

**Akademia Wychowania Fizycznego  
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu**

---

mgr inż. Michał Janowski

Rozprawa doktorska

**Profil wysiłkowy zawodników taekwondo olimpijskiego  
po zmianach przepisów sportowych**



**Akademia Wychowania Fizycznego**  
*im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu*

*Promotor*  
prof. AWF dr hab. Krzysztof Kusy

*Promotor pomocniczy*  
dr n. med. Agata Schneider

---

Poznań 2020

Michał Janowski, MSc, Eng.

Doctoral dissertation

**Exercise load in the Olympic-style taekwondo athletes  
after competition rule changes**



**Akademia Wychowania Fizycznego**  
*im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu*

*Supervisor*  
Krzysztof Kusy, PhD, Assoc. Prof.

*Auxiliary supervisor*  
Agata Schneider, MD, PhD

## Spis treści

I.	Autoreferat.....	4
II.	Dissertation summary.....	20
III.	Streszczenie / Abstract.....	38
IV.	Załączniki / Appendices.....	40
	– oświadczenia współautorów / co-authors' declarations	
	– artykuł nr 1 / article No. 1	
	– artykuł nr 2 / article No. 2	

## I. AUTOREFERAT

Przedłożona dysertacja to cykl prac pod wspólnym tytułem: „Profil wysiłkowy zawodników taekwondo olimpijskiego po zmianach przepisów sportowych”. Badania zostały sfinansowane w ramach realizacji grantów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego RSA2 041 52 i N RSA3 03653 oraz projektu Rozwój Młodych Pracowników Nauki, wdrożonego w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu. Na cykl składają się dwa artykuły naukowe:

1. Exercise response to real combat in elite taekwondo athletes before and after competition rule changes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2019, Ahead of print, March 04, <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003110>, impact factor = 3.017, punktacja MNiSW = 100 pkt.
2. The effect of sports rules amendments on exercise intensity during taekwondo-specific workouts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(18), 6779, <https://doi.org/10.3390/ijerph17186779>, impact factor = 2.849, punktacja MNiSW = 70 pkt.

### Wstęp

Przepisy sportowe są nowelizowane w celu wzmocnienia etosu danej dyscypliny, dostosowania do możliwości i potrzeb konkretnych grup, przyciągnięcia widzów, odpowiedzi na naciski i zainteresowanie mediów, zwiększenia naboru, bądź podniesienia poziomu rywalizacji [Arias i in. 2011; Eaves i in. 2008]. W ostatnich latach organizacja World Taekwondo wprowadziła do rywalizacji nowoczesne rozwiązania technologiczne w postaci elektronicznych protektorów zliczających punkty za skuteczne trafienia (*Protector Scoring System*; PSS), systemu natychmiastowych powtórek wideo (*Video Replay System*; VRS) i odpowiednich zmian przepisów rywalizacji [Jae-Ko i in. 2014; Moening 2015, 2017; Woo i in. 2013; World Taekwondo 2017]. Zmienione przepisy taekwondo olimpijskiego, obowiązujące od czerwca 2017 r., bardziej surowo karzą akcje nie kończące się atakiem, pozorowane kopnięcia (ang. *phantom striking*, uderzenie-widmo) oraz nieuzasadnione unoszenie nóg. W konsekwencji zmieniono także system punktacji. Dla przykładu, uderzenia na korpus są obecnie punktowane wyżej, a liczba przewinień powodująca dyskwalifikację jest mniejsza. Ponadto każda kara, bez względu na źródło przewinienia, oznacza punkt dla rywala.

Jak pokazują badania wykonane w innych dyscyplinach sportu, zmiany w przepisach wpływają na odpowiedź wysiłkową podczas zawodów sportowych. W szczególności zmiany

te wpływają na intensywność wysiłku oraz ogólne obciążenie fizyczne, zazwyczaj zwiększając [Ben Abdelkrim i in. 2007; Halouani i in. 2014; Matthew i Delextrat 2009; Meir i in. 2001; Murray i in. 2006; Vickery i in. 2013] lub, rzadziej, zmniejszając je [Gastin i in. 2017; Platanou i Geladas 2006]. W przypadku taekwondo przeprowadzono liczne analizy odpowiedzi wysiłkowej podczas walk krajowych [Campos i in. 2012; Markovic i in. 2008], międzynarodowych [Bridge i in. 2009; Haddad i in. 2011; Hailstone i Kilding 2011; Kazemi i in. 2010, 2013; Tornello i in. 2013; Tornello i in. 2014] oraz symulowanych [Bouhleb i in. 2006; Bridge i in. 2007; Bürger-Mendonça i in. 2015; Campos v 2012; Ferreira i in. 2011; Hausen i in. 2017]. Określano głównie wartości podstawowych wskaźników fizjologicznych (częstość skurczów serca, stężenie mleczanu we krwi), a także uwzględniano zmienne kinematyczne i techniczno-taktyczne. Wykazano, że taekwondo jest dynamiczną dyscypliną sportu opierającą się na szybkości, mocy oraz wytrzymałości specjalnej – poza samą doskonałością techniczno-taktyczną. Ta dyscyplina sportu wymaga wysiłków o wysokiej intensywności, czemu towarzyszy stężenie mleczanu w przedziale 7.0–12.2 mmol·l<sup>-1</sup> oraz bliska maksymalnej lub maksymalna częstość skurczów serca (>90% maksimum). Gromadzenie danych podczas walki rzeczywistej jest jednak utrudnione z powodu ograniczeń przepisów dyscypliny oraz braku gotowości trenerów i zawodników do uczestnictwa w inwazyjnych lub uciążliwych procedurach pomiarowych [Bridge i in. 2014]. Prawdopodobnie z tej przyczyny wspomniane wyżej badania były wykonywane w oparciu o małą liczbę lub pojedyncze walki lub turnieje, analizowano jedynie kilka zmiennych pomiarowych, a zastosowane metody ograniczały gromadzenie bardziej kompleksowych danych. Istnieje zatem potrzeba poszerzenia badań o większą liczbę rzeczywistych walk podczas szeregu turniejów, aby umożliwić w obliczeniach statystycznych kontrolę czynników, które nie są wprawdzie w centrum zainteresowania, ale mogą zakłócać wyniki. Kolejnym niezwykle istotnym aspektem – dotychczas całkowicie pomijanym, głównie z przyczyn technicznych – jest wszechstronne gromadzenie danych *podczas* walki rzeczywistej lub zajęć treningowych (nie tylko przed i po) w celu uzyskania pełniejszego obrazu odpowiedzi wysiłkowej.

Według wcześniejszych doniesień specjalistyczne zajęcia treningowe, a nawet symulowane walki taekwondo, choć względnie intensywne, nie odwzorowywały w pełni odpowiedzi wysiłkowej podczas walk turniejowych [Bridge i in. 2013; Obmiński i in. 2011]. Trening interwałowy o wysokiej intensywności (ang. *high-intensity interval training*; HIIT) w jego różnych odmianach wydaje się optymalnym rozwiązaniem pozwalającym na adaptację do wysiłków typowych dla turniejów taekwondo [Franchini i in. 2019; Herrera-Valenzuela i in. 2018; Laursen 2010; Monks i in. 2017]. Stosowanie HIIT pozwala zasymulować

specyficzne obciążenia występujące w rzeczywistej walce. Pozostaje pytanie, w jakim stopniu niedawne zmiany przepisów wpłynęły na obciążenie wysiłkowe podczas specjalistycznych zajęć treningowych zawodników taekwondo i jak dalece zajęcia te odzwierciedlają obecne wymagania walki turniejowej. Jak dotąd brak jest badań skupiających się na bezpośrednim związku pomiędzy modyfikacjami przepisów rywalizacji a odpowiedzią wysiłkową podczas specjalistycznych zajęć treningowych w jakiegokolwiek dyscyplinie sportu.

Ostatnie nowelizacje przepisów sportowych mogą okazać się kluczowe dla zawodników taekwondo, wpływając zarówno na biomechaniczne, jak i fizjologiczne aspekty ich odpowiedzi wysiłkowej. Poza samą modyfikacją obciążeń wysiłkowych w walce taekwondo, niedawne poprawki przepisów musiały wywołać także zmiany w obciążeniach treningowych. Jeśli nawet trenerzy nie skorygowali jednostek treningowych pod względem objętości obciążeń (czasu wysiłku, liczby powtórzeń), tempa wykonywania ćwiczeń lub relacji czasu wysiłku do czasu restytucji, intensywność mogła zmienić się na skutek subtelnych, lecz krytycznych zmian w sposobie wykonywania kopnięć. Dlatego należy założyć, że narzucona nowymi przepisami wersja uderzeń wymusiła wzrost intensywności specjalnych ćwiczeń treningowych, przy jednoczesnym zredukowaniu różnic intensywności wysiłku między tymi ćwiczeniami a walką turniejową.

### **Cele badań i hipotezy**

Celem badań było porównanie odpowiedzi wysiłkowej podczas rzeczywistej walki turniejowej i specjalistycznych zajęć treningowych u wysokiej klasy zawodników i zawodniczek taekwondo przed i po zmianach przepisów sportowych. Reakcja wysiłkowa została opisana za pomocą zmiennych kinematycznych (aktywności mechanicznej) i fizjologicznych (wskaźniki krążeniowo-oddechowe i stężenia mleczanu).

Hipotezy badawcze:

- (1) Wprowadzone poprawki przepisów istotnie wpłynęły na reakcję wysiłkową podczas zawodów rankingowanych, powodując wzrost wartości zmiennych kinematycznych i fizjologicznych.
- (2) Zmiany przepisów i wynikające z nich modyfikacje trybu kopnięć zwiększyły intensywność specjalistycznych jednostek treningowych taekwondo.
- (3) Zmiany przepisów spowodowały zmniejszenie różnic w intensywności wysiłku pomiędzy specjalistycznymi jednostkami treningowymi a walkami turniejowymi w zakresie odpowiedzi fizjologicznej i kinematycznej.

## Metody

### *Uczestnicy*

W badaniach wzięło udział 22 zawodników wysokiej klasy uprawiających taekwondo olimpijskie (12 mężczyzn i 10 kobiet). Wszyscy byli posiadaczami tzw. czarnego pasa oraz członkami reprezentacji Polski. Podczas 4-letniego okresu badań zdobyli łącznie 17 złotych, 23 srebrne oraz 18 brązowych medali w turniejach rankingowych (kategoria open, uniwersjada, mistrzostwa Polski, Europy oraz świata), a jeden zawodnik wzięło udział w Igrzyskach Olimpijskich w Rio De Janeiro w 2016 roku.

### *Plan badań*

Istotą badań była ocena intensywności wysiłku przed i po zmianach przepisów – podczas rzeczywistych walk i specjalistycznych jednostek treningowych stosowanych w taekwondo. Towarzyszyły temu cykliczne badania laboratoryjne. Po raz pierwszy zastosowano czujniki i rejestratory możliwe do zamocowania na ciele zawodnika w celu rejestracji zmiennych fizjologicznych i kinematycznych w czasie rzeczywistym w *trakcie* oficjalnych walk turniejowych taekwondo. Przed każdym z 16 turniejów uzyskano zgodę sędziów oraz reprezentantów i działaczy World Taekwondo, Taekwondo Europe i lokalnych federacji 7 państw (Chorwacji, Grecji, Holandii, Niemiec, Polski, Serbii i Słowenii). Dane zostały zgromadzone w dwóch okresach: (i) przed zmianą przepisów, od września 2015 r. do maja 2017 r. oraz (ii) po zmianie przepisów, od czerwca 2017 r. do marca 2018 r. Łącznie wykonano 362 osobo-pomiary podczas sesji treningowych (195 podczas starych przepisów oraz 167 w nowych) oraz 298 osobo-pomiarów podczas walk (odpowiednio, 142 i 156 pomiarów). Zastosowano następujące kryteria wykluczające dany pomiar z analizy: (i) niewystarczający czas wysiłku (tzn. nieukończenie obwodu treningowego, a w trakcie turnieju nokaut, dyskwalifikacja lub kontuzja; ponadto jakakolwiek przerwa w wysiłku dłuższa niż 5 min, bez względu na przyczynę), (ii) wydłużony ponad 5 min czas zgłoszenia powtórki VRS podczas walki, (iii) nietypowe zakłócenia przebiegu walki (interwencje trenerskie, skracanie rund itp.), (iv) problemy techniczne (utrata sygnału, nagłe zawieszenie sygnału, awarie systemów PSS lub VRS) oraz (v) niewystarczający czas na pobranie próbki krwi. Na tej podstawie odrzucono z analizy 119 osobo-walk oraz 122 osobo-pomiary ćwiczeń treningowych. Dane spełniające kryteria objęły ostatecznie 247 osobo-walk (126 w starych i 121 w nowych przepisach) oraz 240 osobo-sesji treningowych (127 w starych i 113 w nowych przepisach).

Kluczowy jest fakt, że trenerzy organizowali specjalistyczne sesje treningowe w ten sam sposób w okresie obowiązywania starych i nowych przepisów sportowych, tzn. stosowali te same techniki kopnięć, liczbę serii/powtórzeń oraz czas wysiłku i wypoczynku pomiędzy ćwiczeniami. Jedyną różnicą dotyczyła dostosowania trybu wykonywanych kopnięć do nowych przepisów. Przed zmianami dozwolone było utrzymywanie uniesionej nogi dla ułatwienia kolejnych kopnięć lub dla zmylenia przeciwnika. Nowe przepisy zabroniły ciągłego utrzymywania nogi w górze i pozorowania uderzeń – zawodnikom nakazano stawianie stopy na podłożu pomiędzy kolejnymi atakami.

#### *Pomiary somatyczne*

Masę i wysokość ciała zawodniczek i zawodników mierzono za pomocą stacji pomiarowej SECA 285 (SECA, Hamburg, Germany). Przeprowadzono analizę składu ciała z wykorzystaniem metody absorpcjometrii promieniowania rentgenowskiego o dwóch energiach aparatem Lunar Prodigy (GE Healthcare, Madison, WI, USA) w celu określenia ogólnej masy ciała szczupłego oraz masy tłuszczu.

#### *Zmienne krążeniowo-oddechowe*

Wszyscy uczestnicy byli cyklicznie poddawani testowi wysiłkowemu o wzrastającej intensywności do odmowy na bieżni mechanicznej (H/P Cosmos Pulsar Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Germany) w celu ustalenia referencyjnych wartości podstawowych zmiennych krążeniowo-oddechowych (pobór tlenu, częstość skurczów serca, częstość oddechów, wydatek energetyczny) w momencie osiągnięcia progu wentylacyjnego, punktu kompensacji oddechowej oraz maksymalnego poboru tlenu. Częstość skurczów serca była rejestrowana za pomocą pulsometru Polar Smart H6 monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Zbiór wartości zmiennych z każdego testu laboratoryjnego służył jako dane referencyjne dla najbliższych w czasie sesji treningowych i turniejów.

#### *Pobór krwi*

Próbki krwi były pobierane z opuszki palca i analizowane za pomocą aparatu Biosen C-line (EKF diagnostic GmbH, Barleben, Germany) w celu oznaczenia stężenia mleczanu. Podczas testów laboratoryjnych do odmowy krew była pobierana przed wysiłkiem, bezpośrednio po wysiłku oraz po 30 minutach restytucji. Podczas turnieju pobór krwi następował przed i po każdej walce oraz 30 minut po ostatniej walce. Podczas sesji treningowych krew była pobierana pięciokrotnie: przed rozgrzewką, po każdej z trzech serii ćwiczeń i 30 minut po ostatniej serii ćwiczeń.



### *Rejestracja obciążeń wysiłkowych podczas walk i sesji treningowych*

Wszystkie zmienne fizjologiczne oraz kinematyczne zostały zarejestrowane w czasie rzeczywistym za pomocą bezprzewodowego piezoelektrycznego systemu Bioharness 3 i przeanalizowane przy użyciu oprogramowania Omnisense 3.9.7 (Zephyr Technology Corp., Annapolis, MD, USA). Były to:

- szczytowa aktywność kinematyczna (ACT<sub>peak</sub>, m·s<sup>-2</sup>) – pierwiastek kwadratowy przyspieszeń w trzech osiach;
- średnia aktywność kinematyczna (ACT<sub>avg</sub>, m·s<sup>-2</sup>) – uśredniony pierwiastek kwadratowy przyspieszeń w trzech osiach;
- intensywność fizjologiczna (PHYS<sub>int</sub>, jednostki umowne) – w zakresie 0–10, na bazie maksymalnej częstości skurczów;
- obciążenie fizjologiczne (PHYS<sub>load</sub>, jednostki umowne) – akumulacja PHYS<sub>int</sub> w czasie;
- intensywność mechaniczna (MECH<sub>int</sub>, jednostki umowne) – w zakresie 0–10, opartej na przyspieszeniu;
- obciążenie mechaniczne (MECH<sub>load</sub>, jednostki umowne) – akumulacja MECH<sub>int</sub> w czasie;
- intensywność treningowa (TRAIN<sub>int</sub>, jednostki umowne) – średnia arytmetyczna PHYS<sub>int</sub> i MECH<sub>int</sub>;
- obciążenie treningowe (TRAIN<sub>load</sub>; jednostki umowne) – średnia arytmetyczna PHYS<sub>load</sub> i MECH<sub>load</sub>;
- wydatek energetyczny (EE; kcal·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) – wyliczany za pomocą równania regresji.

### *Metody statystyczne*

Zastosowano analizę kowariancji w celu określenia różnic pomiędzy starymi a nowymi przepisami w profilu wysiłkowym walki turniejowej i specjalistycznych jednostek treningowych. Zmienne zależne zostały skorygowane przy użyciu następujących kowariantów: ranga turnieju (krajowy albo międzynarodowy), faza zawodów (kwalifikacje, ćwierćfinał, półfinał albo finał), kolejność walk (pierwsza, druga itd.), różnica punktowa (zero, 2–4 punkty, 5–8 punktów albo 9 punktów), wynik walki (wygrana albo przegrana), kategoria wiekowa (junior albo senior) oraz płeć (kobieta albo mężczyzna). Przyjęto graniczny poziom istotności statystycznej  $p < 0.05$  oraz trójstopniową skalę wielkości efektu: mały, średni albo duży.

## Wyniki

### *Odpowiedź wysiłkowa w rzeczywistej walce turniejowej (Artykuł nr 1)*

Po zmianie przepisów zaobserwowano istotny wzrost poziomu wszystkich analizowanych zmiennych kinematycznych. Częstość skurczów serca (szczytowa, średnia oraz procent maksymalnej), wydatek energetyczny (absolutny oraz względem progu wentylacyjnego), intensywność fizjologiczna, obciążenie fizjologiczne oraz powysiłkowe stężenie mleczanu we krwi (wartości absolutne, procent laboratoryjnego maksimum oraz 30 min po ostatniej walce) także wzrosły – przy małej lub umiarkowanej wielkości efektu. Nie odnotowano istotnych różnic między starymi a nowymi przepisami dla częstości oddechów (szczytowej, średniej i procentowej względem maksimum), wydatku energetycznego (procent wartości osiąganey w punkcie kompensacji oddechowej i przy maksymalnym poborze tlenu) oraz stężenia mleczanu przed wysiłkiem. Nie wykazano też istotnych różnic w przypadku częstości skurczów serca i częstości oddechów oraz wydatku energetycznego w 30 min restytucji po ostatniej walce. Generalnie procentowe wzrosty wyniosły 3–8% dla zmiennych kinematycznych, 1.5–1.8% dla częstości skurczów serca, 3–5% dla wydatku energetycznego, 2–4% dla obciążenia fizjologicznego oraz ~15% (bezpośrednio po wysiłku) i ~25% (pod koniec restytucji) dla stężenia mleczanu we krwi.

### *Odpowiedź wysiłkowa ćwiczeń specjalnych taekwondo (Artykuł nr 2)*

W przypadku wysiłków treningowych, po zmianie starych przepisów sportowych na nowe, odnotowano istotne wzrosty poziomu zmiennych kinematycznych w zakresie 4.8–10.1%, szczególnie szczytowej aktywności mechanicznej (średnia lub duża wielkość efektu).

Częstość skurczów serca – szczytowa, średnia oraz w restytucji – była istotnie wyższa w okresie nowych przepisów w porównaniu do starych reguł walki (różnica 2.4–6.8%). Ten wzorec różnic wykazano także w przypadku intensywności fizjologicznej (średnia lub duża wielkość efektu) oraz obciążenia fizjologicznego (mała lub średnia wielkość efektu), przy różnicy równej ~4% pomiędzy okresem obowiązywania starych i nowych przepisów.

Szczytowa i średnia częstość oddechów w trakcie wysiłków treningowych była znacząco wyższa o 4.3–12.0% w okresie nowych przepisów (średnia lub duża wielkość efektu). Różnice w częstości oddechów w powysiłkowej restytucji były istotne statystycznie, ale wielkość efektu była mała.

Tempo wydatku energetycznego podczas treningu obwodowego (absolutne oraz wyrażone jako procent wydatku przy progu wentylacyjnym i w punkcie kompensacji

oddechowej) było istotnie wyższe w nowej wersji przepisów niż w starej, a różnice wyniosły 2.9–6.6% (wielkość efektu od małej do dużej). Tempo wydatku energetycznego wyrażone jako procent wartości uzyskanej w momencie uzyskania maksymalnego poboru tlenu nie różniło się istotnie pomiędzy obiema wersjami przepisów.

Stężenie mleczanu we krwi bezpośrednio po seriach treningowych ćwiczeń specjalnych było istotnie wyższe w okresie nowych niż starych przepisów, zarówno w przypadku wartości bezwzględnych, jak i procentowych względem maksimum uzyskanego w teście wysiłkowym do odmowy (różnice 4.6–10.4%), jednak wielkości efektów były małe. Stężenie mleczanu w 30 min restytucji po sesji treningowej było znacząco wyższe w nowych przepisach (o 14.4%, średnia wielkości efektu).

#### *Porównanie walki rzeczywistej z treningowymi ćwiczeniami specjalnymi (Artykuł nr 2)*

W okresie obowiązywania starych przepisów odpowiedź kinematyczna w ćwiczeniach specjalnych była istotnie słabsza niż w walkach turniejowych (wielkość efektu od małej do dużej). Różnice wynoszące do ~15% utrzymały się w okresie stosowania nowych przepisów – zatem nadal treningi były znacznie mniej intensywne od walk (wielkości efektu średnia lub duża), z wyjątkiem szczytowej aktywności mechanicznej (różnica pomijalna).

Zarówno w okresie obowiązywania starych, jak i nowych przepisów, szczytowa i średnia częstość skurczów serca była znacząco wyższa podczas walki turniejowej (~100% lub >100% wartości uzyskanych w teście do odmowy) niż podczas ćwiczeń specjalnych w sesjach treningowych (~93–99%). Zasadniczo wielkości efektów były duże. Także częstość skurczów serca w restytucji była większa po rzeczywistych walkach (~109 sk./min) niż po sesjach treningowych (~103–105 sk./min), ale wielkość efektu była mała. Istotne różnice między sesjami treningowymi a walkami, w przedziale ~4–16%, zaobserwowano dla intensywności fizjologicznej (średnie oraz duże wielkości efektów) oraz obciążenia fizjologicznego (mała lub średnia wielkość efektu).

Szczytowa i średnia częstość oddechów była znacznie większa podczas zajęć treningowych w porównaniu z walką turniejową (średni i duży efekt), przy mniejszej różnicy w starych (~8%) niż nowych przepisach (~15%). Różnice częstości oddechów w 30 minucie restytucji pomiędzy treningiem a walką okazały się nieistotne statystycznie w obu wersjach przepisów.

Średnie tempo wydatku energetycznego podczas jednostek treningowych było nieco wyższe niż osiągnięte w punkcie kompensacji oddechowej (~104–107%). Bezwzględne, ale nie procentowe, tempo wydatku energetycznego w czasie restytucji powysiłkowej było również istotnie wyższe w okresie stosowania nowych niż starych przepisów (średnia wielkość

efektu). W obu okresach tempo wydatku energetycznego było zasadniczo wyższe podczas walk niż ćwiczeń treningowych (do ~6%), jednak wielkości efektów były małe lub pomijalne.

Po zmianie przepisów różnice w powysiłkowym stężeniu mleczanu między walką a treningiem wzrosły z ~12% do ~16% (mała lub średnia wielkość efektu), a różnice w stężeniu mleczanu w 30 minucie restytucji wzrosły z ~25% do ~39% (duża wielkość efektu).

## Dyskusja

Najważniejsze ustalenie wynikające z zaprezentowanych badań jest takie, że zmiany przepisów sportowych wywołały nasilenie odpowiedzi wysiłkowej i zwiększenie intensywności zarówno podczas walki turniejowej, jak i treningowych ćwiczeń specjalnych, czego dowodzą znaczące wzrosty wartości zmiennych kinematycznych i fizjologicznych. Tym samym hipotezy (1) oraz (2) zostały potwierdzone. Jednak ostatnia z hipotez nie może zostać utrzymana, gdyż pierwotnie występujące różnice w zakresie wskaźników fizjologicznych i kinematycznych pomiędzy wysiłkiem treningowym a rzeczywistą walką pozostały duże, a nawet pogłębiły się po zmianie przepisów sportowych.

### *Odpowiedź wysiłkowa w walce rzeczywistej*

Walka taekwondo to wysiłek o wysokiej intensywności, stawiający przed zawodnikiem wysokie wymagania, podobnie jak inne sporty walki, np. judo [Franchini i in. 2011], karate [Doria i in. 2009] czy pencak silat [Aziz i in.2002]. Ostatecznie zmiany przepisów istotnie wpłynęły na profil wysiłkowy walki u zawodników wysokiej klasy, powodując istotne wzrosty wartości zmiennych kinematycznych i wskaźników fizjologicznych.

Charakter walki taekwondo uległ przesunięciu w stronę wyższej intensywności wysiłku na skutek pozornie niewielkich modyfikacji w sposobie wykonywania kopnięć (zakaz utrzymywania nogi w górze i pozorowania uderzeń), mających na celu głównie zwiększenie atrakcyjności widowiska. Doniesienia zespołu Tornello i in. [2013; 2014] wykazały, że nawet najmniejsze zmiany w technice czy taktyce mogą mieć wpływ na przebieg walki turniejowej. Jako pokazały zaprezentowane tu badania własne, zmiany przepisów związane pośrednio z techniką kopnięć faktycznie podniosły poziom wymagań wysiłkowych. Wzrost zarówno szczytowej, jak i średniej aktywności kinematycznej (odpowiednio o 3.8% i 7%) sugeruje, że zawodnicy muszą poruszać się szybciej, aby sprostać zasadom i tempu walki narzuconym przez nowe przepisy. Poprzednie doniesienia

wskazywały, że zawodnicy taekwondo są zdolni do osiągnięcia przyspieszeń równych  $10.1 \pm 0.34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  podczas walk symulowanych [Herrera-Valenzuela i in. 2015], podczas gdy uczestnicy prezentowanych tu badań własnych przekraczali ten poziom, uzyskując przyspieszenia wynoszące ok.  $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  w walkach rzeczywistych w obu wersjach przepisów.

Inne zespoły badawcze wykazały wcześniej, że średnia częstość skurczów serca u zawodników taekwondo wynosiła od 182 do 193 sk./min podczas oficjalnych turniejów [Bouhleb i in. 2006, Bridge i in. 2009, Chiodo i in. 2011, Markovic i in. 2005, Matsushige i in. 2009]. W trakcie badań do tej dysertacji badani zawodnicy osiągnęli podobne wartości, czyli ok. 180 sk./min w okresie obowiązywania starych przepisów oraz ok. 183 sk./min w trakcie stosowania nowych przepisów. Zawodnicy utrzymywali bardzo wysoką średnią częstość skurczów serca, wynoszącą ~96% szczytowych wartości uzyskiwanych podczas walki turniejowej. Ponadto, w okresie obowiązywania nowych przepisów szczytowa częstość skurczów serca przekraczała najwyższe wartości rejestrowane podczas testów wysiłkowych do odmowy.

Porównanie częstości oddechów w walce turniejowej i podczas testu laboratoryjnego sugeruje, że podczas zawodów sportowych jest niemal niemożliwe osiągnięcie maksymalnej częstości oddychania uzyskiwanej podczas progresywnego wysiłku do odmowy. Bez względu na wersję przepisów badani nie osiągnęli wartości wyższych niż ~64% maksimum. Należy założyć, że jest to wynikiem nieregularnego rytmu walki taekwondo, wymuszonego przez aktywność przeciwników, wielokrotne nagłe zmiany pozycji ciała (atak i obrona), eksplozywne kopnięcia, ciosy rękami, blokowanie uderzeń rywala oraz stabilizację tułowia. Wszystkie te czynniki w nieuchronny sposób powodują zaburzenia rytmu oddychania. W konsekwencji może to mieć negatywny wpływ na zdolności wysiłkowe zawodnika. Intensywność wysiłku podczas walk (jak wskazuje tempo wydatku energetycznego oraz częstość skurczów serca) znacznie przekracza tę obserwowaną przy osiągnięciu punktu kompensacji oddechowej, gwałtownie zmierzając ku maksimum. W normalnych warunkach, podczas osiągnięcia punktu kompensacji oddechowej, wentylacja minutowa płuc wzrasta nieproporcjonalnie szybko w stosunku do wzrostu objętości wydalanego dwutlenku węgla powodując hiperwentylację (wzrastająca częstość oddechów, skrócony czas wydechów) w celu kompensacji kwasicy metabolicznej wynikającej ze wrastającego stężenia mleczanu [Beaver i in. 1986; Whipp i in. 1989]. Niestety, taki kompensacyjny mechanizm oddechowy nie może być w pełni wykorzystany podczas walki taekwondo o wysokiej intensywności. W efekcie kwasica metaboliczna i związane z nią niekorzystne objawy zmęczenia mogą rozwijać się szybciej niż np. w cyklicznych bezkontaktowych dyscyplinach sportu. Nowe regulacje walki taekwondo wzmacniają to niesprzyjające zjawisko.

Poprzednie doniesienia wykazały, że stężenie mleczanu we krwi bezpośrednio po walce taekwondo jest dosyć wysokie, na poziomie 7.0–12.2 mmol·l<sup>-1</sup> [Bouhleb i in. 2006, Bridge i in. 2009, Bürger-Mendonça i in. 2015, Campos i in. 2012, Chiodo i in. 2011, Herrera-Valenzuela i in. 2015, Markovic i in. 2005, Matsushige i in. 2009]. W omawianych badaniach własnych wartości uzyskane w okresie stosowania starych przepisów wydają się zgodne z powyższymi obserwacjami. Jednak nowe przepisy przyniosły wzrost stężenia mleczanu po walce średnio o ok. 1.8 mmol·l<sup>-1</sup>. Rozbieżności w poziomie mleczanu między walką turniejową a badaniami laboratoryjnymi, wynoszące od 42% do 52%, jasno sugerują zwiększenie udziału beztlenowej glikolizy jako źródła energii w walce. Ponadto brak możliwości zwiększenia częstości oddechów może jeszcze bardziej przyczynić się do nagłego wzrostu stężenia mleczanu we krwi. To z kolei wskazuje, że zmiany przepisów turniejowych nałożyły na zawodników większe wymagania także w odniesieniu do przygotowania fizycznego (kondycyjnego).

Stężenie mleczanu wzrosło także istotnie w okresie restytucji po ostatniej walce turniejowej. W starych przepisach poziom mleczanu po 30 minutach restytucji wynosił ~2.8 mmol·l<sup>-1</sup> (przeciętnie o 0.54 mmol·l<sup>-1</sup> więcej niż w spoczynku przed zawodami). W nowych przepisach było to ~3.5 mmol·l<sup>-1</sup> (średnio o 1.40 mmol·l<sup>-1</sup> więcej niż przed rozpoczęciem walk). Wielkości efektu dla tych zmian były średnie lub duże. To świadczy, że nowe przepisy pogłębiły zmęczenie po walkach turniejowych.

#### *Odpowiedź wysiłkowa w ćwiczeniach specjalnych taekwondo*

W przeszłości wiele razy badano odpowiedź wysiłkową podczas specjalistycznych sesji treningowych oraz niespecyficznego HIIT u sportowców uprawiających taekwondo – mężczyzn, kobiet, kadetów, juniorów i zawodników elity [Bouhleb i in. 2006; Bridge i in. 2007, 2011, 2013, 2014; Casolino i in. 2012; Chiodo i in. 2012; Franchini i in. 2019; Haddad i in. 2011; Herrera-Valenzuela i in. 2018; Kim i in. 2011; Laursen 2010; Melhim 2011; Monks i in. 2017; Mota i in. 2011; Nikolaidis i in. 2015]. Takie sesje treningowe, wymagające wysiłku o wysokiej intensywności, generowały stężenie mleczanu w zakresie 8.0–11.4 mmol·l<sup>-1</sup>, częstość skurczów serca sięgającą 82–94% maksimum i charakteryzowały się bardzo wysoką intensywnością kinematyczną. Wyniki badań własnych, oparte na bardzo dużej ilości zgromadzonego materiału, są generalnie spójne pod tym względem z powyższymi doniesieniami bazującymi na analizie jedynie kilku lub pojedynczych jednostek treningowych.

Istnieją badania, które wykazały, że sam tryb ćwiczeń (zastosowana technika lub rodzaj skurczu mięśni) wpływa na wskaźniki fizjologiczne, bez konieczności

modyfikowania zewnętrznych obciążeń. Dla przykładu, u wysokiej klasy narciarzy biegowych forma lokomocji – klasyczny bieg narciarski, jazda na nartorolkach z odpychaniem się kijami i jazda na nartorolkach bez kijów – determinowała istotne różnice w częstości skurczów serca i stężeniu mleczanu we krwi, pomimo zastosowania tego samego protokołu testowego [Larson 2006]. W innym doniesieniu wykazano, że równoważne intensywnością dynamiczne i izometryczne skurcze lokalnych grup mięśni u zdrowych mężczyzn wywoływały różne odpowiedzi, tj. subiektywna ocena wysiłku, ciśnienie krwi i tzw. podwójny iloczyn (częstość skurczów serca x ciśnienie skurczowe krwi) były wyższe podczas skurczu izometrycznego, podczas gdy częstotliwość oddychania, wentylacja minutowa, pobór tlenu i wydalanie dwutlenku węgla były wyższe podczas skurczu dynamicznego [Weippert i in. 2015]. Stwierdzono także, że podczas pływania kraulem koszt energetyczny wzrastał liniowo wraz ze zmianami jednego z biomechanicznych parametrów techniki (*underwater torque*), pomimo utrzymywania stałej prędkości [Zamparo i in. 1996]. Potwierdza to pogląd, że to modyfikacja trybu kopnięć u zawodników taekwondo zmieniła odpowiedź wysiłkową podczas specjalistycznych zajęć treningowych realizowanych wg nowych przepisów sportowych, pomimo niezmiennego protokołu treningu.

Zasadniczo brak jest badań dotyczących wpływu zmian przepisów na technikę sportową. Jedynie Adam i in. [2012] zwrócili uwagę, że modyfikacje zasad rozgrywania walk judo zmieniły preferencje korzystania z rzutowych technik ręcznych i nożnych przez zawodników. Nie było to jednak badanie biomechaniczne, lecz dotyczące strategii walki (wybór i częstość stosowania określonych technik podczas turnieju). W kontekście zmian reguł sportowych interesujące są badania nad wpływem zmęczenia lub intensywności ćwiczeń na technikę sportową. Modyfikacje przepisów taekwondo spowodowały wzrost intensywności wysiłku, można więc przypuszczać, że wzrosło również zmęczenie, wpływając zwrótnie na jakość techniki sportowej. Szereg badań potwierdza ten pogląd. Aragonés i in. [2018] podali, że wśród karateków pojawiły się zauważalne zmiany kinematyczne wraz z rozwojem zmęczenia przy wielokrotnym powtarzaniu czynności takich jak kopnięcie frontalne, pomimo chęci wykonywania przez uczestników identycznych powtórzeń. Rusidiana i in. [2020] wykazali, że zmęczenie wpłynęło na jakość techniczną główkowania w piłce nożnej. Badania związane ze sportami wodnymi [Aujouannet i in. 2006; Bassan i in. 2016; Figueiredo i in. 2014] ujawniły, że narastające zmęczenie wpływało na technikę ruchu, w tym na charakterystykę kinematyczną cyklu pracy ramion i wzorzec czasowo-przestrzenny ruchu palców dłoni. Prieske i in. [2017] doszli do wniosku, że zmęczenie było odpowiedzialne za specyficzne dla płci strategie ruchu kolana podczas skoków u siatkarek i siatkarzy wysokiej klasy. Grasaas i in. [2014] wykazali, że intensywne, wyczerpujące



ćwiczenia skutkowały mniej wydajną techniką u narciarzy biegowych. [Kellis i in. \[2016\]](#) ujawnili, że zmęczenie powodowało znaczne pogorszenie wykonania kopnięć u piłkarzy. Powyższe badania zdecydowanie sugerują, że wzrost intensywności i wynikające stąd zmęczenie mają istotny wpływ na technikę ruchu, w tym właściwości kinematyczne i jakość ruchu. Należy przypuszczać, że pogłębienie tego efektu wystąpiło również u badanych w tej dysertacji zawodników taekwondo po zmianie przepisów.

#### *Porównanie walki i specjalistycznej sesji treningowej taekwondo*

Jeśli chodzi o podobieństwo między treningami specyficznymi dla taekwondo i turniejami, trening obwodowy, który był analizowany w tej dysertacji, nie odwzorowywał w pełni sytuacji rzeczywistej walki w żadnej z wersji przepisów. Dopuszczalny poziom rozbieżności między zadaniami treningowymi a zawodami może być przedmiotem dyskusji. Można również kwestionować, czy w ogóle możliwe jest, aby jakiegokolwiek ćwiczenia treningowe całkowicie wiernie odtwarzały obciążenia obecne w walce rzeczywistej. Dostępne są dwa wcześniejsze badania dotyczące różnic między sesjami treningowymi w rzeczywistej walce a treningami specyficznymi dla taekwondo, jednak autorzy doszli do przeciwstawnych wniosków. [Bridge i in. \[2013\]](#) wykazali, że ćwiczenia specyficzne dla taekwondo nie odtwarzają zmiennych fizjologicznych prawdziwej walki – częstość skurczów serca była wyższa o ~8%, a stężenie mleczanu po wysiłku wyższe o ~70% w porównaniu z sesją treningową. Natomiast [Herrera-Valenzuela et al. \[2018\]](#) uznali, że sesja treningowa może z powodzeniem kopiować fizjologiczne wymagania turnieju. Wykazali podobne rozbieżności w dla średniej częstości skurczów serca (~2–8%), ale znacznie mniejsze różnice w stężeniu mleczanu (3–13%). W prezentowanej tu dysertacji uzyskano rozbieżności równe ~5% dla średniej częstości skurczów serca i ~15% dla stężenia mleczanu, a więc bliższe tym uzyskanym przez Herrera-Valenzuela i współpracowników.

Problem jest bardziej złożony niż się wydaje i nie jest to wyłącznie kwestia jednej lub dwóch zmiennych fizjologicznych czy kinematycznych. Podobieństwo lub rozbieżność między sesjami treningowymi a walką zależy od konkretnego protokołu treningowego, który może skupiać się albo na umiejętnościach technicznych lub taktycznych, albo na specjalnym przygotowaniu kondycyjnym zawodników [[Bridge i in. 2013](#); [Franchini i in. 2019](#); [Herrera-Valenzuela i in. 2018](#); [Obmiński i in. 2011](#)]. Utrzymanie równowagi między tymi dwoma kluczowymi elementami i odnalezienie „złotego środka” jest niezwykle trudne. Następnym przeniesienia akcentu na umiejętności techniczno-taktyczne będzie mniejsza intensywność sesji treningowej (nieadekwatna do warunków walki), podczas gdy skupianie się głównie na przygotowaniu kondycyjnym może skutkować pogorszeniem techniki.



Ponadto inne czynniki również odgrywają istotną rolę. Na przykład podczas treningów badani w tej dysertacji zawodnicy atakowali poruszającego się przeciwnika, a nie worek lub packę treningową. Wydaje się, że brak prawdziwego rywala jest głównym ograniczeniem w odzwierciedlaniu walki rzeczywistej. Podczas treningu sportowcy zwykle nie są narażeni na ryzyko uderzenia przez przeciwnika, a tym samym są mniej zaangażowani emocjonalnie. [Bridge i in. \[2013\]](#) zaobserwowali znacznie wyższy wzrost poziomu adrenaliny i noradrenaliny we krwi po wysiłku podczas turniejowej walki niż podczas sesji treningowych u zawodników taekwondo klasy międzynarodowej (4.5–4.8-krotna różnica), co sugeruje, że silna reakcja stresowa występująca podczas oficjalnych zawodów jest trudna, a wręcz niemożliwa, do odtworzenia podczas symulowanych ćwiczeń. Może to wyjaśniać ujawnione w tej dysertacji różnice w poziomach wskaźników kinematycznych i fizjologicznych pomiędzy walkami i ćwiczeniami specjalnymi, które utrzymały się po zmianie przepisów sportowych, pomimo wzrostu intensywności treningowych ćwiczeń specjalnych.

W prezentowanych badaniach częstość oddechów podczas sesji treningowych znacznie wzrosła w okresie obowiązywania nowych przepisów i była jedyną zmienną, której wartości były znacząco wyższe podczas zajęć treningowych niż w walce turniejowej. Jak wspomniano we wcześniejszej części, sportowcy uprawiający taekwondo mają problemy z regularnym oddychaniem podczas walki. Swobodne oddychanie nie jest możliwe podczas turniejów ze względu na dynamiczne ruchy ciała, częste gwałtowne kopnięcia, uderzenia rękoma i bloki – niemal cała aktywność odbywa się z udziałem tzw. manewru Valsalvy, tj. próby wykonania silnego wydechu przy zamkniętej głośni (wstrzymanie oddechu) w celu ustabilizowania tułowia. Stąd częstość oddychania jest ograniczona w walce, w przeciwieństwie do warunków treningowych, gdzie sportowcy mogą oddychać stosunkowo swobodnie i rytmicznie. Częstość oddechów podczas treningów wzrosła po zmianie zasad, podczas gdy oddychanie podczas walki było nadal tak samo ograniczone. W konsekwencji powiększyła się „luka oddechowa” między ćwiczeniami specjalnymi a walką rzeczywistą.

## **Wnioski**

- Po pierwsze, stwierdzono, że po zmianie przepisów dyscypliny nastąpiła znacząca zmiana profilu walki rzeczywistej taekwondo w kierunku zwiększonej dynamiki ruchu zawodników, większej intensywności wysiłku w kategoriach fizjologicznych oraz zwiększonego zmęczenia po rywalizacji.
- Po drugie, po zmianie przepisów intensywność treningowych ćwiczeń specjalnych taekwondo znacznie wzrosła nas skutek modyfikacji samego sposobu wykonywania kopnięć, bez zmiany objętości obciążeń, liczby powtórzeń, czasu trwania ćwiczeń bądź czasu wypoczynku pomiędzy seriami ćwiczeń.
- Po trzecie, istotne różnice pomiędzy treningowymi ćwiczeniami specjalnymi a rzeczywistą walką taekwondo nie tylko utrzymały się, ale nawet pogłębiły po zmianie przepisów sportowych. Intensywność walk pozostała znacznie wyższa niż intensywność sesji treningowych.
- Uzyskane wyniki sugerują, że zmiany w przepisach sportowych w istotny sposób modyfikują reakcję wysiłkową podczas walki turniejowej i ćwiczeń specjalnych, a sesje treningowe nie odtwarzają w pełni obciążeń występujących w rzeczywistej walce.

## **Implikacje praktyczne**

Adaptacja zawodników taekwondo do zwiększonych wymagań turniejowych wymaga zwrócenia większej uwagi na przygotowanie kondycyjne, które z jednej strony musi stymulować beztlenowy glikolityczny system zaopatrzenia mięśni w energię, istotny dla szybkich akcji punktowych w walce, a z drugiej strony poprawi także wydolność tlenową, ważną dla regeneracji po intensywnym wysiłku [Franchini i in. 2019]. Na podstawie dostępnych badań najskuteczniejszym rozwiązaniem wydaje się HIIT [Franchini i in. 2019; Monks i in. 2017]. Priorytetem powinien być jednak HIIT w formie ćwiczeń specjalnych taekwondo, zamiast „neutralnych” form takich jak bieganie czy jazda na rowerze, aby połączyć poprawę sprawności mechanizmów metabolicznych z jednoczesnym stosowaniem określonych technik walki i rozwiązań taktycznych. Imitacja podczas sesji treningowych ilościowych parametrów rzeczywistej walki (intensywność, liczba powtórzeń itp.) jest łatwiejsza niż odtwarzanie czynników jakościowych (np. obecność przeciwnika, stres emocjonalny). Wszelkie zmiany w technice ruchu spowodowane zmianami przepisów powinny być poważnie brane pod uwagę podczas projektowania specjalistycznych sesji treningowych. W praktyce sportowej kluczowe jest zaprojektowanie takiego protokołu treningowego, który z jednej strony naśladuje techniczne i taktyczne rozwiązania walki

turniejowej, a z drugiej strony będzie w stanie odzwierciedlić kinematyczną i fizjologiczną odpowiedź na obciążenia występujące w rzeczywistej walce. Odpowiednia równowaga między wymaganiami kinematycznymi, fizjologicznymi, technicznymi i taktycznymi zapewnia skuteczność specjalnych ćwiczeń treningowych. Zbyt duży nacisk na którykolwiek z powyższych aspektów może skutkować utratą specyfiki stosowanego ćwiczenia (podobieństwa do walki rzeczywistej).

Ponadto, ze względu na wydłużający się czas potrzebny do regeneracji po walce wg nowych przepisów (na co wskazuje podwyższony poziom mleczanu), trenerzy powinni również zwrócić szczególną uwagę na skuteczne sposoby odnowy po walce. Spośród wielu sposobów na przyspieszenie usuwania mleczanu bezpośrednio po intensywnym wysiłku, aktywna regeneracja (np. jogging w wolnym tempie) wydaje się najskuteczniejszą i najłatwiejszą do wdrożenia metodą, co udokumentowano w badaniach obejmujących różne grupy sportowców [Franchini i in. 2003; Ghorbani i in. 2015; Özsü i in. 2018; Baldari i in. 2005; Lucertini i in. 2017; Mota i in. 2017].

Na przedstawione wyniki badań można spojrzeć także z szerszej perspektywy. W każdej dyscyplinie sportu zmiana przepisów wpływa bezpośrednio lub pośrednio na rywalizację i obciążenie treningowe. Trenerzy powinni być świadomi konsekwencji zmian w przepisach i przygotowywać swoich zawodników do zawodów i treningu o innej intensywności niż dotychczas.

## II. DISSERTATION SUMMARY

This doctoral dissertation was carried out as a series of studies under the common title: “Exercise load in the Olympic-style taekwondo athletes after competition rule changes”. The research was supported by funding from the Polish Ministry of Science and Higher Education under grants RSA2 041 52 and N RSA3 03653 and the Young Scientists Development programme introduced by the Poznan University of Physical Education. The cycle consists of the following two scientific articles:

1. Exercise response to real combat in elite taekwondo athletes before and after competition rule changes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2019, - published ahead of print, March 04, <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003110>, impact factor = 3.017, ministerial score = 100 points.
2. The effect of sports rules amendments on exercise intensity during taekwondo-specific workouts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(18)/6779, <https://doi.org/10.3390/ijerph17186779>, impact factor = 2.849, ministerial score = 70 points.

### Introduction

Sports rules are amended to strengthen the ethos of a sport discipline, adapt it to capabilities and needs of specific groups, attract spectators, respond to media pressure and interest, recruit athletes or improve sports performance [Arias et al. 2011; Eaves et al 2008]. In recent years, World Taekwondo incorporated modern technology into the discipline, i.e., the Protector Scoring System (PSS), the instant Video Replay System (VRS), and relevant competition rule changes [Jae-Ko et al. 2014; Moening 2015, 2017; Woo et al. 2013; World Taekwondo 2017]. Most importantly, the revisions in Olympic taekwondo rules in force as of June 2017 more severely penalize non-fighting actions, the presence of “phantom striking”, and unnecessary leg elevation. Consequently, the scoring system has been modified. For example, kicks delivered to the torso are scored higher and the number of fouls causing disqualification is reduced. Additionally, each penalty, regardless of reason, results in a point gain for the opponent.

As shown in various sports disciplines, rule changes affect the exercise response to competition tasks. In particular, the modifications impact exercise intensity or overall physical load, usually by increasing [Ben Abdelkrim et al. 2007; Halouani et al. 2014; Matthew & Delextrat 2009; Meir et al. 2001; Murray et al. 2006; Vickery et al. 2013] or, less often, by decreasing it [Gastin et al. 2017; Platanou & Geladas 2006]. Regarding taekwondo,

numerous studies have been conducted on exercise response during real national [Campos et al. 2012; Markovic et al. 2008], international [Bridge et al. 2009; Haddad et al. 2011; Hailstone & Kilding 2011; Kazemi et al. 2010, 2013; Tornello et al. 2013; Tornello et al. 2014], and simulated [Bouhlef et al. 2006; Bridge et al. 2007; Bürger-Mendonça et al. 2015; Campos et al. 2012; Ferreira et al. 2011; Hausen et al. 2017] combats, where the prime emphasis was put on physiological parameters such as heart rate and blood lactate responses as well as technical, tactical and kinematic factors. It was proven that taekwondo is a dynamic sport discipline based on speed, power and specific endurance, besides technical-tactical excellence. It requires high-intensity exertion resulting in lactate concentrations of 7.0–12.2 mmol·l<sup>-1</sup> and near maximal to maximal heart rate responses (>90% of maximum). However, data collection in real combat is constrained due to competition rules and coaches' and athletes' willingness to participate in invasive or cumbersome measurement procedures [Bridge et al. 2014]. This is probably why previous studies were based on a small number or single fights/tournaments, only a few measured variables and methods limiting more thorough data collection. Thus, there is a need for research based on a wider range of real combats, throughout multiple tournaments, to enable the control of certain factors in the statistical analysis, which are not of primary interest but confound the results. One particularly important aspect—so far completely neglected, mainly for technical reasons—is a comprehensive data collection *during* (not only before and after) real combat or workout to obtain a fuller picture of actual exercise response.

According to earlier studies, taekwondo-specific workouts and even simulated combats, although relatively intense, did not fully recreate the physiological response to tournament combats [Bridge et al. 2013; Obmiński et al. 2011]. High-intensity interval training (HIIT) and its different protocols seem to be optimal for adapting to taekwondo competition [Franchini et al. 2019; Herrera-Valenzuela et al. 2018; Laursen 2010; Monks et al. 2017]. Applying HIIT allows to simulating specific workload characteristic of combat conditions. The question arises as to how the recent rule changes have affected the exercise load during taekwondo-specific workouts and how adequately the taekwondo-specific workouts reflect the demands of the tournament combat in this new situation. So far, no scientific investigation has focused on the direct impact of sports rule amendments on the exercise response to any discipline-specific workouts.

The newest amendments may prove crucial for athletes' exercise response on both the biomechanical and physiological levels. Apart from possible modification of the exercise response to taekwondo combat, the recent rule amendments have also modified the workout load. Even if training sessions have not been revised in terms of exercise volume, repetitions

or exercise/rest ratio, the exercise intensity could have been altered due to subtle but crucial modifications in kicking mode. Therefore, the new kicking modality, characteristic of the new rule settings, was supposed to reveal potential increases in workout exercise load accompanied by a reduction in combat-workout differences in intensity.

### **Study aim and hypotheses**

The study aimed to compare the kinematic (mechanical activity) and physiological (cardiopulmonary indices and lactate concentration) exercise response of elite taekwondo athletes to real combats and taekwondo-specific circuit training sessions before and after competition rule changes.

Research hypotheses:

1. the implemented rule amendments have significantly affected the exercise response to the real taekwondo combat toward higher values of kinematic and physiological characteristics;
2. the rule amendments and related modifications in kicking modality have increased the exercise intensity of taekwondo-specific workouts;
3. the rule amendments have reduced the differences in exercise intensity between taekwondo-specific workout and real combat situation in terms of physiological and kinematic response.

### **Methods**

#### *Participants*

Twenty-two (12 male and 10 female) elite taekwondo athletes were included in the study. All of the participants were black belt holders and members of the Polish national team. During the 4-year study period, they won 17 gold, 23 silver and 18 bronze medals in ranked competitions (open tournaments, Universiade, European and world championships) and one athlete took part in the Olympic Games in 2016 in Rio De Janeiro.

#### *Study design*

The idea of the study was on the assessment of the exertion intensity before and after competition rule changes in both real combat and taekwondo-specific workout, accompanied by periodic laboratory testing. For the first time, wearable bio-monitors were used during official ranking taekwondo competitions to directly record physiological and kinematic parameters. Before each of the 16 tournaments, the permission to conduct the research was

obtained from the event officials, World Taekwondo, Taekwondo Europe and local federation representatives in 7 countries (Greece, Croatia, Germany, Netherlands, Poland, Serbia and Slovenia). Data was collected during two periods: (i) before to rules changes from September 2015 until May 2017 and (ii) after the rules change from June 2017 until March 2018. Throughout the whole course of the study, a total of 362 training sessions (195 under old rules and 167 under new rules) and 298 combats (142 under old and 156 under new rules) were monitored. After applying the exclusion criteria — (i) insufficient exertion time (i.e. incomplete circuit, knock out, disqualification, injury, or any pause regardless of source longer than 5 min), (ii) prolonged time (above 5 min) of the VRS challenge during tournament combat, (iii) uncommon interferences (coach interventions, round shortening), (iv) technical issues (signal breaking, lag spikes, PSS or VRS malfunctions) and (v) insufficient time for blood sampling — a total of 119 combats and 122 training sessions were excluded. The analyzable data consisted of 247 combats (126 under old vs. 121 under new rules) and 240 person-sessions (127 under old and 113 under new rules).

Importantly, the coaches organized the taekwondo-specific training sessions in the same manner in old and new rules, i.e. they used the same kicking techniques, number of series/repetitions and exercise-to-rest ratios. The only difference was the kicking modality imposed by new rules. Before the rule changes, athletes were allowed to keep the leg elevated to facilitate consecutive strikes or to deceive opponents. New rules forbade athletes to execute 'phantom striking' or continuous leg elevation. Instead, athletes were ordered to set foot on the ground between strikes.

#### *Somatic measurements*

Each athlete had his body mass and height measured with the use of a stadiometer (SECA 285; SECA, Hamburg, Germany). Total body composition was assessed using the dual-energy X-ray absorptiometry method with the Lunar Prodigy device (GE Healthcare, Madison, WI, USA) to assess lean and fat mass.

#### *Cardiorespiratory parameters*

All of the participants periodically performed an incremental exercise test to exhaustion on a mechanical treadmill (H/P Cosmos Pulsar Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Germany) to determine the values of reference values of basic cardio-respiratory variables (oxygen consumption, heart rate, breathing rate, energy expenditure) at the moment of reaching ventilatory threshold, at respiratory compensation point and at maximum oxygen uptake. Heart rate was monitored using the Polar Smart H6 monitor (Polar Electro Oy,

Kempele, Finland). Each specific dataset from laboratory testing was used as reference data for the nearest in time training session or tournament.

### *Blood sampling*

Capillary blood samples for lactate concentration were obtained from the fingertip and analysed using the Biosen C-line analyzer (EKF diagnostic GmbH, Barleben, Germany). During laboratory testing, blood was drawn before exercise, at exhaustion and after 30 minutes of recovery. During the competition, blood sampling was performed before to and after every combat and 30 minutes after the last tournament combat. During training sessions, blood collection was carried out five times: at baseline (before the first exercise set), after each of the three exercise sets and after the 30-min recovery period.

### *Monitoring exercise load during combat and workout*

All of the physiological and kinematic indices were recorded in real time with the Bioharness 3 wireless piezoelectric recording system and analysed using the Omnisense 3.9.7 software (Zephyr Technology Corp., Annapolis, MD, USA). The analyzed variables were as follows:

- Peak activity (ACT<sub>peak</sub>) – squared root of three peak axial accelerations
- Average activity (ACT<sub>avg</sub>) – the average squared root of three axial accelerations
- Physiological intensity (PHYS<sub>int</sub>) – range 0–10, based on athletes' maximum HR
- Physiological load (PHYS<sub>load</sub>) – accumulation of the PHYS<sub>int</sub> over time
- Mechanical intensity (MECH<sub>int</sub>) – range 0–10, based on acceleration
- Mechanical load (MECH<sub>load</sub>) – the accumulation of the MECH<sub>int</sub> over time
- Training intensity (TRAIN<sub>int</sub>) – arithmetic average of PHYS<sub>int</sub> and MECH<sub>int</sub>.
- Training load (TRAIN<sub>load</sub>) – arithmetic average of PHYS<sub>load</sub> and MECH<sub>load</sub>.
- Energy expenditure (EE) – calculated using a regression formula

### *Statistics*

The analysis of covariance was used to identify the differences in circuit training and combat profiles between old and new competition rules. The analyzed variables were adjusted for the following covariates that could potentially affect the magnitude of the exercise response: tournament rank (national and international), tournament phase (preliminary fights, quarterfinal, semifinal or final), combat order (first, second etc.), score difference between opponents (zero, 2–4 points, 5–8 points or 9 points), combat outcome



(win or loss), age category (junior or senior), and sex (man or woman). The adopted level of statistical significance was  $p < 0.05$ . The effect size was determined as small, medium or large.

## **Results**

### *Exercise response to real combat (Article No. 1)*

After the rule changes, a significant increase in all analyzed kinematic variables was observed. The values of heart rate (peak, average and percentage of maximum), energy expenditure (absolute and relative to ventilatory threshold), physiological intensity, physiological load and post-exercise lactate concentration (absolute, percentage of laboratory maximum and after 30 minutes of recovery after the last fight) also significantly increased. The effect size was small to moderate. No significant differences between old and new rules were observed for breathing rate (peak, average and percentage of laboratory maximum), percentage energy expenditure (relative to values recorded at respiratory compensation point and maximum oxygen consumption) and pre-exercise lactate concentration. Similarly, no significant differences between old and new rules were observed for heart and breathing rate and energy expenditure during recovery after the last tournament fight. The percentage increments were 3–8% in kinematic variables, 1.5–1.8% in heart rate, 3–5% in energy expenditure, 2–4% in overall physiological load and ~15% (immediately after exercise) and ~25% (recovery) in lactate concentration.

### *Exercise response to taekwondo-specific training sessions (Article No. 2)*

After the change from old to new rules, a significant increase by 4.8–10.1% was revealed in the levels of kinematic variables measured during taekwondo-specific circuit workouts, especially in peak mechanical activity (medium to large effect size).

Peak, average, and recovery heart rates during circuit training were significantly higher under new rules compared with under old rules (2.4–6.8% difference). The same pattern of differences was revealed for physiological intensity (medium to large effect size) and load (small to medium effect size), with a ~4% difference between old and new training sessions.

Peak and average breathing rate during circuit training were significantly higher (medium or large effect size) under new rules compared with under old rules (4.3–12.0% differences). The differences in breathing rate during post-exercise recovery were significant but the effect size was small.

The estimated energy expenditure rate during the taekwondo-specific circuit (expressed as the percentage of expenditure at the ventilatory threshold and respiratory compensation point as well as absolute values) was significantly higher under new rules compared with under old rules (small to large effect size, 2.9–6.6% difference). The energy expenditure rate expressed as the percentage of expenditure at exhaustion during the progressive laboratory test was not different between rule settings.

Blood lactate concentration immediately after exercise series during training sessions was significantly higher under new rules compared with under old rules for both absolute and percentage values (4.6–10.4% difference), however, the effect size was small. Lactate levels during post-workout recovery were significantly higher under new rules compared with under old rule settings (by 14.4%, medium effect size).

#### *Real combat vs taekwondo-specific training sessions (Article No. 2)*

In old rules, the kinematic response to circuit training sessions was significantly weaker than the response to combat (small to large effect size). The differences (up to ~15%) persisted into new rules—circuit training was still less intensive than combat (medium and large effect size), except for peak mechanical activity (negligible difference).

Under both old and new rules, peak, average and recovery heart rate were significantly higher during tournament combat (~100% or >100% of maximum heart rate in the laboratory test until exhaustion) than during taekwondo-specific workout (~93–99%). The effect sizes, in general, were large. Heart rate in the post-exercise restitution was also higher after real combats (~109 bpm) than training sessions (~103–105 bpm), however, the effect size was small. Significant differences between training sessions and real combats, ranging ~4–16%, were also observed for physiological intensity (medium to large effect size) and load (small to medium effect size).

Peak and average breathing rates were significantly higher during circuit training when compared with real combat (medium or large effect size), with a smaller difference under old (~8%) compared with new (~15%) rules. The combat-workout differences in breathing rate at the 30th min of post-exercise recovery were insignificant.

The average energy expenditure rate during the workouts was slightly above that for the respiratory compensation point (~104–107%). Absolute, but not percentage, energy expenditure during post-workout recovery was also significantly higher under new rules (medium effect size). In both old and new rule settings, the energy expenditure rate was in general higher during real combats than training circuits by ~0–6%, however, the effect size was small or even negligible.

After the rule amendments, the difference in post-exercise lactate concentration between training and combat increased from ~12% to 16% (small to medium effect size) and lactate levels after 30 min recovery increased from ~25% to ~39% (large effect).

## Discussion

The main finding of this study is that the rule amendments caused shifts in the exercise response to real combats and taekwondo-specific workouts toward higher values of kinematic and physiological characteristics. Thus, the hypotheses (1) and (2) have been confirmed. However, the last hypothesis could not be substantiated, because the originally present significant differences in physiological and kinematic variables between taekwondo-specific circuit training and real combat have persisted and even deepened after the rule changes.

### *Exercise response to real combat*

Taekwondo combat seems to be a demanding high-intensity exertion similar to other martial arts, e.g. judo [Franchini et al. 2011], karate [Doria et al. 2009] or pencak silat [Aziz et al. 2002]. The recent rule amendments had an impact on the kinematic and physiological combat profile in highly-trained athletes, resulting in a noticeable shift towards higher kinematic response and, consequently, higher values of physiological indices.

Taekwondo combat shifted towards higher intensity levels of exercise due to apparently small changes in kicking modality (prohibited continuous leg elevation and ‘phantom striking’) aimed mainly at increasing the attractiveness of the show. Studies by Tornello et al. [2013, 2014] indicate that even the slightest differences in technical and tactical requirements can impact competition. As shown in this study, new rules indirectly related to kicking technique raised the exercise requirements. The increases in both peak and average kinematic activity (increase by 3.8% and 7%, respectively) reported in this study suggest that athletes needed to move faster during combat to keep up with the newly induced pace of combat imposed by the rule amendments. Previous studies indicated that taekwondo athletes were capable of reaching an acceleration of  $10.1 \pm 0.34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  in simulated combat [Herrera-Valenzuela et al. 2015], whereas participants investigated in this study managed to even exceed that level, achieving peak acceleration of approximately  $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  in real combats under both rules setting.

In previous studies, average heart rate ranged from 182 to 193  $\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$  during official competitions [Bouhlef et al. 2006; Bridge et al. 2009; Chiodo et al 2011; Markovic et al. 2005; Matsushige et al. 2009]. In this study, a similar average heart rate of  $\sim 180 \text{ beats}\cdot\text{min}^{-1}$  in old rules and  $\sim 183 \text{ beats}\cdot\text{min}^{-1}$  in new rules was observed. Athletes maintained a very

high average heart rate, approximating 96% of peak heart rate, throughout the whole fight. Also, under new rules, peak heart rate usually exceeded the maximal heart rate measured during laboratory tests until exhaustion.

The comparison of the breathing rate from real combat and laboratory measurements clearly suggests that it is near to impossible to achieve the maximum breathing rate present in a laboratory progressive test until exhaustion. Regardless of the rules setting, participants could not exceed ~64% of their maximum breathing rate. It should be assumed that it is due to the irregular rhythm of the taekwondo combat due to opponent's activity, multiple sharp changes in body position (defense, attack), explosive kicks, hand strikes, and blocks and, lastly, trunk stabilization, which unavoidably results in disturbances in the breathing rhythm. This, in the end, may negatively affect the exercise capacity of the taekwondo athlete. Exercise intensity during competitions (as indicated by energy expenditure and heart rate) far exceeds the values achieved at the respiratory compensation point, shifting rapidly towards the maximum. Normally, at the respiratory compensation point, minute ventilation increases rapidly and disproportionately to the volume of exhaled carbon dioxide and hyperventilation develops (increased breathing rate, shortened expiratory time) to compensate for metabolic acidosis resulting from increased lactate concentration [Beaver et al. 1986; Whipp et al. 1989]. Unfortunately, such a compensatory breathing mechanism cannot be fully exploited during high-intensity taekwondo combat. Consequently, metabolic acidosis and related adverse fatigue symptoms may develop faster than in e.g. cyclic noncontact disciplines. New taekwondo rules reinforce this disadvantageous phenomenon.

Previous research reported that blood lactate concentration immediately after combat is relatively high and can range between 7.0 and 12.2 mmol·l<sup>-1</sup> [Bouhlef et al 2006; Bridge et al. 2009; Bürger-Mendonça et al. 2015; Campos et al. 2012; Chiodo et al. 2011; Herrera-Valenzuela et al. 2015; Markovic et al. 2005; Matsushige et al. 2009]. Values from the old rules setting seem to correspond with the above observations. In new rule settings, there was an increase of 1.8 mmol·l<sup>-1</sup> on average. The discrepancies in lactate levels observed between after combat and laboratory testing (42–52% differences) clearly suggest an increase in the contribution of anaerobic glycolysis as an energy source during combat. Moreover, the lack of possibility to increase breathing rate may even further contribute to the rapid increase in lactate concentration. This suggests that the competition rule changes imposed higher requirements on athletes also in terms of specific strength and conditioning preparation.

Regarding the recovery period after the last tournament combat, lactate concentration also changed significantly. In old rules, lactate concentration after 30 minutes equaled ~2.8 mmol·l<sup>-1</sup> (on average, 0.54 mmol·l<sup>-1</sup> above the pre-exercise level). In new rules, it was

~3.5 mmol·l<sup>-1</sup> (1.40 mmol·l<sup>-1</sup> higher than pre-exercise). The statistical effect size of the change was between medium and large. This indicates that new rules resulted in more severe post-combat fatigue.

#### *Exercise response to taekwondo-specific training sessions*

In the past, multiple research teams investigated exercise response to taekwondo-specific training sessions and non-specific HIIT in male, female, cadet, junior and elite adult taekwondo athletes [Bouhleb et al. 2006; Bridge et al. 2007, 2011, 2013, 2014; Casolino et al. 2012; Chiodo et al. 2012; Franchini et al. 2019; Haddad et al. 2011; Herrera-Valenzuela et al. 2018; Kim et al. 2011; Laursen 2010; Melhim 2011; Monks et al. 2017; Mota et al. 2011; Nikolaidis et al. 2015]. Such training sessions, requiring high-intensity exertion, resulted in blood lactate concentrations of 8.0–11.4 mmol·l<sup>-1</sup>, heart rate equal to 82–94% of the maximum and a very high kinematic activity. The results of this current study, including a large number of training person-sessions, are in general consistent with those reports that were only based on single or a few workouts.

There are studies that have shown that exercise mode itself (technique or type of muscle contraction) affects physiological indices without modification of the external load. For example, in elite cross-country skiers, running, double poling on roller skis and skating on roller skis resulted in significantly different heart rates and lactate concentrations despite the same test protocol [Larson 2006]. Moreover, dynamic and isometric contractions of local muscle groups of equivalent intensity in healthy males elicited different responses, i.e. rating of exertion, blood pressure and rate pressure product (heart rate x systolic blood pressure) were higher during isometric contraction, whereas breathing frequency, minute ventilation, oxygen uptake and carbon dioxide output were higher during dynamic contraction [Weippert et al. 2015]. In crawl swimming, it was revealed that the energy cost increased linearly along with changes in underwater torque (one of the biomechanical technique parameters) despite constant speed [Zamparo et al. 1996]. This supports the view that it is the change in kicking mode in taekwondo athletes that modified the exercise response to circuit training sessions in new competition rules despite unchanged training session protocol.

In principle, there are no studies on the impact of sports rule changes on sport technique. Only Adam et al. [2012] pointed out that the rule changes in judo imposed substantial alterations in the efficiency and preference of hand and leg throwing techniques. However, this was not a biomechanical study but it was focused on the combat strategy (choice/frequency of techniques during tournaments). Studies on the effect of fatigue or exercise intensity on sport technique are interesting in the context of sports rule changes.

Rule changes in taekwondo brought about increases in exercise intensity and, thus, one can assume that fatigue also increased and affected the quality of the movement technique. Several studies support this view. [Aragones et al. \[2018\]](#) found that among karate practitioners, noticeable kinematic changes emerged with fatigue development when repeating a complex action such as a karate front kick many times, despite the participants' intention of performing identical repetitions. [Rusidiana et al. \[2020\]](#) revealed that fatigue affected the quality of a header's motor performance in soccer. Some water sports-related studies [[Aujouannet et al. 2006](#); [Bassan et al. 2016](#); [Figueiredo et al. 2014](#)] demonstrated that increased fatigue affected technique including kinematic hand stroke characteristics and fingertip spatial-temporal pattern. [Prieske et al. \[2017\]](#) concluded that fatigue was responsible for sex-specific knee motion strategies during jumping in elite volleyball players. [Grasaas et al. \[2014\]](#) showed that high-intensity exhausting exercise resulted in less efficient technique in country skiers. [Kellis et al. \[2016\]](#) revealed that fatigue induced significant impairment of soccer kick performance. The above studies strongly indicate that an increase in intensity and resulting fatigue have a significant impact on movement technique including kinematic properties and the quality of motion. One can suppose that such an effect has also deepened in the taekwondo athletes after the competition rule changes.

#### *Real combats vs taekwondo-specific training sessions*

With regards to the similarity between taekwondo-specific workouts and tournaments, the circuit training that was analyzed in this study did not fully recreate the combat situation in either rules version. An acceptable level of dissimilarity between workout tasks and competition may be debatable. It may be also questioned as to whether a full identity of any training exercise with real combat is possible at all. Two earlier studies are available on the differences between real combat and taekwondo-specific training sessions, however, the authors reached opposed conclusions. [Bridge et al. \[2013\]](#) demonstrated that taekwondo-specific exercise did not recreate the physiological responses of real combat – heart rate was higher by ~8% and post-exercise lactate concentration higher by ~70% compared with training sessions. In contrast, [Herrera-Valenzuela et al. \[2018\]](#) concluded that training session can successfully replicate the physiological demands of the tournament. They showed similar divergences in average heart rate (~2–8%) but much smaller differences in lactate concentration (3–13%). In this current study, divergences equal to ~5% in average heart rate and ~15% in lactate were obtained, thus closer to Herrera-Valenzuela's research.

The problem seems to be more complex than it appears and is not solely a matter of one or two physiological or kinematic variables. Similarity or discrepancy between training

sessions and combat depends on a particular workout protocol used, which may be focused either on technical/tactical skills or athletes' special conditioning [Bridge et al. 2013; Franchini et al. 2019; Herrera-Valenzuela et al. 2018; Obminski et al. 2011]. Striking the balance between the two crucial components to find a 'golden rule' is difficult. Shifting the burden to technical/tactical skills will result in lower workout intensity (inadequate to combat conditions), whereas focusing primarily on physical conditioning can result in technique deterioration. Additionally, other factors also play a role. For example, during training sessions, our athletes attacked a moving opponent instead of a training kick-bag or kicking pad. We believe that the lack of a real opponent is the main constraint on combat imitation. During training sessions, athletes are usually not exposed to the risk of being hit upon by an opponent and, thus, are less emotionally involved. Bridge et al. [2013] observed a much higher increase in post-exercise blood adrenaline and noradrenaline levels during real combat than training sessions in international taekwondo athletes (4.5–4.8-fold difference), which suggests that the high-stress response present during official competition is hard, if not impossible, to fully recreate during simulated exercise. This may explain the differences in kinematic and physiological indices between combat and training sessions in our study, persisting despite the increase in the intensity of the taekwondo-specific circuit workout after the rules change.

In this study, the breathing rate during training sessions significantly increased in new rules and was the only variable for which the values were and persisted higher during workout than real combat. As discussed in the earlier section, taekwondo athletes face problems with regular breathing during combat. Unrestricted breathing is not possible during tournaments due to body dynamic movements, frequent explosive kicks, hand strikes, and blocks—all based on the Valsalva maneuver, i.e. the forceful attempt to exhale against a closed glottis (holding the breath) to stabilize the trunk. Hence, breathing frequency is limited in combat as opposed to training where athletes can breathe relatively free. The breathing rate during workouts increased after the rules change, whereas breathing during combat was still limited to the same extent. As a consequence, the 'breathing gap' between the taekwondo-specific circuit training and real combat widened.

## **Conclusions**

- First, it was found that after competition rule changes, there has been a significant shift in taekwondo combat profile toward greater body movement dynamics, higher exercise intensity in physiological terms and greater post-exercise fatigue.
- Second, after the competition rules change, the intensity of the taekwondo-specific training sessions significantly increased due to modifications in the kicking technique itself without any change in exercise volume, repetitions and exercise or rest duration.
- Third, the significant differences in exercise response between taekwondo-specific training sessions and real combat persisted or even deepened after the rules change. Combat intensity remained significantly higher than workout intensity.
- The obtained results suggest that the amendments in sports regulations significantly modify the exercise response to competition load and discipline-specific workout and that training sessions do not fully recreate the real competition situation.

## **Practical applications**

To adapt the taekwondo athletes to increased competition requirements, more focus is needed on conditioning training that, on the one hand, must stimulate the anaerobic glycolytic system of energy supply for muscle activity and, on the other hand, should also improve aerobic capacity, relevant to rapid scoring actions during combat and post-exercise recovery, respectively [Franchini et al. 2019]. Based on available research, the most effective solution is HIIT [Franchini et al. 2019; Monks et al. 2017]. It seems that priority must be given to the HIIT in the form of taekwondo-specific tasks over 'neutral' exercise forms such as running or cycling to combine the enhancement of metabolic capacity with particular fighting techniques and tactical solutions. During workouts, recreating quantitative parameters of real combat situations (intensity, repetitions, etc.) is less cumbersome than simulating qualitative factors (e.g., opponent, emotional stress). Most importantly, any changes in movement technique induced by rule amendments should be seriously considered when designing discipline-specific workouts. In sports practice, it is important to design such a training protocol that, on the one hand, mimics the technical and tactical solutions of real combat and, on the other hand, can replicate the kinematic and physiological response to combat. The appropriate balance between kinematic, physiological, technical and tactical requirements ensures that taekwondo-specific exercise will be effective. An excessive emphasis on any of the above aspects may result in the loss of exercise specificity (similarity to real combat). Moreover, because of the increasing time needed to recover from combat load in new rules



(as indicated by elevated lactate levels), coaches should also pay special attention to effective ways of post-combat recovery. Among numerous ways to accelerate lactate removal immediately after high-intensity exercise, active recovery (e.g. jogging at a slow pace) seems to be the most efficient and easiest method to implement, which was documented in research including various groups of athletes [[Baldari et al. 2005](#); [Franchini et al. 2003](#); [Ghorbani et al. 2015](#); [Lucertini et al. 2017](#); [Mota et al. 2017](#); [Özsu et al. 2018](#)].

The obtained study results can be also seen from a broader perspective. In any sports discipline, the rule changes directly or indirectly affect specific competition and training exercise load. Coaches should be aware of rule changes and prepare their athletes for competition and training intensity of a different magnitude than before.

## Literatura / References

1. Adam M, Tabakov S, Klimowicz P, Paczoska B, Laskowski R, Smaruj M. The efficiency of judo techniques in the light of amendments to the rules of a sports contest. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*. 2012;2:115–120.
2. Aragonés D, Eekhoff A, Horst F, Schöllhorn W.I. Fatigue-related changes in technique emerge at different timescales during repetitive training. *Journal of Sports Sciences*. 2018;36:1296–1304.
3. Arias JL, Argudo FM, Alonso J.I. Review of rule modification in sport. *Journal of Sport Science and Medicine*. 2011;10:1–8.
4. Aujouannet YA, Bonifazi M, Hintzy F, Vuillerme N, Rouard AH. Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. 2006;31:150–158.
5. Aziz AR, Tan B, Teh KC. Physiological responses during matches and profile of elite Pencak Silat exponents. *Journal of Sport Science and Medicine*. 2002;1:147–15.
6. Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti, L. Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2005;45:460–466.
7. Bassan NM, César TEAS, Denadai BS, Greco CC. Relationship between fatigue and changes in swim technique during an exhaustive swim exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016;11:33–39.
8. Beaver WL, Wasserman K, Whipp, B. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*. 1986;60:2020–2027.
9. Ben Abdelkrim N, El Fazaa S, El Ati J. Time–motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *British Journal of Sports Medicine*. 2007;41:69–75.
10. Bouhlef E, Jouinia A, Gmadaa N, Nefzib A, Abdallahb K, Tabkac Z. Heart rate and blood lactate responses during Taekwondo training and competition. *Science & Sports*. 2006;21(5):285–290.
11. Bridge C, Jones M, Hitchen P, Sanchez X. Heart rate responses to taekwondo training in experienced practitioners. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21(3):18–723.
12. Bridge C, Jones M, Drust B. Physiological responses and perceived exertion during international taekwondo competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2009;(4):485–493.
13. Bridge C, Jones M, Drust B. The activity profile in international taekwondo competition is modulated by weight category. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2011;6(3):344–357.
14. Bridge C, McNaughton LR, Close GL, Drust, B. Taekwondo exercise protocols do not recreate the physiological responses of championship combat. *International Journal of Sports Medicine*. 2013;34:573–581.
15. Bridge C, Ferreira da Silva Santos J, Chaabe`ne H, Pieter W, Franchini E. Physical and Physiological Profiles of Taekwondo Athletes. *Sports Medicine*. 2014;44(6):713–733.
16. Bürger-Mendonça M, de Oliveira JC, Cardoso JR, Bielavsk, M, Azevedo P. Changes in blood lactate concentrations during taekwondo combat simulation. *Journal of Exertion and Rehabilitation*. 2015;11:255–258.
17. Campos F, Bertuzzi R, Dourado A, Santos V, Franchini E. Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(4):1221–1228.
18. Casolino E, Cortis C, Lupo C, Chiodo S, Minganti C, Capranica L. Physiological versus psychological evaluation in taekwondo elite athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2012;7(4):322–331.

19. Chiodo S, Tessitore A, Cortis C, Lupo C, Ammendolia A, Iona T, Capranica L. Effects of official taekwondo competitions on all-out performances of elite athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2011;25(2):334–339.
20. Chiodo S, Tessitore A, Lupo C, Ammendolia A, Cortis C, Capranica L. Effects of official youth taekwondo competitions on jump and strength performance. *European Journal of Sport Science*. 2012;12(2):113–120.
21. Doria C, Veicsteinas, A, Limonta, E, Maggioni, MA, Aschieri, P, Eusebi, F, Fano, G, Pietrangelo, T. Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 2009;107:603–610.
22. Eaves SJ, Hughes MD, Lamb KL. Assessing the impact of the season and rule changes on specific match and tactical variables in professional rugby league football in the United Kingdom. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 2008;8:104–118.
23. Ferreira J, Da Silva Carvalho RG, Barroso TM, Szmuchrowski L, Śledziwski D. Effect of different types of recovery on blood lactate removal after maximum exercise. *Polish Journal of Sport and Tourism*. 2011;18:105–111.
24. Franchini E, Del Vecchio FB, Matsushige K, Artioli GG. Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Medicine*. 2011;41:147–166.
25. Figueiredo P, Nazario R, Sousa M, Pelargio J.G, Vilas-Boas J.P, Fernandes R. Kinematical analysis along maximal lactate steady state swimming intensity. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2014;13:610–615.
26. Franchini E, Cormack S, Takito MY. Effects of high-intensity interval training on Olympic combat sports athletes' performance and physiological adaptation: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019;33(1):242–252.
27. Franchini E, Takito MY, Yuzo, Nakamura F, Ayumi Matsushige K, Peduti Dal'Molin Kiss MA. Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2003;43:424–431.
28. Gastin P.B, Allan M.D, Bellesini K, Spittle M. Rule modification in junior sport: Does it create differences in player movement? *Journal of Science Medicine in Sport*. 2017;20:937–942.
29. Ghorbani S, Mohebbi H, Safarimosavi S, Ghasemikaram, M. The effect of different recovery methods on blood lactate removal in wrestlers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2015;55:273–279.
30. Grasaas C.A, Ettema G, Hegge A.M, Skovereng K, Sandbakk O. Changes in technique and efficiency after high-intensity exercise in cross-country skiers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2014;9:19–24.
31. Haddad M, Chaouachi A, Wong DP, Castagna C, Chamari K. Heart rate responses and training load during nonspecific and specific aerobic training in adolescent taekwondo athletes. *Journal of Human Kinetics*. 2011;29: 59–66.
32. Hailstone J, Kilding AE. Reliability and validity of the Zephyrtm BioHarnesstm to measure respiratory responses to exercise. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2011;15:293–300.
33. Halouani J, Chtourou H, Dellal A, Chaouachi A, Chamari K. Physiological responses according to rules changes during 3 vs. 3 small-sided games in youth soccer players: Stop-ball vs. small-goals rules. *Journal of Sports Sciences*. 2014;32:1485–1490.
34. Hausen M, Soares PP, Araújo MP, Porto F, Franchini E, Bridge CA, Gurgel J. Physiological responses and external validity of a new setting for taekwondo combat simulation. PLoS ONE 12: e0171553 with correction: *PLoS One*. 2017;12:e0181298.
35. Herrera-Valenzuela T, Valdes-Badilla P, Canacio Lopez J, Diaz Narvaez H, Ferreira da Silva Santos J, Franchini E, Perez-Gutierrez M. Physical and physiological profile of

- young female taekwondo athletes during simulated combat. *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology*. 2015;15(4):58–64.
36. Herrera-Valenzuela T, Zapata-Bastias J, Guajardo-Medrano M, Pons-Vargas G, Valdés-Badilla P, Ferreira Da Silva Santos J, Garcia-Hermoso A, Lopez-Fuenzalida A, Franchini E, Orihuela P. Can simulation tasks reproduce the taekwondo match physiological responses? *Archives of Budo*. 2018;14:25–31.
  37. Jae-Ko Y, Chang Y, Rhee Y-C, Valacih JS, Hur Y, Park C. Value-based stakeholder loyalty toward sport technology a case of the electronic body protector and scoring system in taekwondo events. *RICYDE: Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 2014;10:46–62.
  38. Kazemi M, Perri G, Soave D. A profile of 2008 Olympic taekwondo competitors. *Journal of Canadian Chiropractic Association*. 2010;54(4):243–249.
  39. Kazemi M, Ciantis M, Rahman A. A profile of the youth Olympic taekwondo athlete. *Journal of Canadian Chiropractic Association*. 2013;57(4):293–300.
  40. Kellis E, Katis A, Vrabas S. Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2016;16:334–344.
  41. Kim H-B, Stebbins Ch, Chai J-H, and Song J-K. Taekwondo training and fitness in female adolescents. *Journal of Sports Sciences*. 2011;29(2):133–138.
  42. Larson AJ. Variations in heart rate at blood lactate threshold due to exercise mode in elite cross-country skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2006;20:855–860.
  43. Laursen PB. Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2010;20:1–10.
  44. Lucertini F, Gervasi M, D'Amen G, Sisti D, Rocchi MBL, Stocchi V, Benelli P. Effect of water-based recovery on blood lactate removal after high-intensity exercise. *PLoS One*. 2017;12(9): e0184240.
  45. Marković G, Misigoj-Duraković M, Trninić S. Fitness profile of elite Croatian female taekwondo athletes. *Collegium Antropologicum*. 2005;29:93–99.
  46. Markovic G, Vucetic V, Cardinale M. Heart rate and lactate responses to taekwondo fight in elite women performers. *Biology of Sport*. 2008;25(2):135–146.
  47. Matsushigue KA, Hartmann T, Franchini E. Taekwondo; physiological responses and match analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009;23(4):1112–1117.
  48. Matthew D, Delextrat A. Heart rate, blood lactate concentration, time-motion analysis of female basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*. 2009;27:813–821.
  49. Meir R, Colla P, Milligan C. Impact of the 10-meter rule change on Professional Rugby League: Implications for training. *Strength and Conditioning Journal*. 2001;23:42–46.
  50. Melhim A. F. Aerobic and anaerobic power responses to the practice of Taekwondo. *British Journal of Sports Medicine*. 2011;35:231–235.
  51. Moening U. Rule and equipment modification issues in world taekwondo federation (WTF) competition. *Journal of Martial Arts Anthropology*. 2015;15(4):3–12.
  52. Moening U. Dominant features and negative trends in the current World Taekwondo Federation (WTF) competition system. *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology*. 2017;7:56–67.
  53. Monks L, Seo MW, Kim HB, Jung HC, Song JK. High-intensity interval training and athletic performance in taekwondo athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2017;57:1252–1260.
  54. Mota GR, Magalhães CG, De Azavedo PHSM, Ide BN, Lopes CR, Castardeli E, Barobsa N, Marcollo Junior M, Baldissera V. Lactate threshold in taekwondo through specifics tests. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2011;14(3):60–67.

55. Mota MR, Dantas RAE, Oliveira-Silva I, Sales MM, Sotero RDC, Venâncio PEM. Effect of self-paced active recovery and passive recovery on blood lactate removal following a 200 m freestyle swimming trial. *Journal of Sports Medicine*. 2017;28(8):155–160.
56. Murray S, James N, Hughes M.D, Perš J, Mandeljc R, Vučković G. Effects of rule changes on physical demands and shot characteristics of elite-standard men's squash and implications for training. *Journal of Sports Sciences*. 2006;34:2170–2174.
57. Nikolaidis TP, Chtourou H, Torres-Luque G, Tasiopoulos IG, Heller J, Padulo J. Effect of a six-week preparation period on acute physiological responses to a simulated combat in young national-level taekwondo athletes. *Journal of Human Kinetics*. 2015;47:115–125.
58. Obmiński Z, Lerczak K, Witek K, Pintera M, Błach W, Szczuka, E. Blood lactate level and perceptual responses (RPE) to an official fight and to a sparing in male taekwondo contestants. *Polish Journal of Sports Medicine*. 2011;4:283–287.
59. Özsü İ, Gurol B, Kurt C. Comparison of the effect of passive and active recovery, self-myofascial release exercises on lactate removal and total quality of recovery. *Journal of Education and Training Studies*. 2018;6(9a):33–42.
60. Platanou T, Geladas N. The influence of game duration and playing position on intensity of exercise during match-play in elite water polo players. *Journal of Sports Sciences*. 2006;24:1173–1181.
61. Prieske O, Demps M, Lesinski M, Granacher U. Combined effects of fatigue and surface instability on jump biomechanics in elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*. 2017;38:781–790.
62. Rusidiana A, Rohmat ND, Ray H.R, M Syahid AM. Effect of fatigue on the kinematic variables of jump header performance in soccer. *Journal of Physical Education*. 2020;20:649–657.
63. Tornello F, Capranica L, Chiodo S, Minganti C, Tessitore A. Time-motion analysis of youth Olympic taekwondo combats. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013;27(1):223–228.
64. Tornello F, Capranica L, Minganti C, Chiodo S, Tessitore A. Technical-tactical analysis of youth Olympic taekwondo combat. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014;28(4):1151–1157.
65. Vickery W, Dascombe B, Duffield R, Kellett A, Portus M. The influence of field size, player number and rule changes on the physiological responses and movement demands of small-sided games for cricket training. *Journal of Sports Sciences*. 2011;31:629–638.
66. Weippert M, Behrens M, Gonschorek R, Bruh S, Behrens K. Muscular contraction mode differently affects autonomic control during heart rate matched exercise. *Frontiers in Physiology*. 2015;6: 156–164.
67. Whipp BJ, Davis JA, Wasserman K. Ventilatory control of the 'isocapnic buffering' region in rapidly-incremental exercise. *Respiratory Physiology*. 1989;76:357–367.
68. Woo JH, Ko JY, Choi EY, Her JG, O'Sullivan DM. Development and evaluation of a novel taekwondo chest protector to improve mobility when performing axe kicks. *Biology of Sport*. 2013;30:51–56.
69. World Taekwondo. Competition Rules and Interpretation. Available online: <http://www.worldtaekwondo.org> (accessed on 15 May 2017).
70. Zamparo P, Capelli C, Termin B, Pandergast DR. Effect of the underwater torque on the energy cost, drag and efficiency of front crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology*. 1996;73:195–201.

### III. STRESZCZENIE / ABSTRACT

**Cel:** Porównano zmiany i różnice w odpowiedzi wysiłkowej zawodników taekwondo olimpijskiego w rzeczywistej walce turniejowej i treningowych ćwiczeniach specjalnych po zmianach przepisów sportowych (2017 r.). Założono, że zmiany przepisów poskutkowały znaczącym zwiększeniem obciążenia kinematycznego i fizjologicznego podczas walk rzeczywistych i ćwiczeń specjalnych. **Metoda:** Przeanalizowano 247 walk i 240 osobo-sesji treningowych 22 zawodniczek i zawodników klasy międzynarodowej. Dane zbierano za pomocą bezprzewodowego systemu Bioharness 3 (Zephyr™, USA) oraz mierzono poziom stężenia mleczanu we krwi. W celu uzyskania referencyjnych wartości parametrów wysiłkowych okresowo wykonywano testy wysiłkowe do odmowy na bieżni mechanicznej. **Wyniki:** Zmiany w przepisach spowodowały wyraźne zwiększenie aktywności kinematycznej i bardziej nasiloną reakcję fizjologiczną u zawodników taekwondo. W walce rzeczywistej znacząco wzrosły wartości zmiennych kinematycznych (3–8%), częstości skurczów serca (1.5–1.8%), wydatku energetycznego (3–5%), ogólnego obciążenia fizjologicznego (2–4%) i stężenia mleczanu (ok. 15% bezpośrednio po wysiłku i ~ 25% w restytucji). W ćwiczeniach specjalnych istotnie nasiliła się fizjologiczna (2.9–14.4%) i kinematyczna (4.8–10.1%) odpowiedź wysiłkowa, przy czym największy wzrost odnotowano dla szczytowej częstości oddechów (12.0%), wydatku energetycznego (6.6%), stężenia mleczanu we krwi bezpośrednio po wysiłku (10.2%) i w 30 minucie restytucji (14.4%) oraz szczytowej aktywności kinematycznej (10.1%). Różnice między ćwiczeniami specjalnymi a walką rzeczywistą okazały się istotne w starych przepisach i utrzymały się, a nawet pogłębiły po zmianie przepisów. Największe różnice między ćwiczeniami specjalnymi a walką stwierdzono w przypadku: stężenia mleczanu po wysiłku (15.9%) i w restytucji (38.5%), szczytowej (-15.8%) i względnej (-15.0%) częstości oddechów oraz mechanicznej (13.5%) i fizjologicznej (14.2%) intensywności. **Wnioski:** Po zmianie przepisów sportowych obciążenie fizyczne w walce turniejowej taekwondo charakteryzowało się większą dynamiką ruchu zawodników, wzrostem intensywności i większym zmęczeniem. Obciążenie ćwiczeniami specjalnymi również wzrosło z powodu modyfikacji kopnięć, bez zmian objętości ćwiczeń, liczby powtórzeń oraz czasu wysiłku i przerw wypoczynkowych. Istotne różnice w odpowiedzi wysiłkowej między walką rzeczywistą a ćwiczeniami specjalnymi utrzymały się, a nawet pogłębiły po zmianie przepisów. Uzyskane wyniki sugerują, że zmiany w przepisach sportowych w istotny sposób modyfikują obciążenia wysiłkowe podczas zawodów i specjalistycznych zajęć treningowych, a te ostatnie nie w pełni odwzorowują fizjologiczne i kinematyczne obciążenia występujące w rywalizacji turniejowej.

**Aim:** The study aimed to compare the changes and differences in exercise response to both official ranked Olympic taekwondo competitions and discipline-specific workouts after recent (2017) rule changes. It was hypothesized that changes in competition rules significantly increased kinematic and physiological load during real taekwondo combats and specific workouts. **Method:** A total of 247 combats and 240 person-sessions were analysed in 22 international-level athletes. Physiological and kinematic data was gathered with the wireless Bioharness 3 system (Zephyr™, USA) along with capillary blood samples for lactate concentration. Progressive exercise treadmill tests until exhaustion were periodically performed to obtain reference exercise parameters. **Results:** It was revealed that the amendments in competition rules caused a noticeable shift towards higher kinematic output and increased physiological response. Significant increments in kinematic variables (3–8%), heart rate (1.5–1.8%), energy expenditure (3–5%), overall physiological load (2–4%) and lactate concentration (~15% immediately post exercise and ~25% in recovery) were observed for real combats. Similar significant increases were observed in the physiological (2.9–14.4%) and kinematic (4.8–10.1%) response to taekwondo-specific workouts—the highest rise was observed for peak breathing rate (12.0%), energy expenditure (6.6%), blood lactate immediately after exercise (10.2%) and at the 30th min of recovery (14.4%) and peak kinematic activity (10.1%). The differences between taekwondo-specific workouts and tournament combats were significant in old rules and persisted or even deepened after the shift to new rules. The largest workout-combat differences were revealed for post-exercise (15.9%) and recovery (38.5%) blood lactate, peak (–15.8%) and relative (–15.0%) breathing rate and mechanical (13.5%) and physiological (14.2%) intensity. **Conclusions:** After competition rule changes, there has been a shift in taekwondo combat load towards greater body movement dynamics, higher intensity and greater post-exercise fatigue. The intensity of the taekwondo-specific circuit training sessions also significantly increased due to modifications in the kicking technique itself without any change in exercise volume, repetitions and exercise or rest duration. The significant differences in exercise response between taekwondo-specific circuit training and real combat persisted or even deepened after the rule changes. The obtained results suggest that the amendments in sports regulations significantly modify the exercise response to competition load and discipline-specific workout and that training sessions do not fully recreate the real competition situation.

#### **IV. ZAŁĄCZNIKI / APPENDICES**

- oświadczenia współautorów / co-authors' declarations
- artykuł nr 1 / article No. 1
- artykuł nr 2 / article No. 2



Miejscowość, data 7.X.2020

mgr inż. Michał Janowski  
Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu  
Wydział Nauk o Kulturze Fizycznej  
Zakład Lekkiej Atletyki i Przygotowania Motorycznego

#### OŚWIADCZENIE

Niniejszym zaświadczam, że mój udział w powstaniu niżej wymienionej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badawczej, opracowaniu metodologii badań, zapewnieniu trafności i powtarzalności pomiarów, przygotowaniu niezbędnego instrumentarium pomiarowego, rejestrowaniu danych empirycznych w trakcie procedur pomiarowych, porządkowaniu i oczyszczaniu danych, wykonaniu analizy statystycznej zebranego materiału, sporządzeniu tabel i rycin oraz przygotowaniu manuskryptu.

*The effect of sports rules amendments on exercise intensity during taekwondo-specific workouts.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(18)/6779, <https://doi.org/10.3390/ijerph17186779>, Impact Factor = 2.849, punktacja MNiSW = 70 pkt.

Michał Janowski



Potwierdzenie współautorów:

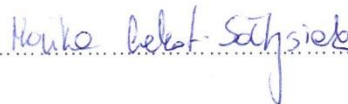
Krzysztof Kusy



Jacek Zieliński



Monika Ciekot-Sołtysiak



Agata Schneider

Poznań 7.10.2020

mgr inż. Michał Janowski  
Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu  
Wydział Nauk o Kulturze Fizycznej  
Zakład Lekkiej Atletyki i Przygotowania Motorycznego

#### OŚWIADCZENIE

Niniejszym zaświadczam, że mój udział w powstaniu niżej wymienionej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badawczej, opracowaniu metodologii badań, zapewnieniu trafności i powtarzalności pomiarów, przygotowaniu niezbędnego instrumentarium pomiarowego, rejestrowaniu danych empirycznych w trakcie procedur pomiarowych, porządkowaniu i oczyszczaniu danych, wykonaniu analizy statystycznej zebranego materiału, sporządzeniu tabel i rycin oraz przygotowaniu manuskryptu.

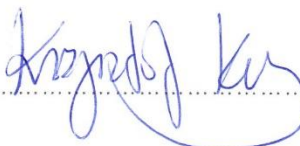
*Exercise response to real combat in elite taekwondo athletes before and after competition rule changes.* Journal of Strength and Conditioning Research, 2019. Ahead of Print, March 04, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003110>, Impact Factor = 3.017, punktacja MNiSW = 100 pkt.

Michał Janowski



Potwierdzenie współautorów:

Krzysztof Kusy



Jacek Zieliński





Miejscowość, data Poznań 11.10.2020

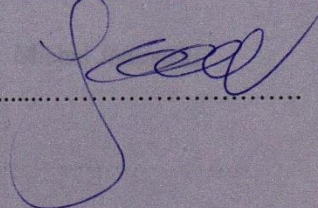
mgr inż. Michał Janowski  
Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu  
Wydział Nauk o Kulturze Fizycznej  
Zakład Lekkiej Atletyki i Przygotowania Motorycznego

#### OŚWIADCZENIE

Niniejszym zaświadczam, że mój udział w powstaniu niżej wymienionej publikacji polegał na: sformułowaniu koncepcji badawczej, opracowaniu metodologii badań, zapewnieniu trafności i powtarzalności pomiarów, przygotowaniu niezbędnego instrumentarium pomiarowego, rejestrowaniu danych empirycznych w trakcie procedur pomiarowych, porządkowaniu i oczyszczaniu danych, wykonaniu analizy statystycznej zebranego materiału, sporządzeniu tabel i rycin oraz przygotowaniu manuskryptu.

*The effect of sports rules amendments on exercise intensity during taekwondo-specific workouts.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(18)/6779, <https://doi.org/10.3390/ijerph17186779>, Impact Factor = 2.849, punktacja MNiSW = 70 pkt.

Michał Janowski



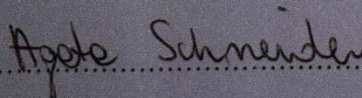
#### Potwierdzenie współautorów:

Krzysztof Kusy .....

Jacek Zieliński .....

Monika Ciekot-Soltysiak .....

Agata Schneider



**– artykuł nr 1 / article No. 1**

Dostępny na stronie internetowej czasopisma / Available from the journal's web site:

URL: [https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/9000/](https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/9000/Exercise_Response_to_Real_Combat_in_Elite.94912.aspx)

[Exercise\\_Response\\_to\\_Real\\_Combat\\_in\\_Elite.94912.aspx](https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/9000/Exercise_Response_to_Real_Combat_in_Elite.94912.aspx)

**– artykuł nr 2 / article No. 2**

Dostępny na stronie internetowej czasopisma / Available from the journal's web site:

URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/18/6779>