

Zastosowanie systemu czujników bezwładnościowych do diagnozy wydajności układów formalnych w taekwon-do - studium przypadku

-wersja robocza -

Jacek Wąsik, Dariusz Mosler, Tomasz Góra, Dorota Ortenburger

Jan Długosz University of Czestochowa, address: ul. Armii Krajowej 13/15; 42-200 Czestochowa, email: jwasik@konto.pl

Keywords: kicking velocity, precision, dynamic balancing, taekwon-do, movement analysis, kicks kinematics, intentional goal

Wstęp

Układy formalne występują w większości sztuk walki. Powstały one między innymi w celu prowadzenia treningu bez potrzeby posiadania sprzętu i partnera. Przypisuje się im różne znaczenia, ale z pewnością stanowią one katalog technik sztuki walki wybranej sztuki walki. W karate nazywane są „kata”, w kung-fu „forms” w taekwondo WTF „poomse”, w taekwon-do ITF „tule” (lub *patterns*).

W taekwon-do ITF stanowią one istotne znaczenie, ponieważ są one obowiązkowym elementem każdego egzaminu na kolejne stopnie szkoleniowe oraz prestiżową konkurencją w rywalizacji sportowej. Sędziowie na zawodach sportowych wskazują zwycięzcę na podstawie regulaminu współzawodnictwa sportowego. Każdy zawodnik przed rozpoczęciem rywalizacji ma na koncie 10 punktów. W trakcie wykonywania układu sędziowie odejmują punkty za poszczególne błędy. Czynnikiem wpływającymi na ocenę są między innymi rytm, tempo i subiektywna ocena siły obserwatora. Naukę układów formalnych zaczyna się od *Saju Jirugi* (rysunek 1). Sekwencję tych ruchów wykonuje się na prawą i lewą rękę.

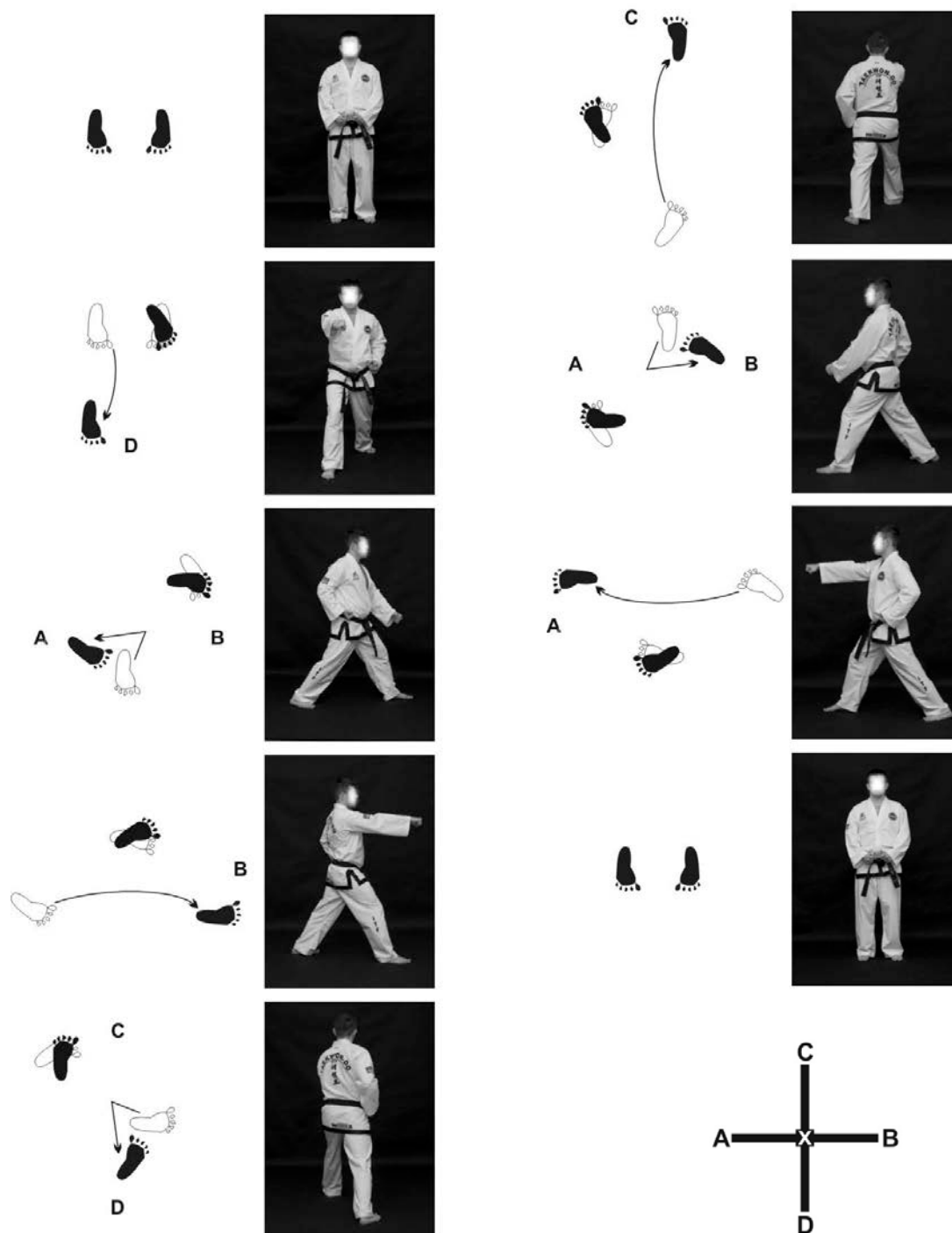
Współczesna biomechaniczna aparatura pomiarowa pozwalająca na obiektywną ocenę takich parametrów jak: czas ruchu, jego prędkość lub przyspieszenie. Składowe te wpływają na poprawność wykonywania podstawowych wzorców ruchowych. W oparciu o kompleksową diagnostykę, można precyzyjnie lokalizować i eliminować tzw. słabe ogniwa, które są indywidualne dla każdego sportowca. Dzięki temu trening może odbywać się w sposób sprawny, bezpieczny i przyjazny. Z dostępnej literatury wynika, że zawodnicy powinni być regularnie poddawani ocenie biomechanicznej, ponieważ pozwala to na monitorowanie postępów treningowych oraz ewentualnych zagrożeń dla zdrowia.

W związku z tym powyższym w celu obiektywnej oceny rytmu (następstwa ruchu w czasie), tempa (szybkości wykonywania ruchów) i dynamiki ruchów podjęto próbę opracowania biomechanicznej oceny monitorowania zawodników w taekwon-do. Postawiono sobie następujące pytania badawcze: jaką prędkość maksymalną uzyskują obie pięści zawodnika podczas wykonania wybranego układu formalnego, jakie elementy wpływają na te prędkości oraz jakie są czasy poszczególnych faz ruchów?

Material

Subject

Analizie poddano zawodnika taekwon-do ITF (International Taekwon-do Federation athletes) (wiek: 30 lat; masa ciała: 56 kg; wysokość ciała: 160 cm). W trakcie pomiaru badany wykonał sekwencję technik pod nazwą *Saju-Jirugi* począwszy od uderzenia prawą ręką, nazywana jedną z półform w taekwon-do ITF wymaganych na biały pas. Składa się ona z czterech uderzeń prostych ręką (*Gunnun So Baro Jirugi*) i trzech bloków na strefę niską (*Gunnun So Bakat Palmok Najunde Maki*). Sekwencje tych ruchów występują na przemienne (rysunek 1).



Rysunek 1. Prezentacja wykonania układu ruchów *Saju Jirugi* z diagramem kierunków poruszania.

Przeprowadzony pomiar miał charakter całkowicie dobrowolny i został poprzedzony uzyskaniem zgody. Badany został poinformowany o procedurach testowych i dobrowolnie uczestniczył w gromadzeniu danych. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z zasadami etyki w oparciu o Deklarację Helsińską.

Protokół badań

Do badań użyto system do analizy ruchu firmy Noraxon Ultimium® EMG. Czujniki EMG zostały wykorzystane jako wewnętrzna jednostka pomiaru inercji (IMU) Ultium do pomiaru przyspieszenia w trzech wymiarach, ponieważ czujnik Ultium™ zawiera IMU, który umożliwia pomiar i transmisję prędkości kątowej, przyspieszenia i amplitudy pola magnetycznego. Częstotliwość próbkowania ustawiono na 2000 Hz, co daje akwizycję danych co 0,005 s. Specyfikacja parametrów czujników: Żyroskop ± 2000 stopni / sekundę; Akcelerometr ± 16 g; Magnetometr ± 4800 μ T.

Zarejestrowano przyspieszenie sensorów znajdujących się na obu pięściach, względem osi X,Y,Z. Następnie wyznaczono ich wypadkowe zmiany prędkości w czasie, zgodnie z normą euklidesowska wektora.

Metody oceny statystycznej

Dla wszystkich zarejestrowanych prędkości maksymalnych wyznaczono średnią i odchylenie standardowe. Współzależność między wybranymi wskaźnikami kinematycznymi oceniono współczynnikiem korelacji Pearsona. Wszystkie obliczenia wykonano przy użyciu MS Excel 2000.

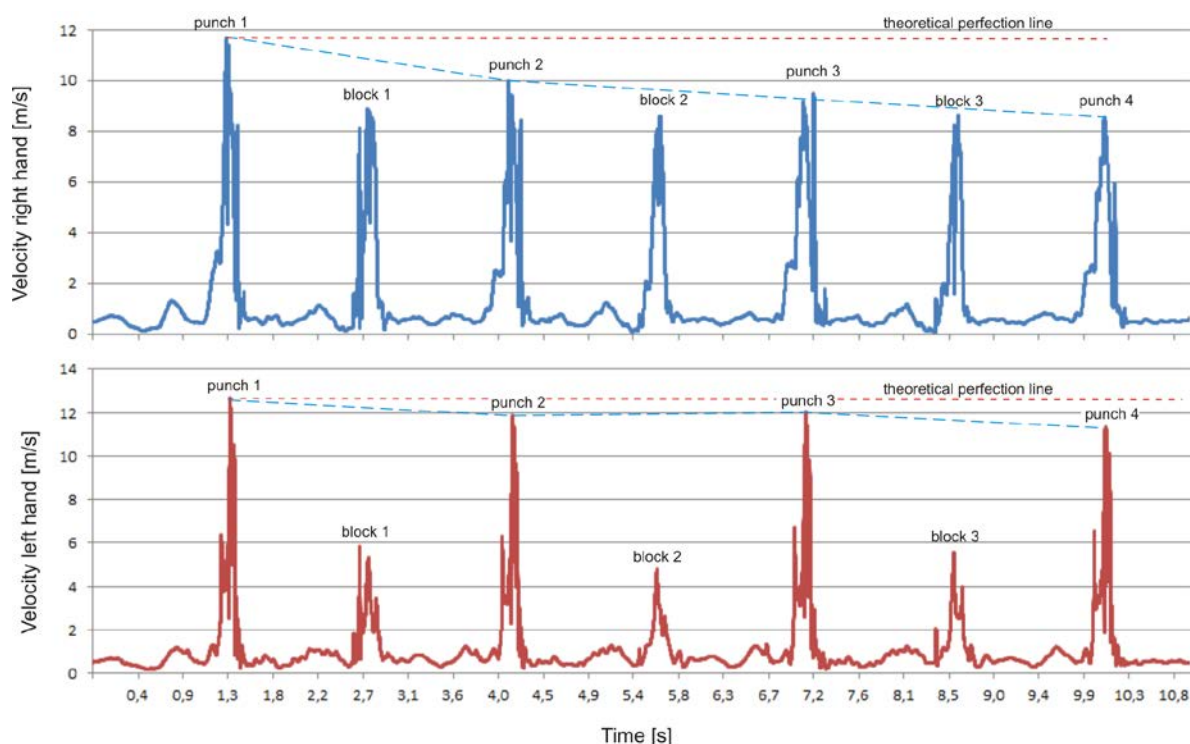
Wyniki

Rysunek 2 przedstawia zmiany prędkości w czasie obu pięści podczas wykonywania *Saju-Jirugi*, które rozpoczęto prawą ręką. Na wykresie tym zaznaczono „teoretyczną linię doskonałości”, która byłaby oczekiwaną linią uzyskiwanych prędkości maksymalnych. Tabela 1 zawiera wybrane wskaźniki kinematyczne zarejestrowane podczas wykonania *Saju-Jirugi* prawą ręką. Obliczoną korelację Pearsona pomiędzy niektórymi parametrami zestawiono w tabeli 2. Wybrane wskaźniki kątowe zarejestrowane przez żyroskop sensora podczas wykonania *Saju-Jirugi* zawarto w tabeli 3.

Tabela 1. Wybrane wskaźniki linowe zarejestrowane podczas wykonania *Saju-Jirugi* - począwszy od uderzenia prawą ręką.

Technika	Prawa ręka		Lewa ręka		Prawa ręka	Lewa ręka	Δv	ΔT
	T_R [s]	V_R [m/s]	T_L [s]	V_L [m/s]	δT_R	δT_L		
Uderzenie 1	3.33	11.68	3.37	12.67	-	-	0.99	-0.04
Blok 1	4.75	8.90	4.67	5.83	1.42	1.30	-3.07	0.08
Uderzenie 2	6.16	10.00	6.20	11.88	1.41	1.53	1.88	-0.04
Blok 2	7.67	8.62	7.64	4.80	1.51	1.44	-3.81	0.03
Uderzenie 3	9.20	9.50	9.12	12.04	1.54	1.48	2.54	0.08
Blok 3	10.64	8.68	10.60	5.55	1.44	1.48	-3.13	0.04
Uderzenie 4	12.11	8.55	12.11	11.31	1.47	1.51	2.76	0.00

T_R – czas prędkości V_R , T_L – czas prędkości V_L , V_R – prędkość maksymalna prawej pięści, V_L – prędkość maksymalna lewej pięści, δT_R – czas między wykonaniem ruchu prawą pięścią, δT_L – czas między wykonaniem ruchu lewą pięścią, Δv – różnica prędkości między $V_L - V_R$, ΔT – różnica prędkości między $T_R - T_L$



Rysunek 2. Zmiany prędkości prawej (uderzającej) i lewej (cofającej się do pasa) pięści podczas wykonywania *Saju-Jirugi*, które rozpoczęto prawą ręką.

Tabela 2. Tablica korelacji Pearsona między wybranymi wskaźnikami linowymi.

	V_R	V_L	δT_R	δT_L	Δv	ΔT
V_R	-	0.65	-0.19	0.29	0.41	-0.59
V_L	0.65	-	0.11	0.61	0.95	-0.52

V_R – prędkość maksymalna prawej pięści, V_L – prędkość maksymalna lewej pięści, δT_R – czas między wykonaniem ruchu prawą pięścią, δT_L – czas między wykonaniem ruchu lewą pięścią, Δv – różnica prędkości między $V_L - V_R$, ΔT – różnica prędkości między $T_R - T_L$

Tabela 3. Wybrane wskaźniki kątowe zarejestrowane przez żyroskop sensora podczas wykonania *Saju-Jirugi* - począwszy od uderzenia prawą ręką.

Technika	Prawa ręka		Lewa ręka		Prawa ręka	Lewa ręka	$\Delta\omega$	ΔT_{ω}
	$T_{R\omega}$ [s]	ω_R [deg/s]	$T_{L\omega}$ [s]	ω_L [deg/s]	$\delta T_{R\omega}$	$\delta T_{L\omega}$		
Uderzenie 1	3.35	2414.40	3.36	3004.42	-	-	-590.01	-0.01
Blok 1	4.76	2486.75	4.73	2089.39	1.41	1.37	397.35	0.03
Uderzenie 2	6.18	2284.35	6.19	3041.50	1.41	1.45	-757.14	-0.01
Blok 2	7.64	2629.69	7.61	1977.66	1.46	1.43	652.02	0.02
Uderzenie 3	9.10	2190.88	9.11	3026.14	1.47	1.49	-835.26	-0.01
Blok 3	10.60	2481.43	10.58	2159.02	1.50	1.47	322.42	0.02
Uderzenie 4	12.09	2202.38	12.11	2980.67	1.49	1.52	-778.29	-0.01

$T_{R\omega}$ – czas prędkości kątowej ω_R , $T_{L\omega}$ – czas prędkości kątowej ω_L , ω_R – maksymalna prędkość kątowa prawej pięści, ω_L – maksymalna prędkość kątowa prawej pięści, $\delta T_{R\omega}$ – czas między wykonaniem ruchu prawą pięścią, $\delta T_{L\omega}$ – czas między wykonaniem ruchu lewą pięścią, $\Delta\omega$ – różnica prędkości między ω_L – ω_R , ΔT_{ω} – różnica prędkości między $T_{R\omega}$ – $T_{L\omega}$

Dyskusja

Zawodnik uderzał, ze średnią prędkością maksymalną 9.93 ± 1.13 m/s. Jednak średnia wartość niewiele nam w tym przypadku mówi. Istotnym elementem poprawnego wykonania układu formalnego jest stała, niezmienna dynamika ruchów na wysokim poziomie np. zgodnie z „teoretyczną linią doskonałości” na rysunku 2. W tym przypadku *teklondzista* w pierwszym uderzeniu ręką uzyskał prędkość maksymalną 11.68 m/s, stopniowo obniżając ją do 8.55 m/s w ostatnim ruchu (tabela 1, rysunek 2). Bloki wykonywane były z większą stałości (od 8.90 m/s do 8.62 m/s), gdzie różnica między prędkościami stanowiła tylko 0.28 m/s. Można przypuszczać, że powodem braku utrzymania stałej dynamiki może być np. niska wytrzymałość siłowa lub brak motywacji. Podobną zależność można obserwować w przypadku lewej ręki, nie realizującej bezpośrednio zadania, tylko stanowiącej ruch pomocniczy. W przypadku ruchu uderzeń pomimo obniżania prędkości cofającej się ręki różnice są mniejsze tj. od 12.67 m/s do 11.88 m/s.

Interesująco, przedstawia się różnica prędkości maksymalna między lewą, a prawą pięścią (Δv). Bloki można rozpoznać po ujemnych wartościach tego parametru. Na podstawie tabeli 2 wnioskować można, że występuje silny wpływ ($r=0.95$) Δv na prędkość uderzenia. Potwierdza to również współczynnik korelacji między V_R i V_L ($r=0.65$). Zatem, prędkość jednej ręki wpływa na prędkość drugiej ręki, co jest zgodne z zasadami dynamiki Newtona. Z tabeli 2 wynika również, że na prędkość uderzenia ma istotny wpływ różnica w czasie uzyskiwania prędkości maksymalnych obu pięści (ΔT) ($r=-0.52$; $r=-0.59$). Im mniejsza ta

różnica tym większa prędkość uderzenia i bloku. Zatem, tzw. współgranie w czasie lewej ręki z prawą ręką jest czynnikiem na który należy zwrócić uwagę podczas treningu.

Za pomocą wskaźników δT_L , δT_R (czas między wykonaniem ruchu odpowiednio lewą i prawą pięścią) możemy opisać tempo i rytm następujących po sobie sekwencji ruchów. Widać, że tempo w zarejestrowanym układzie nie jest stałe. W idealnym wykonaniu w *Saju Jirugi* wskaźniki δT_L , δT_R , powinny mieć stałą wartość. W tym pomiarze różnice sięgają od 0.01 do 0.1 sek. dla prawej ręki i od 0.001- 0.23 sek dla lewej ręki. Co ciekawe prędkość uderzenia zależy od rytmu wykonywanych sekwencji ruchów ($r=0.61$) (tabel 2).

Z danych zestawionych w tabeli 3 widać, że prawa ręka (uderzająca i blokująca) osiąga mniejsze prędkości kątowe (tj. rzędu 2190.88- 2414.40 deg/s), niż lewa ręka (2980.67 - 3026.14 deg/s). Zatem, ręka cofająca się do pasa bardziej się „dokręca”. Efekt ten może być wynikiem antagonistycznych ruchów rotacji zewnętrznej (pronacji) ręki uderzającej lub blokującej i rotacji wewnętrznej (supinacji) ręki wspomagającej ruch.

Przeprowadzone badania dostarczyły argumentów, że pomiar tego typu pozwala na praktyczne wykorzystanie tej obiektywnej metody analizy do monitorowania procesu treningowego. Umożliwia on szczegółową i kompleksową diagnostykę stanu gotowości sportowca. Wynik tego testu umożliwia kontrolę treningu i precyzyjne wskazywania słabości. Pozwala to na dostosowanie ćwiczeń w procesie przygotowania np. do nowego sezonu i ocenę postępów skuteczności zastosowanych technik i metod w kolejnych miesiącach.