

Michalina BŁAŻKIEWICZ¹, Justyna KĘDZIOREK¹, Sylwia BAŃKOWSKA¹, Andrzej WIT¹

¹Katedra Nauk Przyrodniczych, Zakład Biomechaniki, Wydział Rehabilitacji, Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, Warszawa

OCENA STABILNOŚCI POSTURALNEJ PODCZAS STRZELANIA Z ŁUKU*

Streszczenie: Celem pracy była ocena stabilności posturalnej podczas strzelenia z łuku. W badaniach wzięły udział dwie grupy: zawodowi łucznicy oraz amatorzy, tzn. osoby, które nigdy nie strzelały z łuku. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu systemu Vicon i platform Kistler. Do obliczeń zostały eksportowane położenia środka masy ciała. Następnie została policzona długość drogi CoM w przestrzeni 3D oraz współczynniki entropii próbkowej. Wykazano, że długość drogi CoM w przestrzeni 3D jest istotnie ($p = 0.0001$) dłuższa u łuczników podobnie jak współczynnik entropii próbkowej wzdłuż osi pionowej ($p = 0.0117$).

Słowa kluczowe: stabilność posturalna, entropia, łucznictwo, biomechanika

1. WSTĘP

Łucznictwo jest opisane jako sport statyczny wymagający precyzyjnej kontroli ruchu, właściwej wytrzymałości i siły mięśni górnej części ciała oraz zdolność do utrzymania równowagi [1, 4]. Analiza posturalna może być przeprowadzona osobno w trzech fazach ruchu: (i) konfiguracji, (ii) celowania oraz (iii) zwolnienia. Najważniejszymi fazami decydującymi o sukcesie każdego strzału są: celowanie i uwalnianie [1]. Gdy łucznik celuje i ustala pozycję ramion, fluktuacje ciała muszą być minimalne w celu wyrównania pozycji strzały z celem, a rzut środka ciężkości ciała powinien padać na pole powierzchni podparcia [4]. Kiedy ruchy posturalne zostają zminimalizowane, łucznik może łatwo skupić się na samym celu [1]. Kontrola posturalna jest powiązana z poziomem umiejętności łuczników, a bardziej doświadczeni zawodnicy wykazują większą zdolność kontroli postawy tuż przed strzałem [5]. Ruchy środka ciężkości ciała, występujące we wszystkich kierunkach podczas celowania a szczególnie w momencie uwalniania strzały z łuku, mają niekorzystny wpływ na wynik strzelania [7]. Celem pracy była ocena stabilności posturalnej osób strzelających z łuku przy wykorzystaniu parametrów dynamiki nieliniowej oraz miar tradycyjnych.

2. MATERIAŁ I METODY

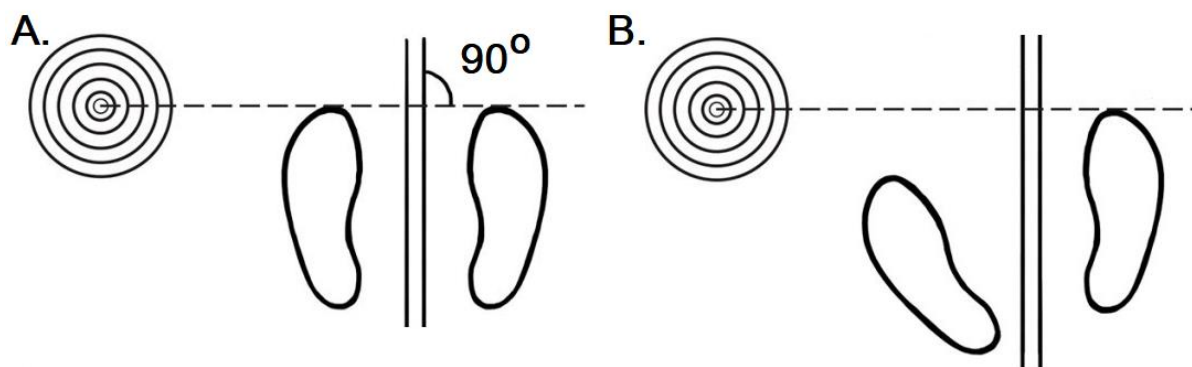
W badaniach wzięło udział 17 łuczników oraz 15 osób, które nigdy nie strzelały z łuku sportowego ani z żadnego innego rodzaju łuku. Grupa łuczników - to zawodnicy, którzy

należą lub należeli do kadry narodowej oraz odnosili krajowe i międzynarodowe sukcesy sportowe. Charakterystyka grup badanych znajduje się w Tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka grup badanych i siły naciągu łuku

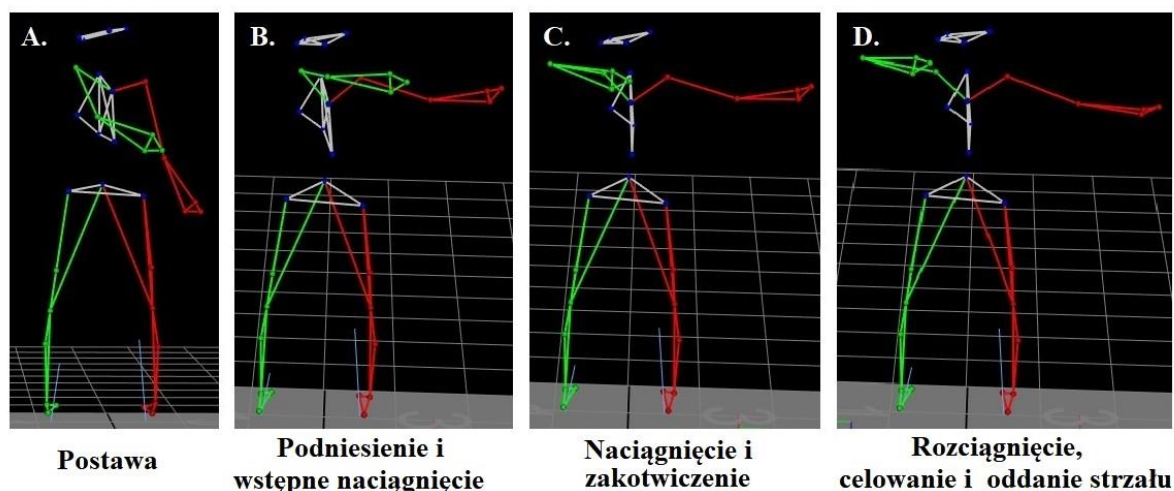
Grupa	Masa ciała [kg]	Wiek [lata]	Wysokość ciała [cm]	Staż treningowy [lata]	Siła naciągu łuku (min-max) [Lbs]
<i>Łucznicy</i> (n = 17)	73.07 ± 16.18	23.47 ± 9.25	176 ± 9.18	11.07 ± 7.92	36 - 40
<i>Amatorzy</i> (n = 15)	73.27 ± 16.72	27.8 ± 7.95	176 ± 13.45	0	30

Badania zostały przeprowadzone przy użyciu systemu Vicon (Vicon Motion Systems Ltd, UK), zsynchronizowanego z dwoma platformami firmy Kistler (Kistler Holding AG, CHE). Częstotliwość rejestracji systemu Vicon została ustalona na 100 Hz. Na ciele badanych umieszczono 34 markery zgodnie ze schematem Plug-In-Gait. W trakcie badania każdy z łuczników oddawał kilka strzałów do znajdującej się w odległości 5 metrów od platform tarczy. Łucznicy wykonywali celne strzały, natomiast osoby z grupy kontrolnej (amatorzy) tylko naciągali cięciwę, bez spuszczenia strzały z łuku. Każdy z profesjonalnych łuczników miał swój łuk o sile naciągu ustawionej między 36 a 40 Lbs. Natomiast dla amatorów siła naciągu łuku była równa 30 Lbs (Tabela 1). Amatorzy przed wykonaniem prób właściwych nie byli uczeni techniki, tylko obserwowali, jak wykonują zadanie profesjonalni łucznicy. Każdy z badanych amatorów przyjmował pozycję neutralną (Rys. 1A). Stopy w trakcie strzału były ustawione równoległe do siebie, rozstawione na szerokość ramion tak, że cały układ był prostopadły w stosunku do celu. Natomiast zawodowi łucznicy przyjmowali tzw. pozycję otwartą (Rys. 1B). Pozycje przyjmowane przez osoby badane nie były narzucane przez protokół badań, natomiast takie tendencje zostały zauważone w grupach. Do dalszej analizy zostały wybrane najlepsze próby, pozbawione błędów losowych.



Rys. 1. Postawy łucznicze podczas pomiarów: A. neutralna (grupa kontrolna), B. otwarta (grupa łuczników)

Na cele niniejszej pracy wykorzystano parametry położenia środka ciężkości ciała w trakcie całego ruchu dla płaszczyzny poprzecznej, strzałkowej i czołowej, oraz czas trwania całego ruchu. Cały ruch składał się z następujących sekwencji: postawa wyjściowa, podniesienie i wstępne naciągnięcie cięciwy, naciągnięcie i zakotwiczenie (oparcie ręki cięciwnej pod żuchwą), rozciągnięcie i oddanie strzału (Rys. 2).



Rys. 2. Kolejne sekwencje ruchu łuczników podczas pomiarów: A. Postawa wyjściowa, B. Podniesienie i wstępne naciągnięcie cięciwy, C. Naciągnięcie i zakotwiczenie, D. Rozciągnięcie, celowanie i oddanie strzału

Na podstawie wzoru (1) została policzona długość drogi CoM w każdej płaszczyźnie.

$$CoM = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (1)$$

Przy użyciu programu MatLab (MathWorks, USA) został policzony współczynnik entropii próbkowej – SampEn (m , r , N) (2), we wszystkich trzech kierunkach (x , y , z), gdzie: x – ruchy boczno - przyśrodkowe, y – ruchy przód - tył, z – ruchy góra - dół. Współczynnik ten stosuje się do oceny regularności sygnałów fizjologicznych przedstawionych w postaci szeregów czasowych. Entropia oblicza prawdopodobieństwo, że sekwencja m punktów, powtarzających się w granicach tolerancji r , również powtarza się dla $m + 1$ punktów. Mniejsze wartości entropii są związane z większą regularnością sygnału.

$$SampEn = -\ln \frac{A^m(r)}{B^m(r)} \quad (2)$$

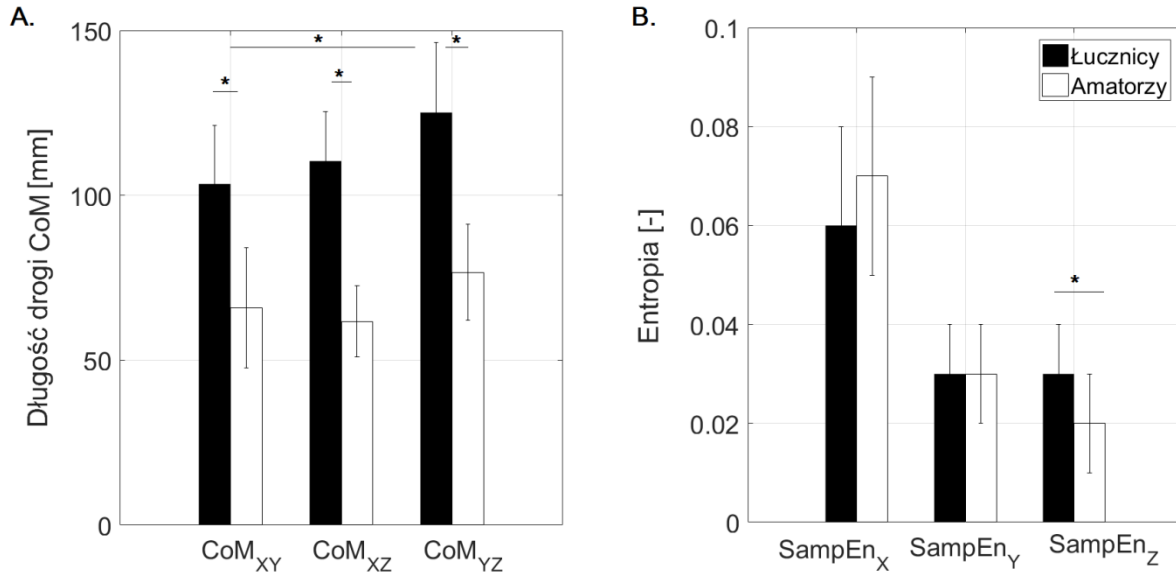
B^m - oznacza prawdopodobieństwo, że dwie sekwencje danych będą do siebie podobne dla m punktów; A^m - prawdopodobieństwo, że będą do siebie podobne również dla $m+1$ punktów. Wartość entropii stanowi prawdopodobieństwo, że dwie sekwencje danych o długości m różniących się wartościami o nie więcej niż r pozostaną do siebie podobne w kolejnych punktach pomiaru. SampEn jest w dużej mierze niezależna od długości danych [6].

Analiza statystyczna została wykonana w programie Statistica v.12 (StatSoft, USA), dla poziomu istotności $p \leq 0.05$. W celu sprawdzenia normalności rozkładów poszczególnych parametrów przeprowadzono test Shapiro-Wilka, natomiast dalszą analizę wykonano przy użyciu nieparametrycznego testu U-Mann Whitney'a. Dla porównań wewnątrz grupy łuczników użyto test t-Studenta.

3. WYNIKI

Po przeprowadzeniu testu normalności Shapiro-Wilka dla parametrów: czasu trwania ruchu, entropii i drogi CoM w każdej z płaszczyzn wykazano, że w grupie łuczników wszystkie zmienne mają rozkład normalny, natomiast w grupie kontrolnej zmienne mają rozkład różny od normalnego. Wykazano, że czas trwania ruchu (2.89 ± 0.58) sek w grupie kontrolnej był istotnie krótszy ($p = 0.0021$) w porównaniu do tego uzyskanego w grupie łuczników ($5.16 \pm$

1.68) sek. Taki wynik wpłynął na długość ścieżki CoM, która w grupie łuczników była istotnie dłuższa ($p = 0.0001$) w każdej z płaszczyzn (Rys. 3A). W grupie łuczników, istotnie ($p = 0.0256$) dłuższa ścieżka CoM była zanotowana w płaszczyźnie strzałkowej (125.1 ± 21.33 mm) w porównaniu do czołowej (110.30 ± 14.92 mm) oraz poprzecznej (103.44 ± 17.68 mm).



Rys. 3. Parametry w grupie łuczników i amatorów dla każdej z płaszczyzn (XY - płaszczyzna poprzeczna, XZ – płaszczyzna czołowa, YZ – płaszczyzna strzałkowa): A. długości środka parcia stóp na podłoże podczas strzelania z łuku oraz B. wartości współczynników entropii

Dodatkowo wykazano między grupowe różnice istotne statystycznie dla porównania współczynnika entropii liczonego wzdłuż osi pionowej (SampEn_Z) $p = 0.0117$ (Rys. 3B). Wewnątrz grupowe różnice istotne statystycznie ($p = 0.0111$) wykazano dla grupy łuczników w kombinacji współczynnika entropii liczonego wzdłuż osi boczno - przyśrodkowej (SampEn_X) oraz przednio - tylnej (SampEn_Y) a także (SampEn_X) vs. (SampEn_Z) ($p = 0.0084$).

4. DYSKUSJA

Łucznicтво, to sport wymagający dużej wytrzymałości mięśni kończyn górnych i tułowia a także bardzo dobrej koordynacji nerwowo - mięśniowej odpowiedzialnej za utrzymanie równowagi [1]. Zmysł wzroku oraz koordynacja ręka - oko odgrywają istotną rolę i decydują o wygranej. Dlatego też, celem niniejszej pracy była ocena stabilności posturalnej osób strzelających z łuku przy wykorzystaniu parametrów dynamiki nieliniowej oraz miar tradycyjnych.

W niniejszej pracy, nie zostały wyliczone tylko fluktuacje CoP, ale przeprowadzono dodatkowo analizę ruchu CoM w przestrzeni 3D, co pozwoliło na wyliczenie drogi CoM we wszystkich trzech płaszczyznach podczas stabilizacji postawy, celowania i uwalniania strzały. Wykazano, że grupa łuczników cechuje się istotnie dłuższą drogą CoM we wszystkich trzech płaszczyznach w porównaniu do grupy kontrolnej, co było związane z czasem trwania ruchu oraz jak się okazuje innym zadaniem ruchowym. Grupa kontrolna miała inne warunki ruchu, tzn. osoby z tej grupy nie koncentrowały się na jednym punkcie odniesienia. Amatorzy wykonywali tylko ruch naciągnięcia cięciwy oraz jej rozluźnienia, natomiast nie oddawali strzału. Zatem były to osoby, które nie musiały poświęcić czasu na stabilizację postawy i kończyn górnych w celu oddania strzału. Natomiast, grupa zawodników miała za zadanie strzelić w środek tarczy.

Wydaje się, że prosta analiza długości drogi CoM nie jest wystarczająca do oceny problemu kontroli postawy w łucznictwie. Przedstawione w literaturze [3] miary oceny złożoności systemu kontroli postawy, przy użyciu parametru środka parcia stóp na podłoże (CoP) pozwalają podzielić je na dwie kategorie: miary liniowe i miary nieliniowe. Wymiar fraktalny, entropia oraz współczynnik Lapunowa należą do grupy miar tzw. dynamiki nieliniowej oceniających poziom chaosu w danym zjawisku. Natomiast długość ścieżki CoP i średnia prędkość kołysania określają zakres i amplitudę ruchów CoP podczas określonego zadania i ich wariacji obecnej w zbiorze wartości i są to tzw. narzędzia liniowe. W biomechanice, współczynnik entropii próbkowej stosuje się do oceny regularności sygnałów fizjologicznych przedstawionych w postaci szeregów czasowych. Mniejsze wartości entropii są związane z większą regularnością sygnału.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że przedstawiony parametr liniowy (droga CoM) jest silnie zależny od czasu. Natomiast zgodnie z pracą [6], współczynnik entropii próbkowej nie zależy od długości analizowanych danych, czyli od czasu. Wykazano, że współczynnik entropii dla ruchów przód – tył (płaszczyzna strzałkowa) wyniósł w obydwu grupach 0.03 i jest on o połowę niższy niż ten uzyskiwany dla ruchów bocznych. Istotnie wyższy wynik w grupie łuczników ($SampEnz = 0.03$), świadczy o nieregularności trajektorii oraz o większych pionowych fluktuacjach ruchu związanych z wysiłkiem celowania do tarczy. Możliwe, że takie ruchy są związane z łatwiejszą dla człowieka korekcją postawy w płaszczyźnie strzałkowej [2], albo z ruchami kończyny łucznej.

Podsumowując, stabilność podczas strzelania musi być utrzymana na najwyższym poziomie, aby uzyskać dobre wyniki trafień. Jednym z ważniejszych składników w utrzymywaniu stabilności strzelania jest eliminacja drgań ciała i koncentracja, która wydaje się być głównym czynnikiem wpływającym na wydajność strzelania. Dlatego też, wydaje się, że w porównaniu do tradycyjnej analizy COP, ocena stabilności posturalnej przy pomocy miar dynamiki nieliniowej daje dodatkowe informacje na temat stabilności posturalnej i czynników mających wpływ na celność strzelania.

LITERATURA

- [1] Balasubramaniam R., Riley M., Turvey M.: Specificity of postural sway to the demands of a precision task, *Gait and Posture*, vol. 11, 2000, p.1224.
- [2] Błażkiewicz M., Wiszomirska I., Kaczmarczyk K., Wit A.: Types of falls and strategies for maintaining stability on an unstable surface, *Medycyna Pracy*, vol. 69, no. 3, 2018, p. 1-8.
- [3] Donker S., Roerdink M., Greven A., Beek P.: Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control, *Exp Brain Res*, vol. 181, 2007, p.1–11.
- [4] Ertan H., Knicker A., Soylu R., Struder H.: Individual Variation of Bowstring Release in High Level Archery: A Comparative Case Study, *Human Movement*, vol. 12, no. 3, 2011, p.273-276.
- [5] Hrysomallis C.: Balance ability and athletic performance, *Sports Medicine*, vol. 41, no. 3, 2011, p.221-232.
- [6] Montesinos L., Castaldo R., Pecchia L.: On the use of approximate entropy and sample entropy with centre of pressure time-series, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 15, 2018, p.116.
- [7] Tinazci C.: Shooting dynamics in archery: A multidimensional analysis from drawing to releasing in male archers, *Procedia Engineering*, vol. 13, 2011, p.290-296.

EVALUATION OF POSTAL STABILITY DURING ARCHERY

Abstract: The aim of the work was to assess postural stability during archery. Two groups participated in the study: professional archers and amateurs, i.e. people who never shot a bow. The tests were carried out using the Vicon system and Kistler platforms. Body mass center positions were exported to calculations. Next, the CoM distance in 3D space and sample entropy coefficients were calculated. It was shown that the distance of the CoM path in 3D space is significantly ($p = 0.0001$) longer in archers, similarly as the sample entropy coefficient along the vertical axis ($p = 0.0117$).

* Praca realizowana w ramach projektu DS.-257 Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Rehabilitacji