

Sylwia ŁAGAN¹, Justyna STOPKA²

¹Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska, Kraków

²Studenckie Koło Naukowe Inżynierii Biomedycznej CANCRICAT przy Zakładzie Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska, Kraków

OCENA PARAMETRÓW STÓP U DZIECI TRENUJĄCYCH SZERMIERKĘ METODĄ PODOSKOPII KOMPUTEROWEJ – ANALIZA INDYWIDUALNYCH PRZYPADKÓW

Streszczenie: Celem badań była analiza porównawcza parametrów stóp, postawy szermierczej względem postawy anatomicznej, oznaczanych za pomocą podoskopu komputerowego. Ocenie poddano wybrane parametry tj.: kąt Clarke'a, indeks stopy oraz współczynnik Wejsfloga. Analizowano stopę nogi zakroczonej oraz wykroczonej. Badaną grupę stanowiło 12-ścioro dzieci w wieku 6-12 lat trenujących szermierkę w ramach zajęć dodatkowych. Wyniki ujawniły asymetrię pomiędzy stronami dominującą i niedominującą oraz różnice w oznaczanych parametrach i w rozkładach nacisków stóp pomiędzy analizowanymi postawami.

Słowa kluczowe: kąt Clarke'a, indeks stopy, współczynnik Wejsfloga, postawa szermiercza

1. WSTĘP

Szermierka to dyscyplina olimpijska, w której zawodnicy nawiązują kontakt z przeciwnikiem za pomocą broni. Działania szermierzy charakteryzują dynamiczne oraz harmoniczne ruchy wszystkich części ciała. Studia literaturowe ujawniają dwa nurty badań szermierzy. Biomechaniczne badania reakcji ciała w działaniach szermierczych oraz urazowość wśród zawodników. Wyznacza się szereg parametrów kinetyczno/kinematycznych kończyn dolnych z wykorzystaniem rejestracji video oceniając zakresy kątów w stawach kończyn dolnych i górnych oraz czasów reakcji działań szermierczych [1, 3, 4]. Prowadzone są prace na temat efektywności, celności i szybkości zawodników [6], koordynacji mięśni kończyn dolnych podczas konkretnego działania szermierczego oraz określane są związki między aktywacją mięśni, siłą mięśni i skutecznością wypadu [5], jak i badania zmian antropomorfologicznych [10, 11, 12]. Badania kliniczne z zakresu występowania urazów, zarówno u zaawansowanych jak i początkujących szermierzy, wykazały, że kontuzje i bóle dotyczą ok. 93% wszystkich szermierzy [7]. Pomimo rzadkich przypadków ciężkiego urazu spowodowanego penetracją (przebicie złamanymi ostrzami 2,7÷3,2%). Około 52% z 610 wszystkich zgłoszonych urazów to naciągnięcia i zwichnięcia. W przypadku kończyny dolnej 19,6%, 15,2% i 13,0% dotyczy odpowiednio urazów kolan, uda i kostki. Urazy podnoszą ryzyko przewlekłej zachorowalności, polegającej głównie na bólu rzepki i ścięgna Achillesa [2]. Współczynnik urazu oceniany na grupie 279 badanych wynosił odpowiednio: 22,3% urazy głowy, 36,5% zwichnięcia, 28,3%

naciągnięcia, 10,4% złamania, 40,6% krwiaków [14]. Zrozumienie biomechaniki i wymagań sportu stanowi drogę do zapobiegania urazom i promocji bezpieczeństwa.

Stopa człowieka bazuje na mocnych, sprężystych wysklepieniach: podłużnym i poprzecznym, które dźwigają ciężar całego ciała. Stopa pełni funkcję lokomocyjną oraz podporowo-nośną. Zaburzenia w funkcjonowaniu stopy generują przeciążenia, które wpływają na jej stan fizyczny, sprawność stawu skokowego i kolanowego, a także dolnego odcinka kręgosłupa. Pracując nad prawidłowym ustawieniem stopy możliwe jest odtworzenie odpowiednich warunków biomechanicznych, które umożliwiają właściwe rozłożenie obciążenia, a zatem wyeliminowanie problemów z ustawieniem osiowym [13]. Szczególnie ważną staje się identyfikacja stanu parametrów stopy u dzieci rozpoczynających treningi, ponieważ specyfika szermierki wymusza u zawodnika serię ruchów powodujących pogłębiającą się asymetrię. Asymetria morfologiczna i funkcjonalna kończyn dolnych u młodych zawodników powinna być niwelowana, aby opóźnić procesy zmian przeciążeniowych [9].

Ujawniony w dostępnej literaturze brak danych dotyczących oceny parametrów stóp szermierzy oraz wpływu postawy zawodnika i jego stażu treningowego na asymetrię kończyn przyczynił się do podjęcia niniejszego tematu. Celem pracy była analiza parametrów stóp wykroczonej i zakroczonej w postawie szermierczej z wykorzystaniem podoskopu komputerowego. Otrzymane wyniki pozwolą wskazać wpływ postawy szermierczej na zmianę parametrów stopy oraz rozkładu nacisków względem pozycji anatomicznej, wyprostowanej. Badania mają charakter pilotażowy i nowatorski. Z punktu widzenia kontroli symetrii rozwoju dzieci trenujących szermierkę wprowadzenie cyklicznych badań parametrów stóp pozwoli na śledzenie zmian rozwojowych i właściwy dobór procedur treningowych.

2. MATERIAŁ I METODY

2.1. Charakterystyka grupy uczestników

Pomiary zostały przeprowadzone w grupie liczącej 12-ścioro dzieci, w wieku 6-12 lat (3 K i 9 M), ćwiczących szermierkę w ramach zajęć dodatkowych (dwa razy w tygodniu po 90 min). Grupa zróżnicowana pod względem wieku, płci oraz stażu treningowego, biorąca udział w zawodach wg harmonogramu Polskiego Związku Szermierczego. Tabela nr 1 prezentuje ogólną charakterystykę grupy oraz wartości średnie \pm SD (odchylenie standardowe).

Tabela 1. Charakterystyka grupy badanej

Nr os.	Wzrost [cm]	Masa [kg]	Płeć [K/M]	Wiek [lata]	Staż treningowy [lata]	Strona dominująca
1	127	24	K	8	2	prawa
2	133	25	K	8	1	lewa
3	163	53	K	11	5	prawa
4	137	32	M	9	2	prawa
5	120	23	M	6	1	prawa
6	147	34	M	12	2	prawa
7	125	21	M	8	1	prawa
8	161	45	M	11	4	prawa
9	130	27	M	8	1	prawa
10	124	25	M	7	1	prawa
11	141	40	M	10	4	prawa
12	124	24	M	7	1	prawa
Średnia \pm SD	136,0 \pm 13,8	33,1 \pm 9,7	-	8,7 \pm 1,8	2,1 \pm 1,8	-

2.2. Procedura pomiarowa

Dokonano analizy wybranych parametrów stopy tj.: kąt Clarke'a, indeks stopy oraz współczynnik Wejsfloga. Wykorzystując podoskop komputerowy z oprogramowaniem EIPodo 2.10. Zintegrowaną z podoskopem kamerą wykonano rejestrację zdjęcia stóp w pozycji wyprostowanej, anatomicznej (zdjęcie referencyjne) oraz zdjęcie stopy nogi wykroczonej i zakroczonej w pozycji wyjściowej zawodnika tzw. szermierczej. Podczas pozycji szermierczej zawodnicy trzymali broń (szpadę). W prawidłowej postawie szermierczej zawodnik dla stopy zakroczonej i wykroczonej powinien posiadać porównywalne wartości parametrów. Środek ciężkości ciała powinien znajdować się w połowie odległości pomiędzy piętami zawodnika. Stopa wykroczonej zgodnie z kierunkiem broni, stopa zakroczonej w odległości 2÷2,5 długości stopy zawodnika pod kątem prostym. Następnie wykorzystując możliwości oprogramowania oznaczano punkty charakterystyczne podeszwy stopy (rys.1). Położenie każdego punktu oznaczano dwukrotnie w celu minimalizacji błędu pomiarowego. Dokładność pomiaru wynosiła 1 mm, natomiast wartości parametrów podawano z dokładnością 10^{-1} jednostki podstawowej parametru ($^{\circ}$, % oraz cm).

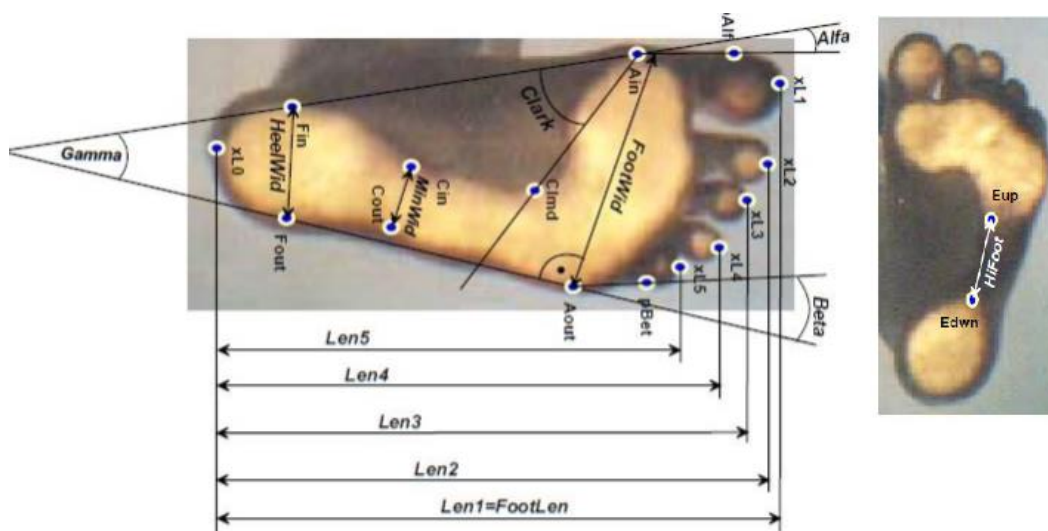
2.3. Metody analizy

Na podstawie lokalizacji punktów charakterystycznych, za pomocą zaimplementowanych w programie algorytmów obliczeniowych, wyznaczano wartości parametrów oraz przeprowadzono automatyczną klasyfikację stóp

Kąt Clark'a służy ocenie stanu wysklepienia podłużnego stopy. Zlokalizowany jest pomiędzy styczną przyśrodkowego brzegu podeszwy stopy, a linią, która łączy punkt największego wgłębienia, a także zetknięcia stycznej przyśrodkowej z brzegiem przodostopia. Norma zakresów kątowych, wykorzystana do klasyfikacji stóp przyjmuje odpowiednio dla chłopców i dziewczynek w wieku do 9-ciu lat $34^{\circ}\div 49^{\circ}$ oraz $39^{\circ}\div 50^{\circ}$, natomiast dla przedziału wiekowego 10÷12 lat $36^{\circ}\div 49^{\circ}$ oraz $39^{\circ}\div 50^{\circ}$ [8].

Indeks stopy opisuje wysklepienie stopy, jest charakterystyczny dla stopy normalnej i płaskiej. Wyrażony w procentach ilorazu najmniejszej szerokości podparcia stopy i szerokości stopy: $\text{FootIdx} = (\text{MinWid}/\text{FootWid}) \cdot 100$ [%] (rys.1). Norma indeksu stopy przyjmuje wartości z trzech przedziałów: poniżej 25% typ 1, 25÷40%, typ 2, 40÷45 typ 3. Natomiast stopa płaska identyfikowana jest w przedziałach 45÷50% typ 1, 50÷60% typ 2 oraz 60÷100% typ 3. W przypadku stopy wydrążonej podaje się parametr „high-foot”; poniżej 1,5 cm opisujący typ 1, w przedziale 1,5÷3,0 cm typ 2 oraz powyżej 3,0 typ 3 [8].

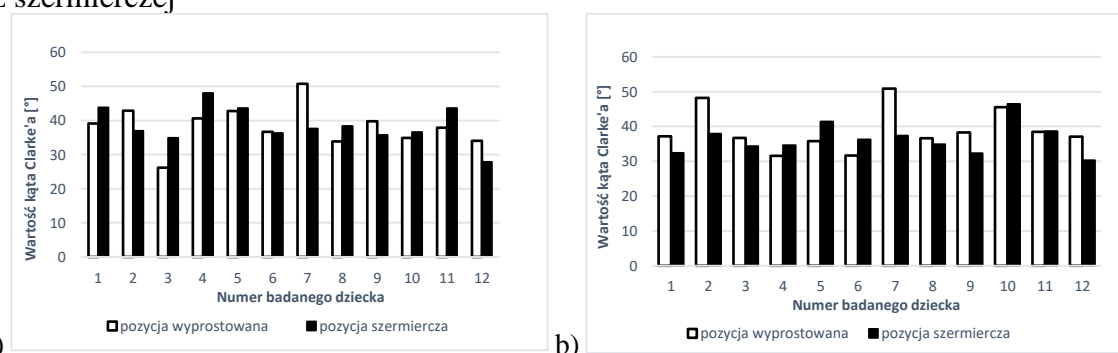
Współczynnik Wejsfloga służy do oceny wysklepienia poprzecznego. Wyznacza się go jako stosunek najmniejszej szerokości podparcia stopy do szerokości stopy w miejscu, w którym zaobserwowano najmniejszą szerokość podparcia, pomnożone przez 100% (rys.1). Według współczynnika Wejsfloga stopę klasyfikuje się jako wydrążoną poniżej wartości 27%, w przedziale 27÷38% jako stopę prawidłową, natomiast dla przedziału 38÷100% jako stopę płaską [8].



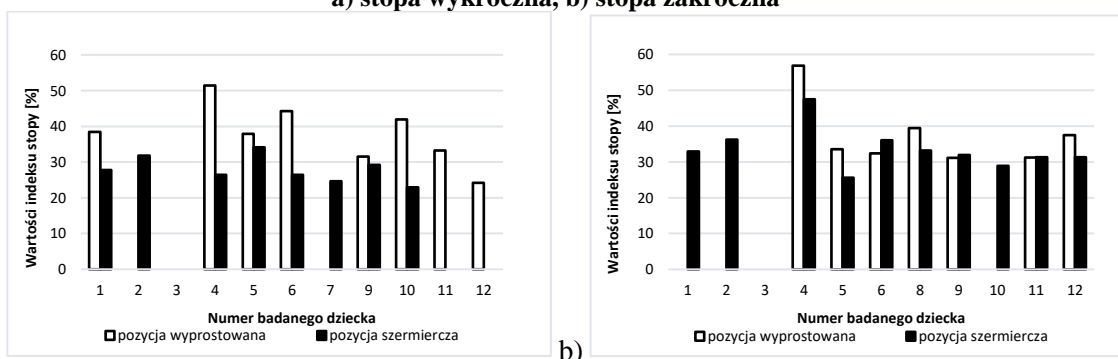
Rys. 1. Lokalizacja punktów charakterystyki stopy [widok z programu EIPodo]

3. WYNIKI

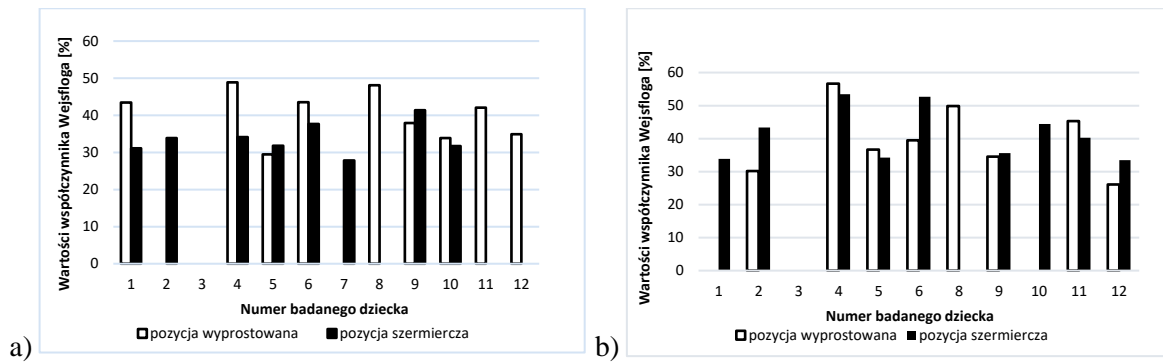
Na podstawie algorytmów obliczeniowych programu EIPodo wygenerowano wartości parametrów stóp zakroczonej i wykroczonej zawodników trenujących szermierkę, biorących udział w badaniu. Na rysunkach 2÷5 zestawiono porównanie wartości dla pozycji anatomicznej oraz szermierczej



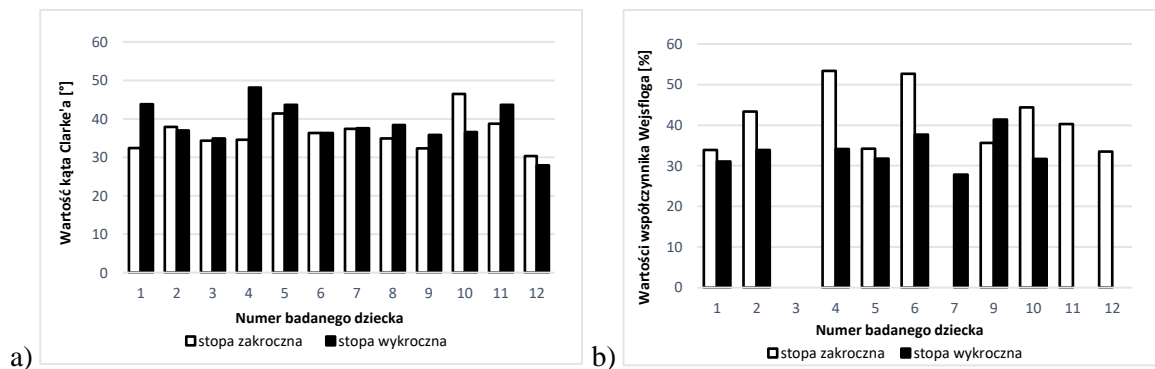
Rys. 2. Porównanie zmiany parametru kąta Clarke'a pomiędzy postawą wyprostowaną a szermierczą:
a) stopa wykroczonej, b) stopa zakroczonej



Rys. 3. Porównanie zmiany parametru indeksu stopy pomiędzy postawą wyprostowaną a szermierczą:
a) stopa wykroczonej, b) stopa zakroczonej



Rys. 4. Porównanie zmiany parametru współczynnika Wejsłoga pomiędzy postawą wyprostowaną a szermierczą: a) stopa wykroczna, b) stopa zakroczna



Rys. 5. Porównanie parametrów stóp wykrocznej i zakrocznej w pozycji szermierczej: a) kąt Clarke'a, b) współczynnik Wejsłoga

Na podstawie zdjęć uzyskanych metodą podoskopową można wykryć nieprawidłowości w ustawieniu stopy. Poniżej przedstawiono zdjęcia wybranych zawodników, charakteryzujące się szczególnymi zmianami obserwowanych parametrów (rys.6).

Zawodnik 1		Zawodnik 2		Zawodnik 12	
Postawa anatomiczna					
St.wykroczna	St.zakroczna	St.zakroczna	St.wykroczna	St.wykroczna	St.zakroczna
Postawa szermiercza					
St.wykroczna	St.zakroczna	St.zakroczna	St.wykroczna	St.wykroczna	St.zakroczna

Rys. 6. Zdjęcia z podoskopu komputerowego w pozycji wyprostowanej i w postawie szermierczej

4. Dyskusja

4.1 Parametr kąta Clarke'a

Analizując wartości kąta Clarke'a dla pozycji anatomicznej zaobserwowano, że zakres prawidłowy dla obu stóp osiągnęły osoby nr 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12. W przypadku osób nr 1, 4 i 8 jedna ze stóp jest prawidłowa, natomiast druga mieści się w zakresie stopy obniżonej. Według kryterium Clarke'a chłopiec nr 7 posiada obie stopy wydrążone, zawodnik nr 3 posiada zakroczną stopę obniżoną a wykroczną płaską (rys.2a). Porównując wartości parametrów stopy wykroczonej oraz zakrocznej odpowiednio z postawy anatomicznej z wartościami parametrów stopy postawy szermierczej zauważono znaczne różnice kąta Clarke'a (rys. 2b). Najmniejszą rozbieżność wyników zaobserwowano u dzieci nr 5, 6 ($0,8^\circ$ i $0,4^\circ$), największa dysproporcja wystąpiła u dziecka nr 7 ($13,2^\circ$). W przypadku stopy zakrocznej, najmniejsza różnica wystąpiła u dzieci nr 10 i 11 ($0,9^\circ$ i $0,2^\circ$), natomiast największa dysproporcja wystąpiła u chłopca nr 7 (dla stopy zakrocznej $13,5^\circ$).

W pozycji szermierczej dobre wyniki posiada chłopiec nr 6 (rys.5a) dla obu stóp wartości kąta Clarke'a wynoszą $36,3^\circ$. W przypadku dzieci nr: 2, 3, 7 badane parametry różnią się nieznacznie ($<1^\circ$). Duża różnica wyników została zaobserwowana u dzieci nr 1, 4, 10 (maksymalna różnica wyniosła $13,5^\circ$).

4.2 Parametr indeksu stopy

Oceniając parametr indeksu stopy (rys.3) w pozycji anatomicznej dla dziewczynek wyznaczono jego wartość jedynie dla prawej stopy zawodniczek nr 1 i 2, obie mieszczą się w zakresie prawidłowym. Pozostałe przypadki, na podstawie parametru „high foot” określono jako stopy wydrążone. Natomiast zauważono, że pod względem indeksu stopy, chłopiec nr 4 posiada stopy płaskie, chłopiec nr 7 stopy wydrążone, natomiast dla dziecka nr 10 zakroczna stopa mieści się w zakresie stóp wydrążonych, a wykroczna w zakresie prawidłowym. W pozostałych przypadkach stopy określone są jako prawidłowe.

W przypadku postawy szermierczej otrzymane wyniki indeksu stopy są bardziej zróżnicowane. Największe zróżnicowanie wyników posiada chłopiec nr 4 (25%), natomiast zbliżone wartości zaobserwowano u dziecka nr 9, różnica wynosi 2,3%. Dla osoby nr 3 oraz 8 wyznaczenie indeksu stopy było niemożliwe ze względu na wydrążenie stopy. Największe podobieństwo indeksu stopy zakrocznej w postawie szermierczej do postawy wyprostowanej zauważono u dziecka nr 11. Różnica wartości wynosi zaledwie 2%. Natomiast największą różnicę wyników zaobserwowano w przypadku dziewczynki nr 2. W pozycji wyprostowanej wartość parametru „high foot” wynosi 5,4 cm, co świadczy o dużym stopniu wydrążenia. Jednak w pozycji szermierczej występuje indeks stopy o wartości 31,8%, co odpowiada prawidłowemu wysklepieniu stopy.

4.3 Parametr współczynnika Wejsfloga

Według kryterium Wejsfloga w pozycji anatomicznej (rys.4) zakroczna stopa dziewczynki nr 2 mieści się w zakresie prawidłowym, natomiast wykroczna stopa dziewczynki nr 1 została określona jako stopa płaska I stopnia. W pozostałych przypadkach dziewczynek niemożliwe było wyznaczenie współczynnika opisującego wysklepienie stopy. Natomiast w grupie chłopców stopy prawidłowe określono dla nr 5 i 9. Chłopcy nr 4, 6, 8, 11 posiadają stopy płaskie. W przypadku osoby nr 12 wykroczna stopa postawy anatomicznej jest prawidłowa, jednak zakroczna mieści się w zakresie stopy wydrążonej. Chłopiec nr 10 posiada wykroczną stopę prawidłową, dla zakrocznej stopy nie uzyskano wartości współczynnika Wejsfloga. Największe podobieństwo wyników zaobserwowano u dzieci

nr 5 i 10 (2,3% i 2,2%). Największa rozbieżność występuje u chłopca nr 4, gdzie wynosi 14,8%. W przypadku dzieci nr 8, 11 i 12 badane parametry w postawie wyprostowanej są stosunkowo wysokie.

Analizując wartości współczynnika Wejsfloga w porównaniu do pozycji szermierczej (rys. 5b) zauważono, że najmniejsze różnice występują u dzieci nr 1 i 5 (odpowiednio 2,8% oraz 2,4%). Największą różnicę 19,3% zaobserwowano u dziecka nr 4.

Podsumowując wszystkie parametry, dla 3 osób (25%) uzyskano podobną ocenę stóp w pozycji anatomicznej, w każdym z przyjętych kryterium.

4.4. Rozkład nacisków

Porównując wpływ przyjętej postawy na rozkłady nacisków stóp, wybranych zawodników (rys.6) zauważono znaczne różnice w obrazie stopy zawodnika nr 1, zakrocza stopa w pozycji wyprostowanej jest wydrążona, natomiast w pozycji szermierczej zaobserwowano nacisk w miejscu śródstopia. W przypadku stopy zakroczonej występuje zwiększony nacisk na zewnętrzną część stopy. Dla zawodnika nr 2 zaobserwowano dla wykroczonej stopy w pozycji anatomicznej nacisk na wewnętrzną część stopy, natomiast w pozycji szermierczej przechylenie stopy oraz napięcie palców. Zawodnik nr 12 posiada znaczne różnice w obrazie stóp, w przypadku stopy wykroczonej mały palec przechylony jest w stronę zewnętrzną, co świadczy o napięciu palców stopy.

W prawidłowej postawie szermierczej obciążenie stóp powinno być równomierne, podobnie jak w postawie anatomicznej. Porównując otrzymane wyniki stwierdzono różnice w rozkładach nacisków w zależności od postawy. Pomimo nielicznej i zróżnicowanej grupy poddanej badaniu wyraźne różnice świadczą o nieprawidłowej pozycji wyprostowanej lub szermierczej, ewentualnie o wadach stóp. Należy zatem rozszerzyć liczebność grupy, zarówno pod względem płci jak i przedziałów wiekowych, uzasadnione jest to normami zdefiniowanymi w programie podoskopu komputerowego oraz przeprowadzeniem badań statystycznych pod kątem oceny istotności różnic parametrów stopy między postawami. Szermierka jako sport asymetryczny powinna być uprawiana pod kontrolą parametrów anatomicznych, szczególnie w początkowym etapie mającym na celu wypracowania prawidłowej postawy szermierczej i minimalizacji asymetrii oraz urazowości zawodników w wieku rozwojowym.

Planuje się kontynuować badania jako kontrolne dla niniejszej grupy zawodników po rocznym cyklu treningowym jak również rozszerzyć ich zakres o analizy pedobarograficzne rozkładów nacisków i dynamometryczne w wybranych działaniach szermierczych. Staż zawodniczy szermierza wpływa na przeciążenia w obrębie kończyn dolnych, dlatego planuje się uzupełnienie badań o aspekty morfologiczne i funkcjonalne oraz porównanie parametrów pomiędzy stronami dominującą i niedominującą.

5. WNIOSKI

- Podoskop komputerowy może być wykorzystany do kontroli procesu treningowego zawodników trenujących szermierkę.
- Początkujący zawodnicy przyjmują niewłaściwie postawę szermierczą.
- Otrzymane wyniki wskazują, że ocena stóp różni się w zależności od badanego parametru.
- Jedynie 25% badanych uzyskało podobną ocenę stóp, we wszystkich trzech kategoriach.

LITERATURA

- [1] Bottoms L., Greenhalgh A., Sinclair J.: Kinematic determinants of weapon velocity during the fencing lunge in experienced épée fencers. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 15, No. 4, 2013, p. 109-113.
- [2] Chen TL-W, Wong DW-C, Wang Y, Ren S, Yan F, Zhang M (2017) Biomechanics of fencing sport: A scoping review. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12(2).
- [3] Chuanjie Z., Zhengwei F.: Biomechanical analysis of knee joint mechanism of the national women's epee fencing lunge movement. *Biomedical Research*, 2017, Special Issue: S104-S110.
- [4] Gholipour M., Tabrizi A., Farahmand F.: Kinematics analysis of lunge fencing using stereophotogrametry. *World Journal of Sport Sciences*, 2008, vol. 1, p. 32-37.
- [5] Guilhem G., Giroux C., Couturier A., Chollet D., Rabita G.: Mechanical and muscular coordination patterns during a high-level fencing assault. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2014, p. 341-350.
- [6] Gutiérrez-Dávila M., Zingsem C., Gutiérrez-Cruz C., Giles F. J, Rojas F.J.: Effect of uncertainty during the lunge in fencing. *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 13, 2014, p. 66-72.
- [7] Harmer P.A.: Getting to the point: injury patterns and medical care in competitive fencing. *Current Sports Medicine Reports*, vol. 7, 2008, p. 303-307.
- [8] Kasperczyk T.: *Wady postawy ciała- diagnostyka i leczenie*. Wydawnictwo KASPER, Kraków 2004.
- [9] Kawalek K., Ogurkowska M.B.: A comparison of selected biomechanical parameters in speed-endurance athletes. *TRENDS in Sport Sciences*, vol. 2(21), 2014, p. 85-92.
- [10] Serajian A., Ebrahim K., Ahmadizad S.: Comparison of anthropometric and functional characteristics of elite male Iranian fencers in three weapons. *International Journal of Applied Sports Sciences*, vol. 26(1), 2014, p.11-17.
- [11] Sinclair J., Bottoms L.: Gender differences in limb and joint stiffness during the fencing lunge. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 2015, vol. 3, p. 39-44.
- [12] Sterkowicz-Przybycień K.: Body composition and somatotype of elite of polish fencers. *Collegium antropologicum*, vol. 33(3), 2009, p. 765-772.
- [13] Szajna G.: *Polskie piśmiennictwo szermiercze w XIX i XX wieku*, IDP- Ruch dla Kultury, Rzeszów 2007.
- [14] Wauters S., Van Tiggelen D.: Injury profile of longsword fencing in historical european martial arts: a retrospective questionnaire study. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*, 2(2), vol. 7, 2016, p. 81-88.

ASSESSMENT GEOMETRY OF FEET IN CHILDREN TRAINING FENCING USING PODOSCOPE - ANALYSIS OF INDIVIDUAL CASES

Abstract: The aim of the study was a comparative analysis of foot parameters, in fencing posture towards anatomical posture, determined using a podoscope software. The following parameters were analysed: Clarke angle, foot index and Wejsflog factor. Front foot and hind foot were analysed. The study group consisted of 12 children aged 6-12 years training in fencing as part of supplemental activities. The results revealed the asymmetry between dominating and non-dominant side as well as the differences in the measured parameters and the distribution of foot pressures between the analysed postures.