartości wzorcowych dla parametrów opisujących ruch kończyn górnych, które będą odzwierciedlać wysoką stabilność dynamiczną
- 3) Określenie wpływu koordynacji międzykończynowej na stabilność ciała
- 4) Określenie warunków zachowania stabilnej postawy i niepodatności na czynniki destabilizujące podczas chodu wykonywanego w różnych warunkach

**Metody:** Badania obejmowały analizę ruchu ludzkiego ciała podczas różnych rodzajów chodu. Ruch ten rejestrowano przy pomocy optoelektronicznego systemu analizy ruchu Vicon oraz platform dynamometrycznych. W badaniach wzięło udział 19 osób dorosłych, nie cierpiących na choroby neurologiczne ani żadne inne schorzenia mogące wpłynąć na stabilność postawy. Na ciało badanych naklejono 37 odbłaskowych markerów, a następnie w oprogramowaniu Vicon Nexus zaimplementowano biomechaniczny model całego ciała Plug-in-Gait. Przy pomocy aparatury badawczej mierzono takie parametry jak: prędkość chodu, długość kroku, trajektorie markerów w przestrzeni 3D, wektory siły reakcji podłoża, a także punkt przyłożenia tej siły (COP). Późniejszej obróbki i analizy danych dokonano w oprogramowaniu Mokka oraz Matlab. Informacje o środku masy ciała uzyskano w oparciu o modelowanie kinetyczne z poziomu okna operacji dostępnych w oprogramowaniu Vicon.



Do ilościowej oceny ruchu kończyn górnych sformułowano parametr  $AS_{IA}$  odzwierciedlający amplitudę ich wymachu. Na podstawie literatury obliczono takie parametry jak: odległość pomiędzy środkiem masy ciała zrzutowanym na podłoże a punktem COP oraz odległość pomiędzy linią działania siły reakcji podłoża a środkiem masy ciała w przestrzeni 3D. Wszystkie 3 parametry były normalizowane w czasie względem % cyklu chodu oraz względem wysokości ciała osoby badanej, a ich wartości były wyznaczane osobno dla prawej i lewej strony ciała. Aby zbadać symetrię ruchu dla kończyn górnych i kończyn dolnych, obliczono współczynniki korelacji Pearson'a dla wszystkich 3 parametrów pomiędzy kończyną prawą a lewą.

**Wyniki:** Ze względu na różnice w uzyskiwanych wynikach, badanych podzielono na 2 grupy. Pierwsza grupa stanowi grupę odniesienia, w obrębie której badanych charakteryzuje wysoka symetria ruchu kończyn górnych, gdzie uzyskano następujące wartości współczynnika korelacji Pearson'a dla parametru  $AS_{IA}$  w warunkach chodu normalnego:  $0,872 \pm 0,091$ . Druga grupa obejmuje badanych o wyraźnie niższej symetrii ruchu kończyn górnych. W warunkach chodu normalnego współczynnik korelacji Pearson'a dla tej grupy wynosił:  $0,304 \pm 0,201$ . Wartości korelacji dla parametru  $AS_{IA}$  wynoszące w przybliżeniu 0,5 lub mniej uznano za niską symetrię ruchu kończyn górnych na podstawie wcześniejszych wyników badań własnych. Charakter ruchu kończyn górnych, jego symetria i amplituda wymachu, w istotny sposób zależały od rodzaju wykonywanej czynności ruchowej. Stosunkowo trudnymi zadaniami do wykonania był chód do tyłu oraz chód tandemowy. Podczas wykonywania tych zadań kilku badanych doświadczyło chwilowej utraty równowagi, co skutkowało szybkimi i wysokimi fluktuacjami wybranych parametrów. Badani z grupy pierwszej uzyskali niższe wartości współczynnika korelacji Pearson'a podczas chodu do tyłu (równe  $0,410 \pm 0,355$ ) w porównaniu do chodu normalnego. W przypadku grupy drugiej średnia wartość współczynnika korelacji Pearson'a dla chodu do tyłu (równa  $0,330 \pm 0,949$ ) jest zbliżona jak w przypadku chodu normalnego dla tej grupy, jednak zmienność analizowanych wartości jest znacznie wyższa. Zarówno w pierwszej jak i w drugiej grupie badanych chód do tyłu charakteryzował się największą zmiennością wartości współczynnika korelacji Pearson'a dla parametru  $AS_{IA}$  pomiędzy poszczególnymi osobami, biorąc pod uwagę wszystkie zadania ruchowe. Niska symetria ruchu kończyn górnych jest także charakterystyczna dla chodu tandemowego, gdzie współczynnik korelacji Pearson'a dla parametru  $AS_{IA}$  wynosił odpowiednio  $0,451 \pm 0,278$  w grupie pierwszej oraz  $0,219 \pm 0,170$  w grupie drugiej. Dla obu grup, w chodzie do tyłu oraz w chodzie tandemowym wartości współczynnika korelacji Pearson'a dla parametru COP-COM pozostają wysokie i cechują się małą zmiennością międzyosobniczą, podobnie jak w chodzie z 3 różnymi prędkościami.

Wysoką zmienność pomiędzy badanymi zaobserwowano dla parametru H podczas wykonywania chodu przez przeszkodę, w szczególności wśród badanych z grupy drugiej. Przekraczanie przeszkody angażuje prawą i lewą stronę ciała w odmienny sposób, co odzwierciedlone jest przez znaczne różnice w wartościach wszystkich analizowanych parametrów pomiędzy kończyną prawą a lewą. W grupie



pierwszej, w przypadku, gdy przeszkoda jest ustawiona przed platformą siłową, symetria ruchu kończyn górnych jest najmniejsza spośród wszystkich zadań ruchowych, gdzie średnia wartość współczynnika korelacji Pearson'a dla parametru  $AS_{IA}$  wynosi  $0,263 \pm 0,238$ . Również w grupie drugiej uzyskano wyjątkowo niskie wartości współczynnika korelacji Pearson'a, równe  $0,090 \pm 0,461$  podczas wykonywania tego zadania. Biorąc pod uwagę obie grupy oraz wszystkie zadania ruchowe, chód przez przeszkodę, z przeszkodą ustawioną przed platformą, cechuje także najniższy współczynnik korelacji Pearson'a dla parametru COP-COM, co wskazuje na gorszą symetrię ruchu kończyn dolnych niż w pozostałych zadaniach ruchowych. W obu grupach współczynnik korelacji Pearson'a dla parametru H, podczas chodu przez przeszkodę z przeszkodą ustawioną przed platformą jest niższy niż w przypadku chodu po prostym torze, wykonywanym z 3 różnymi prędkościami czy chodu tandemowego. W drugiej konfiguracji, gdy przeszkoda jest ustawiona za platformą siłową również odnotowano niską symetrię ruchu kończyn górnych. W grupie pierwszej średnia wartość współczynnika korelacji Pearson'a dla parametru  $AS_{IA}$  wyniosła:  $0,414 \pm 0,266$ , natomiast w grupie drugiej:  $-0,030 \pm 1,077$ . Dodatkowo w obu grupach dla tego zadania ruchowego odnotowano najniższą wartość współczynnika korelacji Pearson'a dla parametru H, biorąc pod uwagę wszystkie zadania ruchowe. W grupie pierwszej wartość ta wynosi:  $0,552 \pm 0,263$ , a w grupie drugiej:  $0,641 \pm 0,355$ .

**Wnioski:** Poczynione obserwacje potwierdzają, iż nie istnieje jeden poprawny wzorec, który opisywałby ruch kończyn górnych podczas chodu u osób zdrowych i zapewniał stabilność dynamiczną. Wśród badanych dostrzeżono istotne różnice w sposobie poruszania kończynami górnymi. U 7 uczestników badania, należących do grupy drugiej, odnotowano niską symetrię ruchu kończyn górnych, która wynikała z mniejszej amplitudy wymachu dla prawej kończyny górnej w stosunku do kończyny lewej. Pomimo niskiej symetrii ruchu kończyn górnych, badani z grupy drugiej nie doświadczali problemów z równowagą podczas wykonywania zadań ruchowych, a ich chód pozostawał stabilny.

Stabilny chód wiąże się z określonym charakterem krzywej dla parametru  $AS_{IA}$  w obu grupach badanych, gdzie charakterystyki te są zależne od % cyklu chodu oraz kinematyki kończyn dolnych, co ma związek z zagadnieniem koordynacji międzykończynowej pomiędzy kończynami górnymi i dolnymi. Największa amplituda wymachu kończyn górnych podczas chodu normalnego i szybkiego następuje w pobliżu chwili uderzenia pięty o podłoże. Dla badanych z grupy pierwszej ma to miejsce w okolicy 50% cyklu chodu zarówno dla prawej jak i lewej kończyny górnej. Natomiast dla grupy drugiej tylko lewa kończyna górna osiąga maksymalną amplitudę wymachu w pobliżu 50% cyklu chodu, z kolei dla prawej kończyny górnej maksymalna wartość parametru  $AS_{IA}$  występuje w 6% cyklu chodu. Niemniej jednak występowanie maksymalnej amplitudy wymachu kończyn górnych w pobliżu chwili uderzenia pięty o podłoże ma tendencję statystyczną w obu grupach, tworząc charakterystyczny stereotyp ruchu kończyn górnych, co sugeruje, że dobra koordynacja międzykończynowa ma istotny wpływ na stabilność ludzkiego ciała podczas chodu.